

LEHRBUCH

Christian Becker-Carus · Mike Wendt

Allgemeine Psychologie

Eine Einführung

2. Auflage

EXTRAS ONLINE

Springer

Allgemeine Psychologie

Christian Becker-Carus
Mike Wendt

Allgemeine Psychologie

Eine Einführung

2., vollständig überarbeitete und erweiterte Neuauflage

Springer

Christian Becker-Carus
Allgemeine Psychologie I und II
Universität Münster
Münster, Deutschland

Mike Wendt
Fakultät für Humanwissenschaften
Medical School Hamburg
Hamburg, Deutschland

Ergänzendes Online-Material zu diesem Buch finden Sie auf http://www.lehrbuch-psychologie.de.

ISBN 978-3-662-53005-4 ISBN 978-3-662-53006-1 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-53006-1

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

© Springer Verlag GmbH Deutschland 2004, 2017
Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.
Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.
Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Planung: Marion Krämer
Grafiken: Dr. Martin Lay, Breisach
Einbandabbildung: © pressmaster/Fotolia

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer ist Teil von Springer Nature
Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Deutschland
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort zur 2. Auflage

Nachdem die Nachfrage nach der ersten vergriffenen Auflage über etliche Jahre durch einen Softcover-Nachdruck überbrückt werden konnte, steht mit dem vorliegenden Werk (endlich) eine neue, völlig überarbeitete und der Weiterentwicklung entsprechend neu gestaltete zweite Auflage des seinerzeit mit „besser geht's (fast) nicht" (wissenschaft-online, 27.10.2004) rezensierten Lehrbuchs der Allgemeinen Psychologie zur Verfügung.

Konzept und Zielgruppen

Konzipiert als **Lehrbuch zum Einstieg**, aber auch als **Werk zum Nachschlagen** mit Zusatzelementen (s. u.) ausgelegt, richtet sich das Buch sowohl an Studierende wie auch Lehrende der Allgemeinen Psychologie, und sollte mit seinen Grundtexten auch für den interessierten Laien einen verständlichen Einstieg in die Grundlagen der wissenschaftliche Psychologie bieten.

Für die Neugestaltung war es faszinierend zu verfolgen, wie sich auch in dem letzten Jahrzehnt unser Kenntnisstand in den verschiedenen Feldern der Allgemeinen Psychologie erweitert und vertieft hat. Immer wieder sind wir auf neue Entwicklungen und Entdeckungen gestoßen, wie beispielsweise in den neurowissenschaftlichen Grundlagen unserer Empfindungen (Entdeckung kontrovers diskutierter sog. Spiegelneurone), in denen der circadianen Funktionsregulierung (Entdeckung fotosensorischer pRG-Cells) oder in den Grundlagen unserer Motivationen bzw. unseres Entscheidungsverhaltens die Wirkung unbemerkter Zusatzreize, oder beim Einflussbereich von Bewusstem und Unbewusstem. So war es kein Leichtes, wichtige neue Entwicklungen verständlich zu berücksichtigen, und andererseits das unverzichtbare Grundlagenwissen nicht aus dem Auge zu verlieren. Wir haben dabei die inhaltlichen Schwerpunkte voll erhalten, da sie nichts an Relevanz und wissenschaftlicher Aktualität verloren haben. Alle Kapitel wurden jedoch grundlegend überarbeitet und mit neueren Literaturangaben versehen. Hinzu gekommen sind insbesondere ein neues Kapitel zur Handlungssteuerung (mit Exekutiven Funktionen), ein eigenes ausführliches Kapitel zur kognitiven Sprachpsychologie sowie ein eigenes Kapitel zu den Bereichen: Denken, Problemlösen, Entscheiden. Besonderer Wert wurde wieder auf eine möglichst anschaulich-erklärende Darstellung gelegt, mit Bezügen zu Alltagserfahrungen und Verweisen auf klinisch-neuropsychologische Störungsbilder.

Weiterhin waren für die Neugestaltung vor allen Dingen zwei aktuelle Veränderungen im universitären Lernfeld von Bedeutung. Zum einen ist der lang bewährte klassische Diplomstudiengang Psychologie durch die Vorgaben des europäischen Bologna-Prozesses an den meisten Universitäten durch einen verkürzten Bachelor-/Master-Studiengang ersetzt worden. Wenngleich die Studieninhalte des Psychologiestudiums, so auch die der Allgemeinen Psychologie nicht direkt betroffen sind, so gibt es doch deutliche strukturelle Veränderungen dadurch, dass die Lehrinhalte nun nach so genannten Modulen neu sortiert werden, wobei die Modulbezeichnungen über die verschiedenen Universitäten durchaus divergieren. Durchgängig ist aber wohl geblieben, dass die Allgemeine Psychologie mit ihren Teilgebieten Allg. I und Allg. II sowohl im Bachelorstudiengang als breites Grundlagenfach als auch im Masterstudiengang als mögliches Schwerpunktfach eine wichtige Rolle spielt.

Dementsprechend ist der fortlaufende Fließtext der Kapitel gerafft und präzisiert, so dass er für die Lernmodule des Bachelor leichter bewältigt werden kann.

Andererseits sind die einzelnen Kapitel zusammen mit den genauer betrachtenden Exkursen und Experimentaldarstellungen sowie mit den neuen *online Zusatzmaterialien* auch für die Wissensvertiefung im zweiten Studienabschnitt zum Masterexamen geeignet, ohne die auch hier gekürzte Studiendauer zu überfordern.

Zum anderen ist durch die schnelle Entwicklung und den Ausbau der neuen elektronischen Medien auch an den Universitäten eine zunehmend durchgreifende Veränderung der Lern- und Lehrsituation entstanden, die auch zu einer Veränderung bei den für die Lehre verwendeten Printmedien geführt hat. Dementsprechend ist die neue Auflage des vorliegenden Werkes einerseits nun auch zusätzlich als E-Book erhältlich, andererseits sind ausführliche, online verfügbare Zusatzmaterialien hinzugekommen. So können weiterführende und vertiefende *Zusatztexte* sowie Fragen, Antworten und weitere Informationen zu den einzelnen Kapiteln passend von der zugehörigen Website des Verlages über ► www.lehrbuch-psychologie.de abgerufen werden.

Schließlich haben wir auch das **didaktische Konzept** überarbeitet und erweitert.

Eine gesonderte Übersicht über die im Einzelnen verwendeten Textelemente und Lernhilfen finden Sie auf den nächsten Seiten (Wegweiser zum Buch).

Wenn Sie sich zunächst einen Überblick über die Inhalte des Buches verschafft haben, empfehlen wir Ihnen als Studenten, sich zunächst mit der *hilfreichen Lern- und Arbeitstechnik* der PQRST-Methode *(preview, question, read, self-recitation and test*) kurz zu befassen. Sie wird im Kapitel Gedächtnis vorgestellt. Eine leichte Abwandlung dieses Verfahrens, die SQ3R Methode (*survey, question, read, retrieve, reflect*, nach McDaniel, et al. 2009) können Sie im Lehrbuch von Myers, Psychologie, 2014, nachlesen.

Danksagung

Unser Dank gilt auch diesmal wieder all den vielen Menschen, die uns bei der Überarbeitung und den vielfältigen Aktualisierungen des Buches unterstützt und mitgeholfen haben, auch neuere Entwicklungen mit einzubringen. Hierzu zählen u. a. die anfängliche Mitarbeit von Frau Prof. Dr. Andrea Kiesel, Universität Heidelberg, bei der Planung und Formulierung einzelner Kapitel sowie das hohe beratende Engagement von Frau Prof. Dr. Pienie Zwitserlood, Universität Münster bei der Neufassung und Mitgestaltung des Kapitels zur kognitiven Sprachpsychologie. Unerwartete Anregungen und Hinweise erhielten wir auch von studentischer Seite, so von Herrn Christoph M. J. Klebl hinsichtlich der neueren philosophischen Debatte zur Bewusstseinsproblematik. Daneben gilt jedoch unser besonders herzlicher Dank dem Verlagslektorat von Frau Marion Krämer sowie der Projektmanagerin Frau Anja Groth für die so gute Zusammenarbeit bei den verschiedenen Koordinationstätigkeiten sowie Absprachen bei den weitgehend vorgegebenen Layoutfestlegungen. Ferner möchten wir auch Herrn Dr. Lay für die Erstellung der weiteren Graphiken danken sowie Frau Regine Zimmerschied für das zusätzliche Korrekturlesen. Ihnen allen gilt unser Dank.

Christian Becker-Carus, Mike Wendt

Vorwort zur 1. Auflage

Nahezu stürmisch – im Vergleich zu früheren Jahren – hat sich das Wissens- und Forschungsfeld der Allgemeinen Psychologie erweitert und verändert. Allem voran wird derzeit die wissenschaftliche Psychologie von den Fortschritten der kognitiven Neurowissenschaften beflügelt. Doch nicht minder eindrucksvoll sind die Wissenserweiterungen durch evolutionäre, genetische oder biopsychologische Erkenntnisse und Methoden, aber auch durch die wachsende Erforschung der transkulturellen und Geschlechter übergreifenden Diversität. Sie alle aber bauen auf einem über Jahre gewachsenen Wissensfundus der „Allgemeinen Psychologie" auf.

Das vorliegende *Lehrbuch der Allgemeinen Psychologie I und II* richtet sich vornehmlich an die Studierenden des Diplomstudiengangs Psychologie zur Abdeckung (und Bereitstellung) des erforderlichen Wissens und Verstehens für die Prüfungen in Allgemeiner Psychologie I und II, die – an den einzelnen Universitäten unterschiedlich zugeordnet – die folgenden Bereiche umfassen:

(I) Biologisch/physiologische Grundlagen, Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und Kognition, sowie
(II) Lernen, Gedächtnis und Denken mit Wissensrepräsentation, ferner Motivation und Emotion.

Das Lehrbuch eignet sich sicher auch für Studierende der Medizin, Pädagogik und der Sozialwissenschaften, sowie den interessierten Laien, da es keine besonderen Fachkenntnisse voraussetzt. Es wendet sich schließlich auch an Experten, die sich über ihr eigenes Forschungsgebiet hinaus einen Überblick über den Forschungs- und Theoriestand in den einzelnen Teilgebieten der Allgemeinen Psychologie verschaffen wollen (vergleiche hierzu Abschn. 1.5.5, Teilgebiete der Psychologie).

Seinen Ausgang nahm das Textbuch von den Erfahrungen, die ich in mehr als einem Jahrzehnt in Vorlesungen, Übungen und Seminaren mit meinen Studenten machte, und von denen auch der Wunsch nach einem ähnlich gestalteten Lehrbuch der Allgemeinen Psychologie kam. Dies wirklich in Angriff zu nehmen, bedurfte es aber erst eines ernsten Anstoßes durch das Lektorat eines Verlages, eben des Spektrum Akademischen Verlages, der mich zu diesem Schritt ermutigte. Meine Intention war es dabei, ein Lehrbuch zu schreiben/entwickeln, das nicht nur ein solides Basiswissen für das Grundstudium (aber auch den zweiten Studienabschnitt) vermittelt, sondern das auch interessant, visuell anschaulich und reich bebildert ist, das möglichst gut verständlich und zugleich sachlich fundiert sein sollte, und das auch nach Studienabschluss zum Nachschlagen geeignet ist.

So richtet sich das Buch vornehmlich an solche Leser, die an einem nachhaltigen Wissen und übergreifenden Verständnis (auch von Details) interessiert sind. Dem dienen die Anregungen zum eigenen Nachdenken und Reflektieren, die – wie auch die verschiedenen Querverweise zur Vernetzung des Wissens – zugleich eine stabilere Gedächtnisverarbeitung unterstützen.

Und: Allgemeine Psychologie befasst sich ja mit faszinierenden Einsichten in die Wunder und Phänomene auch des eigenen Lebens, Erlebens, Empfindens und Handelns, die den forschenden und handelnden Psychologen (und nicht nur diesen) inspirieren, alltagspsychologische Sichtweisen und auch Vorurteile zu hinterfragen, und auch unser emotionales Erleben besser zu verstehen und zu gestalten.

Strukturierung

Wie Ihnen schon beim ersten Durchblättern aufgefallen sein wird, enthält das Buch zahlreiche **Abbildungen**, die den Stoff strukturieren und illustrieren helfen. Weiterhin gibt es **Exkurse** zur Wissensvertiefung. Hier werden zum Beispiel einzelne spezifische Untersuchungen genauer erörtert, Schlüsselbeobachtungen oder Belege für verschiedene Argumentationen beigebracht, Detailfragen diskutiert oder auch einfache Selbstexperimente beschrieben, die im Laufe des Textes weiter behandelt werden. Sie ermöglichen zum Teil auch weiterreichende Einblicke in differenziertere Forschungsansätze der Allgemeinen Psychologie. So wird versucht, auch dem Facettenreichtum der Allgemeinen Psychologie gerecht zu werden, ohne die grundlegenden anerkannten Lehrinhalte (der Prüfungen) aus dem Auge zu verlieren (vergleiche hierzu Abschn. 1.5.5 Teilgebiete der Psychologie). Besondere **Merksätze** sind durch ein „! " gekennzeichnet und erleichtern das Strukturieren und Behalten wichtiger Ergebnisse, Tatsachen oder Definitionen.

Schlüsselbegriffe

werden im Text halbfett, andere wichtig erscheinende oder betonte Begriffe kursiv hervorgehoben. Erstere werden zugleich auch mit ihren **angloamerikanischen Termini** eingeführt, um den Bezug zur vielfach auch englischsprachigen (internationalen) Fachliteratur zu erleichtern. Über das ausführliche **Sachregister** sind die Stellen, an denen diese Begriffe definiert beziehungsweise eingeführt werden, leicht auf zu finden – wobei der Index auch als Wortsammlung zur Wissensüberprüfung angelegt ist. Das **Namensregister** ermöglicht das Aufsuchen der Autoren wie auch die Literatursuche im Text.

Für die vertiefte Befassung stehen am Ende jedes Kapitels **kommentierte Angaben** zu weiterführender Literatur zur Verfügung, und im ausführlichen **Literaturverzeichnis** ist jedes Literaturzitat mit der Angabe versehen, in welchem Kapitel es angeführt wird.

Als eine Art didaktischer roter Faden durchzieht das Buch die Verknüpfung zwischen dem (allgemein-) psychologischen Fachwissen und den biophysiologisch-neurowissenschaftlichen Grundkenntnissen, sowie den jeweiligen methodischen Grundlagen, die erst zusammengenommen ein nachhaltiges Verständnis der Zusammenhänge ermöglichen – entsprechend der modernen Sicht konvergenter Forschung, die verschiedene psychologische Ansätze zur Erforschung spezifischer Fragestellungen integriert. Wenngleich die fortlaufenden Kapitel in gewissem Umfang inhaltlich aufeinander aufbauen, können einzelne Kapitel auch für sich herausgegriffen werden.

Bei der Darstellung eines so umfangreichen Wissensgebietes wie dem der heutigen Allgemeinen Psychologie ist es unausweichlich, dass ein Lehrbuch nur eine wie auch immer geartete selektive **Auswahl** aus dem Gesamtbereich des Faches bieten kann, zumal, wenn es in seinem Umfang bei einer Prüfungsvorbereitung noch bewältigt werden können soll. Wie der Inhaltsübersicht zum Aufbau des Buches zu entnehmen ist, werden alle im Fächerkanon der Rahmenprüfungsordnung vorgesehenen Teilgebiete behandelt, doch mag es innerhalb derselben unterschiedliche Gewichtungen einzelner Schwerpunkte geben, die, wie bei den Lehrenden selbst, so auch hier, von den persönlichen Interessen und Bewertungen mit beeinflusst werden.

So ist im Kapitel Bewusstsein und Aufmerksamkeit der Abschnitt zu Schlaf, Traum und zirkadianer Rhythmik vielleicht etwas unproportional umfangreich ausgefallen – obwohl ich mich zurückgehalten habe. Doch scheint mir gerade hier heute ein bemerkenswertes Faktenwissen verfügbar – zum Beispiel über die Rhythmizität der Aufmerksamkeitsprozesse, Bewusstseinszustände oder die Gedächtniskonsolidierung. Ansonsten sind die zum Teil durchaus unterschiedlichen Umfänge – ähnlich dem anderer zusammenfassender Lehrbücher der Allgemeinen Psychologie – wesentlich von der Menge und allgemeinen Bedeutung des vorhandenen Faktenwissens mitbestimmt, so dass auch hier den Bereichen der Wahrnehmung im weitesten Sinne sowie den Bereichen von Lernen und Gedächtnis ein umfangreicherer Raum zugekommen ist. Die heute moderne Sprachpsychologie, die hier weniger prominent erscheinen mag, ist aber als Teil der Kognitions- und Neurowissenschaften mit sehr unterschiedlichen methodischen Ansätzen, verteilt auch in den Kapiteln zum Thema Denken, Lernen und Gedächtnis zu finden (vergleiche Inhaltsübersicht).

Mein Dank

gilt den vielen Menschen, die mich über die Jahre durch Ihre Teilnahme, kritische Stellungnahmen und Rat auch zu früheren Manuskriptfassungen unterstützt haben. Außer den ungenannten Kolleginnen und Kollegen, die durch Diskussion und manche Anregung zum Gelingen dieses Werkes beigetragen haben, möchte ich vor allem auch den Studentinnen und Studenten (sowie Studierenden im Alter) für ihre Fragen und konstruktiven Beiträge in Seminaren und Vorlesungen danken. Die endgültige Ausgestaltung und Überarbeitung der Texte erfolgte schließlich mit der wertvollen Unterstützung des Spektrum Akademischer Verlags. Hier gilt mein herzlicher Dank insbesondere dem Lektorat von Frau Katharina Neuser-von Oettingen, der Lektoratsassistenz durch Frau Anja Groth sowie dem gesamten Verlagsteam. Besonders und herzlich danken möchte ich meiner langjährigen Sekretärin und unermüdlichen Stütze und Mitarbeiterin, Frau Ursula Husemann, für ihre vielfältigen Hilfen beim Erstellen des Manuskriptes. Nicht zuletzt möchte ich auch meinen wissenschaftlichen Hilfskräften, Frau Martina Rottländer, Frau Andrea Huberty und Frau Carolin Schäfer für ihre sorgfältige Unterstützung bei Literaturrecherchen, Schreibarbeiten und Graphikvorbereitungen danken.

Beim Schreiben dieses Buches, wie beim Vorbereiten meiner Vorlesungen, habe ich immer wieder erlebt, dass jedes Teilgebiet, mit dem ich mich befasste, seinen besonderen Reiz auf mich ausübte, und es mir erging, wie es Goethe in seinem Faust hinsichtlich des Lebens einmal formulierte: „… und wo ihr's packt, da ist es interessant." Ich hoffe, dass die Lektüre dieses Buches, zumindest an einigen Stellen, auf Sie die gleiche Wirkung hat.

Ein solches Lehrbuch ist nie eigentlich fertig, und das nicht nur, weil die Forschung ständig weiter fortschreitet. Wenn Sie als **Dozenten** wie auch als **Studierende** Anregungen, Hinweise oder Vorschläge haben, würden wir, der Verlag und ich, uns freuen, wenn Sie uns schreiben, oder einfacher, eine E-Mail senden an meine Mailadresse: becabuch@psy.uni-muenster.de, nicht zuletzt auch, damit wir Fehlerlisten und Kommentare zu den Buchinformationen auf die **Verlagswebsite** stellen können, wo Sie dann auch fortlaufend die **Errata** und weitere Informationen finden werden.

Münster im August 2003

C. Becker-Carus

Aufbau des Buches

■■ ► **Kapitel 1: Psychologie als Wissenschaft**
befasst sich mit den grundlegenden Zielen der Allgemeinen Psychologie und ihren Verzweigungen in die auf ihr aufbauenden speziellen Teilgebiete. Dabei erfolgt zunächst eine Einführung in die (heute) in der Psychologie vertretenen **Denkungsarten**. Dies wird zur Charakterisierung exemplarisch an fünf verschiedenen Ansätzen durchgeführt, womit zugleich der Blick für die Beurteilung der später im Buch dargestellten Forschungsergebnisse geschärft werden soll.

Es folgt weiter eine Einführung in die Grundlagen und Prinzipien der Forschungsmethoden der Psychologie, die als Voraussetzung für unsere wissenschaftliche Erkenntnisgewinnung gelten. Hierbei wird ein an Kriterien der Anschaulichkeit orientierter Überblick über die wichtigsten Verfahren der Datenerhebung und -auswertung gegeben, wobei versucht wird, die so oft von Studenten beklagte Kluft zwischen den vielfach als abgehoben empfundenen „*mathematisch-statistischen Methoden*" und den eigentlich psychologischen Lehrinhalten zu überbrücken, und den Blick auf die spätestens bei den Abschussprüfungen sowie bei der Magisterarbeit benötigten Datenerhebungsverfahren und die Versuchsplanung zu eröffnen, die üblicherweise weiter in gesonderten Übungen und Seminaren eingehender behandelt werden.

■■ ► **Kapitel 2: Biologisch-physiologische Grundlagen des Verhaltens**
befasst sich sodann mit Aufbau und Funktion des Zentralnervensystems, das eine wesentliche Grundlage zum Verständnis tierischen und menschlichen Verhaltens sowie auch klinisch neuropsychologischer Störungsbilder darstellt. Zu dieser Verhaltensphysiologie gehören auch die **genetischen Grundlagen**, die später insbesondere in den Kapiteln über Lernen und Gedächtnis wieder aufgegriffen werden. Zugleich bildet das Kapitel die Verknüpfung zu den benachbarten und im Bachelor- bzw. Master-Studiengang gesondert vorgesehenen (neurowissenschaftlichen) Teilgebieten der **Biologischen Psychologie** und **Psychophysiologie**.

Die nachfolgenden Kapitel widmen sich problemäquivalent den klassischen Inhalten der **Allgemeinen Psychologie** und ihren Weiterentwicklungen. Dabei hat die Betrachtung von Prozessen der Wahrnehmung, das heißt Reizaufnahme und Reizverarbeitung mit ihren Auswirkungen auf Erleben und Verhalten, von jeher einen besonderen Stellenwert und Umfang eingenommen. Dieser Tatsache, die sich auch zumeist in der universitären Lehre widerspiegelt, trägt unsere ausführliche Darstellung der Wahrnehmung Rechnung.

■■ ► **Kapitel 3: Wahrnehmung: Grundlagen und visuelles System**
führt zunächst in die Funktionsweisen der Sinnessysteme und die subjektive Beurteilung der Reizwahrnehmungen ein. Sodann werden die wohl am ausführlichsten untersuchten Gesetzmäßigkeiten, Funktionsweisen und Täuschungen der menschlichen visuellen Wahrnehmung besprochen. Dabei werden auch die neueren Erkenntnisse zur *Neuronalen Codierung und Mustererkennung* sowie weitere neuronale Funktionen unseres Zentralnervensystems erläutert und so ein weitergehendes Verständnis des Wahrnehmungsprozesses und seiner Abhängigkeit auch von Lernprozessen und Eigenbewegungen ermöglicht. Dazu gehören Farb- und Tiefenwahrnehmung, das Objekterkennen, Bewegungswahrnehmung und Wahrnehmungslernen.

■■ In ► **Kapitel 4: Das auditorische System und weitere Wahrnehmungssysteme**
wird auf den bereits dargestellten neurophysiologischen Grundlagen fußend zunächst die Funktionsweise des Hörens dargestellt, und dann, kürzer gefasst, die von Geruch und Geschmack, Somatosensorik (haptische, Temperatur und Schmerzwahrnehmung) und die Tiefensensibilität des eigenen Körpers (Propriozeption).

■■ ► **Kapitel 5: Aufmerksamkeit und Bewusstsein**
ist ein weiteres klassisches Feld der Allgemeinen Psychologie, das die Fragen nach der Steuerung und Selektivität unserer Aufmerksamkeit (als Teilaspekt der Wahrnehmung) wie auch unser Wissen um unterschiedliche, veränderte oder krankhafte Bewusstseinszustände und Schlaf umfasst. Wir lernen die verschiedenen Mechanismen (und neuropsychologischen Korrelate) der Aufmerksamkeitssteuerung und Selektion sowie die Rolle von Bedürfnissen und Wertungen kennen. Ausführlich werden die verschiedenen Facetten des menschlichen Bewusstseins besprochen und das Problem der Bewusstwerdung erörtert. Dazu kommt abschließend eine ausführlichere Darstellung der neueren Kenntnisse über Funktion und Bedeutung des Schlafes, der zirkadianen Rhythmik (auch unseres Bewusstseins und der Aufmerksamkeit) und des Traumes.

■■ ► **Kapitel 6: Handlungssteuerung**
Entsprechend der Bedeutung der Planung und exekutiven Steuerung zielgerichteter Handlungen für das Verständnis unseres kognitiven Systems haben wir jetzt der Handlungssteuerung ein eigenes Kapitel gewidmet. Besprochen werden Steuerung, Regelung und Programmierung von einfachen Handlungsverläufen auch in Wechselwirkung zu ihren sensorischen Konsequenzen sowie Ansätze zu Mehrfachtätigkeiten, Aufgabenwechseln und der Überwachung der Handlungsdurchführung.

■■ ► **Kapitel 7: Lernen**
beschreibt die aus verschiedenen Quellen, aber vor allem aus der behavioristischen Schule hervorgegangenen Erkenntnisse und Theorien über den Vollzug des Lernens, des klassischen und operanten Konditionierens und des Imitationslernens sowie die Einflüsse von Kognition und Einsicht. Besprochen werden u. a. die Prinzipien von Chaping und Chaining sowie die Konditionierung autonomer Funktionen. Hinzu kommen die neueren Erkenntnisse über komplexes und kognitives Lernen, Einsichtlernen, implizites Lernen sowie latentes Lernen.

■■ In ► **Kapitel 8: Gedächtnis**
geht es um die weitgehend kognitionspsychologisch ausgerichtete Lern- und Gedächtnispsychologie sowie ihre neurobiologischen Grundlagen. Nach einem ersten Überblick über die verschiedenen unterscheidbaren Gedächtnissysteme beginnt die Darstellung mit einer kurzen Einführung in die Anfänge der experimentellen Gedächtnisforschung (Ebbinghaus), die für die weitere Ausdifferenzierung dieses Wissensgebietes wegweisend war. Es folgt die Darstellung der verschiedenen Gedächtnisspeicher und ihrer besonderen Funktionen bei der Informationscodierung, Speicherung und ihrem Abruf (Erinnern). Hier erfolgt auch nochmals der Brückenschlag zu den kognitiven Verarbeitungsprozessen bei der Wissensrepräsentation, dem Denken und dem Verständnis propositionaler oder hierarchischer Netzwerke.

Die aus diesen Beobachtungen und Grundüberlegungen resultierenden *Gedächtnistheorien und Lernstrategien* sowie schließlich die neueren Erkenntnisse über die *neuronalen und biopsychologischen* Abläufe bei der Gedächtnisbildung und dem Behalten runden unser Bild vom gegenwärtigen Verständnis der Gedächtnisprozesse ab.

■■ ► **Kapitel 9: Sprache**
Die Sprachpsychologie oder Psycholinguistik ist noch ein relativ junges Forschungsfeld der Allgemeinen Psychologie, das gegenwärtig einen zunehmenden Raum in den kognitiven Neurowissenschaften einnimmt, und dem jetzt ein eigenes Kapitel gewidmet ist. Dabei werden hier zunächst insbesondere die Grundfragen des Sprachverstehens und der Sprachproduktion besprochen. Die betrachteten Prozesse stehen jedoch einerseits in enger Verbindung mit den Inhalten des vorangehenden Kapitels Gedächtnis. Sie sind andererseits aber auch eng mit den kognitiven und neurophysiologischen Prozessen von Denken und Problemlösen verbunden, die im nächsten Kapitel besprochen werden.

■■ ► **Kapitel 10: Denken und Problemlösen**
Aufbauend auf dem vorangehenden Kapitel erfolgt hier eine – auch neurophysiologische Aspekte einbeziehende – Einführung in die dem Denken zugrunde liegenden Prozesse wie Wissensrepräsentation, Konzeptbildung, schlussfolgerndes, propositionales, bildhaftes Denken sowie in den Forschungsbereich des kognitiven Problemlösens.

■■ ► **Kapitel 11: Motivation und ► Kapitel 12: Emotion**
befassen sich mit zwei ebenfalls klassischen Themenbereichen der Allgemeinen Psychologie, die erlebnismäßig zwar eng miteinander verbunden sind, in der wissenschaftlichen Literatur jedoch je ihre Eigenständigkeit beanspruchen, wenngleich es auch hier Überschneidungen gibt.

Nach einer Einführung in die verschiedenen Motivationskonzepte werden im ► Kap. 11 die grundlegenden handlungssteuernden Funktionen biologischer Motivationen vor allem am zumeist verwendeten und eingehend untersuchten Beispiel der Hungermotivation sowie dem der Sexualität dargestellt, und die Rolle von Vererbung, kognitiven und Lernfaktoren erörtert. Nach einer Betrachtung der Hierarchie möglicher Motivationen wird als exemplarisches Beispiel für die Konstruktion kognitiver Motivationsmodelle das der Leistungsmotivation dargestellt.

▪▪ Das ► Kapitel 12 Emotion

bringt nach einem kurzen Umriss der frühen und neueren Emotionstheorien eine Einführung in die (derzeitige) Emotionspsychologie, bei der das Erleben der Emotion und der damit verbundenen physiologischen Reaktionen sowie der Ausdruck von Emotion und die Bedeutung kognitiver Bewertungen im Vordergrund stehen. Am Beispiel der Aggression als emotionale Reaktion (bisweilen auch als Motivation diskutiert) werden die beteiligten Hirnmechanismen sowie die Rollen von Vererbung und Umweltsozialisation diskutiert. Am Beispiel der emotionalen Stressreaktion wird abschließend das Zusammenwirken physiologisch-hormoneller Regelungen und der kognitiven Bewertung dargestellt, die insbesondere auch bei der Bewältigung von Stress und psychischen Belastungen eine eminente Rolle spielt und damit zugleich Ansätze zur therapeutischen Intervention bietet.

Nicht oder nicht ausführlich werden in diesem Lehrbuch der Allgemeinen Psychologie diejenigen Lehrinhalte behandelt, für die – wie aus dem Tabellenvergleich in Zusatztext online (Teilgebiete der Psychologie, ► Kap. 1) ersichtlich wird – im Bachelor- und Masterstudiengang eigene Prüfungsfächer und Prüfungen vorgesehen sind, auch wenn wir vielfach auf Anwendungsbezüge in solchen Gebieten wie zum Beispiel klinische Psychologie, Entwicklungspsychologie, Sozialpsychologie oder differenzielle und Persönlichkeitspsychologie hinweisen.

Schließlich sei hier **für die studentische Leserschaft** vorab schon auf eine nützliche Lern- und Lesehilfe, die *PQRST-Methode* hingewiesen, die im ► Abschn. 8.8.4 besprochen wird. Sie gilt als eine **bewährte Lern- und Gedächtnisstrategie** für das Lesen von Lehrbüchern, die Sie empfehlenswerter Weise lesen sollten, ehe Sie sich dem weiteren Text zuwenden.

Wegweiser zum Layout

Zitate erweitern den Horizont und lockern auf

Fragen zur Einführung leiten Aufmerksamkeit, führen ins Thema ein. Antworten am Kapitelende und auf der Webseite

Griffregister zur schnellen Orientierung

Definitionen wichtige Konzepte kurz definiert. Dazu Glossar zum Nachschlagen, mit engl. Übersetzung

Merksätze wichtige Textinhalte kurz charakterisiert

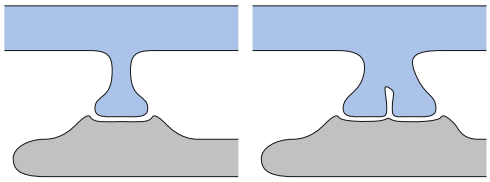
Einführender Überblick am Kapitelanfang. Das erwartet Sie

Memory is a lost art. These days we rely on our phone, iPads and computers to memorise things of our behalf, as a result we are not exercising our most important mental muscle – our Brains. (Tony Buzan (*2. Juni 1942 in London), britischer Mentaltrainer (World Memory Championships 2012))

❓ 1. Für eine Klassenarbeit in Latein haben Sie jeweils an den fünf Tagen zuvor 15 min Vokabeln gelernt. Ihre Freundin hat am Tag vor der Klassenarbeit drei Stunden gelernt. Weshalb schneiden Sie besser ab, obwohl Sie insgesamt weniger Lernzeit hatten?
2. Sie fahren mit der U-Bahn und sehen dabei mehrfach dasselbe Plakat. Je nachdem, worauf Sie gerade achten, können Sie jeweils unterschiedliche Wörter des Werbetextes lesen. Bedeutet dies, dass Sie immer nur Teile des Plakats sehen? Oder ist die Information zu kurz verfügbar, um gelesen zu werden?
3. Sie treffen einen Bekannten in der Kneipe und wollen sich seine Telefonnummer merken. Warum sind Sie in der Lage, seine fünfstellige Festnetznummer nach einmaligem Hören in Ihr Handy einzutippen, müssen jedoch bei der elfstelligen Handynummer dreimal nachfragen?
4. Für eine Klassenarbeit in Erdkunde hatten Sie vor Jahren alle Hauptstädte Afrikas gelernt. Glauben Sie, dass diese Information weiter in Ihrem Gedächtnis gespeichert ist, auch wenn Sie sich jetzt nicht daran erinnern können?
5. Ihr Freund stellt Ihnen die 15 Mitglieder seiner Fußballmannschaft vor. Weshalb können Sie sich besser an die ersten beiden Namen und die letzten drei Namen erinnern als an die dazwischen?
6. Sie und Ihre Freundin haben einen Unfall beobachtet. Wie kann es sein, dass Sie sicher sind, dass der Unfallverursacher bei Rot über die Ampel gefahren ist, während Ihre Freundin steif und fest behauptet, die Ampel sei grün gewesen?
7. Sie besuchen eine Varietéveranstaltung, in der ein Künstler 50 Begriffe, die das Publikum ihm nennt, korrekt erinnern kann. Welche Strategie ermöglicht solch eine erstaunliche Gedächtnisleistung?

8

Jedes Lernen impliziert Behalten, denn wenn wir das Gelernte nicht behalten könnten, hätten wir nichts gelernt. Und wenn wir nichts behalten würden, könnten wir aus all unseren Erfahrungen auch nichts lernen. Jeder Augenblick in unserem Leben wäre neu, alles bliebe uns fremd, wenn wir kein Gedächtnis hätten, um das Erlernte zu behalten. Wir denken und argumentieren mit erinnerten Fakten. Schon bei einem einfachen Gespräch ist es nötig, dass wir zumindest für eine kurze Zeit behalten, was uns gesagt wurde, was wir gefragt wurden. Aber auch die Kontinuität unserer Selbstwahrnehmung und unsere Selbstidentität beruhen auf der Kontinuität unserer Erinnerung und damit unserem Gedächtnis. Auch unsere Orientierung im Raum, in Gegenwart und Vergangenheit, aus der wir Erwartungen oder Vorhersagen für die Zukunft ableiten, ist nur auf der Basis unseres Gedächtnisses möglich. Der Mensch arbeitet so, wie kein anderes Lebewesen, mit einem ausgefeilten Zeitkonzept.



a vor Langzeitpotenzierung **b** nach Langzeitpotenzierung

Abb. 8.36 Verdoppelter Rezeptor. Zunächst erstreckt sich nur ein Rezeptor zum aussendenden Neuron (**a**), während es nach der Langzeitpotenzierung zu einer Verdopplung der Rezeptoren kommt (**b**), was bedeutet, dass das postsynaptische Neuron (*blau*) eine ausgeprägtere Sensibilität entwickelt hat, um die vom präsynaptischen Neuron freigesetzten Transmittermoleküle zu erfassen. (Nach einer Elektronenmikroskopaufnahme aus Toni et al. 1999)

Serieller Positionseffekt

besagt, dass die ersten (*primacy*) wie auch die letzten (*recency*) Elemente beim Lernen einer Liste von Elementen besser behalten werden als die mittleren.

Diese Beziehung, die auch für andere Lernmaterialien gilt und die als **Gesetz von Ebbinghaus** bekannt geworden ist, besagt.

Jede Vergrößerung des Lernmaterials macht eine unverhältnismäßig große Steigerung der Lernzeit notwendig (Ebbinghaus 1885).

Je größer die Ähnlichkeit zweier Listen von Lernmaterial, umso größer ist die gegenseitige hemmende Wirkung. So zeigt sich auch in der Praxis, dass zwei Vokabellisten derselben Fremdsprache stärker miteinander interferieren als Vokabellisten unterschiedlicher Sprachen oder mit einer Liste mathematischer Formeln (◘ Abb. 8.8b). Bekannt ist auch, dass die alte PIN Ihrer Bankkarte oder Ihres Handys mit der neu gelernten PIN interferiert.

Das Lernen vieler ähnlicher Elemente wird jedoch erleichtert, wenn die ähnlichen Elemente auf zwei oder mehrere Listen aufgeteilt werden, da dies die Interferenzen vermindert. Dieser **Listentrennungseffekt** geht offenbar auf die *beiläufig* miterlernte Listentrennung zurück, die ihrerseits zu verringerter Interferenz führt. Bei *Inter*listenähnlichkeit bricht die mitgelernte Listentrennung jedoch nach etwa sieben Tagen zusammen und führt zu einem starken Behaltensverlust (Interferenzen), nicht hingegen bei unterschiedlichen Listen mit nur *Intra*listenähnlichkeit (Becker-Carus 1970). Am anfälligsten gegenüber Interferenzen scheint das Kurzzeitgedächtnis zu sein, während Materialien, die bereits im Langzeitgedächtnis eingespeichert sind

Zur Erklärung der begrenzten Speicherkapazität wurden verschiedene Modellvorstellungen entwickelt; dazu gehören das Displacement-Modell, das Aktivierungsmodell und der informationstheoretische Ansatz, bei denen die neuere Ansicht eines „Arbeitsgedächtnisses" (▶ Exkurs 8.4) noch nicht in Betracht gezogen wurde. Sie werden im *Zusatztext online* kurz dargestellt.

Hinweise auf Zusatztexte online Hier erfahren Sie mehr und Ausführlicheres zum jeweiligen Thema (besonders für Masterstudiengang)

Exkurs 8.5

Genauer betrachtet: Codierung – akustisch-visuell?

Einen interessanten Beleg für die akustische Codierung visueller Elemente im Kurzzeitgedächtnis verdanken wir einer Untersuchung von Zhang und Simon (1985) aus dem chinesischen Sprachraum. Sie verwendeten für ihre Untersuchung chinesische Schriftzeichen, sogenannte Charaktere, aus denen sich – ähnlich unseren Silben – einzelne Wörter zusammensetzen. Zumeist besteht ein Wort aus zwei Schriftzeichen. Jedes Schriftzeichen hat einen klanglichen Namen, den es jedoch häufig mit anderen Schriftzeichen gemeinsam hat. Wird chinesischen Versuchspersonen nun eine Reihe von (1) unterschiedlich klingenden oder (2) gleich klingenden Schriftzeichen für kurze Zeit gezeigt (visuell), die sie anschließend in der richtigen Reihenfolge niederschreiben sollen, so zeigte sich, dass die Teilnehmer etwa sechs Charaktere richtig wiedergeben können, wenn sie alle unterschiedlich klingende Namen haben. Wenn alle verwendeten Charaktere jedoch gleich klingende Namen haben – also nicht akustisch codierbar sind –, konnten die Teilnehmer höchstens die Hälfte – also drei – Charaktere richtig wiedergeben, die sich durchaus, wie ◘ Abb. 8.13 zeigt, deutlich visuell voneinander unterscheiden. Das Ergebnis macht zugleich aber ebenfalls deutlich, dass auch eine visuelle Codierung, wenn auch häufig unvollständig, möglich ist.

Exkurs 8.8

Experiment: Gedächtnisspanne

Lesen Sie die folgende Reihe von Zufallszahlen einmal zügig durch und decken Sie sie danach sofort zu:
7 5 3 8 2 5 9 4 1 6
Versuchen Sie danach sofort, davon so viele Ziffern wie möglich in der richtigen Reihenfolge, oder auch einer anderen, niederzuschreiben.

Wiederholen Sie nun den Gedächtnistest mit der folgenden Reihe zufällig ausgewählter Buchstaben:
R M S O F P T J Z P
Wenn Sie dabei keine unerwarteten Assoziationen gebildet haben und Ihr Kurzzeitgedächtnis so arbeitet wie das der meisten Menschen, so werden Sie nun sicher nicht weniger als fünf, aber auch nicht mehr als neun Einheiten richtig erinnert haben.
Fazit: Ohne die Möglichkeit eines Rehearsal verblassen die Gedächtnisinhalte im Kurzzeitgedächtnis und gehen verloren.

Kritisch hinterfragt

Es lässt sich mit Baddeley (1997) fragen, ob es sinnvoll ist, das Langzeitgedächtnis in zwei gegensätzliche Gedächtnissysteme aufzuteilen, und sie als explizites und implizites Gedächtnis zu bezeichnen. Er argumentiert, dass es viel treffender sei, die Dichotomisierung zu vermeiden und von einem System zu sprechen, das für die Langzeiterinnerung episodischer und semantischer Inhalte verantwortlich ist, und dass das implizite Gedächtnis nicht ein gesondertes System darstellt, sondern vielmehr nur einen Bereich von Mechanismen umfasst, denen gemeinsam ist, dass sie keine erinnerbaren Anteile erzeugen. – Überlegen Sie und sammeln Sie Argumente für und gegen die unterschiedlichen Auffassungen. Ausführungen dazu finden Sie in ► Abschn. 8.6.4.
Eine ähnliche Problematik wirft die Diskussion über die Unterscheidung zwischen dem Kurzeitgedächtnis und einem Arbeitsgedächtnis auf. Haben und brauchen wir überhaupt ein KZG, gibt es hier zwei Gedächtnissysteme, oder nur ein Arbeitsgedächtnis? Oder sind beides nur Bezeichnungen für unterschiedliche Funktionen eines Systems? Es lässt sich kritisch fragen, was wissen wir belegtermaßen wirklich? Ausführungen dazu finden Sie in ► Abschn. 8.4 und Baddeley 2001.

◘ **Tab. 8.1**

Arbeitskräfteeinsatz (A)	Zuckerproduktion (Z) in Tonnen
	6000
700	
	8000
900	
	10.000
800	
	7000
1000	
	12.000
900	
	6000
1000	
	13.000
1000	
	8000

Zusammenfassung

Beim Zustandekommen einer Gedächtnisleistung lassen sich generell *drei Prozessstufen* unterscheiden: Codierung (Aufnahme der zu behaltenden Information), Speicherung (Aufbewahren über der Zeit) und Abruf (Zugreifen auf die gespeicherte Information). Erinnerungsbeeinträchtigungen können durch Fehlfunktionen auf jeder dieser Stufen hervorgerufen werden.

Gedächtnisleistungen werden zudem oftmals nach der Länge des Zeitraums unterschieden, über welchen Informationen zu behalten sind. Hier lässt sich im Groben eine Einteilung vornehmen in (1) sehr kurzzeitige Nachwirkung von Sinneseindrücken (sensorisches Gedächtnis), (2) eine durch aktives Aufrechterhalten, begrenzte Kapazität und Manipulierbarkeit der bereitgehaltenen Information

416 Abbildungen und 18 Tabellen veranschaulichen das Gelesene

Navigation mit Seitenzahl und Kapitelnummer

Exkurse: Genauer betrachtet vertiefen, erweitern Inhalte ausführlicher (für genaueres Wissen)

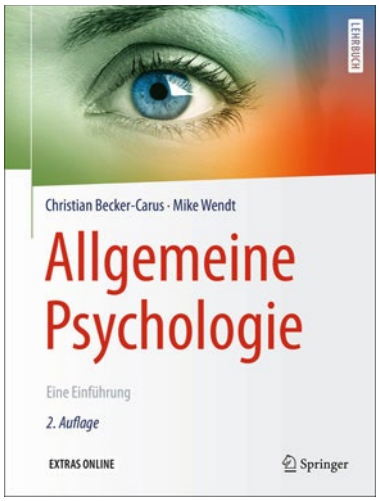
Exkurse: Experiment zeigen experimentelle Nachweise auf, begründen Verständnis tiefer

Kritisch hinterfragt kontrovers diskutierte Themen werden aufgezeigt und erörtert

Zusammenfassung Rekapitulieren Sie das Gelernte. Dazu das Themenverzeichnis am Kapitelanfang, Zusammenfassung und Denkanstöße am Kapitelende, und auf der Webseite

Website zum Buch auf **www.lehrbuch-psychologie.de** mit weiteren Materialien und Links und den *Zusatztexten online*

Lernmaterialien zum Lehrbuch Allgemeine Psychologie – Eine Einführung, 2. Aufl. im Internet – www.lehrbuch-psychologie.de

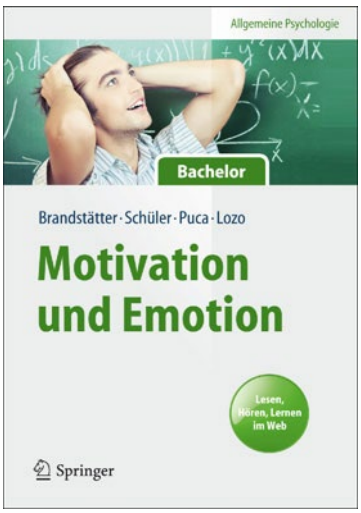


- Memocards, Fragen und Antworten: Überprüfen Sie Ihr Wissen
- Glossar: Wichtige Fachbegriffe verinnerlichen
- Zusatzinformationen: Weiterführende und vertiefende Zusatztexte
- Kapitelzusammenfassungen
- Fragen zur Wiederholung, Denkanstöße
- Dozentenmaterialien: Hilfreiche Vorlesungsfolien für Dozenten

Weitere Websites unter ► www.lehrbuch-psychologie.de



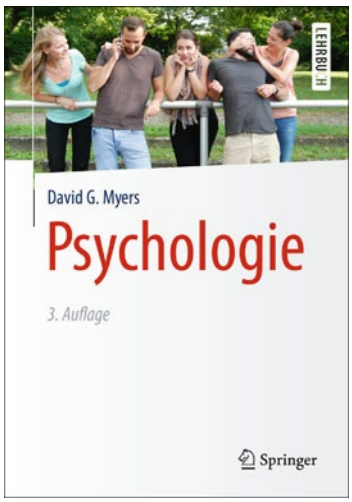
- MP3-Hörbeiträge aller Kapitel
- Kapitelzusammenfassungen
- Memocards, Verständnisfragen und Antworten
- Glossar der wichtigsten Fachbegriffe
- Dozentenmaterialien: Vorlesungsfolien und Abbildungen zum kostenlosen Download



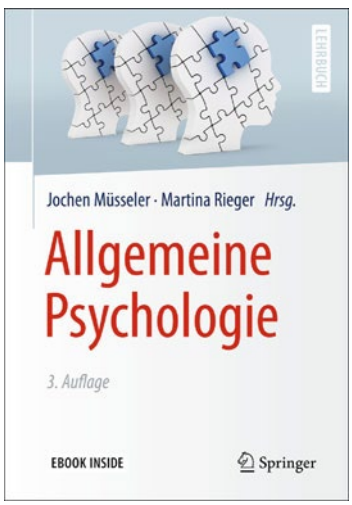
- Vollständige Kapitel im MP3-Format zum kostenlosen Download
- Memocards: Prüfen Sie Ihr Wissen
- Glossar mit über 100 Fachbegriffen
- Kontrollfragen und Antworten
- Foliensätze sowie Tabellen und Abbildungen für Dozentinnen und Dozenten zum Download



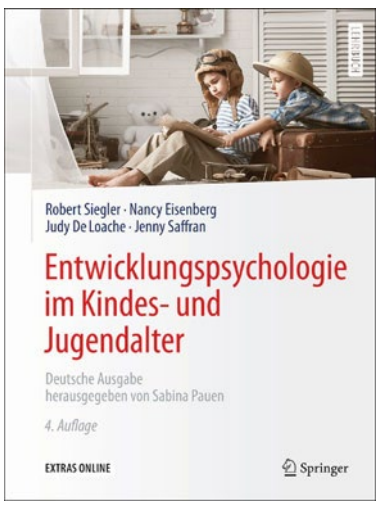
- Glossar der wichtigsten Fachbegriffe
- Kapitelzusammenfassungen
- Memocards: Prüfen Sie Ihr Wissen
- Dozenten-Materialien für die Lehre zum Download



- Memocards: Prüfen Sie Ihr Wissen
- Mit Multiple Choice Quiz und Prüfungsfragen
- Mit Psychologie-Lexikon und hilfreichen Links
- Dozenten-Materialien für die Lehre zum Download



- Glossar der wichtigsten Fachbegriffe
- Memocards: Prüfen Sie Ihr Wissen
- Foliensätze mit Tabellen und Abbildungen für Dozentinnen und Dozenten zum Download



- Glossar der wichtigsten Fachbegriffe
- Memocards: Prüfen Sie Ihr Wissen
- Dozentenmaterialien: Vorlesungsfolien und Grafiken zum Download

Einfach lesen, hören, lernen im Web – ganz ohne Registrierung!

Fragen? redaktion@lehrbuch-psychologie.de

Inhaltsverzeichnis

Über die Autoren ... XXV

1 **Psychologie als Wissenschaft** ... 1
Christian Becker-Carus, Mike Wendt
1.1 **Gegenstand und Ziele der Allgemeinen Psychologie** ... 2
1.2 **Konzepte und Perspektiven der Psychologie** ... 5
1.2.1 Der biologisch-neurophysiologische Ansatz ... 6
1.2.2 Der behavioristische Ansatz ... 7
1.2.3 Der kognitionspsychologische Ansatz ... 8
1.2.4 Der psychoanalytische Ansatz ... 9
1.2.5 Der subjektivistische (phänomenologische) Ansatz ... 10
1.2.6 Weitere Entwicklungen der Forschungsansätze ... 12
1.3 **Psychologie als wissenschaftliche Forschungsmethode** ... 12
1.3.1 Schwächen des „gesunden Menschenverstandes" ... 12
1.3.2 Overconfidence-Effekt ... 13
1.3.3 Von der wissenschaftlichen Fragestellung zur Hypothesen- und Theoriebildung ... 14
1.4 **Methodische Prinzipien der Psychologie** ... 18
1.4.1 Objektivität und Standardisierung ... 18
1.4.2 Reliabilität und Validität ... 21
1.5 **Methoden der Versuchsplanung und Datenerhebung** ... 21
1.5.1 Experimentelle Methode ... 21
1.5.2 Korrelationsmethode ... 24
1.5.3 Datenerhebungsverfahren ... 25
1.5.4 Psychologische Tests ... 27
Literatur ... 30

2 **Neurowissenschaft und Verhalten – biologisch-physiologische Grundlagen** ... 31
Christian Becker-Carus, Mike Wendt
2.1 **Signalübertragung im Nervensystem** ... 32
2.1.1 Struktur und Funktion des Nervensystems ... 33
2.1.2 Die Nervenzelle ... 34
2.1.3 Erregung und Erregungsleitung im Nervensystem ... 35
2.1.4 Nervenleitung in myelinisierten Axonen ... 36
2.1.5 Synaptische Übertragung ... 36
2.1.6 Integration erregender und hemmender Impulse ... 37
2.1.7 Neurotransmittersysteme und Neurorezeptoren ... 39
2.1.8 Drogen und synaptische Transmission ... 40
2.1.9 Nervennetze und Informationsverarbeitung ... 41
2.2 **Organisation des Nervensystems** ... 42
2.2.1 Zentralnervensystem ... 42
2.2.2 Peripheres Nervensystem ... 43
2.2.3 Verhaltenssteuerung durch das neuroendokrine System ... 44
2.3 **Struktur des Gehirns** ... 48
2.3.1 Die älteren Strukturen des Gehirns ... 49
2.3.2 Die neueren Strukturen: das Großhirn ... 52
2.3.3 Hirnasymmetrie und Sprachverarbeitung ... 55
2.3.4 Das geteilte Gehirn ... 57
2.3.5 Cerebrale Lateralisation ... 58
2.4 **Genetik und Verhalten** ... 59
2.4.1 Genetische Grundlagen ... 59
2.4.2 Chromosomenbau und Molekulargenetik ... 61
2.4.3 Vererbung, Umwelt und Verhaltensgenetik ... 63
Literatur ... 71

3 **Wahrnehmung** 73
Christian Becker-Carus, Mike Wendt
3.1 **Generelle Eigenschaften der Sinne** 75
3.2 **Phänomenales Erleben messbar machen** 77
3.2.1 Absolute Schwelle und relative Grenzschwellen 77
3.2.2 Psychophysische Funktionen 80
3.2.3 Signalentdeckungstheorie 81
3.2.4 Bezugssysteme für subjektive Urteile 83
3.3 **Visuelle Wahrnehmung** 84
3.3.1 Auge und Netzhaut 84
3.3.2 Neuronale Weiterverarbeitung der visuellen Reizinformation 89
3.3.3 Neuronale Verarbeitung höherer Zentren 90
3.3.4 Farbwahrnehmung 97
3.3.5 Räumliche Tiefe und Objektgröße 105
3.3.6 Wahrnehmungskonstanzen 111
3.3.7 Geometrisch-optische Täuschungen 118
3.3.8 Organisationsprinzipien und Objekterkennen 123
3.3.9 Bewegungswahrnehmung 137
3.3.10 Wahrnehmungslernen 144
3.4 **Schlussbetrachtung** 151
Literatur 154

4 **Auditorisches System und weitere Wahrnehmungssysteme** 157
Christian Becker-Carus, Mike Wendt
4.1 **Gehör – das auditive System** 158
4.1.1 Psychophysische Grundlagen 159
4.1.2 Aufbau und Funktion des Ohres 160
4.1.3 Hörbahn und auditorischer Cortex 166
4.1.4 Hörtheorien 168
4.1.5 Auditive Raumwahrnehmung 169
4.1.6 Auditive Wahrnehmungsorganisation 170
4.2 **Geruch und Geschmack** 170
4.2.1 Geruchswahrnehmung: Aufbau und Funktion des olfaktorischen Systems 172
4.2.2 Geschmackswahrnehmung: Aufbau und Funktion des gustatorischen Systems 179
4.3 **Somatosensorisches System** 181
4.3.1 Oberflächensensibilität (Exterozeption) 183
4.3.2 Tiefensensibilität (Propriozeption) 191
4.4 **Multimodale Wahrnehmung** 191
Literatur 194

5 **Aufmerksamkeit und Bewusstsein** 197
Christian Becker-Carus, Mike Wendt
5.1 **Aufmerksamkeit und selektive Reizverarbeitung** 198
5.1.1 Aufmerksamkeitssteuerung 198
5.1.2 Selektive Aufmerksamkeit 199
5.1.3 Dichotisches Hören und Filtertheorien 202
5.1.4 Determinanten der Reizauswahl 205
5.1.5 Aufmerksamkeitsausrichtung – top-down versus bottom-up 212
5.1.6 Selektivität durch Bedürfnisse, Werte und Bewertungen 214
5.1.7 Physiologische Korrelate der Aufmerksamkeit 217
5.2 **Bewusstsein** 223
5.2.1 Bewusstseinszustände 223
5.2.2 Bewusstsein und physiologische Aktivation 227
5.2.3 Grenzprozesse des Bewusstseins 229
5.2.4 Veränderte Bewusstseinszustände 230
5.2.5 Krankhafte Bewusstseinsveränderungen 233

5.3 **Schlaf, Traum und zirkadiane Rhythmik** 234
5.3.1 Schlafphasen und Schlafrhythmik 235
5.3.2 Zirkadiane Periodik und innere Uhren 240
5.3.3 Schlaftheorien 249
5.3.4 Träumen, Traumtheorien und REM-Schlaf 250
5.3.5 Schlafentzug und seine Auswirkung 254
Literatur 257

6 **Handlungssteuerung** 263
Christian Becker-Carus, Mike Wendt
6.1 **Physiologische Grundlagen der Motorik** 265
6.1.1 Messung motorischer Aktivität 265
6.2 **Steuerung, Programmierung und Regelung** 265
6.3 **Wechselwirkung zwischen Handlung und Wahrnehmung** 269
6.3.1 Reiz-Reaktions-Kompatibilität 269
6.3.2 Sensorische Handlungskonsequenzen als Handlungsziele 271
6.4 **Mehrfachtätigkeiten/Doppelaufgaben** 272
6.4.1 Theorien der Aufteilung zentraler Verarbeitungskapazität (*graded capacity sharing*) 275
6.4.2 Theorien multipler Ressourcen 275
6.4.3 Theorien zentraler Engpässe und die Psychologische Refraktärperiode (PRP) 276
6.4.4 Crosstalk-Theorien 277
6.5 **Exekutive Funktionen/Kognitive Kontrolle** 279
6.5.1 Aufrechterhalten aufgabenrelevanter Informationen 281
6.5.2 Umstellung zwischen Aufgaben 281
6.5.3 Handlungsüberwachung und -regulation 284
Literatur 287

7 **Lernen** 291
Christian Becker-Carus, Mike Wendt
7.1 **Aspekte des Lernens** 292
7.1.1 Zur Definition des Begriffs „Lernen“ 293
7.1.2 Der Lernprozess 293
7.2 **Habituation und Sensitivierung** 294
7.3 **Klassische Konditionierung** 296
7.3.1 Gesetzmäßigkeiten der klassischen Konditionierung 298
7.3.2 Akquisition oder Erwerb 299
7.3.3 Generalisation und Diskrimination 300
7.3.4 Extinktion (Löschung) und Spontanerholung 304
7.3.5 Anwendungsbeispiele 306
7.3.6 Kognitive Faktoren und neuere Entwicklungen 309
7.3.7 Modelle klassischer Konditionierung 312
7.3.8 Biologische Einschränkungen 313
7.3.9 Neuronale Basis elementarer Lernprozesse und *Aplysia*-Modell 313
7.4 **Operante Konditionierung** 317
7.4.1 Thorndikes Gesetz des Effekts 317
7.4.2 Skinners experimenteller Ansatz 318
7.4.3 Generalisierte Verstärker und Verstärkerpläne 320
7.4.4 Konditionierung autonomer Funktionen und Biofeedback 329
7.4.5 Kognitive Faktoren, Kontrolle und Erwartung 329
7.4.6 Biologische Einschränkungen 331
7.5 **Komplexes und kognitives Lernen** 335
7.5.1 Einsichtslernen 335
7.5.2 Implizites Lernen, Lernen von Fertigkeiten 336
7.5.3 Latentes Lernen und kognitive Landkarten 340
7.6 **Imitationslernen** 342
7.6.1 Komplexe soziale Lernprozesse 342

7.6.2 Grundprinzipien des Imitationslernens ... 343
7.6.3 Wie wird man zum Modell? ... 345
7.6.4 Modelllernen in der Praxis ... 345
Literatur ... 349

8 **Gedächtnis** ... 353
Christian Becker-Carus, Mike Wendt
8.1 **Gedächtnisprozesse und Gedächtnissysteme** ... 355
8.1.1 Phasen des Gedächtnisprozesses ... 355
8.1.2 Die Gedächtnissysteme im Überblick ... 356
8.2 **Methoden und Befunde der frühen experimentellen Gedächtnisforschung** ... 357
8.2.1 Ersparnismethode ... 357
8.2.2 Massives und verteiltes Lernen ... 358
8.2.3 Reproduzieren oder Wiedererkennen ... 358
8.2.4 Umfang des Lernstoffes ... 359
8.2.5 Positionseffekte ... 359
8.2.6 Differenzierung des Lernmaterials ... 359
8.2.7 Interferenzphänomene ... 360
8.3 **Das sensorische Gedächtnis** ... 361
8.4 **Das Arbeitsgedächtnis/Kurzzeitgedächtnis (KZG)** ... 364
8.4.1 Encodierung (*encoding*) im KZG/Arbeitsgedächtnis ... 365
8.4.2 Speicherung und Speicherkapazität im Kurzzeitgedächtnis ... 368
8.4.3 Verarbeitung im KZG/Arbeitsgedächtnis ... 368
8.4.4 Abruf von Arbeitsgedächtnisinhalten ... 370
8.5 **Das Langzeitgedächtnis** ... 370
8.5.1 Encodierung ... 370
8.5.2 Konsolidierung ... 373
8.5.3 Speicherung im Langzeitgedächtnis ... 373
8.5.4 Abruf aus dem Langzeitgedächtnis ... 379
8.5.5 Ursachen des Vergessens ... 382
8.6 **Wie viele Gedächtnisse haben wir? Unterschiedliche Gedächtnistheorien** ... 386
8.6.1 Zwei-Speicher Modelle ... 387
8.6.2 Theorie der Verarbeitungstiefe ... 388
8.6.3 Theorie des aktivierten Langzeitgedächtnisses ... 389
8.6.4 Explizites und implizites Gedächtnis ... 389
8.6.5 Episodisches und semantisches Gedächtnis ... 394
8.7 **Konstruktives Gedächtnis** ... 395
8.7.1 Inferenzen als konstruktive Prozesse ... 396
8.7.2 Stereotype ... 397
8.7.3 Schemata ... 397
8.8 **Gedächtnisverbesserung und Lernstrategien** ... 399
8.8.1 Chunking als Behaltensstrategie ... 400
8.8.2 Bildhafte Vorstellung und räumliche Zuordnung ... 401
8.8.3 Kognitive Elaboration ... 403
8.8.4 PQRST-Methode ... 405
8.9 **Neurobiologische Basis des Gedächtnisses** ... 405
8.9.1 Zellverbände und reverberatorische Neuronenkreise ... 406
8.9.2 Engramme als Aktivitätsmuster im Zentralnervensystem (Kohärenz) ... 410
8.9.3 Langzeitspeicherung und Konsolidierung ... 410
8.9.4 Gedächtniskonsolidierung und intrazelluläre Proteinbiosynthese ... 412
Literatur ... 417

9 **Sprache** ... 421
Christian Becker-Carus, Mike Wendt
9.1 **Sprache und Sprachebenen** ... 422
9.1.1 Grundeinheiten der Sprache ... 422

9.1.2 Sprachliche Form und semantischer Inhalt ... 424
9.2 **Aspekte und Ebenen des Sprachsystems** ... 425
9.2.1 Sprachverstehen ... 425
9.2.2 Sprachproduktion ... 426
9.3 **Laut- und Wortverarbeitung** ... 426
9.3.1 Worterkennung – Was sind Wörter? ... 426
9.3.2 Theorien zur Worterkennung ... 428
9.3.3 Auditive Worterkennung ... 428
9.3.4 Visuelle Worterkennung ... 431
9.4 **Satzverarbeitung/Satzverstehen** ... 432
9.4.1 Strukturelles/syntaktisches Wissen ... 432
9.4.2 Semantisches Wissen ... 433
9.4.3 Pragmatisches Wissen ... 433
9.4.4 Modelle der Satzverarbeitung ... 433
9.4.5 Serielle vs. parallele Verarbeitung ... 435
9.4.6 Neurokognitive Aspekte ... 435
9.5 **Textverarbeitung** ... 437
9.6 **Wortproduktion und Sprachproduktion.** ... 438
9.6.1 Konzeptualisierung ... 438
9.6.2 Formulierung ... 440
9.6.3 Artikulation ... 440
9.6.4 Hörerbezug ... 441
9.7 **Sprachentwicklung** ... 442
9.7.1 Stufen des Spracherwerbs ... 442
9.7.2 Der Erwerb grammatikalischen Wissens ... 443
Literatur ... 448

10 **Denken, Problemlösen, Entscheiden** ... 451
Christian Becker-Carus, Mike Wendt
10.1 **Propositionales Denken und Wissensrepräsentation** ... 452
10.1.1 Unterschiede der Kategorisierung ... 454
10.1.2 Konzepterwerb ... 455
10.2 **Bildhaftes Denken** ... 455
10.2.1 Mentale Rotation ... 457
10.2.2 Visuelles Abtasten ... 458
10.2.3 Kognitive Landkarten ... 458
10.3 **Neuronale Basis des propositionalen und des bildhaften Denkens** ... 458
10.3.1 Neuropsychologie bildhaften Denkens ... 458
10.3.2 Neuropsychologie des propositionalen Denkens ... 460
10.4 **Schlussfolgerndes Denken (induktiv – deduktiv)** ... 462
10.4.1 Deduktives Denken ... 462
10.4.2 Induktives Denken ... 464
10.5 **Problemlösen: Grundbegriffe und Strategien** ... 466
10.5.1 Auswahl von Operatoren ... 467
10.5.2 Problemrepräsentation ... 473
10.6 **Entscheiden, Grundbegriffe und Strategien** ... 475
10.6.1 Strukturen von Entscheidungssituationen ... 475
10.6.2 Typen von Entscheidungstheorien ... 475
10.6.3 Risikobereitschaft ... 476
10.6.4 Prospekt Theorie ... 476
10.6.5 Rahmungseffekte, Framing ... 477
10.6.6 Phasen der Entscheidungsprozesse ... 478
10.6.7 Komplexe Entscheidungsfindung ... 478
10.6.8 Emotionale Faktoren ... 479
Literatur ... 483

11 **Motivation** 485
Christian Becker-Carus, Mike Wendt
11.1 **Grundbegriffe der Motivation und theoretische Ansätze** 486
11.1.1 Der instinkttheoretische und ethologische Ansatz 487
11.1.2 Psychoanalytisch-triebtheoretischer Ansatz 489
11.1.3 Behavioristisch-biopsychologische Ansätze 490
11.1.4 Kognitive und handlungstheoretische Ansätze 491
11.2 **Grundlegende Motivationen** 494
11.2.1 Homöostatische und nichthomöostatische Motivation 494
11.2.2 Temperaturhomöostase 496
11.2.3 Hungermotivation und Homöostaseregelung 496
11.3 **Steuernde Motivationsfaktoren** 502
11.3.1 Motivationszentren des Hypothalamus 502
11.3.2 Kognitive Umweltfaktoren der Hungermotivation 506
11.3.3 Lernfaktoren bei Geschmackspräferenzen 507
11.3.4 Genetische Faktoren der Hungermotivation 507
11.3.5 Wirkungsgefüge der Hungermotivation 509
11.4 **Geschlecht und Sexualität** 510
11.4.1 Sexuelle Differenzierung 511
11.4.2 Anreize und situative Bedingungsfaktoren 513
11.4.3 Der sexuelle Reaktionszyklus 515
11.4.4 Erfahrung und kulturelle Einflüsse (kulturbedingte Einflüsse) 517
11.4.5 Sexuelle Skripts 518
11.4.6 Anschlussbedürfnis und Bindungsverhalten 518
11.4.7 Neugier- und Explorationsverhalten 520
11.5 **Kognitive Motivationsmodelle** 521
11.5.1 Hierarchie der Motive 522
11.5.2 Leistungsmotivation 522
11.5.3 Theorie des leistungsorientierten Verhaltens 525
11.5.4 Machtmotivation 526
11.5.5 Motivation durch Zielsetzung 528
11.5.6 Attribution und Motivation 529
11.5.7 Intrinsische und extrinsische Motivation 530
Literatur 534

12 **Emotion** 539
Christian Becker-Carus, Mike Wendt
12.1 **Emotion und Motivation** 540
12.1.1 Emotionale Reaktionsweisen: Komponenten der Emotion 540
12.1.2 Funktionale Bedeutung von Emotionen 541
12.1.3 Emotion und Erregung (physiologische Ebene) 542
12.2 **Frühe Theorien der Emotion** 543
12.2.1 James-Lange-Theorie 543
12.2.2 Cannon-Bard-Theorie 544
12.2.3 Lindsleys Aktivationstheorie 545
12.2.4 Emotion und emotionale Erregung 545
12.3 **Kognition und Emotion (kognitive Ebene)** 545
12.3.1 Zwei-Komponenten-Theorie von Schachter und Singer 546
12.3.2 Kognitive Bewertungstheorien 549
12.3.3 Emotion ohne Kognition 549
12.4 **Emotionaler Ausdruck (motorische Ebene)** 551
12.4.1 Universalität des Ausdrucks und seine kommunikative Funktion 551
12.4.2 Ausdruckslokalisationen im Gehirn 552
12.4.3 Wirkungen des emotionalen Gesichtsausdrucks: Facial-Feedback-Hypothese 553
12.4.4 Ausdrucksphysiologie 554
12.5 **Aggression als emotionale Reaktion** 554

12.5.1 Mechanismen der Aggression 554
12.5.2 Manipulation aggressiver Emotion 555
12.6 **Angst als emotionale Reaktion** 558
12.6.1 Biologische Grundlage der Angst 558
12.6.2 Erlernte Angst 558
12.7 **Emotionaler Stress** 558
12.7.1 Stress-Reaktionsmechanismen 559
12.7.2 Kognitive Bewertung 559
12.7.3 Allgemeines Anpassungssyndrom 561
12.7.4 Konzepte der Stressverarbeitung 562
12.8 **Facetten der Emotion – ein Resümee** 563
Literatur 566

Serviceteil 569
Glossar 570
Stichwortverzeichnis 585

Über die Autoren



Christian Becker-Carus ist Professor Emeritus für Psychologie an der Universität Münster, wo er seit 1985 bis zu seiner Emeritierung Direktor des Instituts für Allgemeine und Angewandte Psychologie war. Er war Leiter des bereits in Tübingen aufgebauten ersten psychophysiologischen Schlaflabors Deutschlands. Als promovierter Biologe und habilitierter Psychologe hat er seit den frühen Siebzigerjahren Forschungsprojekte zur Psychophysiologie geleitet sowie Allgemeine Psychologie auch vor dem Hintergrund ihrer Anwendung in der Schul- und Hochschulpädagogik in Forschung und Lehre vertreten, unter anderem am Max-Planck-Institut für Psychiatrie in München, an den Universitäten Hamburg, Regensburg, Tübingen, Münster und der State University of New York. 2009 erhielt er den Traumpreis der Deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM). Becker-Carus arbeitete im Beirat der Zeitschriften *Natur und Kosmos* sowie *Somnologie* mit, ist Herausgeber der Buchreihe *Stress- und Schlafforschung*, ständiger Mitarbeiter zweier Psychologie-Lexika, Autor zahlreicher Zeitschriften- und Buchpublikationen und Mitglied führender Wissenschaftlicher Gesellschaften.



Mike Wendt ist Professor für Allgemeine Psychologie an der Medical School Hamburg, Fakultät für Humanwissenschaften. Er hat diverse Forschungsarbeiten zu Themen der kognitiven Psychologie und kognitiven Neurowissenschaft verfasst und befasst sich insbesondere mit Fragen der exekutiven Steuerung und Kontrolle mentaler Prozesse. Inhalte der Allgemeinen Psychologie lehrte er auch an der Universität Hamburg und an der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg.

Psychologie als Wissenschaft

Christian Becker-Carus, Mike Wendt

1.1 Gegenstand und Ziele der Allgemeinen Psychologie – 2

1.2 Konzepte und Perspektiven der Psychologie – 5

1.2.1 Der biologisch-neurophysiologische Ansatz – 6

1.2.2 Der behavioristische Ansatz – 7

1.2.3 Der kognitionspsychologische Ansatz – 8

1.2.4 Der psychoanalytische Ansatz – 9

1.2.5 Der subjektivistische (phänomenologische) Ansatz – 10

1.2.6 Weitere Entwicklungen der Forschungsansätze – 12

1.3 Psychologie als wissenschaftliche Forschungsmethode – 12

1.3.1 Schwächen des „gesunden Menschenverstandes" – 12

1.3.2 Overconfidence-Effekt – 13

1.3.3 Von der wissenschaftlichen Fragestellung zur Hypothesen- und Theoriebildung – 14

1.4 Methodische Prinzipien der Psychologie – 18

1.4.1 Objektivität und Standardisierung – 18

1.4.2 Reliabilität und Validität – 21

1.5 Methoden der Versuchsplanung und Datenerhebung – 21

1.5.1 Experimentelle Methode – 21

1.5.2 Korrelationsmethode – 24

1.5.3 Datenerhebungsverfahren – 25

1.5.4 Psychologische Tests – 27

Literatur – 30

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Becker-Carus, M. Wendt, *Allgemeine Psychologie,* DOI 10.1007/978-3-662-53006-1_1

1

Glücklich ist, wer die Ursachen der Dinge erkennen kann.
(Virgil, römischer Dichter)

Die Allgemeine Psychologie in ihrer heutigen Form ist Teil eines multidisziplinären Forschungsprogramms, das man wohl am besten mit dem Begriff kognitive Neurowissenschaften beschreiben kann.
(Spering und Schmidt 2008)

1. Wissen Sie, wie es kommt, dass verschiedene Menschen, die gemeinsam dieselbe Situation erlebt oder beobachtet haben, danach bisweilen doch ganz unterschiedliche Berichte darüber abgeben? Welche Gründe kennen Sie?
2. Welche Wege (Ansätze) der psychologischen Erkenntnisgewinnung kennen Sie?
3. Wie lässt sich das vorrangige Ziel des Behaviorismus charakterisieren, und womit befasst er sich fast ausschließlich?
4. Kennen Sie das Gesetz der kausalen Determiniertheit und die Regeln der Beweisführung?
5. Was bedeutet kognitive Wende in der Psychologie?

Als wissenschaftliche Disziplin ist die Psychologie erst gut ein Jahrhundert alt, dennoch hat sie – mit Ebbinghaus (1908) gesprochen – „eine lange Vergangenheit, aber nur eine kurze Geschichte". Vielfach wird der Beginn der modernen quantitativ messenden wissenschaftlichen Psychologie an dem Datum der Eröffnung des ersten psychologischen Laboratoriums der Welt durch Wilhelm Wundt im Jahr 1879 in Leipzig festgemacht. Die Begründung der Psychologie als einer naturwissenschaftlichen Disziplin wird vielfach auch in der Veröffentlichung der Hauptwerke von Herbart (*Lehrbuch zur Psychologie*, 1816), Fechner (*Elemente der Psychophysik*, 1860) und Wundt (*Grundzüge einer physiologischen Psychologie*, 1893) gesehen.

Bis zum 19. Jahrhundert war die Psychologie als „Lehre von der Seele" Teilgebiet der Philosophie (Wundt war von Hause aus Philosoph), wo sie eine weit längere Geschichte hat, deren Ursprünge sich schon im alten China finden, und die sich andererseits bis nach Altägypten ins dritte Jahrtausend vor Christi verfolgen ließen (Jacobsohn 1952, zit. n. Doucet, 1971). Als „Lehre von der Seele" wird die Psychologie auf die Antike zurückgeführt, insbesondere auf die Schriften der griechischen Denker Thales von Milet, Anaximander, Demokrit, Epikur, Platon und Aristoteles. Das Wort **Psychologie**, das jedoch erst in der Zeit des Humanismus zu Beginn des 18. Jahrhunderts üblich wurde (Helmann 1959), leitet sich vom griechischen *psyche* („Seele") und *logos* („Wort", „Kunde", „Lehre") ab. Es wird entsprechend unterschiedlich übersetzt mit „Wissenschaft von der Seele", „Seelenkunde" oder „Seelenlehre". Aus dieser Zeit stammt auch das charakteristische Werk *Psyche, Entwicklungsgeschichte der Seele* von Carus (1846; Leibarzt von Johann Wofgang von Goethe), in welchem er bemerkenswert schreibt: Der Schlüssel zur Erkenntnis vom Wesen des bewussten Seelenlebens liegt in der Region des Unbewussten – in das wir periodisch jede Nacht zurückkehren.

Seit Aristoteles (384–322 v. Chr.) mit 55 Jahren seine berühmte Schrift *Über die Seele* (*De anima, Thesi psyche*) publizierte, die auch als erstes und wichtigstes Lehrbuch der Psychologie bezeichnet wird (Hofstätter 1964), haben sich die Vorstellungen von der Seele und damit die Bedeutung des Seelenbegriffs – auch noch in der neuzeitlichen Fachsprache – immer wieder gewandelt (▶ Exkurs 1.1).

Vom Beginn des 19. Jahrhunderts an verselbstständigte sich die Psychologie zu einer eigenen Disziplin zunächst innerhalb der Philosophie unter gleichzeitig fortschreitender Aufsplitterung in methodisch und thematisch *unterschiedliche Schulrichtungen* beziehungsweise Unterdisziplinen. Neben der durch Wundt mit seinem Laboratorium begründeten naturwissenschaftlich orientierten, experimentellen und messenden Psychologie blieben weiterhin eher phänomenologisch orientierte Richtungen bestehen, die mit Namen wie Wilhelm Dilthey, Franz Brentano, Ludwig Klages oder Karl Jaspers verbunden sind. So fällt es natürlich auch schwer, eine einheitliche und allseits akzeptierte *Definition* dessen zu geben, was Psychologie ist. Wir zitieren zwei solcher Versuche:

Psychologie

Psychologie ist die Wissenschaft von den Formen und Gesetzmäßigkeiten des Erlebens und Verhaltens und ihrer Deutung (Neuer Brockhaus 1975).
Psychologie ist das wissenschaftliche Studium von Verhalten und mentalen Prozessen (Atkinson 2008, zit. n. Nolen-Hoeksema et al. 2014).

1.1 Gegenstand und Ziele der Allgemeinen Psychologie

Die Bezeichnung *Allgemeine Psychologie* steht für eine *Teildisziplin* des Gesammtbereichs Psychologie und umfasst keineswegs, wie manchmal missverstanden wird, die gesamte Psychologie. Der Begriff *Allgemeine Psychologie* bezeichnet vielmehr ihren universalistischen Ansatz: Sie fragt nach dem, was Menschen generell (als Gattungswesen) gemeinsam ist, ohne sich damit zu befassen, was Menschen unterscheidet. Sie interessiert sich für die Prozesse und Mechanismen, in denen psychische Vorgänge ablaufen.

So können Universalismus und Funktionalismus als zentrale Leitideen der allgemeinpsychologischen Forschung gelten, wobei hinter der Allgemeinen Psychologie die Idee einer universalistisch gedachten psychologischen Funktionslehre steht. Damit umfasst die Allgemeine Psychologie keineswegs ein klar umgrenztes und in sich einheitliches Wissens- und Forschungsgebiet (Müsseler 2008), vielmehr können die Schwerpunkte in den einzelnen Lehrbüchern oder Prüfungsordnungen durchaus variieren. Etwas eingeschränkter sehen Spering und Schmidt (2008) das Ziel der Allgemeinen Psychologie darin, das kognitive System des Menschen zu beschreiben und zu erklären. Doch wird der Forschungs- und Gegenstandsbereich der Allgemeinen Psychologie meistens umfassender gesehen, indem er die beiden großen Felder des Erlebens und des Verhaltens (mit seinen kognitiven Implikationen) umfasst. Allgemeine Psychologie ist danach ein Teilgebiet der Psychologie, das sich mit den allgemeinen Grundlagen und psychischen Funktionen des Menschen befasst. So kann definiert werden:

Allgemeine Psychologie

Die Allgemeine Psychologie ist die Wissenschaft, die sich mit den allgemeingültigen Gesetzmäßigkeiten des Erlebens und Verhaltens von Organismen, speziell des Menschen, sowie deren Ursachen und Wirkungen befasst.

Exkurs 1.1

Genauer betrachtet: Das Leib-Seele-Problem

Das Leib-Seele-Problem, die uralte und immer wieder neu bearbeitete Frage nach der Beziehung und dem Zusammenhang von leiblich-körperlicher (physischer) Wirklichkeit und der erlebten seelisch-geistigen (mentalen) zumeist immateriell (unkörperlich) gedachten Wirklichkeit, ist auch heute nach wie vor aktuell. Aus heutiger Sicht stellt sich dieses alte Problem als aktuelle Frage: Wie lässt sich zugleich dem offensichtlichen Zusammenhang zwischen mentalen (psychischen) und physischen Prozessen einerseits und der Verschiedenheit ihres phänomenalen Gegebenseins andererseits Rechnung tragen (Gadenne 1998).
Maßgeblich für die frühen Vorstellungen von Seele sowie für die Entstehung des Seelenbegriffs dürfte einerseits das auch heute von uns nachvollziehbare Erlebnis der Einheit und Selbstständigkeit der eigenen Person, des eigenen Ich sein. Andererseits liegt der Seelenvorstellung das Erlebnis des Todes zugrunde und die Art, wie unsere Religionen den Tod gebildet und verstanden haben. So ist nach dem alttestamentlichen Schöpfungsbericht die Seele dem Menschen von Gott eingehaucht, und im Sterben haucht er sie mit dem letzten Atemzuge (in manchen christlichen Abbildungen wie ein Wölkchen dargestellt) wieder aus. Nach der christlichen Glaubenslehre wird die Seele bei der Zeugung des Körpers geschaffen, überdauert diesen nach dem Tode bis zum letzten Weltgericht. Nach buddhistischer Überlieferung befindet sie sich auf ewiger Wanderschaft und nimmt zwischenzeitlich Sitz in verschiedenen Körpern. Nach der auf Aristoteles und insbesondere der auf ihn zurückgreifenden anthroposophischen Menschenkunde ist die Seele nur ein Element neben Geist und belebtem Körper, aus denen sich der Mensch als beseeltes Wesen zusammensetzt und während des Lebens eine Einheit bildet, die mit dem Tod eine auflösende Wandlung erfährt (Steiner 1921).
Darüber hinaus wurde die Seele in frühen Weltvorstellungen oft als belebendes und gestaltendes *Prinzip* gesehen, das in unterschiedlicher Weise allen lebenden Kreaturen im Unterschied zur leblosen Materie zukommt. Ein Stein (oder wohl auch ein Computer) kann nicht „sterben". So wurden Leib und Seele als Einheit gedeutet. Dies bezeichnet man als **Leib-Seele-Monismus**.
Unter den monistischen Auffassungen hat der Idealismus mit George Berkeley sowie der Spiritualismus im *deutschen Idealismus* die Auffassung begründet, dass nur das Geistige (geistige Prinzipien, Ideen) das Wirkliche ist und die Materie nur in der Vorstellung existiert (Berkeley, Kant). So verstand Immanuel Kant die Gegenstände unserer Alltagserfahrung als bloße Erscheinungen von den „Dingen an sich", deren Betrachtung uns gleichwohl durch das Erkenntnisvermögen der Vernunft zu wahren Erkenntnissen über die zugrunde liegenden Dinge an sich führt. Weiter verbreitet als diese idealistischen Ansätze sind heute vielmehr verschiedene Ausprägungen des Materialismus, wonach zum Beispiel mentalistische Theorien und Erklärungen als inadäquat betrachtet werden und daher auch nicht auf physiologische Erklärungen reduziert, sondern einfach eliminiert werden sollten (**eliminativer Materialismus**), oder die Form des radikalen Behaviorismus, wonach Seelisch-Geistiges überhaupt nicht existiert. Andererseits galten nach der frühen Form der Identitätslehre (**neutraler Monismus**; Spinoza, Russel, Fechner) Physisches und Mentales als zwei Seiten der „einen und gleichen Wirklichkeit" (*una eademque re*). Beide Teile werden als nur unterschiedliche Ansichten oder Seiten eines einheitlichen Ganzen verstanden, wobei der Körper als materieller Grund (*causa materialis*) nicht ohne gleichzeitig *ihn bildende Kräfte* (die der Seele zugeschrieben wurden) existieren könne.
Im Gegensatz zu den verschiedenen Formen des Monismus steht die insbesondere auf die Überlegungen von René Descartes (1596–1650) zurückgehende Auffassung einer vom Körper unabhängigen Seele. In diesem **Leib-Seele-Dualismus** unterschied Descartes die *res cogitans* („denkende Substanz") von der *res extensa*, der „ausgedehnten Substanz" der Materie und versuchte so, die Verschiedenheit des Mentalen vom Körperlich-Physischen zu erklären (Substanzdualismus), womit er zugleich einen Dualismus zwischen Geist und Materie einführte. Dieser einflussreiche und in den Vorstellungen lange vorherrschende Dualismus (in jüngster Vergangenheit vertreten von Popper und Eccles 1977) hat daneben in der sogenannten **Wechselwirkungstheorie** oder der Annahme *des psychophysischen Parallelismus* seine Fortführung gefunden. Wirklich beweisende Argumente für die eine oder andere Anschauung sind jedoch nicht zu finden. Auch erkenntnistheoretisch sind diese Ansätze anfechtbar (z. B. Gadenne 1993b).
Ebenso erweisen sich reduktionistische Auffassungen des **Funktionalismus**, die das Mentale (Psychische) rein als funktionale Organisation eines informationsverarbeitenden physikalisch-chemischen Systems zu verstehen suchen, in der gegenwärtigen Diskussion als problematisch, da die erlebte Realität mentaler Zustände und Ereignisse mit ihrer Intentionalität und ihrer Selbst-Involviertheit unberücksichtigt bleibt (Gadenne und Oswald 1991).
In der Psychologie hat bis in die Neuzeit hinein das dualistische Denken mit der Aufteilung von Körper und Seele eine gewichtige Rolle gespielt, speziell in der Persönlichkeitspsychologie, wo die Person gewissermaßen die Rolle des Seelenbegriffs übernimmt.
Im Behaviorismus und Neobehaviorismus wurde der Seelenbegriff zusammen mit anderen mentalistischen Begriffen zwar als wissenschaftlich unbrauchbar verworfen, da die Seele nicht direkt beobachtbar ist, aber mit dem Aufkommen und dem Einfluss der neueren kognitiven Psychologie hat sich das Verständnis wieder gewandelt. Hier werden mentalistische Begriffe, wie Wahrnehmen, Verstehen, Entscheiden, Denken, wieder als notwendig anerkannt, wenngleich der Begriff der Seele wegen seiner bei uns weit tragenden Assoziation mit metaphysischen Vorstellungen (Unsterblichkeit, Wiedergeburt) zumeist vermieden wird. Wohl aber findet sich in der englischsprachigen Literatur als Begriff für die Gesamtheit von Geistigem und Seelischem der hiervon unbelastete Begriff *mind* – im Unterschied zu *soul* (vgl. Gadenne 1998).
In der Psychophysiologie beziehungsweise der Psychosomatik gibt es zahlreiche Belege für die Wirksamkeit mentaler oder psychischer Vorgänge bei Erkrankungs- und Heilungsprozessen. So bleibt es offenbar nur eine Frage der sprachlichen Formulierung, ob wir den Begriff *mind* oder *Seele,* die wie andere Begriffe der Psychologie, etwa *Motivation*, die etwas nicht direkt Beobachtbares, Immaterielles bezeichnen, weiter verwenden, zum Beispiel im Sinne einer intervenierenden Variablen (Tolman 1932), bei zweckgerichtetem Verhalten (*purposive behavior*), die durch Introspektion erfassbar sein könnte, oder ob wir nur die erklärbaren und beobachtbaren Erscheinungen des Verhaltens beschreiben (wie im Behaviorismus), ohne die intervenierende Variable als Seele beziehungsweise Geist zu bezeichnen.
Mentale Eigenschaften werden oft auch (in Analogie zum Vorgehen anderer Wissenschaften) als *emergente Eigenschaften* komplexer physischer Systeme interpretiert, das heißt als hinzukommende Eigenschaften, die die Bestandteile des Systems einzeln nicht besitzen. Die geistig-seelischen Prozesse werden nach dieser **Emergenztheorie** als eine Art neue Gegebenheit verstanden, die vom Nervensystem produziert wird, etwa wie chemische Verbindungen neue und andere Eigenschaften haben als die Elemente. So wird argumentiert, dass die kognitiven Fähigkeiten der Menschen eine solche emergente Eigenschaft darstellen, die durch das Zusammenwirken vieler Neurone entsteht, obgleich jede einzelne Nervenzelle vermutlich keine kognitiven Fähigkeiten besitzt (Gadenne und Oswald 1991; Popper und Eccles 1982; mehr dazu in ► Exkurs 5.19).
Ungeachtet dieser wissenschaftstheoretischen Bemühungen finden sich in der modernen Psychologie viele der wissenschaftlichen Fragestellungen über die Psyche wieder, wie sie bereits Aristoteles zu beantworten versuchte. Sein Verständnis des Seelischen hat auf das abendländische Denken bis hin zur moder-

Exkurs 1.1 (*Fortsetzung*)

nen Psychologie einen ungeheuren Einfluss ausgeübt. So lässt sich ein Großteil des Problemkatalogs der modernen Psychologie als Resultat des aristotelischen Seelenverständnisses sehen: Für Aristoteles war die Seele ein *nichtstoffliches Prinzip*, das in dreierlei Weise in der Natur wirksam ist, als

1. *Pflanzenseele*, als belebendes Prinzip mit den Fähigkeiten der Ernährung und Fortpflanzung (Vitalseele, vegetative Seele);
2. *Tierseele*, als Prinzip der sinnlichen Wahrnehmung des Begehrens und der willkürlichen Bewegung (Animalseele);
3. *Menschenseele*, als Prinzip des erkennenden Denkens und Wollens (Geistseele, vernünftige Seele),

wobei die jeweils höhere Seele die Vermögen der vorhergehenden mit einschließt.
In diesem Zugang zum Seelenproblem zeigt sich bereits die heutige Aufteilung folgender Grundfunktionen höherer Organismen:

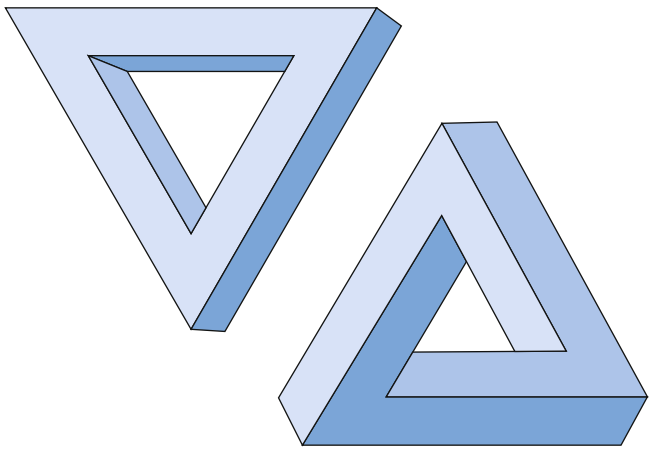
1. Die physiologischen Abläufe der Selbstregulation (Wachstum, Energieumsatz) entsprechen den Elementen der Vitalseele.
2. Die Sinnesempfindung als Mittel der Abbildung (Wahrnehmungspsychologie) mit ihrer Gefühlsbewertung (Emotionspsychologie) entspricht den Elementen der Animalseele.
3. Das zielstrebige Wollen oder der Wille (Motivations- und Volationspsychologie) und das daraus entspringende Handeln sowie das Denken (Kognitionspsychologie) als Weise der vernunftgeleiteten Reflexion, Vorstellung und verstehenden Einsicht entsprechen den Elementen der Geistseele.

Als empirische Wissenschaft muss sich die wissenschaftliche Psychologie mit den beobachtbaren Prozessen befassen, die als Funktion des Psychischen gelten. So kann sie die beobachtbaren Verhaltensweisen, Körperbewegungen, Sprache wie auch körperinterne Reaktionen (zum Beispiel Herzschlagveränderungen) beschreiben, quantifizieren oder zu erklären versuchen.
Die Existenz einer einheitlichen menschlichen Seele – so wird argumentiert – lässt sich empirisch nicht belegen, was als *erkenntnistheoretisches Argument* bezeichnet wird.
Wenngleich andererseits der Seelenbegriff auch das anerkannte Prinzip der einheitlichen zentralen Steuerung global vorwegnimmt, wird im *physiologischen Argument* die zentrale Steuerungsinstanz vielmehr in den Funktionen des Zentralen Nervensystems (ZNS) und des Gehirns gesehen.
Obgleich die Psychologie den Ausdruck *Psyche* weiterhin im Titel führt, hat sie sich einer Vielzahl von Bewusstseins-, Erlebens- und Verhaltensfunktionen zugewandt, die zwar als psychisch verstanden werden; die traditionelle Gewissheit beziehungsweise den Glauben an eine einheitliche Zentralinstanz „Seele" hat sie gleichwohl aufgegeben (Schönflug und Schönflug 1995). Dagegen besteht nach Dorsch (1976) in der modernen Psychologie erneut die Neigung, unter „Seele" die Gesamtheit der „Selbstwahrnehmungen" aller Lebensvorgänge und der sie überlagernden Verarbeitung zu sehen, so wie im Englischen die Gesamtheit der mentalen Vorgänge, wie bereits erwähnt, mit dem Begriff *mind* erfasst wird – im Gegensatz zu *soul* („Seele").

Die *Allgemeine Psychologie* in ihrer derzeitigen Ausprägung wird auch als Teil eines multidisziplinären Forschungsprogramms verstanden, welches vielfach mit dem Sammelbegriff ***Kognitive Neurowissenschaften*** bezeichnet wird (▶ Exkurs 1.10). Außer den vielfältigen Erkenntnissen der in den letzten Jahren schnell anwachsenden Neurowissenschaften (Hirnforschung) gehen hier auch Erkenntnisse und Methoden aus so unterschiedlichen Wissenschaftszweigen mit ein, wie Physiologie, Informatik, Philosophie und Linguistik, aber auch aus Chemie, Robotik, Soziologie, den Wirtschaftswissenschaften und nicht zuletzt der Mathematik und mathematischen Statistik (vgl. Spering und Schmidt 2008). Mehr zu den Zielen und Bereichen in *Zusatztext online*.

Wenn wir davon ausgehen, dass Psychologie als die Wissenschaft definiert werden kann, die sich mit dem Verhalten und Erleben von Organismen sowie dessen Ursachen und Wirkungen befasst, so bleibt wie bei vielen anderen Definitionen weitgehend offen, wie ein solches wissenschaftliches Vorgehen im Einzelnen aussieht oder aussehen sollte, und wo der jeweilige Schwerpunkt des wissenschaftlichen Bemühens um Erkenntnis und Verständnis gelegt wird oder gelegt werden sollte. So haben sich im Laufe der eigentlich noch recht jungen Geschichte der Psychologie recht unterschiedliche Perspektiven und Ansätze des Fragens entwickelt, ohne dass es heute schon eine Einigkeit darüber gibt, welche Sichtweise eine umfassende Theorie der Psychologie einzunehmen hätte. Der Bereich des Psychischen scheint heute eher zu komplex und vielschichtig, als dass es eine alles umfassende Sichtweise geben könnte. Die Situation wird bisweilen am Dreieick von Penrose festgemacht: Was können wir wissen (◘ Abb. 1.1).

Allein die Beobachtung einer einfachen und alltäglichen Verhaltenssituation kann deutlich machen, dass es offenbar



◘ **Abb. 1.1 Das Dreieck von Penrose.** An dieser unmöglichen Figur lässt sich die Frage festmachen: Was können wir wissen? – In der Ebene werden „widersprüchliche" Informationen angeboten, die mehrere gleichwertige räumliche Gestalten herausfordern. Welche ist richtig? (Siehe auch ▶ Exkurs 3.21)

grundsätzlich verschiedene Ansätze gibt, menschliches (und tierisches) Verhalten zu beschreiben, auf Ursachen zurückzuführen und zu verstehen, ohne dass diese sich widersprechen müssen, wie am Beispiel in ▶ Exkurs 1.2 verdeutlicht.

Wie wir sehen, die drei Antworten auf dieselbe Warum-Frage oder Erklärungen der gleichen Verhaltensbeobachtungen fallen unterschiedlich aus, weil auch die Schwerpunkte der Fragestellung je nach Verständnis unterschiedlich sind.

Bereits bei Aristoteles und dann in der Scholastik gab es eine ähnlich differenzierte Sicht der **Kausalität**. Es wurden vier Formen möglicher „Ursachen" unterschieden:

Exkurs 1.2

Genauer betrachtet: Drei Begründungen für eine „Warum"-Frage

Nehmen wir zum Beispiel ein Schulkind, das auf dem Weg zur Schule eine Ampelkreuzung überquert: *Warum überquert das Kind die Straße?* Wir können dabei weiter differenzieren und fragen: Wie ist es grundsätzlich möglich, dass sich der Körper aus eigener Kraft über die Straße bewegt? Wir können aus der Sicht der **Biopsychologie** antworten und beschreiben, wie vom Gehirn ausgehende Nervenimpulse über komplexe Verschaltungen und mithilfe biochemischer Prozesse die einzelnen Muskeln in geordneter Weise unter Wahrung des Gleichgewichts aktivieren, sodass die Beine (oder bei Rollstuhlfahrern die Arme) das Schulkind über die Straße bringen.
Wir können uns aber auch fragen, warum überquert das Schulkind die Straße erst, wenn die Ampel grünes Licht zeigt? Aus **behavioristischer Sicht** lässt sich das Überqueren dann als gelernte Reaktion beschreiben, die als Antwort auf den diskriminativen Stimulus „grünes Licht" erfolgt und jetzt ein gefahrloses Überqueren signalisiert. Dabei können innerpsychische wie auch innerkörperliche Prozesse unberücksichtigt bleiben.
Wir können schließlich auch nach dem übergeordneten Zweck fragen. So können wir zum Beispiel aus **kognitiver Sicht** unsere Aufmerksamkeit auf die mentalen Prozesse richten und zur Erklärung des Warum Pläne und Ziele heranziehen und erklären, dass das Kind die Straße überquert, weil es zur Schule kommen will.

1. die *causa formalis*, die man heute etwa als die Struktur oder den sachlichen Inhalt einer Sache bezeichnen würde;
2. die *causa materialis*, das heißt den materiellen Inhalt, den Stoff, aus dem eine Sache besteht;
3. die *causa efficiens*, die bewirkende Ursache, die dem entspricht, was wir heute allgemein mit dem Wort Ursache meinen, und
4. die *causa finalis*, sie bezeichnet den Zweck, auf den eine Sache ausgerichtet ist.

Von diesen vier grundsätzlichen, möglichen Formen der Kausalanalyse hat sich mit dem Aufkommen der Naturwissenschaft wie auch bei Immanuel Kant und Isaac Newton nur die *causa efficiens* als Erklärungsansatz erhalten. Dieser findet sich in der Psychologie in den genannten Sichtweisen des biopsychologischen und des behavioristischen Ansatzes wieder, die nach der bewirkenden Ursache fragen, während die kognitive Sichtweise offenbar auch wieder nach der *causa finalis*, nach dem Zweck des Verhaltens, fragt – eine Fragestellung, die in den Naturwissenschaften erklärtermaßen zumeist nicht verwendet wird (Wendt 1989, S. 17).

Methodologisch stehen der Forschung in der Allgemeinen Psychologie, wie anderen empirischen Wissenschaften, die *Beobachtung* und das *Experiment* zur Verfügung. Doch stoßen sie hier auf besondere Schwierigkeiten, denn nur das Verhalten, nicht aber das psychische Erleben ist im wissenschaftlichen Sinne objektiv beobachtbar. Und, wie wir in ▶ Exkurs 1.1 (vorletzter Absatz) gesehen haben, ist die einfache Beobachtung auch nicht ausreichend, um ein beobachtetes Verhalten zu verstehen oder zu erklären. Ehe wir uns mit den methodischen Prinzipien in ▶ Abschn. 1.4 genauer befassen, werfen wir zunächst noch einen Blick auf die unterschiedlich vertretenen Konzepte und Perspektiven, die in der Allgemeinen Psychologie eine Rolle spielen.

1.2 Konzepte und Perspektiven der Psychologie

Ähnlich wie in unserem Beispiel (▶ Exkurs 1.2) das Überqueren der Straße in verschiedener Weise beschrieben, analysiert und erklärt werden kann, lassen sich psychologische Themen oder

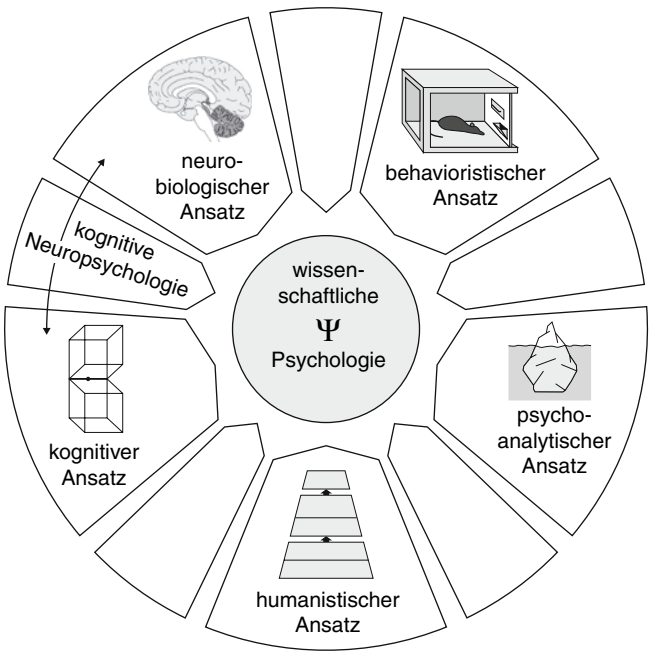


Abb. 1.2 Methodische Ansätze oder Perspektiven der Psychologie. Die psychischen Phänomene lassen sich aus recht unterschiedlichen Perspektiven betrachten, wobei man auch zu unterschiedlichen Erkenntnissen kommt. Sie können alle einen Beitrag zum Verständnis des Menschen und zum Gesamtfeld der Psychologie (oft mit dem griechischen Buchstaben Psi symbolisiert) liefern

Phänomene aus ganz verschiedenen Perspektiven betrachten, beschreiben und analysieren. Ungeachtet dessen sind es heute im Wesentlichen fünf Perspektiven oder Ansätze, die das Vorgehen der gegenwärtigen Psychologie repräsentieren: (1) die biologisch-neurophysiologische, (2) die behavioristische, (3) die kognitive, (4) die psychoanalytische und (5) die subjektivistische Perspektive (Nolen-Hoeksema et al. 2014). Sie alle tragen in unterschiedlicher Weise zum heutigen Gesamtbild der Allgemeinen Psychologie bei, wie die Abb. 1.2 symbolisiert. Da diese Sichtweisen an veschiedenen Stellen unserer Darstellungen wieder auftauchen, sollen sie nachfolgend kurz charakterisiert werden. Dabei ist zu beachten, dass sich diese Perspektiven in weiten Bereichen gegenseitig nicht ausschließen müssen. Sie sind mehr als kompatibel und ergänzen sich vielfach gegenseitig, oder sie zeigen unterschiedliche, aber auch gleichzeitig wirksame und zu

1

Exkurs 1.3

Genauer betrachtet: Beispiele neuropsychologischer Erkenntnisgewinnung

So konnten zum Beispiel etliche Phänomene der Wahrnehmungspsychologie (Helligkeitskonstanz, optische Täuschungen) durch die entdeckten Funktionsweisen neuronaler Verschaltungen zwischen den Netzhautrezeptoren bis hin zu den Neuronen der Sehrinde sowie der beobachteten elektrischen Aktivitätsmuster einzelner Zellen bei der Verarbeitung einfachster visueller Lichtreize aufgeklärt werden (vgl. rezeptive Felder). Im Bereich der Motivations- und Emotionspsychologie konnten durch gezielte elektrische Stimulation bestimmter Areale oder Zentren spezifisch differente Emotionen, aber auch motivierte Handlungen ausgelöst werden. Oder es wurden Areale gefunden, bei deren Stimulation gespeicherte lebendige Erinnerungen aktiviert werden konnten. Es gibt auch Zentren, deren Reizung Freude erzeugt oder Unlust, oder andere Zentren, deren Stimulation übermäßige Fresssucht auslöst, oder wieder andere, deren Stimulation im Zusammenhang mit bestimmten sozialen Situationen Aggression erzeugt.

Im Bereich der Gedächtnisforschung konnte durch neurophysiologische Einzelzellableitung gezeigt werden, dass zum Beispiel bei der Konditionierung einer Angstreaktion auf ein Geräusch hin elektrische und biochemische Veränderungen an den Verbindungsstellen (Synapsen) zwischen bestimmten Nervenzellen (Neuronen) auftreten, und zwar insbesondere in dem Hirngebiet des Hippocampus, der für Lernen und Gedächtnis eine entscheidende Rolle spielt und dessen Schädigung zu bestimmten Amnesien (Gedächtnisverlusten) führt.

beachtende Kausalbeziehungen (► Exkurs 1.1) zum Verständnis ein und desselben komplexen Phänomens auf.

Neben Wissenschaftlern, die den einen oder anderen Aspekt streng in den Vordergrund stellen, erfordert das umfassende Verständnis eher ein eklektizistisches Vorgehen, in dem Sinne, dass man, je nach Bedarf der anstehenden Fragestellung, einen passenden Ansatz zu wählen bereit ist, ohne damit die Gültigkeit eines der anderen möglichen Zugänge von vornherein auszuschließen. Man bezeichnet ein solches Vorgehen, Probleme unter verschiedenen methodischen Ansätzen zu untersuchen und verschiedene Blickwinkel in Betracht zu ziehen und zu verbinden, heute auch als **konvergente Forschung**.

Gemeinsam bleibt all den verschiedenen Ansätzen der Versuch, das menschliche Verhalten sowie seine mentalen Prozesse zu verstehen: „Die psychologische Forschung versucht, so die Struktur des Verhaltens aufzuzeigen, Relationen oder Ursachen von Reaktionen zu finden, kurz: Sinn und Ordnung dort zu sehen, wo oft Zufälligkeit und Chaos zu herrschen scheinen“ (Ruch und Zimbardo 1974, S. 3).

1.2.1 Der biologisch-neurophysiologische Ansatz

Das menschliche Gehirn und das weitere Zentralnervensystem mit seinen weit über zehn Billionen Nervenzellen oder **Neuronen** und einer entsprechend nahezu unendlichen Anzahl von Verbindungen stellt wohl die komplexeste uns bekannte Struktur des Universums dar. Aufgrund bisheriger Erfahrungen kann man davon ausgehen, dass prinzipiell alle psychologischen Geschehnisse in irgendeiner Weise mit Aktivitätsprozessen in unserem **Zentralnervensystem** (ZNS) korrespondieren. Starke Emotionen zum Beispiel lösen über das Nervensystem Kreislaufveränderungen aus, oder umgekehrt führen Gewebeverletzungen zu Schmerzempfindungen im Bewusstsein. Der aus der frühen Medizin und Neurophysiologie hervorgegangene Ansatz der **Biopsychologie** fragt nun nach den physiologisch-neuronalen Zusammenhängen zwischen dem beobachtbaren Verhalten oder Erleben einerseits und den mit ihnen zusammenhängenden beziehungsweise ihnen zugrunde liegenden biochemischen, elektrischen oder neuronalen Prozessen andererseits, die sich dabei im Körper und speziell im Nervensystem abspielen.

Der **neuropsychologische Ansatz** fragt zum Beispiel: Was passiert im Gehirn beim Lernen? Er untersucht mit neurologischen, biochemischen oder elektroenzephalografischen und ähnlichen Methoden die beim oder nach dem Lernen einer bestimmten neuen Aufgabe auftretenden Veränderungen an verschiedenen Orten des ZNS, insbesondere des Gehirns. Dies wird in ► Exkurs 1.3 genauer dargestellt.

Von ganz besonderer Bedeutung sind bei diesem Ansatz die Bestrebungen, in Zusammenarbeit mit Hirnforschern, Neurologen und auch Computerwissenschaftlern die Ursachen gestörter Hirnfunktionen aufzudecken und zu verstehen. Die Zusammenarbeit mit der Molekularbiologie hat deutlich gemacht, dass es in der Tat möglich ist, hohe kognitive Funktionen und deren Störungen mit Vorgängen auf molekularer Ebene in Verbindung zu bringen (Singer 1994).

Wenngleich unser Verständnis von Gehirn und Verhalten aufgrund vielfältiger, aus diesem Ansatz hervorgegangener Untersuchungen an Klarheit gewonnen hat, so sind die erhaltenen Kenntnisse immer noch sehr lückenhaft, insbesondere natürlich wegen der bereits erwähnten Komplexität des gesamten ZNS. Schon aus diesem Grund ist es nicht sinnvoll, unser Menschenbild ausschließlich an biopsychologischen Erkenntnissen zu orientieren oder gar darauf zu reduzieren.

Sicher birgt auch der neurobiologische Ansatz, wie jeder der weiteren Ansätze auch, die Gefahr in sich zu meinen, dass der eigene Ansatz der einzig richtige ist. Dies führt hier schließlich zu der Aussage und Auffassung, dass letzten Endes alle psychischen beziehungsweise mentalen Erscheinungen auf materiell-biologische oder physikalisch-biochemische Prozesse zurückzuführen sind. Daher wird dieser Ansatz in der Wissenschaftstheorie auch als „Reduktionismus“ bezeichnet, genauer bisweilen auch als **funktionaler Reduktionismus**, wenn die Bereiche der künstlichen Intelligenz beziehungsweise der künstlichen Organismen mit einbezogen werden, deren „Verhalten“ analoge Prozesse, wie sie in unserem Nervensystem ablaufen, zugrunde liegen. In der neueren Diskussion haben sich (nach Gadenne 2013) reduktionistische Auffassungen jedoch zunehmend als problematisch erwiesen (dazu ► Exkurs 5.19).

Wie in ► Exkurs 1.3 angedeutet und wie wir auch in den weiteren Kapiteln noch sehen werden, können psychologische Phänomene durchaus sowohl auf der rein psychologischen als auch auf der biologisch-neurologischen Ebene untersucht und

Exkurs 1.4

Genauer betrachtet: Das Zusammenwirken von Antecedens und Konsequenz am Beispiel

Zum Beispiel zeigen Kinder, aber auch Erwachsene, in bestimmten Situationen (S) mit größerer Wahrscheinlichkeit aggressive Verhaltensreaktionen (R), wenn dieses aggressive Verhalten beispielsweise durch Rückzug des anderen, geschlagenen Kindes häufiger belohnt (C) wurde, als wenn diese Verhaltensweisen keinen Erfolg hatten oder durch Gegenangriffe bestraft (C') wurden.

Anwendungen solcher behavioralen Verhaltensanalysen (*behavior analysis*) und der daraus abgeleiteten Verhaltenskonditionierung finden sich zum Beispiel in vielen amerikanischen Gewichts-Kontrollprogrammen für Übergewichtige: Lässt sich ausfindig machen, in Gegenwart welcher äußeren Reize oder Situationen die übermäßige Nahrungsaufnahme erfolgt, so lässt sich diese dadurch reduzieren, dass die Personen lernen, solche Situationen oder Reize zu meiden.

Das gleiche Prinzip wird auch in der Alkohol-Suchttherapie angewandt.

erklärt werden, ohne die Notwendigkeit einer absoluten Reduktion. Die biologisch-neurologische Analyse deckt auf, wie die psychologischen Phänomene im Gehirn implementiert werden. Zum Verständnis sind jedoch eindeutig beide Ebenen (*levels*) der Analyse erforderlich (Nolen-Hoeksema et al. 2014).

Dieser fachübergreifende biologisch-neurophysiologische Ansatz hat, beginnend in den 1970er Jahren, einen außerordentlichen Zuwachs an Interesse erfahren und sich zusammen mit dem kognitionspsychologischen Ansatz zu einem neuen umfassenden und weitreichenden Forschungsgebiet weiterentwickelt, das heute als **kognitive Neurowissenschaft** bezeichnet wird.

Der biopsychologische Ansatz befasst sich mit den biologisch-neuronalen Grundlagen menschlichen und tierischen Verhaltens. Er untersucht die biologisch funktionalen und neuronalen Zusammenhänge zwischen dem beobachtbaren oder erlebten Verhalten einerseits und den ihnen zugrunde liegenden biochemischen, elektrischen und neuronalen Prozessen andererseits.

1.2.2 Der behavioristische Ansatz

Im Gegensatz zu der am Anfang der wissenschaftlichen Psychologie betriebenen **Introspektion**, dem Selbsterleben, das nur jedem Einzelnen für sich selbst möglich ist und das daher nicht objektiv auch von anderen beobachtet werden kann, legte John B. Watson um 1900 mit seiner Forderung, dass nur beobachtbares offenes Verhalten Gegenstand einer wissenschaftlichen Psychologie sein sollte, den Grundstein für die heute als **Behaviorismus** bekannte Wissenschaftsposition der Psychologie. Watson bemerkte, dass die in der damals vorherrschenden nicht biologischen Psychologie verwendeten Introspektionen im Gegensatz zu Beobachtungen in anderen Wissenschaftsfeldern nur private Qualität besitzen und daher für eine objektive Wissenschaft als nutzlos anzusehen sind. An dem Wissenschaftsverständnis der Physik orientiert, sollen daher als verwertbare Daten nur spezifische „**overte**" (offene, beobachtbare) Verhaltensreaktionen verwendet werden, die gemessen, quantifiziert und bewertet werden können, wie zum Beispiel die Lidschlagreaktion, das Drücken eines Hebels oder die Änderung des Herzschlages auf einen bestimmten vorgegebenen Reiz (Licht oder Ton) hin.

Als vorrangiges Ziel dieses behavioristischen Ansatzes gilt es zu analysieren und zu verstehen, wie bestimmte vorausgehende Reize oder Stimuli (S) oder vorausgehende Umweltbedingungen (*antecedent conditions*, Antecedens, A) ganz bestimmte Verhaltensreaktionen (R) bedingen, in Abhängigkeit von den darauf folgenden Konsequenzen (*consequences,* C) (Beispiele in ▶ Exkurs 1.4).

Verhalten kann so durch Manipulation oder Arrangements von Umweltreizen in die eine oder andere bestimmte Richtung gelenkt oder **konditioniert** werden.

Aufgrund der Erfolge der zumeist im Tierexperiment durchgeführten Konditionierungen vertrat der klassische Behaviorismus mit Watson die Auffassung, dass alles Verhalten vollständig durch Umweltbedingungen determiniert sei und durch ihre Veränderung manipuliert werden könne, wobei genetische Faktoren weitgehend außer Acht gelassen wurden. Tierexperimente wurden deshalb bevorzugt, weil es hier leichter ist, alle Bedingungen sorgfältig zu kontrollieren. In Laborexperimenten mit elektronischen Geräten lassen sich Reize und Reaktionen genau registrieren. Operationale Definitionen und am naturwissenschaftlichen Ideal orientierte Normen der Beweisführung lassen sich hier am saubersten realisieren.

Das von den Behavioristen konsequent verfolgte und von ihnen eingeführte methodische Prinzip, dass nur unmittelbar beobachtbares Verhalten Gegenstand der wissenschaftlichen Psychologie sein dürfe, da innere „mentale" Ereignisse der Wissenschaft nicht empirisch zugänglich seien und daher nicht Forschungsgegenstand sein könnten, führte mit B. Frederic Skinner auch zu der Aussage, dass die Psychologie auf Annahmen über innere, nicht unmittelbar beobachtbare Prozesse und Vorgänge verzichten könne. Diese Position des Behaviorismus prägte insbesondere in den USA – und mit etwas Verzögerung auch in Europa – in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts die wissenschaftliche psychologische Forschung. Die aus dem klassischen Behaviorismus hervorgegangene und durch Skinner (1948, 1971, 1978) propagierte so genannte **Stimulus-Response-Psychologie** (**S-R-Psychologie**), die die Bedingungen zwischen relevanten Umweltreizen, den durch sie ausgelösten Reaktionen und nachfolgenden Bekräftigungen weiter untersucht, hat in Amerika bis heute noch weitreichenden Einfluss, auch wenn Skinner später gewisse Abstriche machte.

Der behavioristische Ansatz befasst sich ausschließlich mit dem offenen, beobachtbaren Verhalten (Reaktionen) und untersucht dessen Bezug zu den vorangehenden Reizgegebenheiten in der Umwelt sowie den nachfolgenden Konsequenzen, woraus Verhaltensvorhersage und Verhaltensmodifikation möglich werden. Er macht keine Aussagen über innerkörperliche (bioche-

misch neuronale) oder innerpsychische (motivationale, kognitive) Prozesse.

1.2.3 Der kognitionspsychologische Ansatz

Aus Erfahrung wissen wir, dass Verhalten nicht allein durch bloßes Reagieren auf vorausgehende Reizgegebenheiten bestimmt ist, sondern dass es vielmehr aufgrund vielfältiger innerer, „geistig-mentaler" Prozesse erfolgt. Zu diesen insbesondere das menschliche Verhalten beeinflussenden Faktoren zählen die komplexen Prozesse des Wahrnehmens, Schlussfolgerns, Verstehens, Erinnerns, Denkens, Problemlösens und Entscheidens, die zusammengenommen als **Kognitionen** (von lateinisch *cognitio* für „Erkenntnis") bezeichnet werden (▶ Exkurs 1.5).

Ziel des kognitionswissenschaftlichen Ansatzes beziehungsweise der kognitiven Psychologie ist es, auf experimenteller Basis Methoden und Theorien zu entwickeln, mit deren Hilfe sich verstehen lässt, *wie* diese mentalen Prozesse der Informationsverarbeitung funktionieren und welche Organisationsstrukturen ihnen zugrunde liegen. Dabei wurde sie wesentlich auch durch die aufkommende Informationstheorie (▶ Exkurs 1.6) beeinflusst.

Diese **kognitive Psychologie**, die vornehmlich in den Jahren 1950 bis 1970 entstand und sich zu einer Teildisziplin der Allgemeinen Psychologie entwickelte, ist weitgehend auch als Gegenreaktion gegen die eingeschränkte reduktionistische Sichtweise des Behaviorismus und des S-R-theoretischen Ansatzes zu verstehen – dem aber das Verdienst zukommt, die Psychologie erst zu einer empirischen Wissenschaft weiterentwickelt zu haben, wenngleich sie mit der Ablehnung der wissenschaftlich problematischen Introspektion und der Einführung der objektiven Messung gleich auch jegliche wissenschaftliche Beschäftigung mit „mentalen" Prozessen verwarf. Mit dem kognitiven Ansatz kehrte die Psychologie zu ihren ursprünglichen Anfängen zurück, ohne freilich von den neuen empirischen Methoden abzurücken. Diese werden zumeist auf das Jahr 1879 datiert, in welchem *Wilhelm Wundt*, aus der Philosophie kommend, in Leipzig das erste psychologische Labor gründete. Doch im Gegensatz zu der damals vorherrschenden und auch von Wundt verwendeten Untersuchungsmethode der subjektiven **Introspektion**, die sich als wissenschaftlich unzuverlässig erwiesen hatte, stützt sich die moderne kognitive Psychologie stark auf **experimentelle Techniken**, die unter dem behavioristischen Ansatz entwickelt wurden und die der Untersuchung des menschlichen Verhaltens dienen – insbesondere Prozesse des Denkens, Erinnerns und Wahrnehmens.

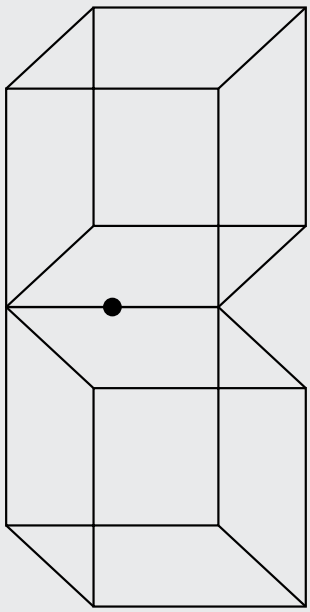
Wesentliches Gewicht legt die kognitive Psychologie auf die Prozesse der **Informationsverarbeitung**, die schließlich darüber entscheiden, wie sich ein Individuum verhalten wird. Menschliches Verhalten wird im Gegensatz zum Behaviorismus nicht als bloße Reaktion auf Umweltreize gesehen, sondern vielmehr als das Resultat aus dem aktiven Umgang der Kognition mit den eingehenden und selbst aktiv ausgewählten Reizen der Umgebung. Nicht eine vielleicht objektiv beschreibbare Umweltsituation entscheidet über unser Verhalten, sondern das, was wir aufgrund unserer individuellen Sinnesinformationsverarbeitung für real halten. Wir bilden uns ein mentales Model der Realität (*mental model of reality*; Craik 1943), mit dem wir Situationen durchspielen und entsprechende Vorhersagen machen können. Oder in einer ebenfalls häufig gebrauchten, aber unglücklichen Formulierung ausgedrückt: Die von der Umwelt kommenden „distalen" (entfernt vom Rumpf) Stimuli werden im Sinnesorgan als „proximale Reize" erfasst und durch eigene Interpretation zu subjektiven Konstruktionen, die den „proximalen" (nah zum Rumpf) Input für unsere Handlungsentscheidungen bilden (vgl. ◘ Abb. 1.4).

Wenngleich dieser Ansatz im Vergleich zum behavioristischen wesentlich weitreichender ist, so bleiben auch hier Wissensbereiche wie die der Motivation, des Wollens und der Emotionen zunächst weitgehend unbeachtet. Unbeschadet dessen hat sich der von der Untersuchung menschlichen Denkens, Entscheidens, Wissens und Problemlösens (Kognitionen) ausgehende Forschungsansatz beginnend in den 1970er-Jahren auf fast alle Gebiete der Psychologie ausgeweitet, was bisweilen auch als „*kognitive Wende* der Psychologie" bezeichnet wurde.

Exkurs 1.5

Genauer betrachtet: Wahrnehmung als aktiver Prozess

Bei Betrachtung der ◘ Abb. 1.3 sind wir sofort bemüht, die Figur in irgendeiner Weise zu erkennen. Das visuell wahrgenommene Muster wird gedanklich mit bereits gelernten Gedächtnisinhalten verglichen, zum Beispiel: Sind es zwei Würfel? Aber welche räumliche Lage haben sie zueinander? Was ist vorne, was hinten? Und während des interaktiven Prozesses fluktuieren und verändern sich auch unsere Wahrnehmung und unser Verständnis des wahrgenommenen Objektes.



◘ **Abb. 1.3 Wahrnehmung als aktiver Prozess.** Blicken Sie auf den Punkt in der Abbildungsmitte und beobachten Sie Ihre eigenen fluktuierenden Wahrnehmungen der Figur: Würfel, Quadrate, aufgeschlagenes Buch, welche Lage? Unser Gehirn vollführt spontan verschiedene Transformationen und versucht, sie irgendwie mit etwas Bekanntem, Verständlichem in Deckung zu bringen. Auch in unserer normalen Umwelt versuchen wir, aus den aufgenommenen Sinnesreizen sinnvolle, verständliche Muster zu extrahieren, die wir „erkennen" können. (Nach Atkinson et al. 1987, S. 9)

Exkurs 1.6

Genauer betrachtet: Zur Entwicklung der kognitiven Psychologie

Im Wesentlichen waren es wohl vier Einflussgrößen, die zur Entwicklung und Charakterisierung der neuen kognitiven Psychologie beitrugen:

1. Arbeiten zur **Leistungsfähigkeit** des Menschen unter belastenden Situationen, wie sie während des Zweiten Weltkrieges bei militärischen Einsätzen im Umgang mit technisch komplizierten Wehrgerätschaften erforderlich waren.
2. Hinzu kamen Anregungen und Ideen aus dem gerade erst in Entwicklung begriffenen Forschungsfeld der **Informationstheorie**, deren Anliegen es ist, auf weitgehend abstraktem Niveau Prozesse der Informationsverarbeitung generell zu analysieren. Hier zog Broadbent (1958) in Cambridge als einer der Ersten solche Informationsverarbeitungsprozesse zur Analyse menschlicher und tierischer Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsabläufe heran.
3. Einen weiteren wichtigen Betrag lieferten die Fortschritte der Computerwissenschaft, speziell der so genannten **Künstlichen Intelligenz** (KI), deren Ziel es ist, intelligentes Verhalten auf Computern nachzubilden. Hier hatte der Nobelpreisträger Herbert A. Simon zusammen mit dem Computerspezialisten Allen Newell (Newell und Simon 1972) eine eng am Computer orientierte, viel beachtete Theorie des menschlichen Problemlösens entwickelt. Nicht zuletzt durch die vermittelnden Bemühungen dieser beiden Forscher an der Carnegie-Mellon-Universität hat eine Fülle von Konzepten und Begriffen aus der Computerwissenschaft Eingang in neuropsychologische Theorien gefunden und dazu beigetragen, analoge Konzepte zum Verständnis der menschlichen Intelligenz und Kognition zu entwickeln.
4. Schließlich kommen die Einflüsse der neueren **Linguistik** (Sprachwissenschaften) hinzu, insbesondere die von Noam Chomsky am MIT (Massachusetts Institute of Technology) entwickelten Ansätze zur Strukturanalyse der Sprache. Aus diesen Ansätzen kam es in den Folgejahren zu einer raschen Weiterentwicklung, die sich erstmals in dem viel beachteten Buch *Cognitive Psychology* von Neisser (1967) niederschlug.



Abb. 1.4 Verarbeitungsstufen zwischen Reiz und Reaktion. Was wir von der Außenwelt als Sinnesreize aufnehmen, unterliegt schon bei der Wahrnehmung einer ersten subjektiven Interpretation. Die resultierenden, als proximale Reize eingehenden Informationen über die Außenwelt werden von uns weiterverarbeitet, mit Gedächtnisinhalten verglichen, erkannt, beurteilt und bewertet und führen erst danach zu einer beobachtbaren Handlung oder Äußerung

Zur historischen Entwicklung ist weiterhin interessant anzumerken, dass in den letzten Jahrzehnten auch einige zunächst behavioristisch orientierte Forscher sich einer kognitivistischen Sicht angeschlossen haben, nachdem auch hier eine objektive Vorgehensweise zur Erforschung mentaler Prozesse möglich geworden war. Beispiele sind Albert Bandura, der in seiner sozialkognitiven Lerntheorie kognitive Prozesse (Modelllernen) mit einbezieht, oder der klinische Psychologe Donald Meichenbaum, der mit seinem Ansatz einer kognitiv ausgerichteten Verhaltenstherapie das kognitive Verändern des Selbstbildes mit einbezieht.

Der kognitive Ansatz betrachtet die mentalen kognitiven („geistigen") Prozesse und Strukturen als wichtigste Grundlage für das Verständnis menschlichen Verhaltens und als primären Gegenstand der Psychologie überhaupt. Verhalten wird erklärt in enger Anlehnung an informationsverarbeitende, kybernetische Systeme auf der Basis individuell konstruierter, mentaler Repräsentationen der Wirklichkeit, die verhaltensbestimmend wirken. Ausgehend von der Untersuchung menschlichen Denkens und Wissens (Kognition) hat sich der Ansatz auf fast alle Gebiete der Psychologie erweitert.

1.2.4 Der psychoanalytische Ansatz

In seinen grundlegenden Vorstellungen wurde der **psychoanalytische Ansatz** Anfang des 20. Jahrhunderts von Sigmund Freud (1856–1939) in Wien entwickelt, etwa gleichzeitig mit dem Aufkommen des Behaviorismus in den USA. Im Gegensatz zu den anderen bisher besprochenen Ansätzen basiert Freuds Ansatz nicht auf experimentellen Analysen oder Untersuchungen, sondern resultiert aus persönlichen extensiven **Fallstudien** an psychiatrischen Patienten seiner Privatpraxis, deren psychische Störungen aus neurologisch-medizinischer Sicht keinen Sinn ergaben und deren Krankheitsbild sich so nicht erklären ließ. Unter Hypnose konnten zum Beispiel gelähmte Patienten doch laufen, oder Patienten mit Gedächtnisstörungen konnten Aussagen machen, die sie im normalen bewussten Wachzustand nicht erinnerten. Diese Beobachtungen ließen Freud schon früh auf die Existenz eines unbewussten Teils der Persönlichkeit schließen.

Die Grundannahme des Freud'schen Ansatzes besagt, dass ein Großteil unseres menschlichen Verhaltens bestimmt und getrieben wird von **unbewussten Prozessen**, die als innerpsychische Kraft verstanden werden. Hierzu zählen ererbte biologisch festgelegte Triebe wie auch unbewusste vitale Impulse, die aus Konflikten zwischen persönlichen Bedürfnissen und Forderungen der Gesellschaft resultieren. Nur ein recht kleiner Teil ist unserem Bewusstsein zugänglich, ähnlich wie bei einem schwimmenden Eisberg (Abb. 1.5) bleibt der größte Teil unseres „psychischen Apparates" unter der Oberfläche verborgen. Diese unbewusste Region beinhaltet Wünsche, Gedanken, Gefühle und Erinnerungen, die wir großenteils nicht wahrnehmen und derer wir uns nicht bewusst sind. Ein kleiner Teil der Gedanken kann zeitweise in einen **vorbewussten Bereich** aufsteigen, aus dem wir diese Gedanken willentlich ins Bewusstsein rufen können. Der weitaus größte Teil unakzeptabler Leidenschaften, Gedanken oder Bedürfnisse bleibt aber gewaltsam blockiert, **verdrängt** vom

Exkurs 1.7

Genauer betrachtet: Freudsche Versprecher

So berichtet Freud (1956) von einem Gespräch, in welchem ihm ein Freund von Vorgängen erzählen will, die er selbst für „Schweinereien" hält, aber nach einer milderen Form sucht und beginnt: „… dann aber sind Tatsachen zum *Vorschwein* gekommen …", oder die Aussage eines in finanziellen Nöten befindlichen Patienten, der keine großen Pillen verschrieben bekommen wollte, weil er sie nicht hinunterschlucken könne, der sagte: „*Please do not give me any bills* (bills = Rechnungen statt pills), *because* I cannot swallow them."

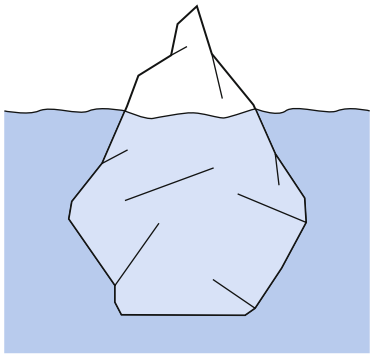


Abb. 1.5 Eisberg-Analogie zu bewussten und unbewussten psychischen Prozessen. Ähnlich wie bei einem schwimmenden Eisberg, von dem nur etwa ein Siebtel über der Wasseroberfläche sichtbar ist, während uns die restlichen sechs Siebtel verborgen bleiben, sind uns auch unsere psychischen Beweggründe, Motive und Wünsche nur zu einem ganz geringen Teil bewusst

Bewusstsein, das ihre Anerkennung nicht ertragen würde. Nach Freuds Auffassung haben diese aus dem Bewusstsein verdrängten, unerfreulichen und angstauslösenden Gefühle und Gedanken jedoch einen mächtigen Einfluss auf unser Verhalten und Leben, indem sie sich selbst in verschleierter, verdeckter Weise äußern – in psychiatrischen oder neurotischen Symptomen von Geisteskrankheiten, in Auffassungen, die wir vertreten, oder auch in der Wahl unseres Berufes. Sie finden Ausdruck in sozial gebilligten Verhaltensformen wie Kunst, Literatur oder auch Wissenschaft, wo sie in **sublimierter** Form erscheinen, aber auch in Träumen, Manierismen oder alltäglichen „**Freud'schen Versprechern**" (Beispiele in ▶ Exkurs 1.7).

In ähnlicher Weise kommen nach Freud unsere verdrängten sexuellen oder aggressiven Spannungen auch im Erzählen von Witzen oder in unseren Träumen zum Vorschein, wobei er letztere als den Königsweg (*via regia*) zu unserem Unbewusstsein bezeichnete. Unbewusste Motive bestimmen nach Freud all unser Handeln und Verhalten, und zwar mehr als die rationalen Begründungen, die wir dafür bereithalten.

Bereits in unserer Kindheit vollzieht sich nach Freud eine vollständige Festlegung unserer Psyche durch den gegebenen Konflikt zwischen unseren aggressiven Impulsen (*thanatos*, Todestrieb) und unseren Freude suchenden biologischen Impulsen (*libido*, Lebenstrieb) und den von der Gesellschaft auferlegten sozialen Einschränkungen. Wir erleben traumatische Erfahrungen durch elterliche und andere Verbote, die unsere spätere Persönlichkeit einschließlich unserer Emotionen und Zielstrebungen festlegen, die unser späteres Handeln dann unbewusst determinieren. So betrachtet, war Freuds deterministisches Verständnis des Menschen extrem negativ. Andererseits war sein Ansatz der erste, der die irrationalen Seiten der menschlichen Natur erkannte und darauf hinwies, dass Handlungen auch von Motiven ausgehen können, die sich der bewussten Aufmerksamkeit entziehen.

Psychoanalyse bezeichnet bei Freud auch zugleich das Verfahren der freien Assoziation, bei welcher seine Patienten einfach nur berichten sollten, was ihnen in den Sinn kam, wobei er annahm, dass dieses freie Assoziieren eine Gedankenkette entstehen ließe, die (ähnlich wie unter Hypnose) zum Unbewussten des Patienten führen und dabei verdrängte unbewusste Erinnerungen (auch aus der Kindheit) zutage fördern würde (▶ Exkurs 1.8).

Gemeinsam bleibt diesen neuen, als **psychodynamische Theorien** bezeichneten Weiterentwicklungen die Annahme, dass ein Großteil unseres psychischen beziehungsweise mentalen Lebens unbewusst ist, dass unsere Kindheit wesentlich unsere Persönlichkeit formt und unser Handeln oft von Konflikten zwischen unseren Wünschen, Ängsten und Wertvorstellungen bestimmt wird. Aufgegeben wurde dagegen die Vorstellung der dominanten Rolle der Libido beziehungsweise Sexualität sowie die einst scharfe Grenzziehung zwischen bewussten und unbewussten Gedanken.

Das **psychodynamische Modell** in der Form, dass Handeln als Produkt von Triebspannungen und deren Reduktion verstanden wird, liegt andererseits auch den frühen Vorstellungen der **Ethologie** (vergleichendeTierverhaltenswissenschaft) zugrunde, wobei hier im Gegensatz zur Psychoanalyse tierexperimentelle Beobachtungen und Untersuchungen zur Verifikation durchgeführt wurden (Konrad Lorenz, Nikolaas Tinbergen) mit dem Resultat einer Fülle interessanter Erkenntnisse über tierische Reaktions- und Verhaltensweisen, die nur teilweise auf menschliches Verhalten übertragbar erscheinen.

Der psychoanalytische Ansatz betrachtet menschliches Verhalten als vornehmlich von starken unbewussten intrapsychischen „Trieben" und „Impulsen" (unbewussten Wünschen, Ängsten und Vorstellungen) getrieben und von Konflikten zwischen diesen Bedürfnissen und den Forderungen der Gesellschaft nach sozial angepasstem Verhalten bestimmt.

1.2.5 Der subjektivistische (phänomenologische) Ansatz

Im Gegensatz zu den bisher betrachteten Perspektiven konzentriert sich dieser Ansatz auf die vom Individuum erlebte, phänomenologische Welt. Er rückt das subjektive Erleben, die subjektive Erfahrung als das primäre Phänomen beim Studium des Menschen in den Vordergrund. In seiner Intension, interne mentale Prozesse zu untersuchen, anstatt Verhaltensweisen, ähnelte der Ansatz dem der kognitiven Psychologie. Doch im Unterschied zu dieser befasst er sich mehr damit, das innere Leben und Erleben des einzelnen Individuums zu verstehen, wobei auch introspektive Methoden Verwendung finden. Diese subjektivistische Perspektive ist dann vor allem in der Sozial- und Persönlichkeitspsychologie weiterverwendet worden. Um menschliches Sozialverhalten zu verstehen, ist es essenziell, die jeweils eigene

Exkurs 1.8

Genauer betrachtet: Zur Psychoanalyse als Wissenschaft

Obwohl Freuds Vorstellungen kaum durch kontrollierte Experimente belegt werden konnten, hat wohl kein anderer Ansatz größeren Einfluss auf das generelle psychologische Denken gehabt, als die von Freud Anfang des 20. Jahrhunderts entwickelte Theorie der **Psychoanalyse**. In der Nachfolge ist seine Theorie in verschiedene Richtungen (zum Teil durch seine direkten Schüler) weiterentwickelt worden. Genannt seien die psychoanalytische Gruppentherapie, die Individualpsychologie (Alfred Adler), die analytische Psychologie (Carl Gustav Jung), die Einbeziehung sozialpsychologischer und ökologischer Dimensionen durch Erik Erikson, Erich Fromm und andere sowie die neofreudianischen Schulen von Karen Horney, Harald Schultz-Hencke und Harry S. Sullivan (mehr zu Psychoanalyse als Wissenschaft, Bedeutung und Kritik in *Zusatztext online*).

Exkurs 1.9

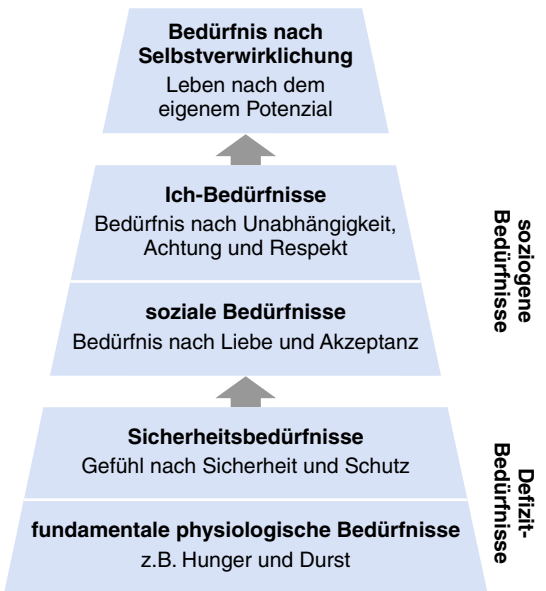
Genauer betrachtet: Der Subjektivistischer Ansatz

Dieser Ansatz entwickelte sich insbesondere als Reaktion und Gegengewicht gegen die als mechanistisch und pessimistisch erlebten Perspektiven des psychoanalytischen und des behavioristischen Modells. Diese Ansätze und ihre zentralen Aussagen, dass unser Verhalten durch externe Reize kontrolliert und determiniert (Behaviorismus) oder durch unbewusste Impulse (psychoanalytische Sicht) bestimmt würde, werden ebenso zurückgewiesen wie die Vorstellung, dass das Verhalten sich einfach durch Prozesse der Informationsverarbeitung ergäbe (kognitive Sicht).
Die humanistische Psychologie wurde in den 1950er-Jahren in den USA durch eine Gruppe von Psychologen wie Abraham H. Maslow, Carl Rodgers, David Riesman und Charlotte Bühler ins Leben gerufen. Diese Psychologen stützten sich zwar auf Prinzipien des Kognitivismus, aber mit ihren in einem gesellschaftspolitisch engagierenden Manifest (Maslow et al.1962) formulierten Zielen stellen sie „die erlebende Person" und „die Aufrechterhaltung von Wert und Würde des Menschen" als zentrales Anliegen in den Fokus der Aufmerksamkeit. Dabei gilt das Interesse „… der Entwicklung der in jedem Menschen innewohnenden Kräfte und Fähigkeiten" (Bühler und Bugenthal 1974, S. 7). So bemüht sich die – in Abhebung gegen die damals dominierende Psychoanalyse und den Behaviorismus – auch als „dritte Kraft" (Maslow) bezeichnete humanistische Psychologie darum, der gesunden und schöpferischen eigenverantwortlichen Persönlichkeit gerecht zu werden und die Person auch vom methodischen Ansatz her als Ganzes zu erfassen. Ihr ist nicht daran gelegen, innere Prozesse als Schritte der Informationsverarbeitung oder eines neurophysiologischen Zusammenwirkens von spezifischen Zellverbänden zu verstehen, sondern es geht hier vielmehr um die Art und Weise, wie **innere Erlebnisprozesse** zu neuen Einsichten, Wahrnehmungen oder Wertorientierungen führen. Es wird Wert gelegt darauf, dem Individuum Erfahrungen zu ermöglichen, die sein Leben sinnvoll machen. Rodgers (1981), als einer der wichtigsten Vertreter, stellte zum Beispiel mit seinen Selbsterfahrungsgruppen (*encounter groups*) zur Erweiterung der mitmenschlichen Sensibilität oder mit Übungen zur „Sinneserweiterung" das Streben des Individuums nach seelischem Wachstum und die Bedeutung des Erlernens eines positiven Selbstkonzeptes für die Lebensmeisterung in den Vordergrund seines Wirkens.

Situationsdefinition (oder die der Gruppe) zu erfassen, aus der jeweils gehandelt wird. Aus dieser Perspektive lassen sich dann auch kulturelle oder, je nach Herkunft oder Einstellung, die Funktionen von Motivation und Emotion untersuchen und verstehen (Nolen-Hoeksema et al. 2014).

Ferner geht dieser Ansatz davon aus, dass der Mensch frei ist zu entscheiden und seine Handlungen selbst zu bestimmen. Nicht die Umwelt, die Eltern oder bestimmte Reize, sondern er selbst ist verantwortlich für sein Handeln, er selbst ist Akteur und wird nicht getrieben von inneren oder äußeren Kräften. So wird denn auch die Selbstverwirklichung und **Selbst-Aktualisierung** gegen Hemmnisse der Umwelt und der Kultur als wesentliches Ziel betrachtet (▶ Exkurs 1.9).

Maslow (1970) dagegen ging von einer Hierarchie der menschlichen Bedürfnisse (Motivationen) aus, an deren Prioritätenspitze das besagte Streben nach Selbstaktualisierung (◘ Abb. 1.6) als höchstes Lebensziel steht. Er entwickelte dieses Konzept aus einer Studie über die Lebensverläufe von hervorragenden, wohlsituierten wie auch produktiven Persönlichkeiten (unter anderem Abraham Lincoln, Thomas Jefferson, Franklin E. Roosevelt), bei denen er eine Reihe überdurchschnittlicher gemeinsamer Merkmale fand, wie problem- und nicht selbstorientiertes Interesse oder wenige tiefe statt zahlreicher oberflächlicher Beziehungen. Hier zeigte sich für Maslow: Erst wenn unsere physiologischen Bedürfnisse befriedigt sind, befassen wir uns



◘ **Abb. 1.6 Maslows Bedürfnishierarchie.** Nach Maslows Motivationstheorie bilden unsere Bedürfnisse eine Hierarchie, an deren Spitze das nur von wenigen Menschen verwirklichte Bedürfnis nach Selbstverwirklichung steht. Es müssen erst die vorangehenden, niederen Bedürfnisse befriedigt werden, ehe man die höheren spüren kann. (Maslow et al. 1997)

mit unserem Sicherheitsbedürfnis, danach erst mit unserer Sehnsucht zu lieben, geliebt zu werden, und erst nach dem Erlangen der erstrebten Selbstachtung gilt unser Streben dem höchsten Ziel der Selbstaktualisierung.

Der humanistische Ansatz in seinen verschiedenen Ausprägungen wird vielfach als eine Erweiterung der Psychologie über die enger gezogenen Fachgrenzen hinaus verstanden. Doch lehnen einige Humanistiker dabei die wissenschaftliche Psychologie insgesamt ab, da sie nichts zum Verständnis des Menschen beitrage, womit sie sich de facto selbst aus dem Kanon der wissenschaftlichen Psychologie ausschließen. Dennoch scheint die Denkrichtung des humanistisch-phänomenologischen Ansatzes insofern wichtig, als sie ins Bewusstsein ruft, dass die wissenschaftliche Psychologie die lebens- und gesellschaftsrelevanten Probleme der menschlichen Wohlfahrt nicht aus dem Auge verlieren darf. Durch Heranziehen von Ideen und Konzepten aus Literatur, Kunst oder der Geschichte könnte eine Psychologie entstehen, die den Menschen umfassender und auch in seinen kulturgeschichtlichen, wissenschaftlichen und religiösen Zusammenhängen sieht.

Der subjektivistische (phänomenologische) Ansatz konzentriert sich auf die subjektive Erfahrung des einzelnen Menschen mit seinen jeweiligen Erfahrungen, Bedürfnissen und Werten, an deren Spitze das Ziel der Selbst-Aktualisierung steht. Er betont die Einzigartigkeit des Menschen und sieht sich als „dritte Kraft" neben Behaviorismus und Psychoanalyse.

1.2.6 Weitere Entwicklungen der Forschungsansätze

Sowohl durch die außergewöhnlich schnelle Entwicklung neuer technischer Verfahren in den Neurowissenschaften als auch durch die damit verbundene enorme Aktivierung einer zunehmend erfolgreichen Interaktion und Kooperation mit der psychologischen Forschung auf diesen Gebieten bildete sich eine neue viele Disziplinen umfassende Forschungsinitiative, deren einzelne Bereiche heute unter dem Begriff **kognitive Neurowissenschaften** zusammengefasst werden. Ihre Ergebnisse gehören heute schon in weiten Teilen zu den Grundlagen der Allgemeinen wie auch der generellen Psychologie.

Ziel dieses in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewinnenden Forschungsaspektes ist es (ähnlich wie das der Biopsychologie), kognitive Prozesse in Form von hirnbasierten (*brain-based*) Mechanismen zu erklären. Kognitive Neurowissenschaft versteht sich heute als eine Brückendisziplin zwischen den Kognitionswissenschaften (dazu die eigenständige kognitive Psychologie, siehe ▶ Abschn. 1.2.3) einerseits und der Biologie und den Neurowissenschaften (wie Neurologie) andererseits (Ward 2010). Ausführlicher dazu ▶ Exkurs 1.10.

Kritisch hinterfragt

Kritisch gefragt wird bei allen diesen Ansätzen immer wieder, und das insbesondere beim biologischen Aspekt: lassen sich, und wenn, wie weit, alle die psychisch-mentalen Phänomene, die wir erleben und in der wissenschaftlichen Psychologie betrachten auf rein auf biologisch-neuronale Prozesse des Gehirns zurückführen? Diese Frage, wie weit prinzipiell eine **reduktionistische Erklärung** psychischer Phänomene möglich, das heißt erfolgreich ist, wird derzeit von einzelnen Wissenschaftlern sehr unterschiedlich beurteilt. Ausführlicher und kritisch behandeln wir diese Fragestellung in *Zusatztext online* zu dieser Seite.

1.3 Psychologie als wissenschaftliche Forschungsmethode

Nachdem wir uns mit verschiedenen möglichen Ansätzen und Perspektiven psychologischer Forschung befasst haben, kommen wir zurück zur generellen Frage der wissenschaftlichen Untersuchungsmethoden:

1. Wie stellt man die richtigen Fragen?
2. Wie findet man die richtigen Antworten?
3. Wie bewertet man deren Gültigkeit?

Auf dem Wege dahin gibt es einige Schwierigkeiten, die uns zunächst vielleicht nicht bewusst sind und die wir hier als Schwächen oder Grenzen des „gesunden Menschenverstands" bezeichnen und vorab betrachten wollen.

1.3.1 Schwächen des „gesunden Menschenverstandes"

Von früh auf in unserem Leben, sobald wir sprechen gelernt haben, stellen wir Fragen: Was machst du da? Was ist das? Warum ist das so? Und wir bekommen Antworten von Eltern und anderen Erwachsenen, die wir zunächst unkritisch hinnehmen und damit unser Weltverständnis aufbauen. Aber wir machen auch eigene Erfahrungen, die uns Antworten auf unsere ersten Fragen geben. So tragen indirekte und direkte Erfahrungen dazu bei, dass wir uns ein ständig wachsendes Bild von der Welt und ihren Gesetzmäßigkeiten machen. Die hieraus erwachsenden (eventuell einseitigen) Vorstellungen und **Einstellungen** aber nehmen **bahnenden** Einfluss auf unser weiteres Wahrnehmen, das damit selektiv werden kann. Wir sehen die Dinge – ohne uns dessen bewusst zu sein – so, wie wir sie sehen wollen, wir akzeptieren, „glauben", was in unsere Vorstellung oder Erwartung passt, und übersehen das Nicht-Passende.

Wie die Beobachtung von Münsterberg (▶ Exkurs 1.11) deutlich macht, kann ein und dieselbe Situation nicht nur unterschiedlich erlebt, sondern das Geschehen auch unterschiedlich wahrgenommen werden. Derartige Unterschiede in der Wahrnehmung oder Beurteilung ein und derselben Sache können verschiedene Gründe haben. Die bekanntesten sind:

Exkurs 1.10

Genauer betrachtet: Kognitive Neurowissenschaften

Als distinkter Wissenschaftszweig hat sich die kognitive Neurowissenschaft erst in jüngster Zeit herausgebildet, wobei insbesondere methodologische Fortschritte, wie die Entwicklung und Verfügbarkeit moderner Verfahren funktioneller Bildgebung wie PET, MRT, MRI u. a. (▶ Exkurs 10.4), mitverantwortlich sind, die es ermöglichen, das menschliche Gehirn im Labor auch ohne Eingriffe in vivo und in Tätigkeit zu untersuchen.

Noch in den 1970er-Jahren wurden die neuen Verfahren auch in den Neurowissenschaften eher indifferent betrachtet (Raichle 1998), und erst durch das Interesse und die Einmischung der kognitiven Psychologie in den 1980er-Jahren erlangten diese sich weiter entwickelnden Verfahren ihre jetzige Bedeutung.

In dieser Zusammenführung der neuen Technologie der bildgebenden Verfahren einerseits mit der von der Psychologie bis dahin bereits entwickelten experimentellen Versuchsplanung und ihren theoretischen Modellen der Informationsverarbeitung menschlicher Gehirnprozesse (Computermodellen) sowie den in der Linguistik theoretisierten mentalen Strukturen der Sprachverarbeitung andererseits kann nach Ward (2006, 2010) die Geburtsstunde der kognitiven Neurowissenschaft gesehen werden. Als Disziplin wurde die kognitive Neurowissenschaft (*cognitive neuroscience*) Ende der 70er-Jahre von Michael Gazzaniga und George A. Miller begründet. Während Ziel der bestehenden Neurowissenschaft die Aufklärung der Struktur und Funktionsweise des Nervensystems insgesamt ist (einschließlich dessen Schädigung, Störung oder Veränderung), beziehen sich die kognitiven Neurowissenschaften speziell auf die Strukturen und Funktionsweisen des Gehirns, zumal sich mit der Hirnforschung (*brain research*) die Auffassung durchgesetzt hatte, dass das Gehirn die Grundlage der Kognition ist (siehe auch *Zusatztext online*).

Unser Verständnis für die detaillierten Funktionen des Gehirns entwickelte sich historisch erst sehr spät Ende des 19. Jahrhunderts. Obgleich erste wichtige Beobachtungen bereits von Aristoteles (384–322 v. Chr.) gemacht wurden, der feststellte, dass das Verhältnis von Hirngröße zu Körpergröße bei intellektuell fortgeschrittenen Spezies, wie den Menschen, am größten war, war aber für ihn unsere Kognition eher ein Produkt des Herzens, während der Kopf eher der Kühlung dienen sollte. Erst Galen (129–199) beobachtete bei hirnverletzten Gladiatoren, dass Nervenbahnen von und zum Gehirn verlaufen, aber er glaubte, dass unser mentales Erleben eher in den Ventrikeln (Hohlräumen) des Gehirns wohnen – eine Auffassung, die über 1500 Jahre erhalten blieb. Die grundlegende Idee, dass verschiedenen Regionen des Gehirns für verschiedene Funktionen verantwortlich sind, findet sich wohl erstmals bei Gall und Spurzheim (1810) in ihrer „Phrenologie", in der sie fälschlich annahmen, dass Bedeutung und Größe dieser Regionen zu von außen sichtbaren Auswölbungen des Schädels führen, an denen diese hypothetischen Funktionen und Persönlichkeitseigenschaften ablesbar seien. Der bemerkenswerteste Fortschritt waren dann die von Broca (1861) dokumentierten Fälle lokal hirngeschädigter Patienten, bei denen nur die Fähigkeit zu sprechen beeinträchtigt war, woraus er den Schluss zog, dass die Sprachfähigkeit in dieser Region lokalisiert sein könne (◘ Abb. 2.24). Hinzu kam dann bald die Entdeckung eines weiteren Sprachzentrums durch Wernicke (1874). Dieser methodische Zugang, Patienten mit einer erlittenen Hirnschädigung zur Untersuchung zu nutzen, um daran Theorien normaler Kognition zu entwickeln, wird heute als Neuropsychologie oder kognitive Neuropsychologie bezeichnet. Diese ist heute weitgehend in dem wieder umfassenderen Begriff der kognitiven Neurowissenschaft aufgegangen (Ward 2010). Durch die erfolgte unterschiedliche Verwendung des Begriffes „Kognition" (Erkennen) umfasst der Begriff „kognitive Neurowissenschaft" nach der heutigen Terminologie sehr verschiedenartige Funktionen, wie Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Sprache, Denken, Vorstellung, Gedächtnis, Handeln und Motorik, oft auch Emotion, als deren Grundlage das Gehirn angesehen wird (Karnath und Thier 2012). Somit finden wir heute in fast allen Themenbereichen der *Allgemeinen Psychologie* auch Erkenntnisse der kognitiven Neurowissenschaften vertreten.

Exkurs 1.11

Genauer betrachtet: Münsterbergs Bericht

Münsterberg (1908) gab folgenden Bericht über die Verschiedenartigkeit der von Journalisten auf einer Friedenskundgebung gemachten Beobachtungen:

„Die Journalisten saßen direkt vor der Rednertribüne. Einer schrieb, dass die Zuhörer über meine Ansprache so überrascht waren, dass sie sich ganz still verhielten; ein anderer schrieb, dass ich dauernd durch lauten Beifall unterbrochen wurde und dass dieser am Ende meiner Ansprache minutenlang anhielt. Der eine schrieb, dass ich während der Ansprache meines Gegners dauernd lächelte; der andere beobachtete, dass ich keinerlei Miene verzog. Der eine schrieb, dass ich rot vor Aufregung, der andere, dass ich weiß wie Kalk wurde. Der eine berichtete, dass mein Gegner während der Ansprache dauernd auf der Rednertribüne auf und ab ging; der andere sagte, er habe die ganze Zeit an meiner Seite gestanden und mir verächtlich auf die Schulter geklopft" (Ruch und Zimbardo 1974, S. 5). Dies ist zugleich eine nette Illustration zur Objektivität von Berichterstattungen, wie wir ihnen auch gegenwärtig immer wieder in Tageszeitungen oder auch in Zeugenaussagen begegnen.

1. Einstellungs- beziehungsweise Erwartungs-Effekt,
2. Überbewertungs-Effekt (*overconfidence effect*) und
3. Rückschaufehler (*hindsight bias*).

Einstellungs- oder Erwartungseffekt

Er bezeichnet das Phänomen, dass wir das Gesehene oder Gelesene gemäß unserer **Erwartung** interpretieren. So suggerieren die häufig auf Drogerieartikeln, von der Zahnpastatube bis zum Haarshampoo, zu findenden Hinweise „klinisch getestet" oder „klinisch erprobt" viel mehr, als sie tatsächlich aussagen. Sie sagen nichts darüber, welche Art von Tests sie mit welchen Ergebnissen bestanden oder auch nicht bestanden haben. Aber wir gehen bei unserem Verständnis von der Erwartung aus, dass das Ergebnis zumindest einwandfrei war. Ähnlich wird, was wir zum Beispiel in der ◘ Abb. 1.7a sehen, von unserer momentanen Erwartung oder Bereitschaft geleitet, zum Beispiel ein Gesicht zu sehen, nicht aber einen Saxofonisten.

1.3.2 Overconfidence-Effekt

Eine weitere Schwäche unseres gesunden Menschenverstands liegt in unserer nicht bewussten Neigung, unser eigenes Wissen als zuverlässiger und sicherer (richtiger) zu beurteilen, als es tat-



Abb. 1.7 Einstellungseffekt bei der Wahrnehmung. Man sieht, was man erwartet. Bilder dieser Art (**a**), die zwei verschiedene Sichtweisen zulassen (**b**, und Abb. 1.9), werden auch als Vexierbilder bezeichnet. (Nach Shepard 1990, S. 36, 191, 198)

sächlich ist. Wenn wir nach geläufigem Tatsachenwissen gefragt werden, etwa: „Liegt Paris nördlicher oder südlicher als Boston?", so stufen wir die Wahrscheinlichkeit, dass die Antwort, die wir geben, richtig ist, höher ein, als es tatsächlich der Fall ist (Boston liegt südlicher, ist aber kälter). Dieses übermäßige Vertrauen wird als Überbewertungsschwäche oder Overconfidence-Effekt bezeichnet (▶ Exkurs 1.12).

Teils rührt dieser Effekt auch von unserer Neigung her, nur solche Informationen zu suchen und im Gedächtnis zu behalten, die unsere Vorstellungen bekräftigen. Widersprüchlich erscheinende Informationen sind wir dagegen geneigt zu übersehen oder leicht zu vergessen, sodass wir im Laufe der Zeit unsere Auffassung beziehungsweise Meinung als bestätigt erleben.

Hindsight-Bias oder Rückschaufehler

Dieser Effekt äußert sich darin, dass wir bisweilen rückblickend meinen, die Dinge seien doch längst klar beziehungsweise von Anfang an geklärt gewesen. Damit einhergehend haben wir manchmal den Eindruck, es lohne sich nicht, komplizierte wissenschaftliche Fragen zu stellen, da das Untersuchte längst klar gewesen sei. Doch auch das täuscht. Wie Slovic und Fischoff (1977) und Wood (1979) entdeckten und nachweisen konnten, erscheinen uns (dem „gesunden Menschenverstand") sowohl wissenschaftliche Ergebnisse als auch historische Ereignisse im Nachhinein, wenn sie bekannt sind, als selbstverständlich und einleuchtend, obwohl sie das vor dem Zeitpunkt ihres Vorliegens nachweislich nicht waren. Die Kenntnis, dass sich etwas ereignet hat oder dass etwas „bewiesen" wurde, scheint die Sache unvermeidbar und sachlogisch zu machen. Sobald wir den Ausgang eines Experiments oder einer historischen Begebenheit erfahren haben, scheint es uns plötzlich weniger überraschend als Vergleichspersonen, die den Ausgang nicht kennen und nach dem möglichen Ausgang gefragt werden. Diese Tendenz, nach Kenntnis des Ergebnisses zu glauben, man habe das Ergebnis vorhergesehen, wird in der Psychologie bisweilen auch als *I-knew-it-all-along*-Phänomen bezeichnet.

1.3.3 Von der wissenschaftlichen Fragestellung zur Hypothesen- und Theoriebildung

Nehmen wir zur Illustration das fiktive Beispiel eines Berichtes, dem zufolge Studenten, die rauchen, schlechtere Zensuren bekommen als ihre nicht rauchenden Kommilitonen. Nehmen wir an, der Bericht enthält Zahlenstatistiken, denen zufolge Zensuren und Rauchen negativ miteinander korrelieren: Wenn die Anzahl gerauchter Zigaretten hoch ist, ist die Zensur schlecht und umgekehrt (Abb. 1.8).

Wenn wir aber etwas über die ursächlichen Zusammenhänge wissen wollen, müssen wir weitere Fragen stellen, denn eine Korrelation allein sagt – wie aus der Statistik bekannt – noch nichts über die ursächlichen Zusammenhänge aus.

1. Wenn das Rauchen (a) tatsächlich die Ursache für schlechte Noten (b) ist, müsste weniger Rauchen zu besseren Zensuren führen. Das müsste der Fall sein, wenn eine direkte Abhängigkeit vorliegt:

   $$a \rightarrow b$$

   Aber es sind auch andere kausale Zusammenhänge möglich:
2. Es könnte sein, dass schlechte Zensuren bei den Studenten nervöse Angewohnheiten auslösen, wie Nägelkauen oder Rauchen:

   $$b \rightarrow a$$

   In diesem Falle fiele die experimentelle Antwort auf unsere Frage negativ aus: Nichtrauchen würde keine Änderung der Zensuren bewirken.
3. Es könnte aber auch sein, dass sowohl Rauchen als auch die schlechten Noten von einem dritten Faktor, zum Beispiel einer allgemeinen Nervosität (c), verursacht werden:

   $$c \nearrow a \quad c \searrow b$$

Exkurs 1.12

Experiment: Zum Overconfidence-Effekt

Die Überbewertungsschwäche lässt sich auch an einem auf Goranson (1978) zurückgehenden Beispiel demonstrieren. Er legte seinen Versuchspersonen einige Anagramme (Wortverdrehungen) zur Auflösung vor, beispielsweise:

NEBAR	NARBE
TLEAF	TAFEL
BEMLU	BLUME

Überlegen Sie selbst einmal: „Wie viele Sekunden wird es brauchen, um jeweils ein Anagramm zu lösen? Sind Sie sich sicher? Üblicherweise liegen die Schätzungen hierbei nicht sehr weit auseinander. Auch Sie werden vermutlich der Auffassung sein, dass Sie die Lösung in etwa 10 s erkennen würden. Doch im realen Experiment brauchen Personen dazu etwa 3 min. Versuchen Sie es selbst mit dem folgenden Anagramm, für welches hier keine Lösung vorgegeben ist: OCHSA. Wie lange haben Sie gebraucht? (Die Lösung findet sich am Exkursende.)
Nachträglich, wenn uns das Zielwort bekannt ist, und davon gehen wir offenbar aus, scheint die Lösung so offensichtlich, dass wir die Problematik und damit den benötigten Zeitaufwand unterschätzen und mit Sicherheit zu einer zu kurzen Zeiteinschätzung kommen.

Die Lösung des Anagramms OCHSA ist CHAOS.

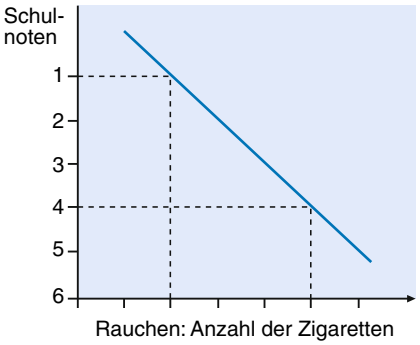


Abb. 1.8 Korrelationstafel für den fiktiven Fall, dass Schulnoten und Anzahl geraucht Zigaretten zu 100 % (das heißt r = –1) mit den Schulnoten korrelieren

In diesem Falle würde das Nichtrauchen eventuell eher die Nervosität erhöhen, aber das Lernen sicherlich nicht verbessern. Schon hier sehen wir, dass unsere experimentell gestellte Frage, was passiert, wenn das Rauchen eingestellt wird, zu verschiedenen möglichen Antworten und Interpretationen führt. Es sind aber sicher noch weitere Möglichkeiten denkbar, die andere Ergebnisse erbrächten, zum Beispiel:

4. Es wäre eventuell denkbar, dass der Dozent (D) Studenten, die in der Vorlesung oder im Seminar rauchen, nicht leiden kann, weil sie ihm nicht fleißig genug erscheinen:

   a → D → b

   Hier würde das Nichtrauchen ebenfalls wie unter Punkt 1 zu besseren Noten führen. Die Ursache wäre aber eine ganz andere: Nicht die Verhaltensänderung des Studenten, sondern vielmehr die veränderte Wahrnehmung beim Dozenten erscheint als Ursache (Zimbardo 1983).

Die Beispiele mögen gezeigt haben, wie leicht es ist, **falsche Schlüsse** zu ziehen, die dann auch unser weiteres Handeln beeinflussen. Oft sind wir geneigt, einfachen, einleuchtenden Antworten Glauben zu schenken, weil wir nicht nach alternativ möglichen Lösungen fragen.

Als wissenschaftlich kritischer Denker fragen wir uns beim Lesen oder Hören eines Berichtes: Woher weiß man das? Basiert eine Schlussfolgerung auf einer Vermutung oder auf einer glaubwürdigen Evidenz? Und rechtfertigt die Evidenz die Schlussfolgerung einer Kausalbeziehung? Oder: Welche alternativen Kausalerklärungen sind weiterhin möglich? So gesehen ist das wissenschaftliche Vorgehen ein Weg (*methodos*), falsche Schlüsse möglichst einzugrenzen. Hierzu dient die wissenschaftliche Methode. Die Forschungsmethoden stellen das Handwerkszeug dar, mit dem die wissenschaftliche Psychologie ihre Daten sammelt, auswertet, interpretiert und so zu Erklärungen des Beobachteten kommt. Wenngleich die Psychologie auch heute in weiten Bereichen im strengen Sinne (noch?) keine exakte Naturwissenschaft ist, gehen ihre wichtigsten Entdeckungen und Erkenntnisse darauf zurück, dass sie sich ihre wissenschaftliche Methode zum Vorbild genommen hat.

Das Bilden von Hypothesen ist der erste Schritt, den wir als Wissenschaftler tun, wenn wir uns einem Phänomen zuwenden, dessen Ursachenzusammenhänge wir verstehen wollen.

Wir haben zunächst vielleicht nur eine vage Vermutung, wie die Dinge zusammenhängen könnten, die wir als mögliche Antwort formulieren. **Hypothesen** sind solche möglichen, das heißt *potenziellen Antworten* auf die gestellten Fragen. So beginnt in der Regel jedes Untersuchungsvorhaben mit der Formulierung von Hypothesen, deren Richtigkeit oder Unrichtigkeit durch die Untersuchung empirisch untersucht werden soll. Hypothesen sind zum Testen da. Es gibt keine Regeln, wie man zu guten Hypothesen kommt. Sie ergeben sich vielmehr aus dem jeweiligen Wissensstand und können aus einer einmal gemachten Beobachtung erwachsen oder als Folgerung aus einer bereits existierenden Theorie (deduktiv) abgeleitet werden (mehr zu Hypothesenbildung in *Zusatztext online*).

Eine einmal aufgestellte Hypothese kann naturgemäß unseren Blickwinkel einschränken und zur vorgefassten Meinung werden, die es zu bestätigen gelte – ohne zu prüfen, ob sie sich widerlegen lässt. Das hat unter kritischen Psychologen zu der Auffassung geführt, dass es unsachlich sei, Untersuchungen mit „vorgefassten" Hypothesen zu beginnen. Andere argumentieren



Abb. 1.9 Einstellungseffekt bei der Wahrnehmung. Hier die zweite Sichtweise zu Abb. 1.7a. (Nach Shepard 1990, S. 36, 191, 198)

dagegen, dass das Sammeln von Daten ohne eine (wenn auch nicht festgelegte) Hypothese sinnlos wäre. Die Strategie einer kritischen Forschung ist es daher, zunächst möglichst alle denkbaren Alternativhypothesen über mögliche Ursachenzusammenhänge zu sammeln (wie im Raucherbeispiel in diesem Kapitel). In einem zweiten Schritt werden dann alle diejenigen Hypothesen ausgeschieden, die für die Erklärung des beobachteten Phänomens nach sorgfältiger Prüfung unzureichend erscheinen. Die verbleibenden Hypothesen werden sodann der experimentellen *empirischen Prüfung* unterzogen, ob sie sich als zureichend erweisen. Aber selbst dann können wir, wie die Geschichte gezeigt hat, nicht absolut sicher sein (zumal wir in der Psychologie zumeist statistische Wahrscheinlichkeitsaussagen machen). Wir können unsere Ergebnisse auch dann nicht als „bewiesen" ansehen, sondern sie nur als beste zurzeit mögliche und wahrscheinlichste Antwort betrachten.

Das **Bilden von Theorien** ist ein weiterer Schritt wissenschaftlichen Erkenntnisbemühens. Theorien zeichnen sich dadurch aus, dass aus allgemeinen Gesetzmäßigkeiten, Prinzipien oder Basissätzen empirisch beobachtbare Voraussagen abgeleitet werden können, und stützen sich insofern auf die experimentell erhaltenen Ergebnisse. Den Zusammenhang, wie sich aus anfänglichen Beobachtungen über erste Hypothesen, ihre experimentelle Untersuchung und den daraus gezogenen Schlussfolgerungen unser wissenschaftliches und theoretisches Verständnis menschlichen Handelns entwickelt und aufbaut, zeigt schematisch Abb. 1.10.

Wie wir gesehen haben, beginnt unser wissenschaftliches Fragen mit der Beobachtung eines Phänomens (Selbst- oder Fremdbeobachtung), oder aber es resultiert als neue Frage aus unserem bisherigen Verständnis, das heißt unseren für gültig gehaltenen Theorien. Weiter leiten wir daraus eine **Beobachtungshypothese** ab, die wir in ein prüfbares statistisches Hypothesenpaar umwandeln:

1. **Experimentelle Hypothese H_1:** Die schulische Ganzheitsmethode erbringt bei achtjährigen Schulkindern bessere Leistungen als die herkömmliche Methode (gerichtete Fragestellung).
2. **Nullhypothese H_0:** Es gibt keine Unterschiede zwischen beiden Methoden.

Dementsprechend wird ein Versuchsplan entworfen und eine experimentelle Untersuchung durchgeführt. Zum Beispiel: Zehn Paare gleich guter Schüler werden vom gleichen Lehrer nach der Methode A oder Methode B ein halbes Jahr lang unterrichtet und dann einem gleichartigen Leistungstest unterzogen.

Aus den erhaltenen Ergebnissen können dann Schlussfolgerungen gezogen werden, zum Beispiel über die Entwicklung der kindlichen Auffassungsgabe, aus denen dann mit oder ohne weitere Befunde eine Theorie entwickelt werden kann. Durch Hinzunahme der Erkenntnisse anderer theoretischer Ansätze (zum Beispiel der Theorie der unterschiedlichen Begabung) können dann Theoriesysteme entwickelt werden, die einen weiteren Erklärungsrahmen umfassen als die einzelnen Theorien. Andererseits führen die Theorien häufig zu neuen Fragen oder Postulaten, die in weiteren Untersuchungen geprüft werden können. Dementsprechend sind wissenschaftliche Theorien de facto eine der wichtigsten Quellen für neue wissenschaftliche Hypothesen.

Die Psychologie versteht sich im Gegensatz zur Philosophie, mit der sie zwar viele Fragestellungen gemeinsam hat, als eine **empirische Wissenschaft** (Erfahrungswissenschaft). Für die Richtigkeit psychologischer Annahmen, Aussagen und Theorien setzt sie als entscheidendes Kriterium die empirische **Überprüfbarkeit**, das heißt die Bewährung anhand von Beobachtungsdaten. Dabei gelten für das Erheben von Beobachtungsdaten vier elementare Prinzipien:

1. Relevante Daten zu sammeln – durch systematische Beobachtung und Aufzeichnung;
2. Die aufgezeichneten Daten nach definierten und nachvollziehbaren Regeln auszuwerten – Forderung der **Objektivität;**
3. Beobachtungen, Befunde und Interpretation so darzulegen, dass sie wiederholbar, das heißt replizierbar sind – zur möglichen **Verifizierung** oder **Falsifizierung**;
4. Die Ergebnisse zur Problemstellung dem bereits Bekannten hinzufügen und durch ihre Veröffentlichung (Vorträge, wissenschaftliche Zeitschriftenbeiträge) die Weiterentwicklung für andere zu ermöglichen.

Einen wesentlichen Part hierbei hat die **Theoriebildung**. Eine wissenschaftliche Theorie ist nicht, wie vielleicht in der Umgangssprache, eine vage Vermutung oder Annahme. Sie stellt vielmehr eine auf gezielten oder experimentellen Beobachtungen basierende Erklärung eines Gegenstandsbereiches dar. Theorien sind in der Form eines strukturiert geordneten Systems von Grundgesetzmäßigkeiten formuliert, das die beobachtbaren Phänomene organisiert und Vorhersagen ermöglicht.

Eine Theorie vereinfacht unser Wissen, indem sie sonst isoliert erscheinende Einzelfakten in einen organisierten Zusammenhang stellt, der unser Verständnis erleichtert.

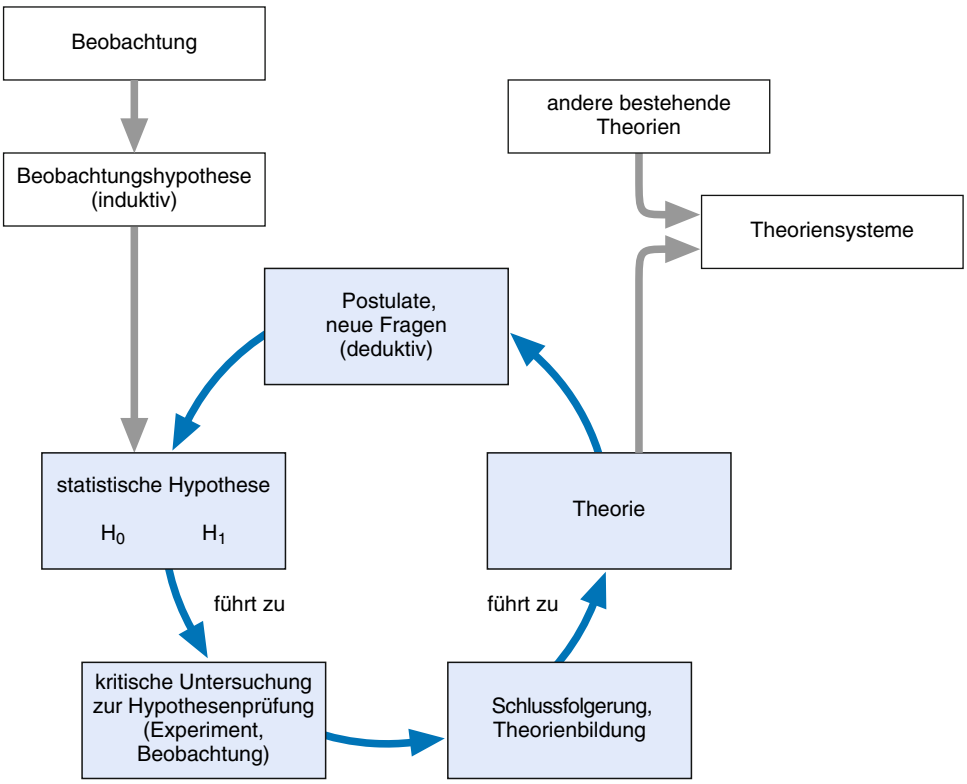


Abb. 1.10 Hypothesen- und Theorienbildung

Ausgangspunkt für ein solches Vorgehen ist die Grundannahme eines auf festen Gesetzmäßigkeiten beruhenden, determinierten Universums. Als einer der Ersten hat Mill (1843) diesen Gedanken in seinem *Gesetz der kausalen Determiniertheit* formuliert, das besagt, „dass es in der Natur Dinge gibt, die als Parallelfälle zu bezeichnen sind, dass sich das, was sich einmal ereignet hat, bei genügend hohem Ähnlichkeitsgrad der Umstände wieder ereignen wird". Um solche Ursachen und Zusammenhänge wissenschaftlich in den Griff zu bekommen, schlug er seinerzeit seine berühmt gewordenen *Regeln der Beweisführung* vor, die in ihrem Grundansatz auch heute noch ihre volle Gültigkeit besitzen:

Bezeichnen wir etwas als Ursache eines bestimmten Phänomens, so muss

1. es immer dann auftreten, wenn das Phänomen auftritt;
2. das Phänomen immer dann auftreten, wenn die vermutliche Ursache auftritt;
3. das Phänomen variieren, wenn die vermutliche Ursache variiert.
4. Weist ein Phänomen, dessen Ursache bekannt ist, zusätzliche Eigenschaften auf (die nicht aus der bekannten Ursache folgten), dann gibt es dafür zusätzliche Ursachen.

Diese Regeln der **Beweisführung** geben uns Richtlinien dafür, falsche Hypothesen über die Ursachen besonderer beobachteter Ereignisse zu eliminieren (Zimbardo 1983).

Dennoch hat sich immer wieder gezeigt – und das nicht nur in der Psychologie, sondern auch in den Naturwissenschaften –, dass wir uns unserer derzeit gültigen Erkenntnisse nie absolut sicher sein können. Wie uns die Geschichte lehrt, ist unser Verständnis der Welt und auch des Menschen stets Wandlungen unterworfen gewesen. Das Newton'sche Weltbild hat das kopernikanische abgelöst, und es ging später seinerseits in dem neuen Weltverständnis von Albert Einstein auf. So sind unsere Schlussfolgerungen aufgrund unserer derzeitigen Erkenntnisse wohl weitgehend immer als nur vorläufig und unvollständig zu betrachten, auch wenn wir meinen, völlig sicher zu sein (hier sei an den *Overconfidence*-Effekt erinnert). So formulierte Carl Friedrich von Weizsäcker in einer seiner Hamburger Vorlesungen, dass wir lernen müssen, mit einem unvollständigen Weltbild zu leben, das eben nicht absolute Sicherheit im Detail erbringt. Entsprechend müssen auch unsere jeweiligen wissenschaftlichen Schlussfolgerungen immer einer künftigen Berichtigung oder einer möglichen Widerlegung durch neue Beobachtungen oder Erkenntnisse offen sein.

Dem wird dadurch Rechnung getragen, dass die Untersuchungsergebnisse in *Termini der Wahrscheinlichkeit* formuliert werden, die sich aus der mathematisch-statistischen Berechnung der Beobachtungen ergeben.

Dabei wird zumeist eine Schätzung der Wahrscheinlichkeit angegeben, mit der der beobachtete Unterschied (in einer Untersuchung) im Zufallsbereich liegt (Irrtumswahrscheinlichkeit), oder ob er groß genug, also „signifikant" ist, um die Nullhypothese zu verwerfen. Diese Wahrscheinlichkeit wird in Prozent (%) angegeben kann mittels so genannter *Signifikanztests* berechnet werden (die zu den Themen der statistischen Methodenlehre gehören). Üblicherweise werden Resultate nur dann als statistisch signifikant angesehen, wenn die Wahrscheinlichkeit, dass der Unterschied durch Zufall hätte zustandekommen können, weniger als 5 %, oder gar weniger als 1 % beträgt.

Exkurs 1.13

Genauer betrachtet: Zur prüfbaren Fragestellung

Schwerlich können wir die weit reichende Frage beantworten, wie sich „das Verhalten des Menschen" erklären lässt. Auch die Eingrenzung der Frage auf das Verhalten einer bestimmten Menschengruppe wäre für eine wissenschaftliche Untersuchung noch zu weit gefasst. Erst wenn wir die Frage in Form eines messbaren und lösbaren Problems formulieren, wird eine wissenschaftliche Bearbeitung möglich. Wir könnten zum Beispiel die mit einem Testverfahren messbare emotionale Reaktion einer bestimmten Person (Persönlichkeitstest) auf einen definierten Reiz (Ton von 500 Hz) in einer definierten Situation auf ihre Abhängigkeit untersuchen.

Exkurs 1.14

Genauer betrachtet: Beispiel zum deduktiven Schließen

Wir können aus dem Gesetz des freien Falles, das heißt aus der Aussage, dass die Erdanziehung auf alle Körper in gleicher Stärke einwirkt, deduktiv schließen, dass eine Feder oder ein Blatt Papier gleich schnell zur Erde fallen müssten wie ein Stein, der aus gleicher Höhe fällt. Ein einfacher Versuch könnte diese Schlussfolgerung leicht falsifizieren (wenn Sie es einfach ausprobieren), doch wie wir bereits bei Mills Regeln der Beweisführung gesehen haben, müssen dann offenbar andere Ursachen im Spiel sein. In unserem Fall ist das der Luftwiderstand. Nur wenn wir Stein und Feder in einem Vakuumzylinder fallen lassen, erreichen beide gleichzeitig den Boden, womit sich die generelle Gültigkeit des Gesetzes belegen lässt, wenn die Störvariable ausgeschaltet ist.

Eingrenzung des Phänomenbereichs

Ausgangspunkt wissenschaftlicher Forschung sind zumeist eher globale Fragestellungen (Problemstellungen) oder globale Beobachtungen, für die wir nach einer Erklärung suchen: Warum erscheint uns der am Horizont aufgehende, matte Mond größer, als wenn er leuchtend im Zenit steht? Wie wirkt sich regelmäßiges Fernsehen auf die kindliche Entwicklung aus? Um so weit reichende Fragestellungen wissenschaftlich in den Griff zu bekommen, müssen wir sie in eine **überprüfbare** und **operationalisierbare** Fragestellung (eine Hypothese) überführen, das heißt, wir müssen den Phänomenbereich beziehungsweise den Blickwinkel eingrenzen zur prüfbaren Einzeluntersuchung (► Exkurs 1.13).

Eine solche Einzeluntersuchung kann grundsätzlich unter zwei verschiedenen Denkstrategien durchgeführt werden: **induktiv** (hinführend) oder **deduktiv** (ableitend).

Der **induktive Schluss** führt vom Einzelfall zum übergeordneten Prinzip. Wie im vorherigen Abschnitt dargestellt, sind wir als Wissenschaftler an einer generalisierbaren und weithin gültigen Aussage interessiert, können aber selbst nur bestimmte Einzelfälle untersuchen und beobachten. Aus diesen Ergebnissen können wir sodann Schlussfolgerungen über die Gesamtheit solcher Gegebenheiten ziehen. Haben wir in einigen Einzelbeobachtungen festgestellt, dass sich zum Beispiel eine Eisenstange bei Erwärmung ausdehnt, so können wir daraus die zunächst nicht geprüfte Schlussfolgerung ziehen, dass sich jede Eisenstange genauso verhält. Wir könnten auch weiter folgern, dass sich alle Metalle so verhalten, oder gar, dass sich alle materiellen Körper bei Erwärmung ausdehnen. Ein solches denkerisches Vorgehen wird als **induktiv** bezeichnet. Wir schließen induktiv aus den beobachteten Fakten auf eine größere Klasse von Fällen.

Dabei ergibt sich, wie das Beispiel schon zeigt, ein neues Problem, nämlich das der **Generalisierbarkeit**. Wie weitreichend können unsere Schlüsse auf eine Gesamtheit übertragen werden? In der Psychologie hängt dies zum Beispiel bei Befragungen mit der **Repräsentativität** der untersuchten Personengruppe zusammen. Wenn wir zehn Kinder einer Schulklasse in einem Vorort von Hamburg auf ihre Aggressionsbereitschaft untersuchen, können wir daraus die Aggressionsbereitschaft der Kinder in der BRD ableiten? Oder nur die aller Hamburger Kinder? Oder nur des bestimmten Vorortes? Oder aber einer ganzen Großstadt? Es kommt also wesentlich auf die Auswahl der Stichprobe an, die in ihrer Zusammensetzung für die Gesamtheit, aus der sie stammt und auf die wir rückschließen wollen, repräsentativ ist.

Der **deduktive Schluss** führt von gegebenen Prämissen zum besonderen Fall. Im Gegensatz zum induktiven Vorgehen gibt es auch die Möglichkeit, aus gegebenen Prämissen oder vorhandenen Kenntnissen **deduktiv** (ableitend) auf das Verhalten eines besonderen Falles zu schließen, das heißt, Vorhersagen für ein bestimmtes Verhalten zu treffen, das wir dann durch entsprechende Einzeluntersuchung *verifizieren* oder *falsifizieren* können (► Exkurs 1.14).

1.4 Methodische Prinzipien der Psychologie

Wie in jeder empirischen Wissenschaft kommt auch in der Psychologie den methodischen Verfahren bei der Sammlung, Auswertung und Interpretation von Beobachtungsdaten eine hohe Bedeutung zu. Zusammengenommen werden sie als Forschungsmethode der Psychologie bezeichnet und sind heute Gegenstand einer wichtigen Teildisziplin der universitären Psychologie, die als **psychologische Methodenlehre** grundlegender Baustein des Master- und Bachelorstudienganges ist. Wir wollen uns hier nur mit dem grundlegenden Verständnis dieses weitaus differenzierteren Methodeninventars befassen (siehe zum Beispiel Bortz und Döring 2006, *Forschungsmethoden und Evaluation*).

In den folgenden Abschnitten sollen einige grundlegende Prinzipien der wissenschaftlichen Methodik kurz skizziert werden, die beim Messen und Hypothesenbilden leitend sind:

1. Objektivität und Standardisierung.
2. Reliabilität und Validität.

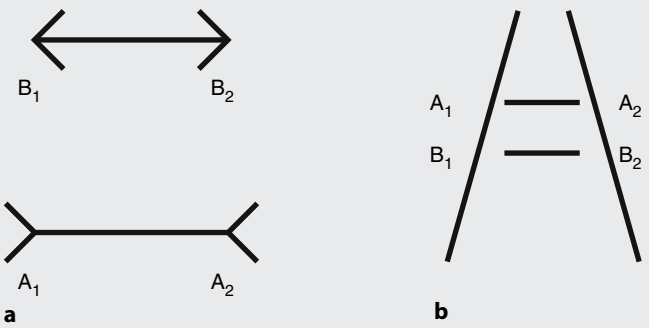
1.4.1 Objektivität und Standardisierung

Am Anfang einer jeden Wissenschaft steht die wissenschaftliche Datensammlung durch systematische und objektive Beobachtung. **Objektivität** meint dabei die intersubjektive Übereinstimmung wie auch Überprüfbarkeit (Traxel 1968). Die beobachteten Daten müssen so beschrieben werden, dass die Beobachtungen auch von anderen Personen mit dem gleichen Ergebnis wiederholt werden können, das heißt, die Beobachtungen sollen (innerhalb der jeweiligen Genauigkeitsgrenzen einer Messung)

Exkurs 1.15

Experiment: Zur Objektivität

Beschreiben Sie, welche der zwei horizontalen Linien in ◘ Abb. 1.11 länger ist. Üblicherweise sagt uns unsere Sinneswahrnehmung unter den vorgegebenen Bedingungen, dass die Strecke A_1–A_2 länger ist als die Strecke B_1–B_2. Nehmen Sie nun aber zwei Stück Papier zu Hilfe und decken Sie damit die zusätzlichen Winkel ab, sodass Sie nur noch die freien Strecken sehen: Jetzt dürften Ihnen die tatsächlich gleich langen Strecken auch gleich lang erscheinen, was Sie durch Messen mit einem Lineal überprüfen können (mehr zu optischen Täuschungen in ▶ Kap. 3).



◘ **Abb. 1.11 Wahrnehmungstäuschungen. a** Müller-Lyer-Täuschung. Die Strecken zwischen den Winkeln rechts und links sind in beiden Figuren objektiv gleich lang, obwohl die eine deutlich länger erscheint, **b** Ponzo-Täuschung. Hier sind objektiv die beiden waagerechten Strecken gleich lang

Exkurs 1.16

Genauer betrachtet: Zur operationalen Definition

Ähnlich wie im Text dargestellt geht die Psychologie vor, wenn sie nicht unscharf formuliert: „Das Kind ist ängstlich" (Woran merke ich das?) oder: „Der Kandidat ist recht intelligent", sondern Ängstlichkeit oder Intelligenz mit einer operational definierten Aussage beschreibt, nämlich unter Angabe eines entsprechenden Mess- oder Testverfahrens. So ließe sich Ängstlichkeit zum Beispiel mit der MAS (Manifest Anxiety Scale) und die Intelligenz mit dem HAWIE (Hamburg-Wechsler-Intelligenz-Test) als Intelligenzquotient (IQ) angeben. Wollen wir in einer wissenschaftlichen Untersuchung angeben, was wir unter „Intelligenz" verstehen beziehungsweise untersuchen, so genügt der Hinweis auf die operationale Definition des IQ eines bestimmten Tests. Durch solche operationalen Definitionen wird es möglich, Ergebnisse verschiedener Untersuchungen exakt miteinander zu vergleichen oder auch vergleichbare Replikationen eines Experiments durchzuführen. Da es aber vielfach noch keine Umrechnungsvorgaben für den Vergleich verschiedener Messverfahren eines Konzeptes wie „Angst", „Intelligenz" oder „Aggression" gibt, kommt es vor, dass widersprüchliche Untersuchungsbefunde allein darauf zurückführbar sind, dass in den Untersuchungen unterschiedlich operational definierte Begriffe eines Konzepts benutzt und folglich nicht eigentlich die gleichen Verhaltensweisen gemessen wurden.

zuverlässig sein oder **Reliabilität** besitzen. Dass es bereits hier erste Probleme geben kann, verdeutlicht ▶ Exkurs 1.15.

Zur objektiven Beobachtung gehört also auch die genaue Beschreibung, unter welchen Bedingungen die Beobachtung gemacht wurde, denn diese können, wie ersichtlich, das Beobachtungsergebnis gravierend verändern. Im Sinne der (intersubjektiven) Objektivität ist auch das erste Beobachtungsergebnis der nicht abgedeckten Linien ein objektives, da wiederholbares Ergebnis: Menschen unserer architektonischen Kulturumgebung unterliegen alle in mehr oder weniger gleicher Weise dieser **Wahrnehmungstäuschung**. Das gilt auch dann, wenn die Angabe der wahrgenommenen Länge der Strecken objektiv nicht zutreffend ist. (Erstaunlicherweise bleibt die Sinnestäuschung trotz des Nachmessens weitgehend bestehen.)

Die entsprechende Schwierigkeit einer objektiven Beobachtung wird von vielen Zauberkünstlern oder Gedankenlesern geschickt genutzt, indem sie dafür sorgen, dass wir die die Wahrnehmungsfehlleitung verursachenden Variablen nicht bemerken. Das klassische Beispiel, das die frühe Psychologie längere Zeit beschäftigte, wird in *Zusatztext online* zusammenfassend dargestellt (siehe auch ▶ Kap. 5, Selektive Aufmerksamkeit).

Operationale Definitionen

Die Objektivität und Vergleichbarkeit empirischer Untersuchungen lässt sich durch die Verwendung **operationaler Definitionen** nachhaltig verbessern, wie dies erstmals von dem britischen Physiker Bridgman (1927) gefordert und beschrieben wurde. Wenn wir aus einer Beobachtung zum Beispiel die Aussage treffen: „Das Wasser ist warm", so bleibt diese Aussage relativ ungenau und ist nicht exakt replizierbar. Geben wir aber implizit mit unserer Aussage zugleich die **Messoperation** an, mit der die Beobachtung messbar wird, zum Beispiel: „Die Temperatur des Wassers beträgt 40 °C", so handelt es sich um eine operationale Definition, die jederzeit eine **Replizierung** auch durch andere Personen ermöglicht, wenn sie ein gleiches Messverfahren benutzen. Aber auch ein anderes Messverfahren wäre verwendbar (zum Beispiel die Temperaturmessung in Fahrenheit- statt in Celsius-Graden), wobei ein Vergleich des Messergebnisses über die genormte Umrechnung der beiden Messverfahren möglich ist (▶ Exkurs 1.16).

Exkurs 1.17

Genauer betrachtet: Wording-Effekte

Es ist nicht ohne Belang, wie wir unsere Fragen in einer Untersuchung oder einem Interview stellen. Bei Befragungen jeglicher Art hat sich immer wieder herausgestellt, dass das Antwortverhalten der Befragten entscheidend durch die Wortwahl wie auch die Fragenformulierung beeinflusst wird. Es macht einen großen Unterschied bei der Meinungsfindung, ob wir fragen: „Sollte das Zeigen aggressiver Filme im Fernsehen verboten werden?", oder ob wir formulieren: „Halten Sie es für gut, dass nichts gegen das Zeigen aggressiver Filme im Fernsehen unternommen wird?"

Als Befragte neigen wir zum Beispiel offensichtlich viel eher dazu, einem „Nichterlauben" zuzustimmen, als einem „Verbieten". Dies belegt eine nationale amerikanische Erhebung. Hier wurde die Forderung „More restrictions on what is shown on TV" („Stärkere Restriktion dessen, was im TV gezeigt wird") von 66 % der Bevölkerung bejaht, während die Forderung nach einer „Zensur von Sex und Gewalt im TV" („goverment censorship of media sex and violence") nur von 27 % der Bevölkerung gebilligt wurde (Lacayo 1995).
In ähnlicher Weise sind Menschen eher bereit, einer Hilfe für Bedürftige („aid to the needy") zuzustimmen als einer Sozialhilfe („welfare"). Auch würden sie eher eine Erhöhung der Staatseinnahmen akzeptieren als Steuererhöhungen. Es macht also einen bedeutenden Unterschied, wie wir unsere Fragen stellen, da wir mit der Fragenformulierung bereits in nicht unerheblichem Maße Einfluss auf die Antworten und die Meinungen nehmen, die die Befragten äußern. Diese Wirkung der Wortwahl und Formulierung wird als Wording bezeichnet.

Auch persönliche **innere Erlebnisse** und Prozesse, die eigentlich nur der (nicht objektiven) **Introspektion** zugänglich und somit keine objektiven Daten sind, können zu verwendbaren Daten werden, wenn die Person ihre subjektiv erlebten Angstgefühle (zum Beispiel während eines Interviews) selbst quantifiziert und das Ausmaß des erlebten Angstgefühls auf einer entsprechenden **Ratingskala** angibt. Es bleibt allerdings eine ungelöste Frage, ob das erlebte Angstgefühl als Indikator ausreicht, um von Angst zu sprechen, da Angst in der Psychologie zumeist als ein weit komplexeres Konstrukt betrachtet wird, zu dem zum Beispiel psychophysiologische Reaktionen, wie der Anstieg des Adrenalinspiegels, gerechnet werden. So wäre es andererseits auch möglich, Angst-Erregung über das Ausmaß der Adrenalinausschüttung zu operationalisieren. Eine operationale Definition für Hunger, die vom Behaviorismus verwendet wird, ist zum Beispiel „x Stunden Nahrungsentzug".

Eine operationale Definition definiert eine Sache (ein Konstrukt) nur, soweit sie sich durch Angabe von Operationen oder Messverfahren empirisch fassen lässt. Als Problem bleibt, dass es dementsprechend mehrere operationale Definitionen für ein komplexes Konstrukt geben kann. Vermieden wird dagegen die Mehrdeutigkeit alltagssprachlicher deskriptiver Begriffe.

Objektive Registrierung

Zu einer **objektiven Registrierung** und Messung gehören außer einer operationalen Definition des Untersuchungsgegenstandes die Anwendung einheitlicher Messverfahren sowie Vorgaben für ihre einheitliche Durchführung. So sollten zum Beispiel bei einer Befragung, die von verschiedenen Personen (Versuchsleitern) durchgeführt wird,

1. die gleichen Fragen, Fragenformulierungen,
2. die gleiche Art zu fragen (schriftlich, mündlich) wie auch
3. die gleichen Rahmenbedingungen (in der Schule, zu Hause)

verwendet werden (▶ Exkurs 1.17).

Standardisierung

Die einheitliche Festlegung der Beobachtung, Registrierung und Messung wird auch als **Standardisierung** bezeichnet (nicht zu verwechseln mit der ebenso bezeichneten Transformation von Rohdaten in Standardwerte in der Statistik). Eine solche einheitliche Standardisierung der Messung ist Voraussetzung dafür, dass die einzelnen erhobenen Beobachtungsdaten oder Messwerte miteinander verbunden werden können (und nicht Äpfel und Birnen addiert werden). Beobachtete Vorgänge werden zu **Messwerten** oder **Rohdaten**, wenn sie von einem Beobachter registriert wurden. Von einem **zuverlässigen Messwert** wird gesprochen, wenn ein zweiter Beobachter Ähnliches feststellt. Zusammengenommen werden diese Rohdaten auch als **Primärdaten** bezeichnet, aus denen sich durch rechnerische Verarbeitung sogenannte **Sekundärdaten** mit einer weiter reichenden Gültigkeit gewinnen lassen. So lassen sich zum Beispiel die Einzelleistungen der Schüler einer Schulklasse (Schulnoten) durch **Mittelwertbildung** zu einer einheitlichen abstrakten Maßzahl (Mittelwert) zusammenfassen, wodurch es möglich wird, die (mittleren) Leistungen der Klasse mit denen anderer Schulklassen oder anderer Jahrgänge zu vergleichen.

Verzerrungs- und Versuchsleitereffekte

Generell – auch bei standardisierten Erhebungsverfahren – kann es zu unbeabsichtigten, aber systematischen Verfälschungen bei der Datenerhebung kommen. Diese können ihre Wurzeln haben

1. in der unbewussten Interaktion zwischen Versuchsleiter und Versuchsperson, was als **Verzerrung** bezeichnet wird, und
2. in den unausgesprochenen Erwartungen des Versuchsleiters, was als **Versuchsleitereffekt** bezeichnet wird.

So kann es in einer Erhebung zu systematischen Unterschieden – eben Verzerrungen – bei der Beantwortung eines Fragebogens kommen, je nachdem, ob die (gleiche) Instruktion von einer Versuchsleiterin oder einem Versuchsleiter vorgegeben wird.

Als Versuchsleitereffekt oder auch **Rosenthal-Effekt** wird der von Rosenthal (1966) nachgewiesene Effekt verstanden, wonach Erwartungen des Versuchsleiters (möglicherweise über subtile Formen interpersoneller Kommunikation) dazu führen, dass die erhobenen Daten in gewissem Ausmaß den Erwartungen entsprechen (wie beim „Klugen Hans"). Wurden die Versuchsleiter bei einem Rattenexperiment davon in Kenntnis gesetzt, dass (angeblich) eine Gruppe ihrer Tiere intelligenter und lernfähiger sei als eine andere, so berichteten die Versuchsleiter nach der

Untersuchung, bessere Leistungen bei den angeblich intelligenteren Tieren gefunden zu haben als bei den angeblich nicht so intelligenten Tieren – obwohl beide Tiergruppen tatsächlich nur nach dem Zufall aus der gleichen Grundpopulation ausgewählt waren.

Ähnlich verhält es sich im Fall des **Pygmalion-Effekts** oder der „sich selbsterfüllenden Prophezeiung" (*self fullfilling prophecy*), wenn ein vom Lehrer unbegründet für intelligent befundener Schüler bald bessere Leistungen erbringt als ein für unintelligent befundener. Zur Vermeidung solcher Versuchsleitereffekte ist es zweckmäßig, solche Untersuchungen als **Doppelblind-Studien** durchzuführen, das heißt, dass weder die Versuchsleiter noch die Auswerter (und auch die Versuchspersonen nicht) vorher wissen, zu welcher Versuchsgruppe die von ihnen gerade untersuchten Personen gehören.

Ein weiterer Fehler ist der **Placebo-Effekt** – eine **Scheinwirksamkeit**, die auftritt, wenn in klinischen Studien, aber auch sonst, die Gabe eines äußerlich identischen, aber wirkstofffreien Scheinpräparates, des Placebos, ebenfalls eine Wirkung oder Besserung hervorruft, wie sie von dem aktiven Arzneimittel, dem Verum, erwartet wird. Der Placebo-Effekt ist also eine eigentlich klinisch bedeutsame Reaktion auf einen Reiz oder auf eine Behandlung, die unabhängig von deren physiologischer Wirkung auftritt. Auch hier muss ein weiterer Faktor im Spiel sein, der oft allein in der Erwartung der verheißenen Wirkung liegt.

Auch der **Hawthorne-Effekt**, der um 1930 in den Hawthorne-Werken in Chicago bei rationalisierten Produktionsabläufen entdeckt wurde, und der den positiven Einfluss sozialer Zuwendung im Betrieb auf die Arbeitsleistung bezeichnet, gilt als Fehler. In der Studie sollte die Wirkung von Beleuchtungsveränderungen auf die Produktivität untersucht werden. Dabei zeigte sich, dass die produzierte Stückzahl – unabhängig von den experimentellen Bedingungen – bei den Arbeitern deutlich anstieg, die zur Teilnahme an dem Experiment ausgewählt worden waren, woraus geschlossen wurde, dass das Gefühl des Beachtet-Seins wichtiger war als die manipulierte Außenbedingung.

1.4.2 Reliabilität und Validität

Außer den Regeln für eine objektive und verzerrungsfreie Registrierung sind ferner zwei Forderungen an die verwendeten Messverfahren von großer Wichtigkeit für die Datenerhebung. Die Verfahren sollen das untersuchte Merkmal zuverlässig, das heißt reliabel, messen. **Reliabilität** ist ein Gütekriterium einer Messmethode und speziell eines standardisierten Tests, das die Messgenauigkeit angibt und somit auch ein Maß dafür ist, wie stark ein Messverfahren mit Messfehlern behaftet ist. Das heißt, bei hoher Reliabilität wird erwartet, dass die Messergebnisse wiederholter Messungen einer Eigenschaft mit den gleichen Verfahren (Tests) und unter denselben Bedingungen annähernd gleiche Ergebnisse erbringen. Die Reliabilität bei einer Messwiederholung wird auch als **Re-Test-Reliabilität** bezeichnet.

Reliabilität bezeichnet die Zuverlässigkeit, mit der ein Testverfahren das zu messende Merkmal genau misst. Es bezeichnet die Messgenauigkeit. Reliabilität ist dann gegeben, wenn eine Messwiederholung zu konsistenten Resultaten führt.

Neben der Reliabilität gilt die **Validität** (Gültigkeit) als zweites Hauptkriterium eines psychologischen Messverfahrens. Die Validität gibt den Grad der Genauigkeit an, mit der speziell ein Test dasjenige Merkmal auch tatsächlich misst, das er zu messen bestimmt ist. So ist ein Angstfragebogen zum Beispiel dann ein valides Messverfahren für Ängstlichkeit, wenn mit ihm wirklich ängstliche von nicht ängstlichen Personen unterschieden werden können, wofür es natürlich andererseits erst einer sorgfältigen Konzeptualisierung und Definition des zu untersuchenden Konstrukts „Ängstlichkeit" bedarf (operationale Definition).

Validität bezeichnet den Grad der Genauigkeit, mit der ein Test dasjenige Merkmal (beziehungsweise das Verhalten), das es messen soll oder zu messen vorgibt, tatsächlich misst (Lienert 1961).

1.5 Methoden der Versuchsplanung und Datenerhebung

Zur Erhebung von Daten bedient sich die psychologische Forschung recht unterschiedlicher Möglichkeiten, die sich auch hinsichtlich der genannten Gütekriterien von Objektivität, Reliabilität und Validität merklich unterscheiden. Je nach den Rahmenbedingungen lässt sich unterscheiden zwischen Untersuchungen, die im strengen Sinne eines *kontrollierten Experiments* (vielfach unter künstlich herbeigeführten Bedingungen) durchgeführt werden, und Untersuchungen, die als *Feldstudien* bezeichnet werden. Hier handelt es sich um vielfältige Formen von Erhebungen vorfindbaren realen Verhaltens außerhalb des Labors.

Einen Überblick über die in der Psychologie gebräuchlichsten Verfahren sollen die folgenden vier Abschnitte geben: experimentelle Methode, Korrelationsmethode, Datenerhebungsverfahren und psychologische Tests.

1.5.1 Experimentelle Methode

Kaum einer anderen Methode in der Wissenschaft kommt eine so weitreichende und grundlegende Bedeutung zu wie der experimentellen Methode, deren Kernstück das **kontrollierte Experiment** ist, um Sach- beziehungsweise Kausalzusammenhänge zwischen verschiedenen Variablen verlässlich aufzudecken. Im Kern geht es darum, während der Untersuchung alle Bedingungen – sprich Einflussgrößen – zu kontrollieren beziehungsweise einige wenige kontrolliert (systematisch) zu variieren, die für die Verursachung eines (Verhaltens-)Phänomens infrage kommen (entsprechend J. S. Mills Regeln der Beweisführung; ► Abschn. 1.3.2).

So ermöglicht ein kontrolliertes Experiment, den Zusammenhang zwischen zwei oder auch mehreren **Variablen** (veränderlichen Merkmalen) zu prüfen und bestehende kausale Abhängigkeiten aufzudecken. Da kontrollierte Bedingungen besonders gut im Labor zu erreichen sind, werden experimentelle Untersuchungen zumeist auch in psychologischen oder psychophysio-

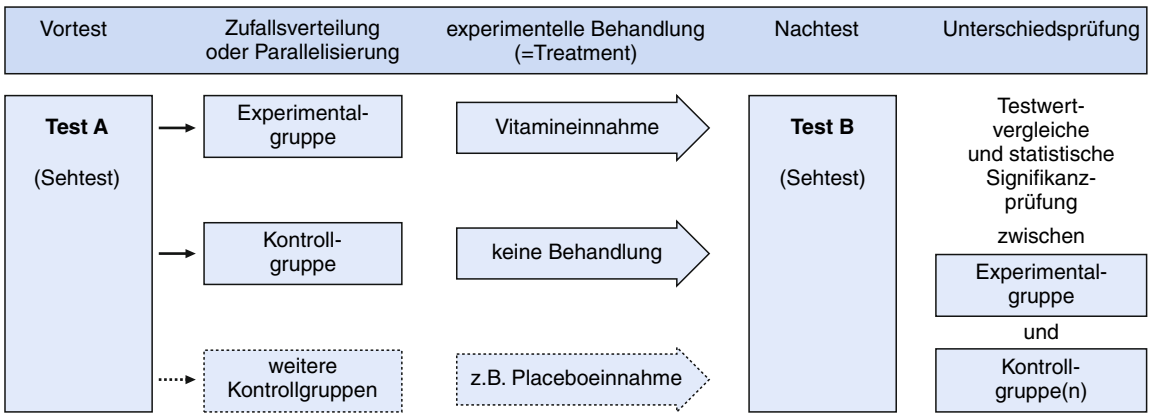


Abb. 1.12 Typisches experimentelles Design

logischen Laboren durchgeführt. Die Möglichkeit einer exakten Kontrolle über die beteiligten Variablen unterscheidet die experimentelle Methode von anderen wissenschaftlichen Beobachtungsverfahren wie etwa Feldstudien oder Quasi-Experimenten.

In der Psychologie gibt es verschiedene Einflussfaktoren, bei denen es aus ethischen oder versuchstechnischen Gründen nicht möglich ist, sie systematisch unter Laborbedingungen zu variieren oder die nur unter natürlichen Bedingungen auftreten. Bei einem **Quasi-Experiment** lassen sich Veränderungen solcher unabhängiger Variablen beobachten und mit den Messergebnissen für die abhängigen Variablen vergleichen. Bei **Feldstudien** außerhalb des Labors wird nicht nur auf die systematische Variation der unabhängigen Variablen verzichtet, sondern auch die Konstanz der Beobachtungsbedingungen ist zumeist nicht aufrechtzuerhalten.

Im typischen Falle beginnen wir mit einem Verhaltensphänomen, das wir verstehen wollen. In einem historischen Fall wurde zum Beispiel während des Ersten Weltkrieges die Beobachtung gemacht, dass sich viele Soldaten als nachtblind erwiesen. Als mögliche Ursachen kamen zunächst viele verschiedene Umstände in Betracht, wie zum Beispiel zu wenig Schlaf, allgemeine psychische Belastungen oder auch die veränderten Nahrungsbedingungen (Feldküchendiät). Als erster Schritt der Ursachenanalyse bot sich an, Vergleiche anzustellen mit Personen, die nicht unter Nachtblindheit litten, was größtenteils in der Normalbevölkerung der Fall war. Schon diese generell vergleichende Methode führte die Wissenschaftler zu der Vermutung (Hypothese), dass die Ursache am ehesten in der besonderen Nahrung zu suchen sei, da Stress und Schlafdauer sich nicht wesentlich von der Normalbevölkerung unterschieden.

Andererseits war bereits damals aus anderen wissenschaftlichen Untersuchungen bekannt, dass Vitamin A für den Aufbau des Sehpurpurs in der Retina des Auges erforderlich ist. So konnte die Untersuchungsfrage weiter eingeengt werden: Ist ein Vitamin-A-Mangel bei den Soldaten für die beobachtete Nachtblindheit verantwortlich? Diese Frage ist nun mit der experimentellen Methode einfach zu beantworten, indem wir eine Gruppe von Soldaten nach einem Zufallsverfahren auswählen und ihnen für eine bestimmte Zeit zusätzlich zu ihrer „Felddiät" Vitamin A verabreichen und ihr Nachtsehvermögen dann mit einer ebenfalls zufällig aus derselben Grundgesamtheit von nachtblinden Soldaten ausgewählten Kontrollgruppe vergleichen, die kein Vitamin A erhält (Abb. 1.12).

Wenn bei der anschließenden Nachprüfung das Nachtsehvermögen bei der Experimentalgruppe (mit Vitamin A) wieder vollständig hergestellt ist (nicht aber bei der Kontrollgruppe!), so ist der Nachweis erbracht, dass offenbar allein durch Gabe von Vitamin A die Nachtblindheit behoben werden kann und demzufolge der Mangel an Vitamin A für die beobachtete Nachtblindheit verantwortlich ist. Im kontrollierten Experiment wird so die kritische Variable systematisch und explizit herbeigeführt beziehungsweise variiert (mit und ohne Vitamin A) und ihr Effekt in einem Nachtest mit der Situation vorher (Vortest) beziehungsweise mit dem Nachtest der Kontrollgruppe verglichen.

Im einfachen Fall eines experimentellen Designs wie diesem wird also nur eine (unabhängige) Verhaltensbedingung (in Art oder Stärke) unter kontrollierten Bedingungen (die zum Teil sehr restriktiv sein können) variiert, und es wird beobachtet, ob und wie sich diese Veränderung auf die (abhängige) Verhaltensvariable (hier Nachtsehvermögen) auswirkt.

Die Bedingung, die, wie in diesem Experiment die Vitaminzufuhr, variiert und zur Vorhersage des Verhaltens verwendet wird, bezeichnet man als unabhängige Variable. Sie ist unabhängig von dem, was die untersuchten Personen an Verhalten zeigen. Das untersuchte Verhaltensmerkmal (hier das Nachtsehvermögen) wird als abhängige Variable bezeichnet, da ihre Abhängigkeit von der manipulierten unabhängigen Variablen untersucht wird. Die abhängige Variable ist in der Psychologie in der Regel ein Verhaltensmaß. Seine Ausprägung stellt sich somit als Funktion der unabhängigen Variablen dar.

Unabhängige Variable (*independent variable*)

Faktor im Experiment, der manipuliert wird und dessen Wirkung untersucht wird.

Abhängige Variable (*dependent variable*)

Faktor im Experiment, der gemessen und dessen Abhängigkeit untersucht wird.

Exkurs 1.18

Genauer betrachtet: Weitere Bedingungen beim kontrollierten Experiment

Auch im dargestellten Experiment müssen alle anderen Faktoren konstant gehalten werden. So erfolgt die Aufteilung der Versuchspersonen auf die vier Gruppen wieder nach dem Zufall oder nach **Parallelisierung** (wobei jeweils vier gleich gute Lerner auf die vier Gruppen verteilt werden, aus einer möglichst einheitlichen Grundgesamtheit). Konstant gehalten wird der ganze experimentelle Aufbau – das **Setting**. Für alle Teilnehmer wird das gleiche Lernmaterial vorgegeben, alle erhalten die gleiche normierte Instruktion (bis auf den genannten Unterschied in der Lernstrategie), alle bekommen die gleiche Zeit zum Lernen, die gleiche Zeit bis zum Testen des Gelernten, und auch die Bedingungen und Unterschiede des Lernabfragens sind für alle Versuchsteilnehmer konstant. So wird in einem kontrollierten Experiment gewährleistet, dass die beobachteten (gemessenen) Unterschiede in den abhängigen Variablen auch tatsächlich eine Funktion (oder Folge) der Unterschiede in den vorgegebenen unabhängigen Variablen sind.

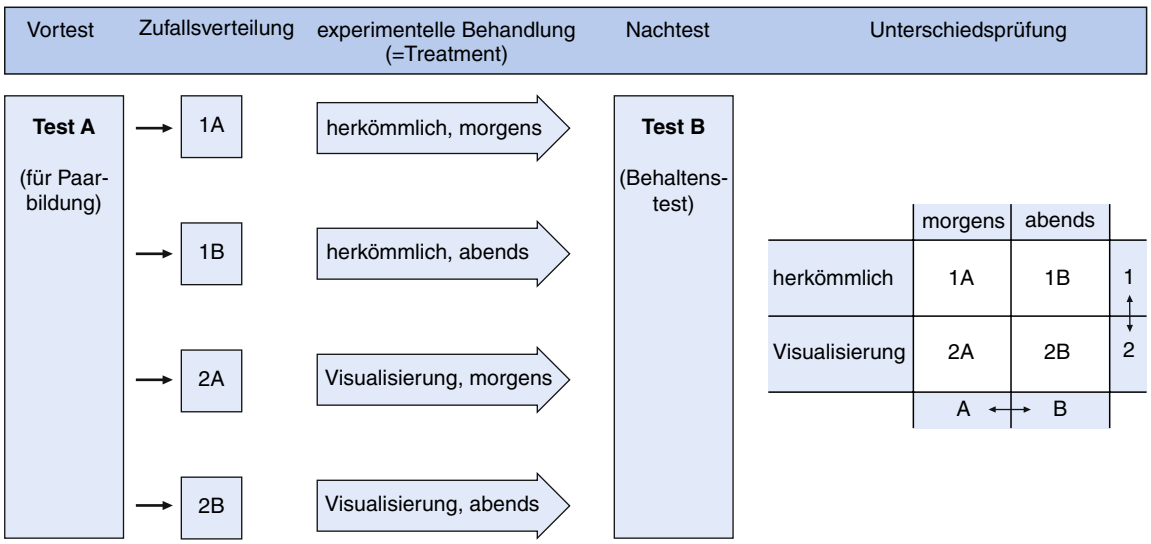


Abb. 1.13 Design mit mehreren unabhängigen Variablen

Die Einführung einer (oder mehrerer) **Kontrollgruppen** stellt sicher, dass nur die variierte unabhängige Variable für die beobachtete Veränderung verantwortlich sein kann und nicht irgendein anderer Faktor.

Um in unserem Beispielexperiment zum Beispiel auch noch auszuschließen, dass die Verbesserung des Sehvermögens einfach darauf beruht, dass die untersuchten Soldaten einfach deshalb wieder besser zu sehen vorgaben, weil ihnen besondere Aufmerksamkeit gewidmet wurde, oder dass allein das Kauen und Schlucken einer Tablette den Effekt verursacht hat, es sich also um einen *Placebo-Effekt* handelt, könnte man eine weitere Kontrollgruppe einführen, deren Versuchspersonen in gleicher Weise behandelt werden, die aber kein Vitamin A (oder aber vielleicht andere Vitamine) enthalten. So lässt sich die Kontrolle im experimentellen Design grundsätzlich beliebig erweitern.

Das experimentelle Design kann auch **mehrere unabhängige Variablen** (**Faktoren**) einbeziehen. Nehmen wir an, wir wollen untersuchen, ob und wie verschiedene Faktoren die Behaltensleistung beim Lernen einer Wortliste beeinflussen. Aus der Vielzahl der möglichen infrage kommenden Variablen wollen wir zur Demonstration des auf zwei Variablen erweiterten experimentellen Designs zwei Variablen auswählen: Lernstrategien und Tageszeit, die wir je in zwei unterschiedlichen Stufen untersuchen. Das führt zu vier Untersuchungsgruppen, deren Behandlung oder **Treatment** wir zum Beispiel folgendermaßen festlegen könnten: Gruppe 1A lernt eine Liste von 20 Wörtern nach einer herkömmlichen Weise wie beim Vokabellernen Wort für Wort. Das Lernen wird am Morgen zwischen 8 und 9 Uhr durchgeführt. Gruppe 1B verfährt mit dem Lernen genauso, führt aber das Lernen zur Abendzeit vor dem Schlafengehen durch. Gruppe 2A lernt dagegen dieselbe Liste von 20 Wörtern, indem sie sich bildliche Assoziationen zu und zwischen den Wörtern vorstellt und einprägt. Auch diese Gruppe lernt am Morgen zur gleichen Zeit (8 bis 9 Uhr), während Gruppe 2B mit derselben Lernstrategie wieder am Abend vor dem Schlafengehen lernt. Das Gelernte wird dann bei allen vier Gruppen nach der gleichen Wartezeit, zum Beispiel am dritten Tage nach dem Lernen, abgefragt und die Anzahl der richtig erinnerten Worte gemessen (siehe ◘ Abb. 1.13, und ▶ Exkurs 1.18).

Die anschließende statistische Unterschiedsprüfung bei einem solchen **mehrfaktoriellen Design** eröffnet eine weitergehende Analyse, die bei dem einfachen unifaktoriellen Design nicht möglich war. Beim multifaktoriellen Design können wir außer den Wirkungen der einzelnen unabhängigen Variablen für sich – was als **Haupteffekt** bezeichnet wird – auch deren Interaktionen oder **Wechselwirkungseffekt** prüfen, das heißt, wie diese Variablen sich gegenseitig beeinflussen. Wir können einerseits (◘ Abb. 1.13, rechts) die Testdaten von A gegen B vergleichen und feststellen, ob Lernen unabhängig von der Methode morgens oder abends bessere Leistungen erbringt. Ebenso können wir Testergebnis 1 gegen 2 vergleichen und feststellen, ob herkömmliches oder visualisierendes Lernen (unabhängig von der

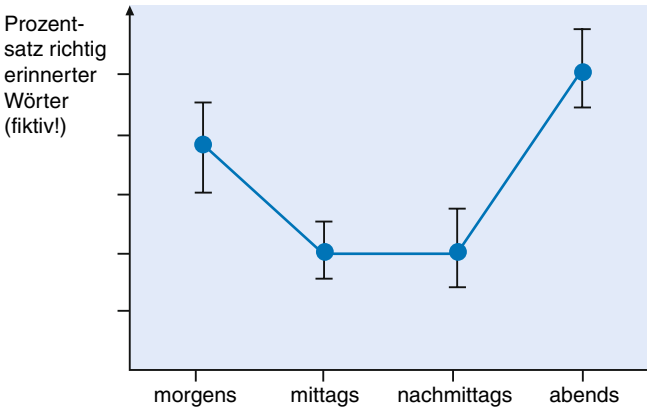


Abb. 1.14 Grafische Darstellung von Messergebnissen mit Angabe der Streuung der zugrunde liegenden Messwerte (senkrechte Balken)

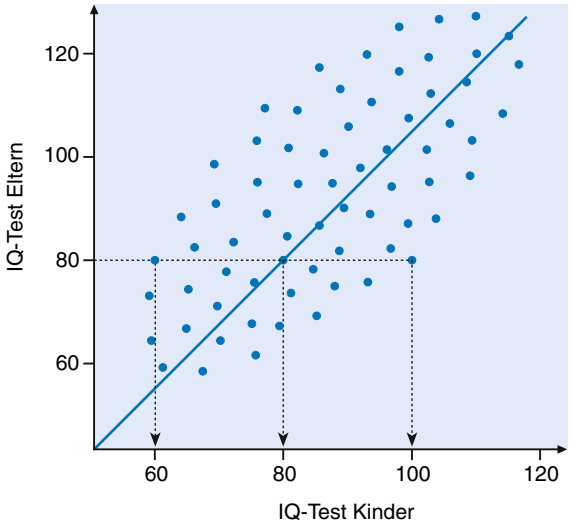


Abb. 1.15 Muster einer Korrelationstafel. Sie illustriert die Relation zwischen X-Werten und Y-Werten, und zwar am Beispiel von X = IQ-Werte der Kinder und Y = IQ-Werte der Eltern. Liegen die Werte genau auf der Diagonalen, so ist die Korrelation vollständig, der Korrelationskoeffizient beträgt r = +1 (eine 100 %ige negative Korrelation zeigt Abb. 1.8). In beiden Fällen entspricht einem bestimmten Wert X nur ein ganz bestimmter Wert Y. Die „Punktewolke" veranschaulicht ein Beispiel niedriger Korrelation, bei welcher diese eindeutige Zuordnung nicht mehr gegeben ist und die Rangordnung der einzelnen X-Werte erheblich von der Rangordnung der Y-Werte abweichen kann

Tageszeit) bessere Ergebnisse erbringt (Haupteffekt). Wir können aber nun darüber hinaus auch noch feststellen, ob möglicherweise herkömmliches Lernen nur am Morgen (1A), dagegen visualisierendes Lernen nur am Abend (2B) bessere Leistungen erbringt und umgekehrt (2A gegen 1B). Ein solcher Wechselwirkungstest könnte auch zu dem Ergebnis führen, dass sich die beiden Lernmethoden nur am Abend oder nur am Morgen deutlich unterscheiden.

In unserem Beispiel eines mehrfaktoriellen Designs haben wir der Einfachheit halber jede der Variablen nur in je zwei Stufen (Abend–Morgen) angenommen. Differenziertere Angaben lassen sich machen, wenn man nun auch noch mehr als zwei Stufen aufnimmt. So könnte das Lernen (1) morgens, (2) mittags, (3) nachmittags und (4) am späten Abend durchgeführt werden. Dies würde man als 2x4-Design bezeichnen. Mit einem solchen Design würde man zum Beispiel auch eine Kurve des Leistungsverlaufs über den Tag erstellen können, einschließlich der Angaben, an welchen Zeitpunkten sich die Werte „signifikant" unterschieden, was durch die statistische **Streuung der Messwerte** (senkrechte Balken in Abb. 1.14) angegeben wird. Für eine detailliertere Darstellung der statistischen Testverfahren muss auf die Lehrbücher der Statistik (zum Beispiel Bortz und Schuster 2010) verwiesen werden.

1.5.2 Korrelationsmethode

Nicht in jedem Fall lässt sich eine experimentelle Untersuchung durchführen, um Erkenntnisse über Verhaltenszusammenhänge zu erhalten. Bei etlichen umfassenderen Problemen ist es oft zum Teil aus praktischen Gründen nicht möglich, die interessierenden unabhängigen Variablen absichtlich zu manipulieren oder Kontrolle über die Zuweisung zu Experimentalgruppen auszuüben. Zum Beispiel gilt das für die Untersuchung von Krankheitsfolgen nach starkem körperlichen oder psychischen Stress, wo sich auch bereits aus ethischen Gründen die Durchführung kontrolliert experimenteller Untersuchungen verbietet. Hier ist die wichtigste und auch praktikable Alternative die Korrelationsstudie.

Statt der experimentellen Manipulation treffen wir eine selektive Auswahl von bereits ohne unser Zutun vorhandenen Unterschieden in einer Variablen (zum Beispiel gute bis schlechte Schulleistungen) und vergleichen, wie weit und wie stark diese mit Unterschieden in einer zweiten interessierenden Variablen (zum Beispiel Fleiß) verbunden sind, das heißt, wie weit beide miteinander korreliert sind. Haben überdurchschnittlich intelligente Eltern auch (oft, meist, selten) überdurchschnittlich intelligente Kinder? Oder in welchem Ausmaß zeigen Kinder mit guten Schulnoten in der Grundschule auch gute Abiturzensuren? Das heißt, wie hoch korrelieren beiderlei Messdaten miteinander? Derartige Zusammenhänge (Korrelationen) lassen sich mit dem statistischen Verfahren der Korrelationsanalyse berechnen und durch den sogenannten **Korrelationskoeffizienten** darstellen, der mit dem kleinen Buchstaben „r" symbolisiert und mit verschiedenen speziellen Verfahren der mathematischen Statistik berechnet wird.

Korrelationskoeffizient

Der Korrelationskoeffizient „r" ist ein statistischer Schätzwert, der das Ausmaß der Übereinstimmung zwischen zwei (oder mehr) Variablen durch eine Zahl zwischen 0 und 1 ausdrückt: −1.0 = hohe maximal negative Korrelation, 0 = keinerlei Beziehung und +1.0 = hohe perfekte positive Korrelation.

Zur Verdeutlichung: Eine perfekte positive Korrelation in unserem ersten Beispiel würde heißen, dass alle Kinder mit einem hohen IQ auch Eltern mit einem hohen IQ haben, und alle Kinder mit niedrigem IQ haben Eltern mit jeweils entsprechend gleich niedrigem IQ (was bekanntermaßen nicht der Fall ist). Das veranschaulichen in Abb. 1.15 die Werte der „Punkte-

Exkurs 1.19

Genauer betrachtet: Was sagt eine Korrelation?

Um eine gewisse Vorstellung der Bewertung korrelativer Aussagen in der Psychologie zu geben, sei erwähnt, dass Korrelationskoeffizienten von r > 0.60 noch als recht hoch gelten. Werte von r = 0.20 bis r = 0.60 können sowohl praktisch als auch theoretisch noch zur näherungsweisen Vorhersage genutzt werden, während Werte unter r = 0.20 mit äußerster Vorsicht zu betrachten sind, auch dann, wenn sie als signifikant (im Sinne der Inferenzstatistik) gelten. Beispielsweise liegen Korrelationen zwischen Papier-Bleistift-Tests zur Persönlichkeit und einer Experteneinschätzung derselben Persönlichkeit bei etwa r = 0.25. Besser dagegen fallen Korrelationen zwischen den Zensuren zweier aufeinanderfolgender Schuljahre aus. Sie liegen etwa bei r = 0.70 bis 0.80.

wolke“ auf der Diagonalen. Den IQ-Testwerten des ersten Tests (zum Beispiel Eltern) entspricht jeweils ein gleicher IQ-Testwert im zweiten Test (Kinder). Meist jedoch liegen die Messpunkte eher wie eine Wolke verteilt, sodass zum Beispiel einem Testwert von 80 im ersten Test (Eltern) Testwerte von 80–65 im zweiten Test entsprechen können, das heißt, die Korrelation ist wesentlich schwächer und erlaubt nur eine unsichere Vorhersage.

Prinzipiell lassen sich Korrelationen für Vorhersagen nutzen. Die Ausgangsvariable wird als **Prädiktor** bezeichnet, die zweite Variable, auf die geschlossen wird, nennt man das **Kriterium**. Zur Bewertung einer Korrelation siehe ► Exkurs 1.19.

Schließlich muss erwähnt werden, dass aus bloßen Korrelationen keine **Kausalbeziehungen** abgeleitet werden können und dürfen, was die dargestellten Beispiele nur allzu leicht glauben machen könnten. Wie das bekannte Beispiel der hohen positiven Korrelation zwischen der Anzahl nistender Störche und der Anzahl der Geburten in einer französischen Kleinstadt deutlich machen dürfte, braucht nicht unbedingt kausal zusammenhängen, was miteinander korreliert.

Mit statistischen Korrelationsverfahren lassen sich wissenschaftliche Aussagen über das Ausmaß (die Stärke) des Zusammenhanges zwischen je zwei Variablen machen. Korrelationen erlauben aber keine Rückschlüsse auf die Richtung (Kausalität) des Zusammenhanges.

1.5.3 Datenerhebungsverfahren

Beobachtungsmethoden

Eine der wichtigsten Möglichkeiten, etwas über die Welt oder über andere Menschen zu erfahren, liegt in der direkten **Beobachtung** und Beschreibung. Grundlegende Kenntnisse unserer Wissenschaft, insbesondere in frühen Stadien der Forschung, gehen auf **qualitative** Beobachtungen zurück, der später erst quantitative Untersuchungen folgten. So sind auch in der Psychologie genaue Beobachtungen der Ausgangspunkt weiterführender experimenteller Untersuchungen. Etliche Bereiche menschlichen Verhaltens können sogar nur beobachtend untersucht werden. Das ist insbesondere der Fall, wenn es ethisch nicht vertretbar ist, bestimmte experimentelle Bedingungen absichtlich herbeizuführen, weil sie psychische Verletzungen zur Folge haben können, etwa bei der Untersuchung von möglichen Auswirkungen verschiedenster Formen der Deprivation oder der Untersuchung der Folgen von psychischer Verletzung (wie sie immer wieder vorkommt) auf die spätere Entwicklung oder das Selbstbewusstsein.

Beobachtungsverfahren werden nach verschiedenen Gesichtspunkten unterschieden: Von **direkter Beobachtung** spricht man, wenn die Beobachtung mit „bloßem Auge“ gemacht wird, im Gegensatz zur **indirekten Beobachtung**, die sich nicht direkt auf das Verhalten bezieht, sondern auf Aussagen darüber, wie sie in Befragungen erfasst werden können, wenn eine direkte Beobachtung nicht möglich ist, wie bei Meinungen, Gefühlen und Gedanken.

Die direkte Beobachtung wird vielfach auch mit **unvermittelter Beobachtung** gleichgesetzt, im Gegensatz zur **vermittelten Beobachtung**, bei der spezielle technische Aufnahme- oder Messgeräte dem Beobachter vorgeschaltet werden, zum Beispiel ein Video-, Tonband- oder Reaktionszeitmessgerät, um dadurch die Beobachtungs- beziehungsweise Messgenauigkeit zu erhöhen. Ein weiterer Vorteil liegt bei einer solchen technischen Beobachtungsaufzeichnung in der beliebigen Wiederholbarkeit und der Möglichkeit der Weiterverarbeitung mittels technischer Hilfen (Computer, Zeitlupe, Frequenzfilter).

Beiderlei Verfahren werden in der **natürlichen** oder auch **naturalistischen Beobachtung** angewandt, bei der Individuen oder Gruppen von Menschen (zum Beispiel Eingeborenenstämme), aber auch andere Primaten oder Tierarten in ihrer natürlichen Umgebung beobachtet werden, um wertvolle Information über uns fremde Lebensweisen, Einrichtungen, Gebräuche und Verhaltensweisen zu sammeln.

Die **teilnehmende Beobachtung** unterscheidet sich von der üblicherweise praktizierten rein beobachtenden nicht teilnehmenden Beobachtung dadurch, dass der Beobachter Mitglied der beobachteten Gruppe ist oder sich zum Zweck seiner Untersuchung in die Gruppe aufnehmen lässt. Bekannt geworden sind hierzu die faszinierenden Untersuchungen von Goodall (1991), die sich in langen Jahren das Zutrauen verschiedener Schimpansengruppen erwarb und mit ihnen lange Zeit zusammen im Dschungel lebte und so aus direkter Nähe das Verhalten filmen, aufzeichnen und dokumentieren konnte.

Schließlich kann der natürlichen Beobachtung, die den Beobachtungsgegenstand nur unbeeinflusst beobachtet, unter diesem Aspekt auch als **künstliche Beobachtung** die **experimentelle Methode** (auch experimentelle Beobachtung) gegenübergestellt werden, bei der zumindest eine der Bedingungen „künstlich“ variiert wird.

Den einfachen Beobachtungsmethoden haftet sehr leicht das *Risiko der unbeabsichtigten Interpretation* bei der Darstellung des beobachteten Verhaltens an. Wenn wir wissen, dass ein beobachtetes Tier lange nicht gefressen hat und eine gesteigerte Aktivität zeigt, liegt es nahe festzustellen: „Das Tier sucht nach Futter“, anstatt nur „gesteigerte Aktivität (Suchverhalten, Neugierver-

halten?)“ zu protokollieren. Daher ist es in jedem Fall nötig, die in einer Untersuchung verwendeten Beobachtungs- und Protokollierungstechniken zuvor zu trainieren, um unbeabsichtigte Projektionen zu vermeiden.

Natürliche Beobachtung

Als natürliche Beobachtung wird das beobachtende Studium ohne experimentelle Kontrolle der Variablen von natürlich auftretendem Verhalten bezeichnet.

Direkte Beobachtung

Wird die Beobachtung ohne Verwendung technischer Mess- oder Aufzeichnungsgeräte gemacht, spricht man von direkter Beobachtung.

Befragungsmethoden

Ein wichtiges Instrument der **indirekten Beobachtung** sind Befragungen und Erhebungen, da sich eine Reihe von Verhaltensproblemen nur schwer oder gar nicht durch direkte Beobachtungsverfahren untersuchen lassen. Dazu gehören auf der einen Seite Verhaltensweisen, wie kriminelles Handeln oder das Sexualverhalten, auf der anderen Seite aber auch „innere“ kognitive Phänomene, wie Denken, Problemlösen, Gefühle, Empfindungen oder Meinungen, Einstellungen und Motive. Hier greift man auf die Möglichkeit der indirekten Beobachtung zurück. Sie erfolgt über die verschiedenen Befragungsverfahren. Die Befragung wird vornehmlich in den empirischen Sozialwissenschaften angewandt, wo nach Schätzung von Bungard (1979) etwa 90 % aller Daten mit dieser Methode erhoben werden. Man unterscheidet dabei gewöhnlich zwischen mündlichen Befragungen in Form eines **Interviews** (Interviewtechnik) und der schriftlichen Befragung in Form von **Fragebögen** (Fragebogentechnik).

Auch bei den Befragungsverfahren gibt es verschiedene Techniken des Vorgehens. Bei der **Meinungsumfrage** oder dem **Survey**, deren Ergebnis im Idealfall repräsentativ für eine größere Gesamtheit von Menschen sein soll, geht man mit dem Markt- und Meinungsforschungsinstitut Gallup davon aus, dass ein „Miniaturmodell“ der öffentlichen Meinung gebildet werden soll, wozu aus allen Schichten, Städten verschiedener Größe mit verschiedener Industrie und so weiter eine bestimmte Zahl repräsentativer Personen befragt wird. Die Auswahl der Stichprobe erfolgt unter der Annahme (und mit dem Ziel), dass sie die Grundgesamtheit (Population) aller Menschen möglichst gut repräsentiert, über die man Aussagen machen will. Umfragen können sowohl im direkten Gespräch telefonisch oder schriftlich erfolgen. Um einigermaßen valide Daten zu bekommen, bedient man sich zumeist wohl überlegter beziehungsweise nach bestimmten Regeln konstruierter Fragebögen zu dem interessierenden Sachbereich, wobei die Fragen **direkt** (offen) oder **indirekt** (versteckt) gestellt werden können. Von **geschlossenen Fragen** spricht man, wenn zu den Fragen eine begrenzte Anzahl möglicher alternativer Antworten vorgegeben werden, zwischen denen die Versuchsperson diejenige auswählen soll, die ihrer eigenen Position am besten entspricht. Dabei kann es sich um Vorgaben handeln, die nur mit „stimmt“, „stimmt nicht“ zu beantworten sind, oder aber es können bis zu neun Abstufungen vorgegeben sein von „vollständige Zustimmung“ über „teilweise, mäßige Zustimmung“, „weder noch“ bis hin zu „völlige Ablehnung“.

Fragebogen mit **offenen Fragen** haben keine derartigen Antwortvorgaben, sondern die Fragen können und sollen frei mit eigenen Worten beantwortet werden, was natürlich die spätere statistische Auswertung erschwert, da die offenen Antworten zur Quantifizierung erst einem entsprechend festgelegten **Rating** (Einordnung in ein abgestuftes Kategoriensystem) unterzogen werden müssen.

Im wissenschaftlichen Sinn sind Fragebögen nicht einfach Sammlungen interessierender Fragen, sondern die **Fragebogenkonstruktion** verlangt die Erfüllung bestimmter Mindestansprüche bei ihrer Zusammenstellung sowie die Durchführung von Vortests, um sicherzustellen, dass sie den bereits erwähnten **Gütekriterien** von **Objektivität, Reliabilität** und **Validität** in ausreichendem Maße genügen.

Außer der Befragung mittels des **standardisierten** Fragebogens wird vielfach auch das standardisierte Interview verwendet. Hier kommt es im Gegensatz zu Ersterem zu einem direkten Dialog zwischen Interviewer und befragter Person, wobei der dabei entstehende Interaktionsprozess weitere wichtige Informationen liefern kann. Wenngleich ein Interview verständlicherweise nicht in gleichem Umfang standardisiert sein kann wie ein Fragebogen, wird durch die Vorgabe eines entsprechend ausgearbeiteten standardisierten *Interviewleitfadens* im Idealfall doch eine gewisse Vergleichbarkeit erreicht.

Mit der Befragungsmethode wurden in den 1950er-Jahren durch Kinsey et al. (1948) über die Auswertung einer Repräsentativumfrage in den USA mit einigen Tausend individuellen Interviews erstmals realistische Informationen und Kenntnisse über das tatsächliche (zugegebene) Sexualverhalten der normalen amerikanischen Bevölkerung zutage gefördert, das beträchtlich von dem von Gesetzen, Religion oder dem gesellschaftlich gebilligten Verhalten abwich.

Befragung

Befragung (*survey*) bezeichnet ein indirektes Datenerhebungsverfahren, bei dem eine große (repräsentative) Stichprobe von Personen aus einer großen Grundgesamtheit mittels Fragebogen oder Interview befragt wird und die Daten nach bestimmten Regeln ausgewertet werden.

Fallstudien

Ein weiteres indirektes Erhebungsverfahren stellen die **Fallstudien** *(case histories)* dar, bei denen die Daten einzelner Personen auch aus deren Vergangenheit erfragt und gesammelt werden, um eine Art wissenschaftlicher Biografie dieser Personen zu erstellen. Fallstudien sind **retrospektiv** und daher zumeist **rekonstruktiv**, da sie oft erst begonnen werden, wenn gegenwärtige Probleme auftreten, für die man Erklärungsmöglichkeiten in der zurückliegenden Lebensbiografie sucht. Da es sich

hierbei um rückblickend erinnerte Ereignisse, Aufzeichnungen oder Erinnerungen von anderen Personen handelt, ist ein solches retrospektives Verfahren höchst anfällig für Verzerrungen, Verfälschungen oder aber auch für Auslassungen, die bei einer direkten Beobachtung nicht übersehen worden wären. Vielfach ist ein solches retrospektives Verfahren aber der einzig mögliche Zugang.

1.5.4 Psychologische Tests

Ein psychologischer **Test** kann im Wesentlichen als eine Verhaltensstichprobe beschrieben werden, die bei einer Person in einer festgelegten Situation zu einem bestimmten Zeitpunkt erhoben wird. Er ist zugleich auch ein psychodiagnostisch verwendbares Messverfahren zur Messung von verschiedensten psychischen Eigenschaften, wie Fähigkeiten, Leistungsvermögen, Interessen, Einstellungen, Fertigkeiten, oder bestimmten Persönlichkeitseigenschaften, wie Ängstlichkeit, Grübeltendenz, Neurotizismus oder Intelligenz, mit dem Ziel einer quantitativen Bestimmung des relativen Grades der jeweils individuellen Merkmalsausprägung.

Konkret besteht ein Test aus einer nach Regeln der **Testkonstruktion** entwickelten Zusammenstellung von Fragen, Aufgaben oder Aktivitäten, deren Beantwortung oder Ausführung als Ausdruck der jeweils untersuchten psychischen Funktion betrachtet wird. So können zum Beispiel in einem Test zur Farbenblindheit Tafeln mit farbigen Punktemustern vorgelegt werden, deren Formen sich in kritischen Farbnuancen unterscheiden und zum Beispiel rote Zahlen auf grünem Grund darstellen, die rot-grün-blinde Versuchspersonen in den Punktemustern nicht erkennen können (siehe Farbtafel 3.V). In einem Test zur aggressiven Tendenz könnten verschiedenartige Fragen zum möglichen Verhalten in bestimmten zu Aggression anregenden vorgegebenen Situationen gestellt werden, die eventuell ähnlich wie bei Fragebogen auf einer bestimmten Punkteskala zu beantworten sind.

Solche Tests müssen, um als wissenschaftlich diagnostische Tests gelten zu können, insbesondere den Hauptgütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität genügen. Als Nebengütekriterien gelten ferner Ökonomie, Nützlichkeit, Normierung und Vergleichbarkeit. Das heißt unter anderem, dass Tests an einer hinreichend großen Zahl von Probanden evaluiert sein müssen.

Vielfach wird auch unterschieden zwischen **Leistungstests**, die konstruiert sind, um den gegenwärtigen Leistungsstand zu messen, und **Begabungstests**, die darüber hinaus in der Lage sein sollen vorherzusagen, wie sich eine Person in einer späteren Situation höchstwahrscheinlich verhalten wird. Hierzu zählen vor allem die psychologischen **Eignungstests**.

Ein psychologischer Test ist ein Datenerhebungsverfahren zur Messung psychologisch bedeutsamer Merkmale oder Eigenschaften mit dem Ziel einer quantitativen Bestimmung der untersuchten Merkmalsausprägung.

Psychologische Tests ermöglichen eine ökonomische Datenerhebung an großen Stichproben mit einem Minimum an Störung und Arbeitsaufwand (Einsatz von Gruppentests).

Erwähnt sei ferner an dieser Stelle, dass der Begriff „Test" in der Psychologie in mehreren, recht unterschiedlichen Bedeutungen verwendet wird:

1. Test als ein psychologisches Messverfahren;
2. Test als ein Prüfverfahren zur Sicherung der statistischen Signifikanz (Signifikanztest); ferner als
3. Bezeichnung für den Vorgang des Untersuchens selbst (Test gleichbedeutend mit Testen);
4. Bezeichnung der zur Untersuchung verwendeten Testmaterialien oder
5. Bezeichnung für jede Datenerhebung generell, die sich auf eine Stichprobe beschränkt.

Schlussbetrachtung Wir haben uns in diesem Kapitel mit dem Gegenstand und den Zielen der Allgemeinen Psychologie befasst, haben gesehen, dass es verschiedene Wege der Erkenntnisgewinnung gibt, und haben die fünf wichtigsten Ansätze psychologischer Forschung kennengelernt. Wir haben Schwächen des gesunden Menschenverstandes angesprochen und uns einen Überblick über die wissenschaftlichen Forschungsmethoden der Psychologie verschafft. Schließlich haben wir die fünf Prinzipien der psychologischen Methodik angesprochen und kurz in die wichtigsten Methoden der psychologischen Versuchsplanung und Datenerhebung eingeführt.

Wie sich die Allgemeine Psychologie als Teilgebiet in den Fächerkanon der derzeitigen universitären wissenschaftlichen Psychologie eingliedert und welche Hauptgebiete im internationalen Schrifttum der psychologischen Forschung nach der APA (American Psychological Association) unterschieden werden, können Sie im *Zusatztext online* erfahren.

Kritisch hinterfragt

Haben Sie sich beim Lesen dieses Kapitels schon mal gefragt, ob alles das, was Sie gelesen haben, so richtig ist? Diese Einschübe „Kritisch hinterfragt" wollen Sie dazu anregen, Ihr wissenschaftlich kritisches Denken (*critical thinking*) zu stärken. Kritisches Denken stellt Fragen, überprüft Beweise auf ihre Richtigkeit, akzeptiert auch Argumente und Schlussfolgerungen nicht einfach blindlings, sondern fragt: Woher weiß man das? Welche Annahmen liegen der Schlussfolgerung zugrunde? Gibt es auch andere, alternative Erklärungen für die vorgebrachten Befunde mit anderen Beweisen? (Siehe dazu ► Abschn. 1.3). Gibt es Schlussfolgerungen auf Ursache und Wirkung? Oder: Welche Ziele verfolgt die Person wohl mit Ihren Argumenten? – Das alles ist aber immer erst dann sinnvoll, wenn Sie sich mit den Inhalten befasst und diese unvoreingenommen zur Kenntnis genommen haben (wichtig für Prüfungen!). Siehe auch *Zusatztext online* zu Kap. 1.

Zusammenfassung

Nach einem allgemeinen Einstieg und kurzen historischen Rückblenden in das Arbeitsfeld der Allgemeinen Psychologie, die ihren Ausgangspunkt in der Philosophie hatte, für die ihre Ergebnisse heute wieder von großem Interesse sind, wird auch das alte Leib-Seele-Problem aus alter und neuer Sicht betrachtet.

Ausgehend von den unterschiedlichen Schulen des 19. Jahrhunderts und einer derzeitigen Definition der Allgemeinen Psychologie als Wissenschaft, die sich mit den allgemeingültigen Gesetzmäßigkeiten des Erlebens und Verhaltens von Organismen, speziell des Menschen, sowie deren Ursachen und Wirkungen befasst, werden fünf der unterschiedlich vertretenen *Konzepte und Perspektiven*, die in der Allgemeinen Psychologie eine Rolle spielen, umrissen und charakterisiert. Eingehender dargestellt werden:

Der biologisch-neurophysiologische Ansatz, der behavioristische Ansatz, der kognitionspsychologische Ansatz, der psychoanalytische Ansatz, der subjektivistische (phänomenologische) Ansatz und das jüngere Aufkommen der kognitiven Neurowissenschaften.

Unter dem Titel: >*Psychologie als wissenschaftliche Forschungsmethode*< wird erörtert: Wie stellt man die richtigen Fragen? Wie findet man die richtigen Antworten? Und wie bewertet man deren Gültigkeit? Dazu werden diskutiert: Einstellungs- oder Erwartungseffekte, der Overconfidence-Effekt, sowie der Rückschaufehler.

Dargestellt wird der Weg, wie kommt man von der einfachen wissenschaftlichen Fragestellung zur *Hypothesen- und Theoriebildung*. Angesprochen wird das Bilden von Theorien mit Beobachtungshypothese, Experimenteller Hypothese, Nullhypothese, die Forderung nach Überprüfbarkeit und Objektivität, sowie die Regeln der Beweisführung und das Vorgehen bei induktiven und deduktiven Schlüssen.

Als *Methodische Prinzipien* der Psychologie werden behandelt: Objektivität und Standardisierung (mit Operationalen Definitionen und Objektiver Registrierung) sowie Reliabilität und Validität ,

Im Abschnitt > *Methoden der Versuchsplanung und Datenerhebung*< wird ein Überblick über die folgenden, in der wissenschaftlichen Psychologie gebräuchlichsten Verfahren gegeben:

Kernstück der *experimentellen Methode* ist das kontrollierte Experiment, um den Zusammenhang zwischen mehreren Variablen zu prüfen und bestehende kausale Abhängigkeiten aufzudecken. Dabei sind unabhängige Variablen Faktoren im Experiment, die manipuliert werden und deren Wirkung untersucht wird. Die Abhängige Variable ist der Faktor im Experiment, der gemessen und dessen Abhängigkeit untersucht wird.

Mit statistischen *Korrelationsverfahren* lassen sich wissenschaftliche Aussagen über das Ausmaß (die Stärke) des Zusammenhanges zwischen je zwei Variablen machen. Korrelationen erlauben aber keine Rückschlüsse auf die Richtung (Kausalität) des Zusammenhanges.

Als *Datenerhebungsverfahren* werden besprochen (1) verschiedene Beobachtungsmethoden (2) Befragungsmethoden mit direkten, indirekten und geschlossenen Fragen. Hierbei spielt die Fragebogenkonstruktion mit den Gütekriterien von Objektivität, Reliabilität und Validität eine wichtige Rolle. Hinzu kommen als weiteres indirektes und retrospektives Erhebungsverfahren die Fallstudien.

Psychologische Tests sind ein gängiges und wichtiges Datenerhebungsverfahren. Es dient zur Messung psychologisch bedeutsamer Merkmale oder Eigenschaften mit dem Ziel einer quantitativen Bestimmung der untersuchten Merkmalsausprägung. Auch hier gelten die Hauptgütekriterien von Objektivität, Reliabilität und Validität.

Antworten auf die Einführungsfragen

1. Unterschiede in der Wahrnehmung oder Beurteilung ein und derselben Sache können verschiedene Gründe haben. Die bekanntesten sind:
   Der Einstellungs- beziehungsweise Erwartungseffekt bezeichnet das Phänomen, dass wir das Gesehene oder Gelesene unbeabsichtigt und unbemerkt gemäß unserer Erwartung interpretieren.
   - Der Überbewertungs-Effekt (*overconfidence*-Effekt), eine weitere Schwäche unseres gesunden Menschenverstandes, liegt in unserer nicht bewussten Neigung, unser eigenes Wissen als zuverlässiger und sicherer (richtiger) zu beurteilen, als es tatsächlich ist.
   - Der Rückschaufehler (*hindsight bias*) bezeichnet einen Effekt, der sich darin äußert, dass wir vielfach rückblickend meinen, die Dinge seien doch längst klar beziehungsweise von Anfang an geklärt gewesen: Ich wusste das doch schon längst (*I-knew-it-all-along*-Phänomen). Es ist die Tendenz, bei Erhalt einer Nachricht über den Ausgang eines Ereignisses retrospektiv die Eintrittswahrscheinlichkeit zu überschätzen.
2. Als wichtigste Ansätze der psychologischen Erkenntnisgewinnung werden genannt:
   - Der **biopsychologische Ansatz** befasst sich mit den biologisch-neuronalen Grundlagen menschlichen und tierischen Verhaltens. Er untersucht die biologisch funktionalen und neuronalen Zusammenhänge zwischen dem beobachtbaren oder erlebten Verhalten einerseits und den ihnen zugrunde liegenden biochemischen, elektrischen und neuronalen Prozessen andererseits.
   - Der **behavioristische Ansatz** befasst sich ausschließlich mit dem offenen, beobachtbaren Verhalten (Reaktionen) und untersucht dessen Bezug zu den vorangehenden Reizgegebenheiten in der Umwelt sowie den nachfolgenden Konsequenzen, woraus Verhaltensvorhersage und Verhaltensmodifikation möglich wird. Er macht keine Aussagen über innerkörperliche (biochemisch neuronale) oder innerpsychische (motivationale, kognitive) Prozesse.
   - Der **kognitive Ansatz** betrachtet die mentalen kognitiven („geistigen") Prozesse und Strukturen als wichtigste Grundlage für das Verständnis menschlichen Verhaltens und als primären Gegenstand der Psychologie überhaupt. Verhalten wird erklärt in enger Anlehnung an informationsverarbeitende, kybernetische Systeme auf der Basis individuell konstruierter, mentaler Repräsentationen der Wirklichkeit, die verhaltensbestimmend wirken. Ausgehend von der Untersuchung menschlichen Denkens und Wissens (Kognition) hat sich der Ansatz auf fast alle Gebiete der Psychologie erweitert.
   - Der **psychoanalytische Ansatz** betrachtet menschliches Verhalten als vornehmlich von starken unbewussten intrapsychischen „Trieben" und „Impulsen" (unbewussten Wünschen, Ängsten und Vorstellun-

gen) getrieben und von Konflikten zwischen diesen Bedürfnissen und den Forderungen der Gesellschaft nach sozial angepasstem Verhalten bestimmt.
- Der **subjektivistische (phänomenologische) Ansatz** konzentriert sich auf die subjektive Erfahrung des einzelnen Menschen mit seinen jeweiligen Erfahrungen, Bedürfnissen und Werten, an deren Spitze das Ziel der Selbstaktualisierung steht. Er betont die Einzigartigkeit des Menschen und sieht sich als „dritte Kraft" neben Behaviorismus und Psychoanalyse.

3. Als vorrangiges Ziel dieses behavioristischen Ansatzes gilt es zu analysieren und zu verstehen, wie bestimmte vorausgehende Reize oder Stimuli (S) oder vorausgehende Umweltbedingungen (*antecedent conditions*, Antecedens, A) ganz bestimmte Verhaltensreaktionen (R) bedingen, in Abhängigkeit von den darauffolgenden Konsequenzen (*consequences,* C).
   Damit vertrat der klassische Behaviorismus (mit J B. Watson) die Auffassung, dass alles Verhalten vollständig durch Umweltbedingungen determiniert sei und durch ihre Veränderung manipuliert werden könne, wobei genetische Faktoren weitgehend außer Acht gelassen wurden.
   Somit wurde von den Behavioristen fast ausschließlich und konsequent das von ihnen eingeführte methodische Prinzip verfolgt, dass nur unmittelbar beobachtbares Verhalten Gegenstand der wissenschaftlichen Psychologie sein dürfe, da innere „mentale" Ereignisse der Wissenschaft nicht empirisch zugänglich seien und daher nicht Forschungsgegenstand sein könnten
4. Das *Gesetz der kausalen Determiniertheit* wurde von Mill (1843) formuliert, und besagt, „dass es in der Natur Dinge gibt, die als Parallelfälle zu bezeichnen sind, dass sich das, was sich einmal ereignet hat, bei genügend hohem Ähnlichkeitsgrad der Umstände wieder ereignen wird".
   Um solche Ursachen und Zusammenhänge wissenschaftlich in den Griff zu bekommen, schlug er seinerzeit seine berühmt gewordenen *Regeln der Beweisführung* vor, die in ihrem Grundansatz auch heute noch ihre volle Gültigkeit besitzen:
   Bezeichnen wir etwas als Ursache eines bestimmten Phänomens, so muss
   1. es immer dann auftreten, wenn das Phänomen auftritt;
   2. das Phänomen immer dann auftreten, wenn die vermutliche Ursache auftritt;
   3. das Phänomen variieren, wenn die vermutliche Ursache variiert.
   4. Weist ein Phänomen, dessen Ursache bekannt ist, zusätzliche Eigenschaften auf (die nicht aus der bekannten Ursache folgten), dann gibt es dafür zusätzliche Ursachen.
   5. Die kognitive Wende ist die Bezeichnung für eine Entwicklung innerhalb der Paradigmen der psychologischen Wissenschaftsgemeinde vom Behaviorismus hin zum Kognitivismus. Und zwar hat sich der von der Untersuchung menschlichen Denkens, Entscheidens, Wissens und Problemlösens (Kognitionen) ausgehende Forschungsansatz beginnend in den 1970er-Jahren auf fast alle Gebiete der Psychologie ausgeweitet, was bisweilen auch als „*kognitive Wende* der Psychologie" bezeichnet wurde.

Fragen zur Wiederholung und Denkanstöße

1. An welchem Datum wird der Beginn der wissenschaftlichen Psychologie festgemacht und warum?
2. Worauf geht die Entstehung des Seelenbegriffs zurück?
3. Womit lässt sich die dualistische Auffassung von Leib – Seele begründen?
4. Wo findet sich in der gegenwärtigen Psychologie das Psychische?
5. Charakterisieren Sie Ziel und Gegenstand der Allgemeinen Psychologie.
6. Wonach fragt der biologisch-neurophysiologische Ansatz der Psychologie vor allem?
7. Was wird unter funktionalem Reduktionismus verstanden?
8. Was ist das vorrangige Ziel des behavioristischen Ansatzes und womit befasst er sich nahezu ausschließlich?
9. Worauf konzentriert sich der kognitionspsychologische Ansatz und auf welche Untersuchungstechniken stützt er sich vorwiegend?
10. Worauf stützt sich der psychoanalytische Ansatz und worin liegt sein wesentlicher Beitrag zum psychologischen Verständnis?
11. Wie lässt sich das Anliegen des humanistischen Ansatzes charakterisieren und worauf legt er besonderen Wert?
12. Was versteht man unter konvergenter Forschung?
13. Was besagen Einstellungs-Effekt, Overconfidence-Effekt und Hindsight-Bias-Effekt?
14. Über welche Schritte verläuft der Weg von der anfänglichen wissenschaftlichen Fragestellung bis zur Theoriebildung?
15. Kennen Sie die „Regeln der Beweisführung" von J. Stuart Mill?
16. Was ist eine operationale Definition?
17. Wozu dient die Standardisierung, was wird standardisiert?
18. Was sind Wording-Effekte?
19. Beschreiben Sie die folgenden Effekte: Versuchsleiter-Effekt, Pygmalion-Effekt, Placebo-Effekt und Hawthorne-Effekt.
20. Welche Merkmale gehören zu einem kontrollierten Experiment?
21. Was bezeichnet man als unabhängige Variable, was als abhängige Variable (mit Beispiel)?
22. Was ist ein mehrfaktorielles Design?
23. Welche Arten von Aussagen lassen sich durch einen Korrelationskoeffizienten machen und wozu lassen sich diese Aussagen nutzen?
24. Welche Datenerhebungsverfahren kennen Sie?
25. Was ist ein psychologischer Test und welche Bedeutungen hat der Begriff „Test" in der Psychologie?

1

Literatur

Anderson, J. R. (2013). *Kognitive Psychologie*. Berlin: Springer VS.

Atkinson & Hilgard's Introduction to Psychology (1914). Nolen-Hoeksema, S. Fredrikson, B. L., Loftus, G. R., Lutz, C., Hampshire UK. Cengage Learning EMEA.

Atkinson, R. L., Atkinson, R. C., & Hilgard, E. R. (1983). *Introduction to Psychology*. New York: Harcourt Brace Jovanovich.

Atkinson, R. L., Atkinson, R. C., & Hilgard, E. R. (1987). *Introduction to Psychology* (9. Aufl.). New York: Harcourt Brace Jovanovich.

Bortz, J., & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation*. Berlin: Springer.

Bortz, J. (1999, Bortz & Schuster, C., 2010[7]). *Statistik für Sozialwissenschaftler.* Berlin, Heidelberg: Springer.

Bridgman, P. W. (1927). *The logic of modern physics*. New York: Macmillan.

Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. New York: Pergamon.

Broca, P. (1861). Remarques sur le siège de la faculté du langage articule, suives d'une observation d'aphémie. *Bulletin et Memoires de la Société Anatomique de Paris*, *30*, 330–357.

Brockhaus, F. A. (1975). *Der Neue Brockhaus, Lexikon und Wörterbuch*. Wiesbaden: Brockhaus.

Bühler, C., & Bugenthal, J. F. (1974). Broschüre der Association for Humanistic Psychology. In C. Bühler & M. Allen (Hrsg.), *Einführung in die Humanistische Psychologie*. Stuttgart: Klett.

Bungard, W. (1979). Methodische Probleme bei der Befragung älterer Menschen. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, *26*, 211–237.

Carus, C. G. (1846). *Psyche, zur Entwicklungsgeschichte der Seele*. Pforzheim: Flammer und Hoffmann.

Craik, K. (1943). *The nature of explanation*. New York: Cambridge University Press.

Dorsch, F. (1976). *Psychologisches Wörterbuch* (9. Aufl.). Bern: Huber.

Doucet, F. (1971). *Geschichte der Psychologie von vorchristlichen Philosophen bis zu Seelenärzten des 20. Jahrhunderts*. München: Kindler.

Ebbinghaus, H. (1908). *Abriss der Psychologie*. Leipzig: Veit.

Fechner, G. T. (1860). *Elemente der Psychophysik*. Leipzig: Breitkopf & Härtel.

Freud, S. (1956). *Zur Psychopathologie des Alltagslebens*. Frankfurt/M.: Fischer.

Gadenne, V. (2013). Leib-Seele Problem. In F. Dorsch (Hrsg.), *Lexikon der Psychologie*. Bern: Huber.

Gadenne, V., & Oswald, M. (1991). *Kognition und Bewusstsein*. Berlin: Springer.

Gadenne, V. (1993a). Theorien. In T. Herrmann & W. Tack (Hrsg.), *Methodologische Grundlagen der Psychologie* Enzyklopädie der Psychologie, Bd. 1 Göttingen: Hogrefe.

Gadenne, V. (1993b). Theorienbewertung. In T. Herrmann & W. Tack (Hrsg.), *Methodologische Grundlagen der Psychologie* Enzyklopädie der Psychologie, Bd. I Göttingen: Hogrefe.

Gadenne, V. (1998). Leib-Seele-Problem. In F. Dorsch (Hrsg.), *Psychologisches Wörterbuch*. Bern: Huber.

Gall, F. J., & Spurzheim, J. C. (1810). *Anatomie et physiologie du système nerveux*. Schoell: Paris.

Goodall, J. (1991). *Through a window. Thirty years with the chimpanzees of Gombe*. London: Penguin Books.

Goranson, R. E. (1978). *The hindsight effect in problem solving.* Unveröffentlichtes Manuskript, zitiert in: G. Wood (1984), *Research methodology: A decision-making perspective.* In: A. M. Rogers & C. J. Scheirer (Hrsg.), *The G. Stanley Hall Lecture Series* (Bd. 4). Washington, DC: American Psychological Association.

Helmann, W. (1959). *Wörterbuch der Psychologie*. Stuttgart: Kröner.

Herbart, J. F. (1816). *Lehrbuch zur Psychologie*. Königsberg: Unzer.

Hofstätter, P. (1964). *Psychologie*. Frankfurt: Fischerbücherei.

Jacobsohn, H. (1952). *nach Doucet, F. (1971). Geschichte der Psychologie*. München: Kindler. Lizenzausgabe. Bindlach: Gondrom

Karnath, H.-O., & Thier, P. (Hrsg.). (2012). *Kognitive Neurowissenschaften*. Berlin: Springer.

Kinsey, A. C., Martin, C. E., & Pomeroy, W. B. (1948). *Sexual behavior in the human male*. Philadelphia: Saunders.

Lacayo, R. (1995). Violent reaction. *Time*, *June 12*, 25–39.

Lienert, G. A. (1961). *Testaufbau und Testanalyse*. Weinheim: Beltz.

Maslow,. A. H., Rodgers, C., Riesman D. & Bühler, C. (1962). Manifest. In: C. Bühler & J. F. Burgenthal (1962[1]/1974). *Broschüre der Association for Humanistic Psychology.* In: C. Mill, J. S. (1843). *A system of logic.* London: Longmans. 9te Auflage 1875: Vol 1, Ratiocinative and inductive. London: Longmanns

Maslow, A. H. (1970[2]). *Motivation and personality*. New York: Harper & Row. [1, 12]

Maslow, A. H., Frager, R. D., & Fadiman, J. (1997). *Motivation and personality* (3. Aufl.).

Mill, J. S. (1843). *A system of logic*. London: Longmans. Zitiert in: Zimbardo, P. G. & Ruch, F.L. (1978).Lehrbuch der Psychologie. Berlin, Heidelberg: Springer (S. 12)

McDaniel, M. A., Howard, D. C., & Einstein, G. O. (2009). The read-recite-review study strategy: Effective and portable. *Psychological Science*, *20*, 516–522.

Münsterberg, H. (1908). *On the Witness stand: essays on psychology and crime*. New York: Clark Boardman. Orig. 1908, New York: Doubleday

Müsseler, J. (Hrsg.). (2008). *Allgemeine Psychologie*. Heidelberg: Spektrum.

Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. New York: Appleton.

Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: prentice-Hall.

Nolen-Hoeksema, S., Fredrickson, B. L., Loftus, G. R., & Lutz, C. (2014). *Atkinson & Hilgard's Introduction to Psychology*. Hampshire UK: Cengage Learning EMEA.

Popper, K. R. & Eccles, J. C. (1977[1]/1982/1985). *Das Ich und sein Gehirn.* München: Piper.

Raichle, M. E. (1998). Behind the scenes of functional brain imaging. A historical and physiological perspective. *Proceedings of the National Academy of Sciences. USA.*, *95*, 765–772.

Rogers, C. R. (1981). *Der neue Mensch*. Stuttgart: Klett-Cotta.

Rosenthal, R. (1966). *Experimental effects in behavioural research*. New York: Appleton-Century-Crofts.

Ruch, F. L., & Zimbardo, P. G. (1974). *Lehrbuch der Psychologie*. Berlin: Springer.

Schönflug, W., & Schönflug, U. (1995). *Psychologie: allgemeine Psychologie und ihre Verzweigungen in die Entwicklungs-, Persönlichkeits- und Sozialpsychologie*. München, Wien, Baltimore: Urban und Schwarzenberg.

Shepard, R. N. (1990). *Mind sights*. New York: Freeman.

Singer, R. W. (Hrsg.). (1994). *Gehirn und Bewusstsein*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Skinner, B. F. (1971). *Erziehung als Verhaltensformung*. München-Neubiberg: Keimer.

Skinner, B. F. (1948). *Walden Two*. New York: Macmillan. (deutsch 1972, *Futurum Zwei. Die Vision einer aggressionsfreien Gesellschaft.* Reinbek: Rowohlt).

Skinner, B. F. (1978). *Was ist Behaviorismus?* Reinbek: Rowohlt.

Slovic, P., & Fischoff, G. (1977). On the psychology of experimental surprises. *Journal of Experimental Psychology*, *Human Perception and Performance*, *3*, 544–551.

Spering, M., & Schmidt, T. (2008). *Allgemeine Psychologie. Work Book*. Weinheim: Beltz , PVU.

Steiner, R. (1921). *Die Philosophie der Freiheit. Grundzüge einer modernen Weltanschauung*. Berlin: Philosophisch-Anthroposophischer Verlag.

Tolman, E. C. (1932). *Purposive behavior in animals and men*. New York: Appleton-Century-Crofts.

Traxel, W. (1968). *Über Gegenstand und Methode der Psychologie*. Bern: Huber.

Ward, J. (2006/2010). *The Student's Guide to Cognitive Neuroscience*. Hove, New York: Psychology Press.

Wendt, D. (1989). *Allgemeine Psychologie: Eine Einführung*. Stuttgart, Berlin, Köln: Kohlhammer.

Wernicke, C. (1874). *Der aphasische Symptomenkomplex*. Breslau: Cohen und Weigart.

Wood, G. (1979). The knew-it-all-along effect. *Journal of Experimental Psychology*, *Human Perception and Performance*, *4*, 345–353.

Wundt, W. (1893). *Grundzüge einer physiologischen Psychologie*. Leipzig: Engelmann. (Erstausgabe 1873)

Zimbardo, P. G. (1983). *Psychologie*. Berlin: Springer.

Neurowissenschaft und Verhalten – biologisch-physiologische Grundlagen

Christian Becker-Carus, Mike Wendt

2.1 Signalübertragung im Nervensystem – 32
2.1.1 Struktur und Funktion des Nervensystems – 33
2.1.2 Die Nervenzelle – 34
2.1.3 Erregung und Erregungsleitung im Nervensystem – 35
2.1.4 Nervenleitung in myelinisierten Axonen – 36
2.1.5 Synaptische Übertragung – 36
2.1.6 Integration erregender und hemmender Impulse – 37
2.1.7 Neurotransmittersysteme und Neurorezeptoren – 39
2.1.8 Drogen und synaptische Transmission – 40
2.1.9 Nervennetze und Informationsverarbeitung – 41

2.2 Organisation des Nervensystems – 42
2.2.1 Zentralnervensystem – 42
2.2.2 Peripheres Nervensystem – 43
2.2.3 Verhaltenssteuerung durch das neuroendokrine System – 44

2.3 Struktur des Gehirns – 48
2.3.1 Die älteren Strukturen des Gehirns – 49
2.3.2 Die neueren Strukturen: das Großhirn – 52
2.3.3 Hirnasymmetrie und Sprachverarbeitung – 55
2.3.4 Das geteilte Gehirn – 57
2.3.5 Cerebrale Lateralisation – 58

2.4 Genetik und Verhalten – 59
2.4.1 Genetische Grundlagen – 59
2.4.2 Chromosomenbau und Molekulargenetik – 61
2.4.3 Vererbung, Umwelt und Verhaltensgenetik – 63

Literatur – 71

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Becker-Carus, M. Wendt, *Allgemeine Psychologie,* DOI 10.1007/978-3-662-53006-1_2

Wäre ich heute Student, könnte ich, glaube ich, nicht widerstehen, Neurowissenschaften zu studieren. (Tom Wolfe, Schriftsteller)

2

? 1. Inwiefern funktioniert die Übertragung von Nervensignalen nach dem „Alles-oder-nichts-Prinzip"?
2. Alltagspsychologischer Auffassung zufolge veranlasst das Empfinden von Schmerzen zu einer die Schmerzsituation beendenden Handlung (so dies möglich und erwünscht ist). Inwiefern trifft diese Beschreibung nicht auf das Zurückziehen der Hand von einer heißen Herdplatte zu?
3. Die beiden Großhirnhälften sind durch massive Nervenverbindungen miteinander verknüpft und arbeiten bei der Bewältigung verschiedenster Anforderungen koordiniert zusammen. Auf welche Weise lassen sich Informationsverarbeitungsprozesse in einer Hirnhälfte isoliert untersuchen?
4. Lassen sich verschiedene psychische Prozesse unterschiedlichen, voneinander abgrenzbaren Hirnteilen zuordnen?
5. Inwiefern unterscheiden sich Nervenzellen im Gehirn, die an verschiedenen Funktionen wie Wahrnehmung, motorische Steuerung, Gedächtnis oder Emotionen beteiligt sind, in ihrem Aufbau?

All unser Verhalten, angefangen vom Atemholen oder einem Händedruck bis hin zum Autofahren, dem Lösen komplexer mathematischer Aufgaben oder dem Erleben emotionaler Freude oder Trauer, ist auf das Engste verknüpft mit der Integration einer Vielzahl verschiedenster physiologischer Prozesse in unserem Körper.

Wenn wir beispielsweise einem Menschen auf der Straße begegnen und ihn als Freund erkennen, so müssen wir allem voran zuerst eine Wahrnehmung von ihm haben. Das von seinem Gesicht reflektierte Licht oder der Schall seiner Stimme muss unser Sinnesorgan (Auge oder Ohr) erreichen, wo die Reize umgewandelt werden in neuronale Impulse, die zum Gehirn geleitet, dort analysiert und mit bereits gespeicherter Information früherer Ereignisse und Begebenheiten verglichen werden. Aus dem Vergleich mit diesen Erinnerungen resultiert, ob das gesehene Gesicht oder die gehörte Stimme bereits bekannt und als mit positiven Valenzen verbundene Erinnerung eines Freundes bekannt ist. Das alles geschieht in Bruchteilen einer Sekunde, und wir „erkennen" den Freund und begrüßen ihn, was ebenfalls eine ganze Kette von Reaktionen in unserem Nervensystem, aber auch im Bereich der **endokrinen** (innersekretorischen) Drüsen auslöst, die beispielsweise den Herzschlag oder die Atmung beeinflussen.

Wir freuen uns oder sind überrascht, den Freund gerade hier und jetzt zu treffen. Es kann sein, dass wir erröten, und dass der Herzschlag und die Atmung beschleunigt werden und uns Freude überkommt. Physiologische und psychologische Erlebensprozesse erscheinen eng miteinander verbunden. Eine Vielzahl komplexer Informationen wird im Körper in kürzester Zeit ausgetauscht, weiterverarbeitet, verglichen und koordiniert. Dies führt normalerweise zu Verhaltensweisen, die uns zweckmäßig erscheinen. Problematisch wird es aber, wenn dieses organisch verflochtene, komplexe System an irgendeiner Stelle nicht mehr richtig funktioniert. Dann wären oder sind wir gut beraten, wenn wir wissen, wo der Fehler der Dysfunktion zu suchen ist, auch um gezielt therapeutische Hilfe geben oder finden zu können.

Viele Aspekte unseres Verhaltens und unserer psychischmentalen Vorgänge werden, wie sich gezeigt hat, in weiten Teilen verständlich, wenn wir die zugehörigen oder zugrunde liegenden biologisch-physiologischen Prozesse kennen und verstehen. Hierzu gehört vor allem die Funktion und die Wirkungsweise unseres **Nervensystems**, über dessen Netzwerk die ungeheuer vielfältige Integration der verschiedenen Informationen und der verschiedenen Organe vollzogen wird. So hängt unsere Wahrnehmung eines Gegenstandes oder unser Sprachverstehen davon ab, ob und wie unsere Sinnesorgane die Reize erkennen und aufnehmen und wie dann unser Gehirn die eingehende Information im Zusammenhang mit Information aus dem Gedächtnis interpretiert. Viele unserer Verhaltensweisen werden motiviert durch körperliche Bedürfnisse oder Motivationen wie Hunger, Durst oder Müdigkeit. Andererseits aber werden auch unsere physiologischen Reaktionen und unser Verhalten beeinflusst von unseren mentalen Einstellungen, ethischen Normen, inhaltlichen Vorstellungen wie auch unseren bewussten Entscheidungen. Dieses zentrale Phänomen, dass alles Psychische zugleich auch ein Biologisch-Physiologisches ist, beschäftigt die Psychologie immer wieder aufs Neue, wie wir auch in den weiteren Darlegungen dieses Buches sehen werden (▶ Kap. 5). Dabei fallen, wie bereits eingangs erörtert, die Interpretationen dieses Zusammenhanges durchaus sehr unterschiedlich aus, bis hin zum radikalen Reduktionismus.

In dem vorliegenden Kapitel werden wir uns mit den grundlegenden Komponenten des Nervensystems befassen, um uns einen Überblick über seine Funktionsweisen und seinen Aufbau zu verschaffen. Ausgangspunkt ist dabei die Nervenleitung und synaptische Übertragung im Nervensystem.

2.1 Signalübertragung im Nervensystem

Für die Integration der vielfältigen Prozesse des psychischen und physischen Verhaltens sowie den dafür notwendigen Informationsaustausch ist in erster Linie das **neuronale Netzwerk** unseres **Nervensystems** verantwortlich, das in den folgenden Abschnitten anhand seiner Funktionen bei der Übertragung und Verarbeitung von Reizsignalen und Informationen durch Nervenleitung und synaptische Übertragung besprochen wird. Das Nervensystem schafft die Verbindung zwischen den einzelnen **Systemen** und **Subsystemen** in unserem Körper bis hin zu einzelnen Zellen, also den kleinsten **Funktionseinheiten** unseres „Gesamtorganismus Mensch". Dieser lässt sich verstehen als zusammengesetzt aus, oder untergliedert in aufeinander abgestimmte funktionale Einheiten beziehungsweise **Organe**. So bilden die einzelnen Zellen zusammen höhere Funktionseinheiten, Organe wie Herz, Niere oder Gehirn. Diese wiederum bilden weiter reichende Funktionszusammenhänge, wie den der Verdauung, des Blutkreislaufes oder den der Informationsverarbeitung. Darüber hinaus ist unser Gesamtorganismus, sind wir wieder Teil übergeordneter sozialer Systeme, zum Beispiel unserer Familie, unseres Freundeskreises, unserer Arbeitsstelle oder unseres Kulturkreises. Auch sie sind durch Informationsübertragungssysteme miteinander verbunden,

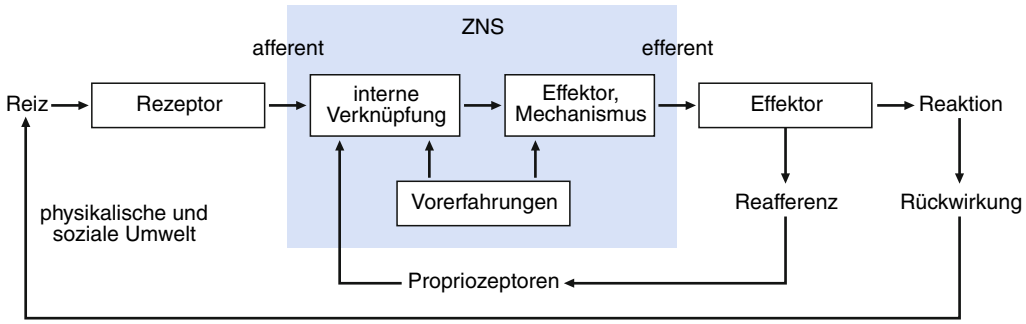


Abb. 2.1 Schematische Darstellung neuronaler Prozesse, die dem Verhalten zugrunde liegen mit Zugängen zum und Abgängen vom Zentralen Nervensystem (ZNS)

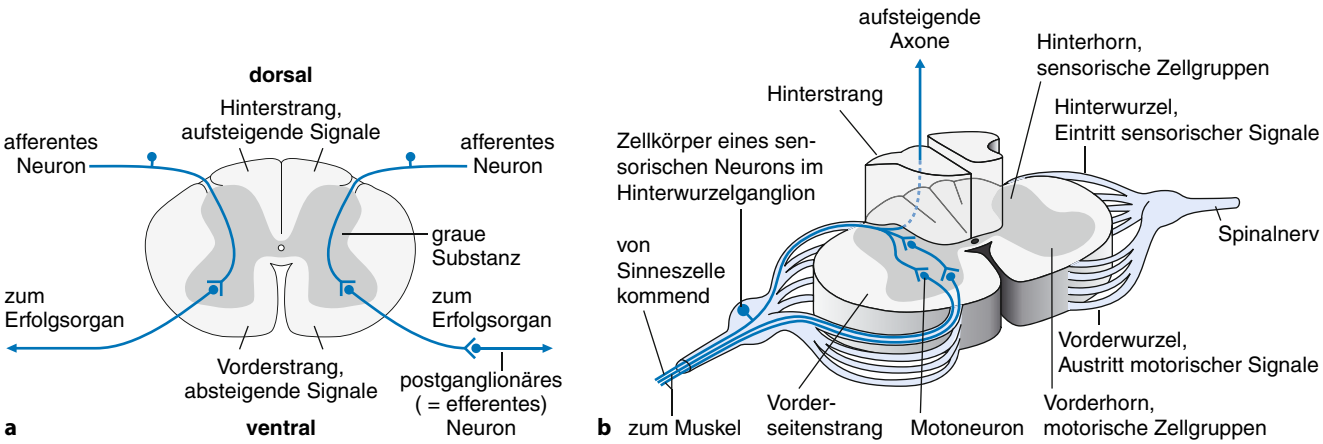


Abb. 2.2 Schematische Darstellung neuronaler Leitungsbögen im Rückenmarksquerschnitt. a Leitungsbogen des cerebrospinalen Systems, in welchem die Umschaltung und Verarbeitung stets innerhalb des ZNS stattfindet, **b** Leitungsbogen des autonomen (vegetativen) Nervensystems, bei dem wesentliche Ganglienanhäufungen auch außerhalb des ZNS bestehen. (Nach Sobotta und Becher 1972)

so wie die einzelnen Teilsysteme unseres Organismus über unsere neuronalen und humuralen (hormonellen) Informationsübertragungssysteme miteinander kommunizieren.

2.1.1 Struktur und Funktion des Nervensystems

Die wesentliche Funktion des Nervensystems ist die Verbindung und Informationsverarbeitung zwischen reizaufnehmenden und reizbeantwortenden Organen, was Abb. 2.1 im Überblick veranschaulicht.

Die in den Sinnesorganen – genauer deren Rezeptoren – aus den Reizen erzeugten Erregungen, die zugleich eine Information über die verursachenden Reize enthalten, werden vom Nervensystem aufgenommen, in Impulsfolgen umgewandelt und entweder direkt oder über eine zentrale Verarbeitung und Integration an die reizbeantwortenden Organe, die Erfolgsorgane, ausgesandt. So kommt dem Nervensystem als Überwachungs- und Regulationsorgan eingehender und ausgehender Information vornehmlich die Aufgabe zu, die Interaktion des Organismus mit der Außenwelt wie auch das Zusammenspiel der einzelnen Teile des Organismus untereinander zu vermitteln und zu regeln. In seinen höheren Zentren bildet das Nervensystem zugleich eine Grundlage für das Bewusstsein und für die seelischen und geistigen Fähigkeiten des Menschen, die ihrerseits ebenfalls mit Erregungen im Nervensystem verbunden sind und solche (auch ohne erkennbare Außenreize) auslösen können.

Den genannten Funktionen nach gliedert man das Nervensystem in Leitungsbahnen und verarbeitende Zentren, Kerne (*nuclei*), welche im Wesentlichen im **Zentralnervensystem** (**ZNS**) liegen. Dieses umfasst Hirn und Rückenmark. Die Leitungsbahnen verbinden einerseits die verschiedenen Zentren untereinander und andererseits bilden sie die peripheren Nerven, die von und zu den einzelnen Organen des Körpers führen. Zusammen bilden sie als kleinste funktionale neuronale Einheiten die sogenannten **Leitungsbögen**. Ein solcher besteht im einfachsten Fall aus einem **afferenten,** das heißt zuleitenden oder zentripetalen, und einem **efferenten,** wegführenden oder zentrifugalen Schenkel. Beteiligt sind daran zumindest zwei Neurone: ein afferentes, sensorisches und ein efferentes, motorisches Neuron, wobei deren Fortsätze (Neuriten, Axone) gemeinsam in einem Nervenstrang verlaufen können.

Wie Abb. 2.2 zeigt, führt der afferente Schenkel zur zentralen Bezugseinheit (Rückenmark, Gehirn), der efferente von hier zur Peripherie. Das ganze Nervensystem setzt sich aus einer Vielzahl solcher Leitungsbögen zusammen, die auf die mannigfachste Weise miteinander verknüpft und hintereinander geschaltet sein können. Auch die Reaktion des gesamten Nervensystems auf einen ankommenden Reiz hin vollzieht sich nach dem gleichen grundlegenden Muster (Abb. 2.1). Einen Überblick über die übliche Gliederung und Aufteilung des Nervensystems der Wirbeltiere in **zentrales** und **peripheres Nervensystem** (ZNS und PNS) gibt Abb. 2.3.

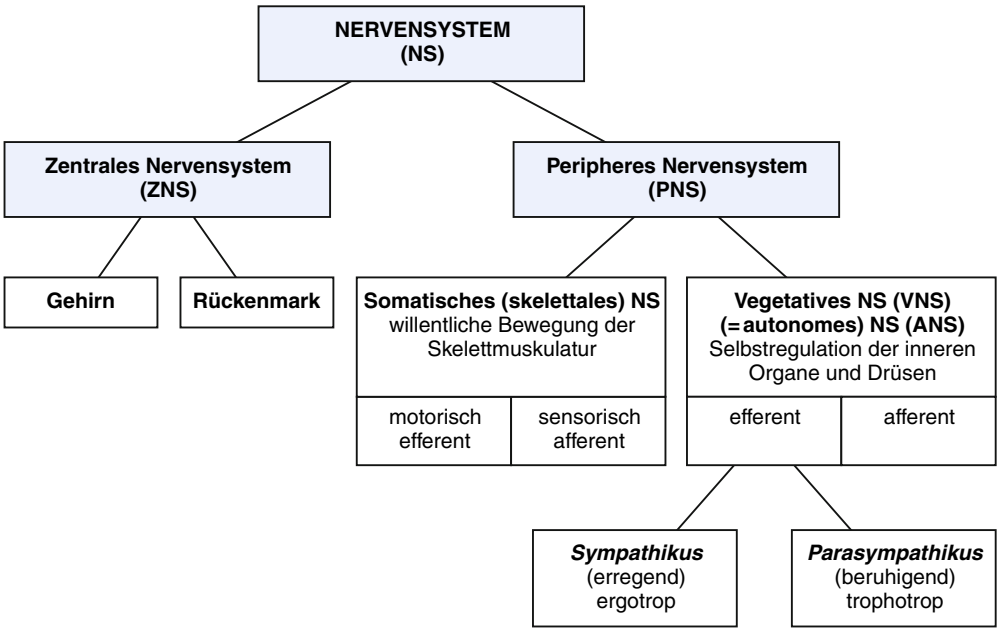


Abb. 2.3 Wichtigste funktionale Gliederungsgesichtspunkte des menschlichen Nervensystems

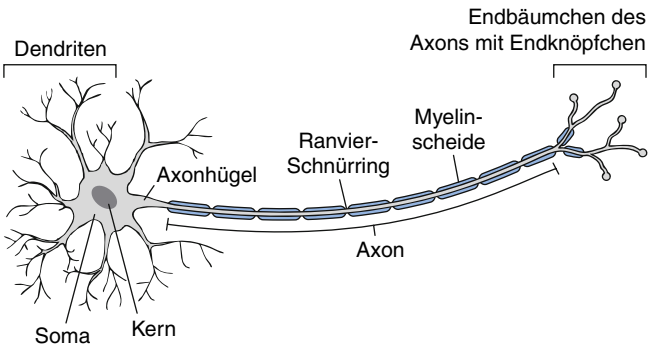


Abb. 2.4 Allgemeines Schema eines Neurons

2.1.2 Die Nervenzelle

Die Grundeinheiten des Nervensystems sind die **Nervenzellen** oder **Neurone**. Sie spiegeln als Bausteine desselben zugleich die allgemeine funktionale Struktur des Nervensystems wider, indem sie in der Regel über einen afferenten Teil, die **Dendriten**, einen zentralen Anteil, das **Soma** (**Zellkörper**), und einen efferenten Anteil, das **Axon**, verfügen (Abb. 2.4).

Der afferente, der Informationsaufnahme dienende Teil besteht zumeist aus einer Reihe verzweigter Fortsätze, den Dendriten (von griechisch *déndron* für „Baum", „Bäumchen"), deren Verästelungen Signale von zahlreichen anderen Neuronen aufnehmen. Der zentrale Teil, der Zellkörper (Soma), enthält den **Zellkern** (**Nucleus**) sowie das **Zytoplasma**, das der Zellernährung dient, und weitere der Verarbeitung dienende Zelleinschlüsse. Im Zellkörper werden die auf den verschiedenen Wegen eingehenden Informationen miteinander „verrechnet" und dann über den efferenten Hauptfortsatz, das **Axon**, zum Teil über weite Strecken zu anderen Zellen weitergeleitet. Das Axon endet hier jeweils mit einer Verdickung, dem **synaptischen Endknöpfchen**, das die Impulse auf die nachfolgende Zelle überträgt. Die Axone – sie bilden die **Nervenfasern** – sind von sehr unterschiedlicher Länge. Sie beträgt oft nur wenige Mikrometer oder µ (1µ = Tausendstel Millimeter) bei Neuronen im Gehirn, während ihre Länge im Rückenmark (zum Beispiel von dort bis zum großen Zeh) mehr als 1 m betragen kann. Eine Vorstellung über die vielfältige Form der Neurone gibt die Auswahl einiger Neuronentypen in Abb. 2.5.

Allen gemeinsam ist jedoch die Ausbildung eines die Information fortleitenden Axons, das sich häufig in mehrere Zweige aufteilt. Diese Verzweigungen werden als **Kollaterale** bezeichnet. Die Axone, speziell im peripheren Nervensystem, werden zumeist schlauchartig von speziellen **Gliazellen** (von griechisch *gliskos* für „leimig"), den **Schwann'schen Scheiden**, umhüllt, die eine Fett-Eiweiß-Schicht, das **Myelin**, umschließen. Derartig durch eine Myelinschicht nach außen elektrisch isolierte Nervenfasern, die dadurch eine hohe Nervenleitgeschwindigkeit erhalten, werden als **myelinisierte** oder **markhaltige Nervenfasern** bezeichnet. Wie in Abb. 2.4 dargestellt, verläuft die Myelinisierung nicht kontinuierlich über das Axon, sondern wird in regelmäßigen Abständen, etwa alle 1–2 mm unterbrochen. Diese myelinfreien Einschnürungen werden nach ihrem Entdecker als **Ranvier-Schnürringe** bezeichnet. Nervenfasern ohne myelinisierte Markscheide heißen **marklose** oder **unmyelinisierte** Nervenfasern. Als **Nerv** bezeichnet man ein Bündel von mehr oder weniger vielen Nervenfasern.

Neuron (Nervenzelle)

Das Neuron, die Grundeinheit des Nervensystems, besteht aus einem Zellkörper (Soma) und Zellfortsätzen: dem efferenten Axon und den afferenten Dendriten.

Je nach Art ihrer Funktion lassen sich drei Klassen von Neuronen unterscheiden:

1. **Sensorische Neurone.** Sie übertragen die Impulse, die sie von den Rezeptoren der verschiedenen Sinnesorgane empfangen, zum ZNS hin (afferent). Als **Rezeptoren** werden die

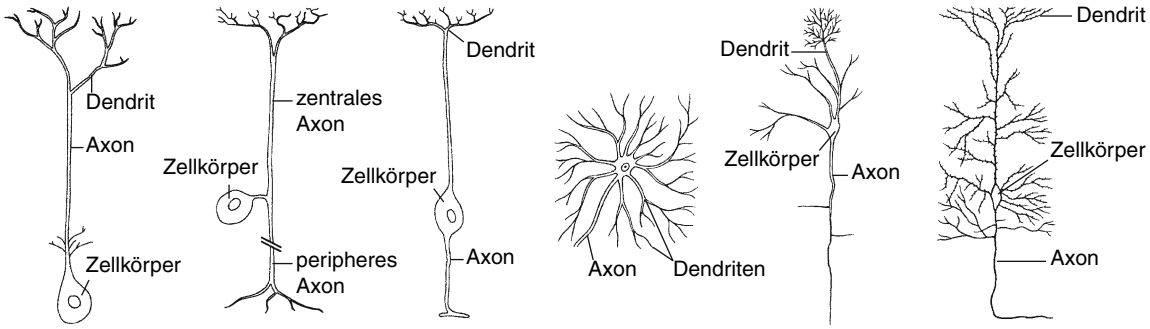


Abb. 2.5 Beispiele für die Formenvielfalt von Neuronen

in den Sinnesorganen, Muskeln, Gelenken oder der Haut lokalisierten, spezialisierten Nervenzellen bezeichnet, die auf physikalische oder chemische Veränderung reagieren und diese in Nervenimpulse umwandeln, welche dann über die sensorischen Neurone weitergeleitet werden.

2. **Motorische Neurone** (**Motoneurone**). Sie übertragen die vom Gehirn oder Rückenmark ausgehenden Signale von dort weg (efferent) zu den Effektororganen, den Muskeln und Drüsen.
3. **Interneurone** (**zwischengeschaltete Neurone**). Sie empfangen ihre Signale von den sensorischen Neuronen und senden diese als Impulse weiter zu anderen Interneuronen, mit denen sie in vielfältiger Weise, insbesondere im Gehirn, verknüpft sein können, oder direkt zu Motoneuronen. Interneurone finden sich ausschließlich im Gehirn, im Rückenmark und in den Augen.

Zusätzlich hierzu gehört zum Nervensystem eine große Anzahl (etwa zehnmal so viele) der bereits genannten Gliazellen, die zwischen den Nervenzellen eingestreut sind oder diese (als Schwann'sche Zellen) umwickeln. Sie haben im Wesentlichen stützende, isolierende und ernährende Funktion. Auch sorgen sie für den Abtransport von Giften oder überschüssigen Transmitterstoffen.

2.1.3 Erregung und Erregungsleitung im Nervensystem

Die Informations- oder Erregungsleitung im Nervensystem ist ein elektrochemischer Prozess, der, vergleichbar der Zündung einer Feuerwerkszündschnur, sich selbst generierend über das Axon als **Aktionspotenzial** (**AP**) fortpflanzt. Je nach Gewebeart wandern diese Nervenimpulse, im Gegensatz zur elektrischen Stromleitung in metallischen Leitungen (nahezu Lichtgeschwindigkeit), nur mit einer Geschwindigkeit von unter 100 m/s (genauer in *Zusatztext online*).

Der zugrunde liegende, elektrochemische Prozess (genauer erörtert in *Zusatztext online*) lässt sich verkürzt betrachtet wie folgt verstehen: Die Zellmembran des Neurons bzw. des Axons ist auch im Ruhezustand aufgrund nasser chemischer Prozesse elektrisch geladen. Diese elektrische Ladung beruht auf einer Ungleichverteilung von elektrisch geladenen atomaren Teilchen, den Ionen, die sich bilden, wenn Substanzen wie Kochsalz (NaCl) sich

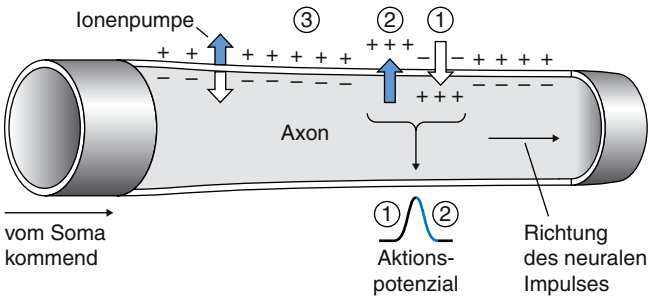


Abb. 2.6 Axon mit Ionenkanälen. Gezeigt wird die Verschiebung der Na^+- (*weiße Pfeile*) und K^+-Ionen (*blaue Pfeile*) während des Aktionspotenzials, das von links nach rechts über das dargestellte Axon wandert

in Wasser lösen (Na^+- und Cl^--Ionen). Normalerweise können die Ionen die Zellmembran nicht durchdringen. Es befinden sich jedoch in der Membran der Axone submikroskopische Proteine, die als **Ionenkanäle** fungieren (Abb. 2.6; und *Zusatztext online*) die sich für bestimmte Ionen öffnen oder schließen können, oder auch aktiv Ionen transportieren können (**Ionenpumpe**).

Aufgrund dieser Semipermeabilität, d. h. der Halb- oder Teildurchlässigkeit der Zellmembran für nur bestimmte Ionengrößen, werden die im Gewebe vorhandenen positiven Na^+-Ionen in der umgebenden Flüssigkeit zurückgehalten, während die positiven K^+-Ionen und die negativ geladenen Cl^--Ionen vermehrt in das Zellinnere wandern. Dies führt zu einem geringen elektrischen Spannungsgefälle, dem **Membranpotenzial**, derart, dass die Innenseite negativ gegenüber der Außenseite geladen ist. Diese Spannungsdifferenz im Ruhezustand wird als **Ruhepotenzial** bezeichnet. Es beträgt etwa −70 bis −80 mV (Millivolt) (Genaueres in *Zusatztext online*).

Ruhepotenzial

Das Ruhepotenzial bezeichnet den elektrischen Potenzialunterschied an der Zellmembran (also das Membranpotenzial), der im Ruhezustand zwischen äußerer Umgebung und dem Inneren des Neurons besteht, wenn keine elektrischen Signale weitergeleitet werden.

Wenn nun ein Neuron durch einen Reiz stimuliert wird, kommt es zunächst zu einer kleinen lokalen **Depolarisation** der Zellmembran. In den Rezeptoren der Sinnesorgane ist ihre Stärke direkt proportional von der Reizstärke abhängig (Rezeptorpo-

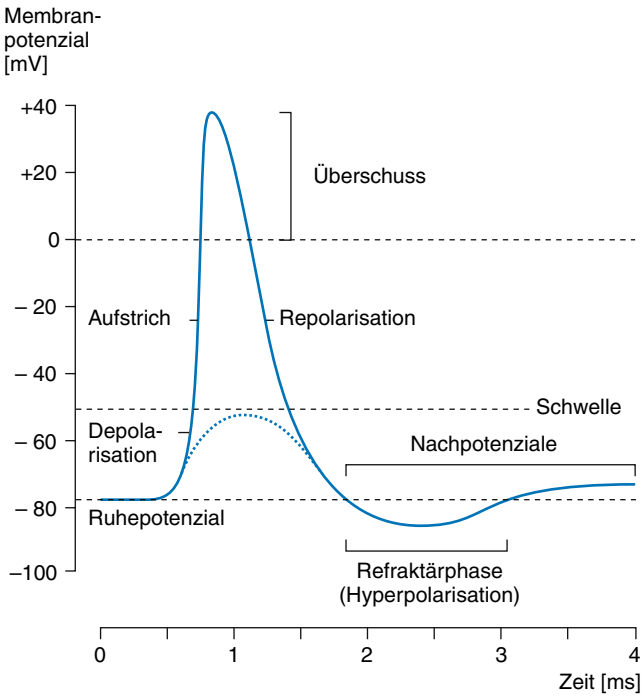


Abb. 2.7 Zeitlicher Verlauf des Aktionspotenzials eines Neurons mit seinen verschiedenen Phasen

tenzial). Überschreitet diese lokale Depolarisation einen jeweils bestimmten Schwellenwert – und nur dann (Alles-oder-nichts-Gesetz) –, so führt das zur Generation (Erzeugung) eines **Aktionspotenzials** (Abb. 2.7). Dies wird dadurch verursacht, dass sich einige Ionenkanäle am Beginn des Axons (am Axonhügel) wie Tore öffnen und die positiv geladenen Na^+-Ionen durch die Membran in das Zellinnere einströmen, wodurch sich das Membranpotenzial an dieser Stelle umkehrt (innen positiv; Abb. 2.6). Dies bewirkt in der Folge die Öffnung der benachbarten Ionenkanäle, was auch hier zur Potenzialumkehr führt, usw. In dieser Weise setzt sich der Prozess der Aktionspotenzialweiterleitung bis hin zum Endknöpfchen des Axons fort, ähnlich einer Reihe umfallender Dominosteine. Dadurch, dass der Nervenimpuls, das Aktionspotenzial, an jeder Stelle neu generiert wird, bleibt seine Stärke (Amplitude) bis zum Ende unverändert erhalten (genauer in *Zusatztext online*).

Aktionspotenzial (AP)

Unter Aktionspotenzial versteht man einen kurzen neuronalen Impuls, verursacht durch aktive elektrische Ladungsänderungen an der Zellmembran, die ohne Spannungsverlust über ein Axon laufen und dem Informationstransport im Nervensystem dienen.

Sofort nach der Potenzialumkehr schließen sich die Ionenkanäle wieder. In der nachfolgenden Refraktärzeit, in der keine weitere Erregung mehr möglich ist, öffnen sich nun andere Kanäle für kurze Zeit, die nur positiv geladene Kaliumionen aus dem Axon ausströmen lassen, wodurch schließlich das normale Ruhepotenzial wiederhergestellt wird. Einen weiteren Ausgleich bewirken die Na^+-K^+-Pumpen, die wir ebenfalls in *Zusatztext online* behandeln.

2.1.4 Nervenleitung in myelinisierten Axonen

Bisher haben wir zunächst nur die Nervenleitung in Nervenfasern betrachtet, die nicht von einer Markscheide umgeben sind. Etwas anders läuft dagegen die Weiterleitung in myelinisierten Fasern ab.

Myelinisierte Axone haben eine höhere Nervenleitgeschwindigkeit als marklose Axone. Wie wir bei der Besprechung der Nervenzelle bereits gesehen haben, sind die Axone vieler Neurone durch isolierende eiweißreiche Gewebesegmente, die Myelinscheiden, von der extrazellulären Gewebeflüssigkeit isoliert. In solchen Axonen können Ionen die Axonmembran nur an den Einschnürungen zwischen den Myelinsegmenten, den Ranvier-Schnürringen, passieren. Das bedingt eine besondere Art der Nervenleitung, die als **saltatorische Erregungsleitung** (von lateinisch *saltare* für „springen“) bezeichnet wird.

Ein am Axonbeginn – dem **Axonhügel** – ausgelöstes Aktionspotenzial wird hier passiv und verzögerungsfrei direkt zum ersten Schnürring weitergeleitet, wobei es sich allerdings abschwächt, da keine aktive Energiezufuhr durch aktive Ionenströme erfolgt. Das am ersten Schnürring ankommende Signal ist aber immer noch stark genug, um hier die spannungsgesteuerten Na^+-Kanäle zu öffnen und damit ein neues Aktionspotenzial mit wieder gleicher und voller Ausgangsstärke auszulösen, das dann in gleicher Weise zum nächsten Schnürring „springt“ und dort wieder ein nächstes Aktionspotenzial auslöst und so fort. Auf diese Weise erhöht sich in **myelinisierten Axonen** die Nervenleitgeschwindigkeit beträchtlich. Eine Degeneration der Myelinscheiden sowie Gliawucherungen erwiesen sich als Ursache für die Nervenkrankheit **Multiple Sklerose**. Sie ist charakterisiert durch schwere Dysfunktionen der sensorischen und motorischen Nerven.

Die durch Myelinisierung des Axons hervorgerufene saltatorische Erregungsleitung führt zu einer Geschwindigkeitserhöhung der axonalen Leitungen.

2.1.5 Synaptische Übertragung

Bisher haben wir die Erregungs- und Informationsleitung des Nervensystems innerhalb der einzelnen Nervenzelle betrachtet. Wir wenden uns nun der Übertragung dieser Nervenimpulse von einer Zelle auf die nächste zu. Dieser synaptischen Übertragung kommt auch unter dem Aspekt der gesteuerten Informationsverarbeitung heute eine ganz besonders wichtige Funktion und Bedeutung zu.

Es war der spanische Neuroanatom Ramón y Cajal (1852–1934), der gegen alle Erwartung seiner Zeit nachweisen konnte, dass zwischen den miteinander verbunden erscheinenden Neuronen jeweils ein submikroskopisch feiner Spalt liegt, über den der Nervenimpuls in ganz besonderer Weise transportiert wird. Diese Verbindungsstelle, über die Neurone miteinander kommunizieren, wurde von dem britischen Physiologen Sir Charles Sherrington (1857–1952) als **Synapse** bezeichnet (Abb. 2.8). Für seine bahnbrechende Entdeckung wurde Ramón y Cajal (zusammen mit Camillo Golgi, der sich um die Strukturaufklärung

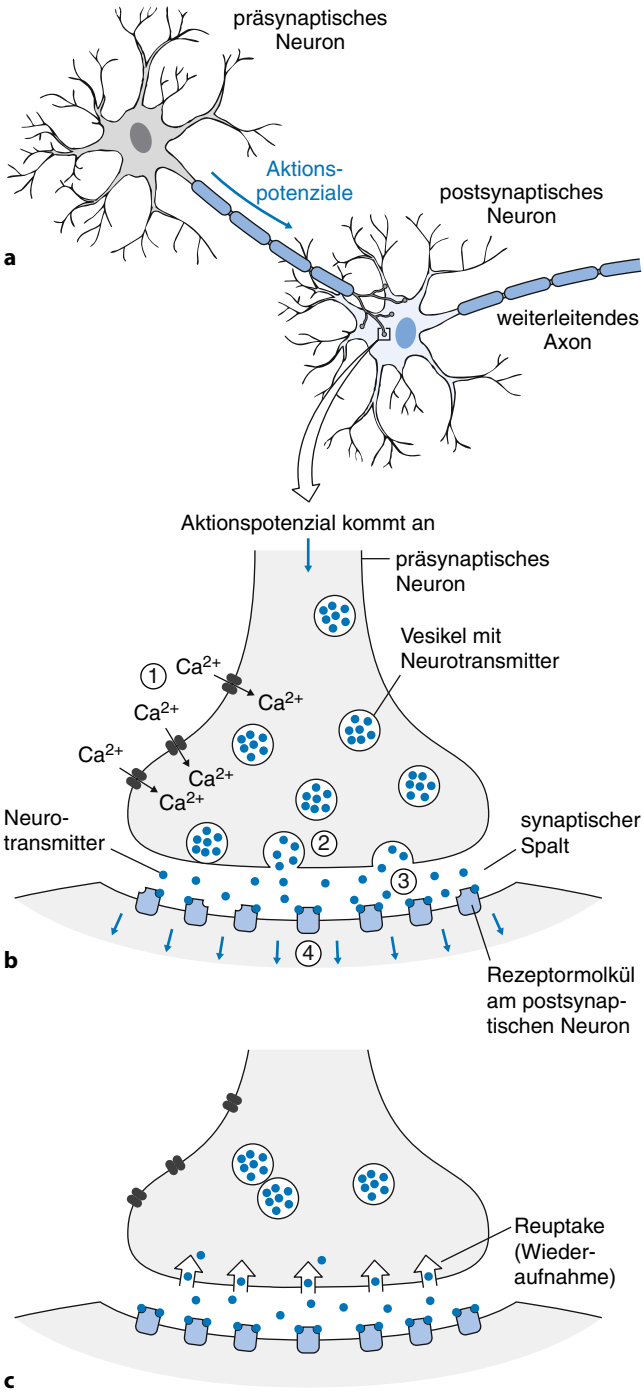


Abb. 2.8 Synaptische Übertragung von einem Neuron auf ein anderes. **a** Elektrische Impulse (Aktionspotenziale) kommen durch das Axon eines Neurons und erreichen die Synapse an dessen Ende, **b** Der ankommende Nervenimpuls bewirkt einen massiven Einstrom von Kalziumionen (1) und löst die Ausschüttung von Neurotransmittermolekülen aus den synaptischen Bläschen (Vesikeln) des präsynaptischen Neurons aus (2). Diese Moleküle überqueren den synaptischen Spalt (3) und binden an die Rezeptormoleküle am postsynaptischen Neuron (4). Dies führt zu einer Potenzialänderung, die die Entstehung eines Aktionspotenzials auslöst oder verhindert, **c** Reuptake (Wiederaufnahme). Das präsynaptische Neuron nimmt die Transmittermoleküle wieder auf

des Neurons – Golgi-Körper – verdient gemacht hatte) 1906 mit dem Nobelpreis geehrt.

Wenn nun der ankommende Nervenimpuls (Aktionspotenzial) ein synaptisches Endknöpfchen des Axons erreicht, bewirkt dieser hier die Ausschüttung chemischer Botenstoffe, sogenannter **Neurotransmitter**. Diese sind in kleinen Bläschen, den synaptischen Vesikeln, gespeichert, die bei Ankunft eines Impulses, vermittelt durch die Ca^{++}-Ionen, mit der präsynaptischen Membran verschmelzen und den Transmitter in den synaptischen Spalt ausschütten (◘ Abb. 2.8) Die Moleküle des Transmitters (zum Beispiel Acetylcholin) diffundieren im 10.000sten Teil einer Sekunde über den synaptischen Spalt und binden auf der anderen Seite an speziellen Eiweißmolekülen, den **Neurorezeptoren**, der **subsynaptischen Membran** (◘ Abb. 2.8).

Diese sind jeweils nur für einen bestimmten Transmitter sensibel. Neurotransmittermolekül und Neurorezeptormolekül passen exakt wie Schlüssel und Schloss zusammen. Die Rezeptormoleküle öffnen nun für kurze Zeit kleine Kanäle (Ionenkanäle), durch die Ionen in das Neuron einströmen. Die dadurch entstehenden Spannungsänderungen im postsynaptischen Neuron erhöhen oder verringern – im Zusammenspiel mit anderen Synapsen am gleichen Neuron – hier die Wahrscheinlichkeit der Aulösung eines Aktionspotenzials. Die einzelnen Schritte dieses Übertragungsvorganges werden in *Zusatztext online* genauer erörtert.

Neurotransmitter (1)

Neurotransmitter sind chemische Botenstoffe, die an Synapsen bei Erregung präsynaptisch freigesetzt werden und nach Überqueren des Spaltes postsynaptisch erregende (exzitatorische) oder hemmende (inhibitorische) postsynaptische Potenziale (EPSPs bzw. IPSPs) auslösen.

Die noch im Spalt verbliebenen Neurotransmittermoleküle müssen schnellstmöglich *deaktiviert* werden, um die Synapse nicht zu blockieren. Dafür gibt es zwei verschiedene Mechanismen: (1) den **enzymatischen Abbau** und (2) die Wiederaufnahme (*re-uptake*). Bei letzterem werden die Transmittermoleküle vom präsynaptischen Neuron wieder aufgenommen (Genaueres in *Zusatztext online*).

2.1.6 Integration erregender und hemmender Impulse

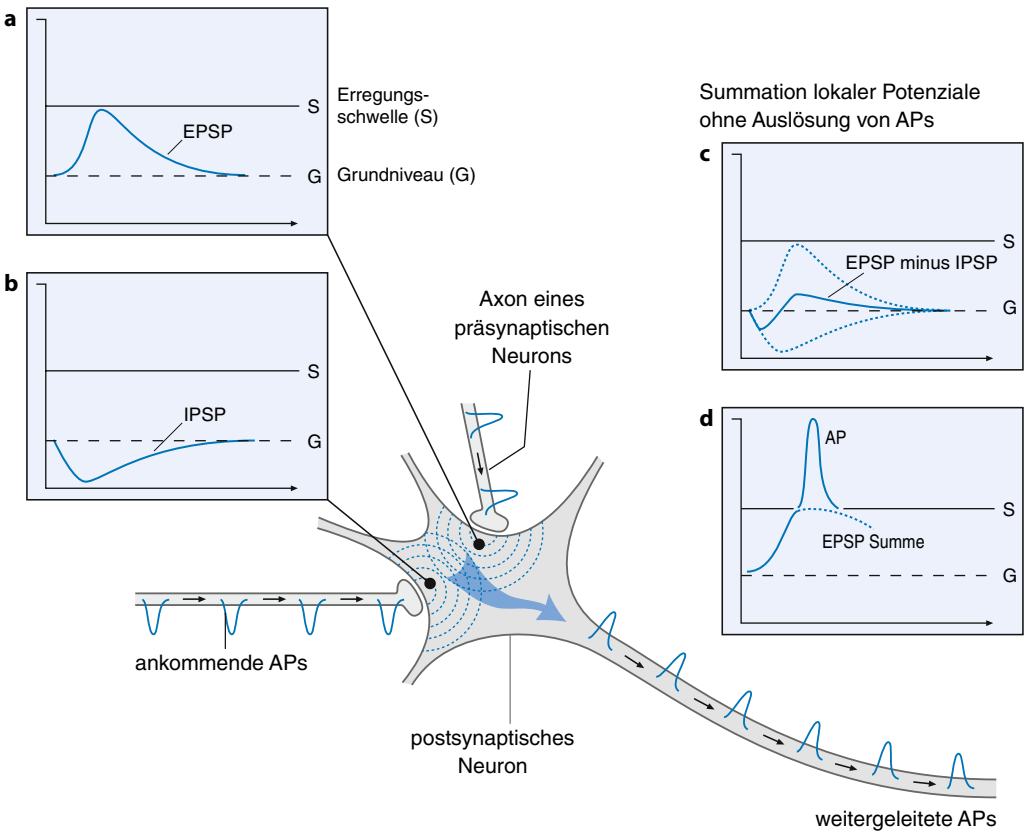
Ob es dann im postsynaptischen Neuron zur Entstehung eines AP kommt, hängt von mehreren Faktoren ab, die wir in ▶ Exkurs 2.1 erörtern. Prinzipiell können durch die anbindenden Neurotranmitter lokale **exzitatorische postsynaptische Potenziale** (**EPSPs**) oder **inhibitorische** (**negative**) **postsynaptische Potenziale** (**IPSPs**) entstehen, deren Stärken im Neuron miteinander verrechnet (summiert) werden. Erst wenn dabei die Schwelle des kritischen Depolarisationspotenzials erreicht wird, kommt es zur Erregung des gesamten Neurons und damit zur Entstehung eines fortgeleiteten Aktionspotenzials, wie in ◘ Abb. 2.9d verdeutlicht wird.

2

Exkurs 2.1

Genauer betrachtet: Zusammenwirken exzitatorischer und inhibitorischer Potenziale

Wenn ein **Neurotransmitter** an einen zu seiner Struktur passenden Rezeptor anbindet, kann dies (1) je nach Neurotransmittertyp und (2) je nach Neurorezeptortyp unterschiedliche Reaktionen bei den Rezeptoren hervorrufen. Bei einer erregenden, exzitatorischen Synapse bewirkt der Transmitter eine Erhöhung der Ionenpermeabilität an der subsynaptischen Membran. Die Na^+-Ionenkanäle werden für kurze Zeit geöffnet, was dort zur lokalen Depolarisation und damit zur Generierung eines lokalen exzitatorischen postsynaptischen Potenzials (EPSP) mit relativ niedriger Amplitude (10–20 mV) führt (vergleiche ◘ Abb. 2.9). Ein einzelnes EPSP erhöht zwar die Erregbarkeit des Neurons, vermag aber allein zumeist kein Aktionspotenzial (AP) auszulösen. Wird aber durch mehrere gleichzeitige EPSPs infolge ihrer Summation die Schwelle des kritischen Depolarisationspotenzials erreicht, kommt es zur Erregung des gesamten Neurons und damit zur Entstehung eines fortgeleiteten AP, wie in ◘ Abb. 2.9, unten rechts, verdeutlicht wird. Ursprünglich nahm man an, dass für jeden Neurotransmitter nur jeweils ein Rezeptortyp existiert. Inzwischen hat sich jedoch gezeigt, dass offenbar jeder Neurotransmitter sich an Rezeptoren verschiedener Klassen anbinden kann. Diese werden als Rezeptoruntertypen für den jeweiligen Neurotransmitter bezeichnet. Da die verschiedenen Rezeptoruntertypen auch unterschiedlich auf den Neurotransmitter reagieren und diese normalerweise in unterschiedlichen Hirnregionen lokalisiert sind, kann folglich ein und derselbe Neurotransmitter verschiedene Botschaften an verschiedene Hirnbereiche übermitteln beziehungsweise verschiedene Reaktionen in verschiedenen Hirnregionen auslösen (Schofield et al. 1990). Andererseits bewirken bei den inhibitorischen Synapsen entsprechende Transmittersubstanzen eine Hyperpolarisation der postsynaptischen Membran und damit die Entstehung eines inhibitorischen (negativen) postsynaptischen Potenzials (IPSP), womit die Erregbarkeit der Zelle um einen gewissen Grad herabgesetzt wird (◘ Abb. 2.9). Da EPSPs und IPSPs gleichzeitig an derselben Zelle auftreten können, bestimmt die Summe aller EPSPs und IPSPs, ob und wann postsynaptisch ein AP generiert und weitergeleitet wird. So empfängt ein Neuron normalerweise sehr viele erregende und hemmende Impulse von verschiedenen (im Gehirn von bis zu 1000) anderen Neuronen, deren EPSPs und IPSPs miteinander „verrechnet" werden und die Gesamterregung der Zelle bestimmen. Auf diese Weise können an und mithilfe der synaptischen Verschaltungen Informationen umcodiert, verändert oder „verarbeitet" werden. (Genaueres in *Zusatztext online*)



◘ Abb. 2.9 Summation von EPSP und IPSP am Neuron Zwei gleichzeitig über verschiedene Axone einlaufende Nervenimpulse erzeugen über elektrochemische Zwischenstufen (Transmitter, Neurorezeptoren) an der Synapse in dem postsynaptischen Neuron lokale (positive oder negative) Potenziale (**a**, **b**), die EPSP oder IPSP, deren Addition (Summation) insgesamt entweder zur Verminderung der Erregung (**c**), oder bei genügend hoher Erregung (**d**), das heißt bei Übersteigen der Erregungsschwelle am Axonhügel, erneut weitergeleitete Aktionspotenziale hervorrufen

Die am synaptischen Spalt durch eintreffende Nervenimpulse freigesetzten Transmitter binden an definierten Neurorezeptoren (Rezeptorproteinen) in der postsynaptischen Membran und verursachen dadurch hier die Entstehung von erregenden EPSPs beziehungsweise hemmenden IPSPs, deren Summation (beziehungsweise Subtraktion) darüber entscheidet, ob der Schwellenwert überschritten wird und in welcher Häufigkeit (Frequenz) fortgeleitete Nervenimpulse (APs) erzeugt werden. Damit erweisen sich die Synapsen mit ihrem synaptischen Neuron als wichtige Schaltstellen zur Modifikation (beziehungsweise der Verrechnung) der Signalübertragung im Nervensystem.

Die Integration erregender und hemmender Impulse kann grundsätzlich auf zweierlei Weise erfolgen (◘ Abb. 2.10):

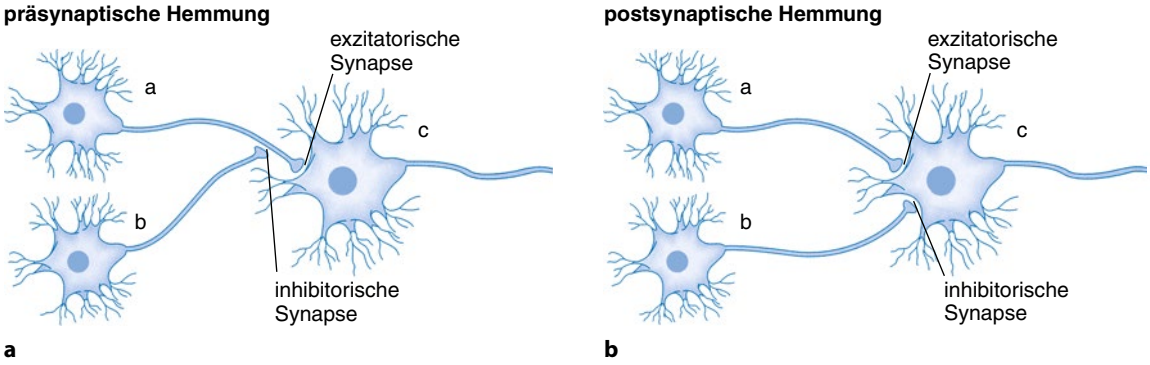


Abb. 2.10 **a** Präsynaptische Hemmung, **b** postsynaptische Hemmung. (Pinel 1997, S. 95, Abb. 4.10)

1. Bei der **postsynaptischen Hemmung** inhibiert, wie in unserem Beispiel soeben ausgeführt, das (inhibitorische) Neuron b über die axosomatische Synapse (Synapse zwischen Axon und Soma) die erregende Wirkung eines anderen Neurons, indem es das Neuron c hyperpolarisiert (Ausbildung eines IPSP).
2. Bei der **präsynaptischen Hemmung** dagegen hemmt das (inhibitorische) Neuron b die erregende Wirkung des anderen Neurons (Neuron a) bereits vorher, indem es über eine axoaxonische Synapse den synaptischen Endknopf des erregenden Neurons zum Teil depolarisiert, sodass dessen erregende Aktionspotenziale nur weniger Neurotransmitter auf Neuron c ausschütten können.

Im Gegensatz zur postsynaptischen Hemmung können durch die präsynaptische Hemmung gezielt einzelne afferente Zuflüsse gehemmt werden, ohne die postsynaptische Gesamterregbarkeit zu ändern. Die präsynaptische Hemmung dient insbesondere zur Empfindlichkeitsverstellung afferenter Bahnen, das heißt zur Unterdrückung „unerwünschter" und der Auswahl „erwünschter" Information. Sie dient ferner vielfach auch zur Kontrastverschärfung bei Wahrnehmungsprozessen.

Eine präsynaptische Hemmung findet sich im ZNS vorwiegend an den Endigungen erregender afferenter Fasern im Rückenmark, die von den peripheren Sinnesorganen (Rezeptoren) kommen.

Bei der postsynaptischen Hemmung wird die Erregbarkeit der synaptischen Soma- und Dendritenmembran der Neurone herabgesetzt. Bei der präsynaptischen Hemmung werden dagegen an der nachfolgenden Synapse weniger Transmitter freigesetzt. Die präsynaptische Hemmung dient dadurch der Empfindlichkeitsverstellung somatosensorischer Eingänge und zur gezielten Hemmung einzelner Eingänge eines Neurons.

2.1.7 Neurotransmittersysteme und Neurorezeptoren

Nachdem wir die Neurotransmitter bereits als Überträgersubstanzen kennengelernt haben, sollen im Folgenden noch einige Besonderheiten der Transmittersysteme besprochen werden, deren Entdeckung zu einem weiteren Verständnis der bisweilen verschiedenartigen Wirkungsweise ein und desselben Transmitters führte.

Neurotransmitter (2)

Als Neurotransmitter werden chemische Substanzen bezeichnet, die nach ihrer Bildung in den präsynaptischen Endknöpfen eines Neurons in den Vesikeln gespeichert werden und aufgrund eintreffender Nervenimpulse in den synaptischen Spalt ausgeschüttet werden. Sie lösen über spezifische Neurorezeptoren im empfangenden Neuron eine erregende oder hemmende Wirkung aus. Ihre Blockierung führt zur Unterbindung dieser Wirkungen.

Derzeit sind bereits über 50 verschiedene Neurotransmitter identifiziert. Dabei hat sich gezeigt, dass zumeist jedes Neuron nur ein solches Transmittersystem besitzt, das heißt, dass an allen seinen Endigungen der gleiche Transmitter freigesetzt wird, sodass im ZNS der Wirbeltiere jedes Neuron entweder nur erregende oder nur hemmende Wirkungen ausübt. Andererseits aber kann der gleiche Transmitter in dem einen Gebiet des Nervensystems erregende Wirkung und in einem anderen dagegen hemmende Wirkung haben. So wirkt zum Beispiel das von einem Motoaxon am Muskel freigesetzte **Acetylcholin** (**ACh**) erregend auf die Skelettmuskelfasern, während das gleiche Acetylcholin, an den Synapsen des Vagusnervs freigesetzt, hemmend auf die Herzmuskelfasern wirkt. Das heißt, es gibt Neurotransmitter, die an mehr als einem Neurorezeptortyp anbinden können und damit unterschiedliche Wirkungen hervorrufen. Hier entscheiden nicht die Transmitter über die erfolgende erregende oder hemmende Wirkung, sondern die Eigenschaft der Neurorezeptoren der subsynaptischen Membran.

Für jeden Transmitter kann es mehrere unterschiedliche Typen von postsynaptischen Membranrezeptoren geben, die festlegen, ob die Wirkungsauslösung durch den Transmitter hemmend oder erregend ist. Der im subsynaptischen Neuron ausgelöste Effekt wird daher vornehmlich durch die unterschiedlichen Typen der Neurorezeptoren bestimmt und nicht allein durch die Art der Transmittersubstanz.

Tab. 2.1 Einige Neurotransmitter und ihre Funktionen. (Nach Myers 2008)

Neurotransmitter	Funktion	Beispiele für Fehlfunktionen
Acetylcholin (ACh)	Ermöglicht Muskelbewegungen, Lernen und Gedächtnis	Bei der Alzheimer-Krankheit sterben die Neurone ab, die ACh produzieren
Dopamin	Beeinflusst Bewegung, Lernen, Aufmerksamkeit und Gefühle	Eine übermäßige Aktivität von Dopaminrezeptoren wird mit Schizophrenie in Verbindung gebracht. Wenn zu wenig Dopamin vorhanden ist, kommt es zum Zittern und zur eingeschränkten Beweglichkeit bei der Parkinson-Krankheit
Serotonin	Hat einen Einfluss auf Stimmung, Hunger, Schlaf und Erregung	Eine Unterversorgung ist bei Depressionen zu finden; Antidepressiva wie Fluctin und andere erhöhen den Serotoninspiegel
Noradrenalin	Trägt zur Steuerung von Wachheit und Erregung bei	Eine Unterversorgung kann zu gedrückter Stimmung führen
GABA (γ-Aminobuttersäure)Siehe GABA	Einer der wichtigsten hemmenden Neurotransmitter	Die Unterversorgung korreliert mit Anfällen, Zittern und Schlaflosigkeit
Glutamat	Einer der wichtigsten anregenden Neurotransmitter; am Gedächtnisprozess beteiligt	Eine Überversorgung kann zu einer Überstimulation des Gehirns führen und Migräne oder Anfälle auslösen (darum vermeiden manche Menschen Natriumglutamat im Essen)

Diese **chemischen Codierungssysteme** an den Synapsen des neuronalen Netzwerkes sind äußerst komplex und vielfältig. Ein einzelnes Neuron kann bis zu 100.000 Synapsen mit anderen Neuronen ausbilden. Nach Hubel (1979) wird bei den Milliarden Neuronen des menschlichen Gehirns die Anzahl der Synapsen auf 100 Billionen (10^{14}) geschätzt, die ihrerseits wieder mit einer riesigen Zahl von Ionenkanälen mit Neurorezeptoren bestückt sind, für die ferner, wie bereits gesagt, bisher bereits über 50 Neurotransmitter bekannt sind. Bei einer solchen Komplexität bleibt immer wieder erstaunlich, dass dieses System zumindest unter normalen Bedingungen so hervorragend und weitgehend problemlos funktionieren kann. Einige Beispiele sind in Tab. 2.1 zusammengestellt (vgl. auch *Zusatztext online*, Neurotransmitter).

2.1.8 Drogen und synaptische Transmission

Die Entdeckung und Erforschung der Neurotransmitter-Rezeptorsysteme hat unser Verständnis für die Wirkung von Drogen insbesondere auch von **psychoaktiven Drogen** und bestimmten psychischen Erkrankungen bedeutend erweitert sowie Einblicke in die molekulare Basis der interneuralen Kommunikation erschlossen. So hat sich gezeigt, dass die Wirkung und Funktion der verschiedenen Neurotransmitter auch von anderen chemischen Substanzen, pharmakologischen Drogen, übernommen beziehungsweise „nachgeahmt" – deshalb **Mimetika** genannt – werden kann, deren molekulare Struktur an bestimmen Stellen genau der des Transmitters entspricht und somit wie ein Nachschlüssel das gleiche passende Schloss schließt, das heißt an das gleiche Neurorezeptormolekül anbindet. Damit kann es in gleicher Weise den zugehörigen Ionenkanal öffnen beziehungsweise schließen.

Transmitter Agonisten und Antagonisten

Pharmakologisch wirksame Substanzen, die die Aktivierung der Synapsen eines bestimmten Neurotransmitters erleichtern (oder übernehmen, imitieren), werden als *Agonisten* dieses Transmitters bezeichnet. Substanzen, die umgekehrt die Aktivierung der synaptischen Neurorezeptoren eines bestimmten Transmitters hemmen, werden als *Antagonisten* (Gegenspieler) des betreffenden Neurotransmitters bezeichnet.

Rezeptorblocker

Antagonistisch wirkende Pharmaka, die an den postsynaptischen Rezeptoren anbinden, ohne sie zu aktivieren, aber den Zugang für die üblichen Neurotransmitter blockieren, werden als Rezeptorblocker der jeweiligen Neurorezeptoren bezeichnet.

Einer der am besten untersuchten Transmitter ist das zumeist *aktivierend* wirkende **Acetylcholin** (**ACh**). Es ist der Transmitter an allen Synapsen der muskulären Endplatten (Synapsenendigungen auf den Muskelfasern). Werden die Neurorezeptormoleküle dieser Endplatten durch das im synaptischen Spalt freigesetzte ACh aktiviert, so lösen diese hier innerhalb der Muskelzelle eine molekulare Verkettung aus, die zur Muskelkontraktion führt. Diese Funktion kann nun durch bestimmte pharmakologische ACh-Antagonisten blockiert werden, was zur **Paralyse** (Unbewegbarkeit) des Muskels führt. Zum Beispiel bindet das „Nervengift" Botulin (das von Bakterien in ungenügend konservierter Nahrung gebildet wird) an den ACh-Rezeptoren an und blockiert diese, sodass die Muskeln nicht bewegt werden können, was im Falle der Lungenmuskulatur zum Tode führen kann.

Andererseits führen etliche Pestizide oder im Krieg verwendete Nervengase dadurch zur Muskelparalyse, dass sie die

Exkurs 2.2

Genauer betrachtet: Weitere psychotope Drogen

Erwähnt seien die Drogen Chlorpromazin und Reserpin, die sich bei der Behandlung verschiedener Formen der Schizophrenie als erfolgreich erwiesen haben. Ihre antipsychotische Wirkung lässt sich vor allem darauf zurückführen, dass sie die bei Schizophrenen gefundene übermäßige Wirkung des Neurotransmitters Dopamin dämpfen, und zwar dadurch, dass entweder die Dopamin-Rezeptoren blockiert werden (Chlorpromazin) oder der Dopaminspiegel durch Zerstörung der Dopaminspeicher in den Vesikeln der synaptischen Endknöpfe gesenkt wird. Die Erfolge dieser Behandlungen führten zur Dopamin-Hypothese der Schizophrenie. Nach ihr geht die Schizophrenie im Wesentlichen auf eine übermäßige Dopaminaktivität in bestimmten kritischen Neuronengruppen des Gehirns zurück.

Die bewusstseinsverändernde Wirkung der Droge LSD (Lysergsäurediäthylamid) wird auf seine dem Neurotransmitter Serotonin ähnliche chemische Struktur zurückgeführt. Serotonin beeinflusst unser emotionales Erleben und ist mit für die Steuerung der Schlafstadien (▶ Abschn. 7.3) und ihre Bewusstseinszustände verantwortlich. Es gibt Hinweise darauf, dass sich das aufgenommene LSD in bestimmten Hirnzellen sammelt, wo es die Funktion des Serotonins derart aktiviert, dass es zu einer Überstimulation der Neurone kommt.

zum sofortigen Abbau des ACh notwendigen Enzyme zerstören, sodass es zur übermäßigen Ansammlung von ACh im Nervensystem kommt, womit die geregelte synaptische Übertragung unmöglich wird.

GABA (Gamma-Amino-Buttersäure; *Gamma-amino butyric acid*) ist der wichtigste und verbreiteteste *hemmend* wirkende Transmitter im ZNS. Werden die GABA-Rezeptoren blockiert, zum Beispiel durch die (wahrscheinlich spezifischen) Antagonisten Pikrotoxin oder Penicillin, kommt es zu Muskelverkrampfungen, da die Muskelerregung unter Wegfall der hemmenden GABA-Wirkung außer Kontrolle gerät. Andererseits wird die beruhigende Wirkung bestimmter **Tranquilizer** darauf zurückgeführt, dass sie die hemmende Wirkung von GABA unterstützen. So wirken offenbar **Benzodiazepine** (zum Beispiel Librium, Valium) deshalb angstreduzierend und krampflösend, weil sie als GABA-Agonisten fungieren, indem sie an einem Untertyp des GABA-Rezeptors binden, von wo aus sie die weitere Bindung von GABA-Molekülen an deren Rezeptoren verstärken und somit die inhibitorische Wirkung der GABA-Moleküle (Hyperpolarisation des postsynaptischen Neurons) steigern.

Adrenalin (Synonym: Epinephrin) und **Noradrenalin** (Synonym: Norepinephrin) kommen sowohl als Transmitter als auch als Hormone vor. Sie wirken vornehmlich erregend, zum Beispiel bei der Erhöhung von Puls und Blutdruck (Stresshormon Adrenalin). Noradrenalin ist der Transmitter an allen postganglionären synaptischen Endigungen (mit Ausnahme der Schweißdrüsen; vgl. autonomes Nervensystem, ◘ Abb. 2.14). Noradrenalin ist aber auch mitverantwortlich für zentralnervöse Prozesse zur Aufrechterhaltung des Wachzustandes, beim Lernen und Gedächtnis. Sowohl **Amphetamine** als auch **Cocain** können die Funktion des Noradrenalins verstärken, und zwar dadurch, dass sie die Wiederaufnahme des Noradrenalins bremsen. Hierdurch bleiben die empfangenden Neurone vom Noradrenalin für eine längere Zeit aktiviert, was zu dem bekannten stimulierenden psychologischen Effekt dieser Drogen führt.

Als **psychoaktive Pharmaka** (psychoaktive Drogen; dazu *Zusatztext online*) werden Stoffe bezeichnet, die, wie zum Beispiel die Opiate, die psychischen Funktionen oder seelischen Stimmungen beeinflussen. Sie entfalten ihre Wirkung ebenfalls dadurch, dass sie die verschiedenen Neurotransmitter-Rezeptorsysteme verändern. **Opiate** (Opium, Heroin, Morphin) ähneln in ihrer Molekülstruktur den körpereigenen **Endorphinen**. Sie entfalten, da sie an den gleichen Rezeptormolekülen im Gehirn binden, die gleiche schmerzreduzierende Wirkung. Die Entdeckung, dass Opiate die Wirkung von natürlich im Gehirn vorhandenen Stoffen nachahmen, also **Neuromimetika** sind, führte einerseits zur Entdeckung unterschiedlicher Endorphine und Endorphinrezeptoren (Pert et al. 1974), andererseits zur ergiebigen Untersuchung der chemischen Kontrollsysteme von Stress und *Schmerz*. Hier zeigte sich unter anderem, dass Personen, die weitgehend schmerzunempfindlich sind, offenbar eine verstärkte (ungewöhnliche) Fähigkeit haben, bei Bedarf die interne Produktion dieser natürlichen „Schmerzkiller" zu erhöhen. Vermutlich geht die nachgewiesene analgetische (schmerzlindernde) Wirkung der **Akupunktur** vor allem ebenfalls auf die Anregung einer vermehrten Endorphinfreisetzung zurück (▶ Exkurs 2.2).

2.1.9 Nervennetze und Informationsverarbeitung

Die erste Stufe der im Nervensystem stattfindenden Informationsverarbeitung hatten wir bereits bei den synaptischen Prozessen und der Verarbeitung der lokalen Potenziale (EPSPs und IPSPs) kennengelernt.

Höhere komplexere Stufen der **Informationsverarbeitung** ergeben sich aus der netzartigen Verschaltung einer Vielzahl von Nervenzellen. Tatsächlich arbeitet natürlich keine einzige Nervenzelle in unserem Organismus allein, sondern immer nur in Gruppen von anderen Nervenzellen. Man betrachtet daher auch nicht das einzelne Neuron, sondern bestimmte Zellverbände oder **Neuronenensemble**s (*cell assemblies*) als funktionelle Einheiten des ZNS. Solche Zellverbände umfassen etwa 1000 bis 10.000 Zellen (Pickenhain 1955). Komplexere Informationen, wie zum Beispiel Gedächtnisinhalte, werden hier über räumlich-zeitliche Erregungsmuster übermittelt, durch die die Inhalte der Nachricht codiert sind. Außer diesen sehr komplexen **neuronalen Netzwerken**, mit denen wir uns erst später bei der Betrachtung höherer psychischer, kognitiver Prozesse (in ▶ Abschn. 3.3.8. Organisationsprinzipien und Objekterkennen, sowie ▶ Kap. 9, Sprache) befassen werden, gibt es auch einfachere funktionale Einheiten, sogenannte **Schaltkreise** oder Leitungsbögen, die sich vornehmlich im Bereich des Rückenmarks finden.

Die einfachsten Schaltkreise, zu denen sich nur wenige (zwei bis drei) Neurone hinsichtlich einer bestimmten Funktion zusammenschließen, sind die **Reflexbögen**. Im einfachsten Fall bestehen sie aus nur einem sensorischen Neuron und einem Motoneuron, die im Rückenmark direkt durch eine Synapse oder

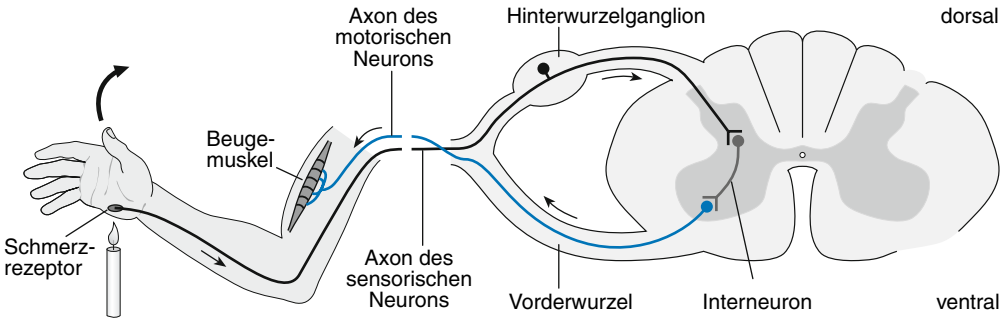


Abb. 2.11 Beim einfachen Handrückziehreflex wird die von den Sensoren in der Haut aufgenommenen (Schmerz-) Information über ein sensorisches Neuron an das Rückenmark weitergeleitet, wo sie über ein Zwischenneuron über das efferente Motoneuron in den Muskeln von Arm und Hand (hier den Beugemuskeln) die Reflexbewegung auslösen

zumeist über ein weiteres dazwischenliegendes „Interneuron" durch zwei Synapsen miteinander verbunden sind (Abb. 2.11).

Sie dienen den auf einen Stimulus hin automatisch und schnell ablaufenden einfachen Reflexen, die auch ohne unsere willentliche Beeinflussung ablaufen, wie das Zurückziehen der Hand bei Hitzeschmerz. Das klassische und leicht selbst auszuführende Beispiel ist der **Kniesehnen-** oder **Patellarsehnenreflex**.

Er besteht im plötzlichen Strecken des gebeugten Beines, wenn die Kniesehne durch einen leichten Schlag unterhalb der Kniescheibe gedehnt wird. Vom Arzt wird dieser Test häufig verwendet, um die Funktionsfähigkeit der Rückenmarksreflexe zu prüfen. Unter normalen Umständen dient der Reflex dazu, das Bein gestreckt zu halten beziehungsweise wieder zu strecken, wenn das Knie von der Schwerkraft (zum Beispiel beim Heben eines schweren Gegenstandes) gedehnt wird, sodass wir nicht umfallen (siehe *Zusatztext online*). Wenn die Kniesehne (durch den Druck) gespannt wird, dehnen sich der mit ihr verbundene Muskel und die in ihm enthaltenen Drucksinneszellen („Muskelspindeln"). Die Drucksinneszellen erzeugen und senden sofort ein entsprechendes Signal über das afferente Axon zum Rückenmark. Bei diesem **monosynaptischen Reflexbogen** ist das Axon über eine einzige Synapse direkt mit dem efferenten Neuron (Motoneuron) verbunden, dessen Axone zu demselben Muskel zurücklaufen und hier über die Muskelendplatten die Kontraktion des Muskels auslösen.

Obgleich dieser Reflex, wie auch andere ähnliche Reflexe, allein auf Rückenmarksebene, ohne Beteiligung des Gehirns, abläuft, kann er jedoch durch Signale von höheren Zentren des ZNS **moduliert** werden. Wenn man zum Beispiel die Hände zusammenballt, bevor die Kniesehne durch einen Schlag gedehnt wird, kommt es zu einer deutlich stärkeren Streckbewegung. Auch eine bewusste Einflussnahme vom Gehirn aus ist möglich: Durch den willentlichen Vorsatz, den Reflex auf den Testschlag des Arztes zu unterdrücken, lässt sich der Streckreflex erfolgreich vermindern oder aussetzen. Dies geschieht über weitere efferente neurale Bahnen, mit denen die Neurone des Reflexbogens im Rückenmark verbunden sind. Über ebenfalls hier ansetzende afferente Bahnen wird das Gehirn (mit einer Verzögerung durch die Nervenleitgeschwindigkeit) auch über den eingehenden Reiz (Muskeldehnung) informiert. Eindeutiger zu erleben ist dies beim einfachen **Handrückziehreflex** auf einen Schmerzreiz, wenn wir den Finger über eine Kerzenflamme halten. Die Hand zuckt zurück, noch ehe die Information das Gehirn erreicht und das Schmerzerleben auslöst (Abb. 2.11).

2.2 Organisation des Nervensystems

In ▶ Abschn. 2.1.1 wurde bereits erwähnt, dass sich das Nervensystem der Wirbeltiere, einschließlich des Menschen, in zwei Hauptanteile gliedert: das Zentralnervensystem (ZNS) und das periphere Nervensystem (PNS) (Abb. 2.3). Einen Überblick über die Organisation und Benennung des ZNS gibt (Abb. 2.12).

2.2.1 Zentralnervensystem

Das ZNS umfasst alle Neurone oder Teile von Neuronen, die innerhalb des Gehirns und des Rückenmarks liegen, und stellt die umfassende zentrale Steuerinstanz unseres Körpers sowie die Grundlage unserer psychischen Funktionen dar. Es besteht aus einer äußerst komplexen Vielfalt neuronaler Strukturen und einer riesigen Anzahl von Neuronen, die miteinander kommunizieren. Allein das Gehirn des Menschen besitzt nach vorsichtigen Schätzungen etwa 10^{10} (10 Mrd.) Zellen. Alle Neurone, die sich außerhalb dieser Strukturen befinden, werden dagegen als peripheres Nervensystem bezeichnet.

Zur ersten Orientierung über den organisatorischen Aufbau des ZNS können wir uns folgende drei Faustregeln vergegenwärtigen:

1. Je komplizierter das kontrollierte Verhalten ist, desto höher oder übergeordneter, weil entwicklungsgeschichtlich wie ontogenetisch später, sind die zugehörigen Strukturen des ZNS.
2. Im Großen gesehen ist die **dorsale** (zum Rücken gelegene) Hälfte des Nervensystems vornehmlich sensorisch (afferent), während die **ventrale** (zur Bauchdecke hin gelegene) Hälfte motorisch (efferent) ausgerichtet ist. Dies gilt sowohl für die Hirnrinde, den Hirnstamm wie auch das Rückenmark (vgl. Abb. 2.11, ventraler Ausgang der Motoneurone), mit eindeutiger Ausnahme des Kleinhirns.
3. Ein ebenfalls in der ontogenetischen Entwicklung begründetes Prinzip besteht darin, dass in der rechten Hirnhälfte Informationen verarbeitet werden, die das Verhalten der gegenüberliegenden (kontralateralen) linken Körperseite betreffen und umgekehrt. Die Zellen des Rückenmarks dagegen liegen auf derselben Seite (ipsilateral) des Körpers, die sie kontrollieren. Daneben gibt es auch größere Informationsanteile, die auf beide Seiten des Nervensystems gleich verteilt sind.

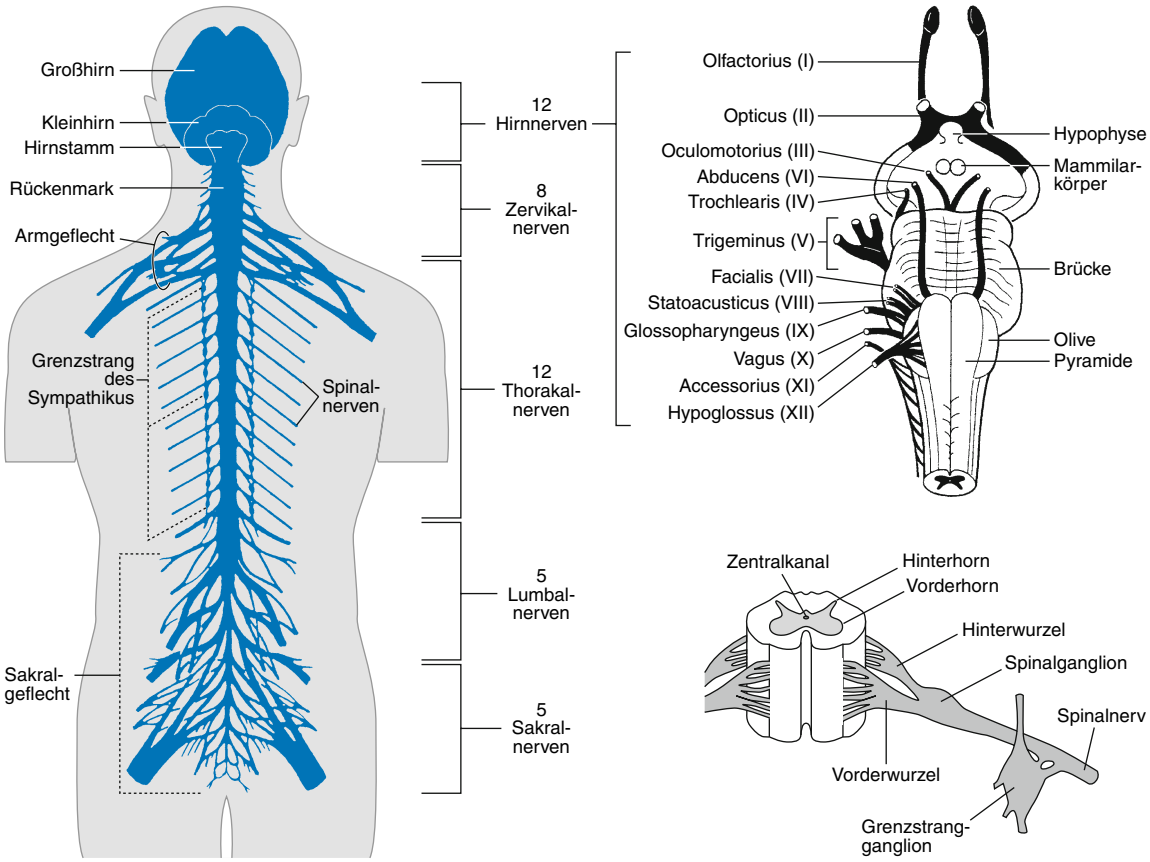


Abb. 2.12 Organisation des zentralen Nervensystems. (Zimbardo und Ruch 1978, p. 44; 1995, S. 51, Abb. 2.2)

Betrachten wir nun die wesentlichen Strukturen und die Organisation der wichtigsten Teilbereiche des Nervensystems im Einzelnen. Wir werden dabei jedoch die Betrachtung des Gehirns als der obersten integrierenden Instanz des menschlichen wie tierischen Verhaltens gesondert und erst anschließend in ▶ Abschn. 2.3 durchführen.

Das **Rückenmark** – als ältester Teil des ZNS, gelegen in einem durchziehenden Kanal der Wirbelsäule – ist ein kompakter Zusammenschluss von Nervenfasern, der die Hauptstrecke des Informationsflusses zwischen dem Gehirn und dem peripheren Nervensystem darstellt (Abb. 2.13).

Die Neurone des Rückenmarks erfüllen vor allem drei Aufgaben:

1. Aufsteigende (afferente) Bahnen übermitteln die sensorischen Informationen zum Gehirn, und absteigende (efferente) Bahnen senden von hier kommende Informationen zurück zur Peripherie. Rückenmarksnerven verzweigen zwischen jedem Wirbelpaar vom Rückenmark aus und stellen von hier über das PNS Verbindungen zu den übrigen Teilen des ganzen Körpers her.
2. Darüber hinaus koordiniert das Rückenmark auf jeder Ebene, wie auch insgesamt, die Aktivität der rechten und linken Körperhälfte.
3. Vor allem aber enthält das Rückenmark die zentralen Umschaltstellen (Synapsen) der einfachen Reflexe, die, wie dargelegt, auch ohne Beteiligung des Gehirns ablaufen.

Wird bei einem Tier das Gehirn vom Rückenmark abgetrennt, so bleiben die Reflexe voll funktionsfähig. Auf einen Schmerzreiz hin werden die entsprechenden Gliedmaßen „automatisch“ zurückgezogen. Schädigungen oder Unterbrechung der Rückenmarksnerven führen zur Unterbrechung des Informationsflusses und damit zum Verlust aller Empfindungen und willentlichen Bewegung derjenigen Körperteile, deren sensorische und motorische Neurone unterhalb der Verletzungsstelle im Rückenmark liegen, wie dies bei Querschnittslähmungen der Fall ist.

2.2.2 Peripheres Nervensystem

Insgesamt umfasst das PNS das Netzwerk der sensorischen und motorischen Neurone, die die Verbindung zwischen dem ZNS und der Peripherie (Organe, Muskeln, Körperoberfläche) herstellen. Auch das PNS besteht aus zwei Teilen, (1) dem somatischen (oder animalischen) und (2) dem autonomen (oder vegetativen) Nervensystem.

1. Das **somatische Nervensystem** (**SN**) – auch skelettales Nervensystem – ist der Teil des PNS, der mit der Umwelt interagiert. Er ist der willentlichen Kontrolle unterstellt und kontrolliert in seinem efferenten (motorischen) Anteil die Skelettmuskulatur (Ausführung einer intendierten Bewegung wie „Hebe den Fuß, schließe die Augen“). Er überträgt in seinem afferenten (sensorischen) Anteil die der bewussten

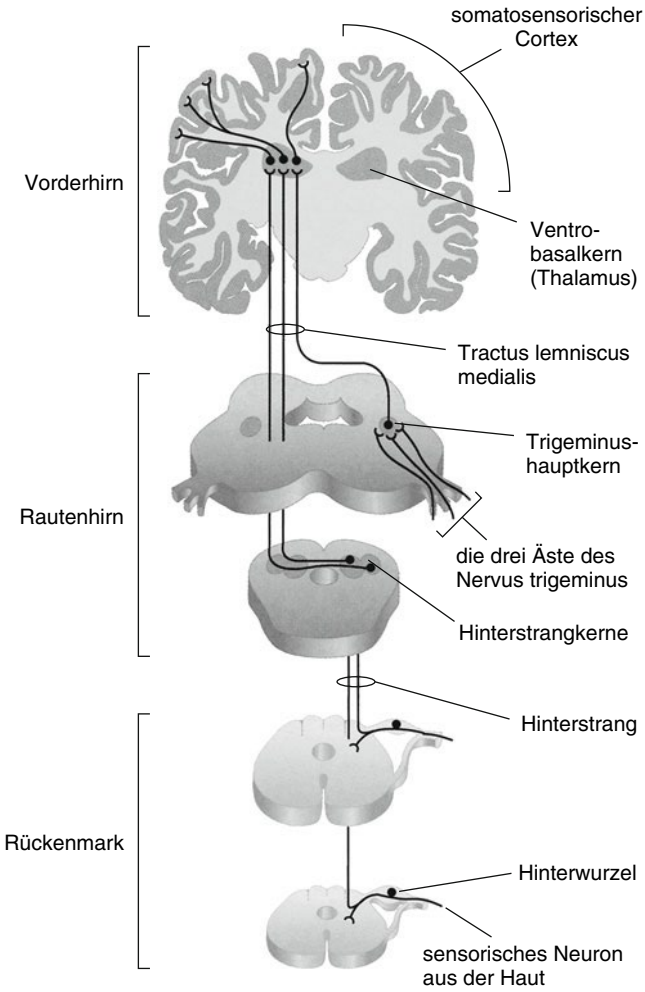


Abb. 2.13 Rückenmarkbahnen des sensorischen Hinterstrangsystems. (Pinel 1997, S. 204, Abb. 8.19)

Wahrnehmung dienenden Informationen von den Sinnesorganen und den Körperrezeptoren zum Gehirn.

2. Das **autonome Nervensystem** (**ANS**) – oder **vegetative Nervensystem** (**VNS**) – ist der Teil des PNS, der die inneren (vegetativen) Körperaktivitäten regelt, die normalerweise nicht der direkten willentlichen Kontrolle des Individuums unterstehen. Es arbeitet also auch dann, wenn wir schlafen, uns in Narkose oder im Koma befinden, und sorgt für die Aufrechterhaltung aller lebenswichtigen Prozesse. Diese Aufgaben werden funktional und anatomisch in zweifacher Weise vollzogen. So umfasst das ANS zwei Untersysteme, die weitgehend antagonistisch zueinander arbeiten: (1) das sympathische und (2) das parasympathische Nervensystem (Abb. 2.14).

Das **sympathische Nervensystem** – auch als **Sympathikus** bezeichnet – reagiert weitgehend einheitlich aktivierend und sorgt bei emotionaler Erregung für die gleichzeitige Aktivierung, Stimulierung und Mobilisierung von Energie und Leistungsressourcen und bereitet so insbesondere auf bedrohliche Situationen vor. Es ist **ergotrop**, das heißt auf Arbeit ausgerichtet, und führt zur Beschleunigung des Herzschlages, zur Erhöhung des Blutzuckerspiegels, zur Erweiterung der Arterien und der Bronchien, vermindert die Verdauungstätigkeit und aktiviert bestimmte innersekretorische Drüsen zur Hormonausschüttung (unter anderem Adrenalinausschüttung) zur weiteren Steigerung der aktivierenden Erregung.

Das **parasympathische Nervensystem** – oder der **Parasympathikus** – dagegen sorgt nach der Anspannung für die Beruhigung und Erholung. Es ist **trophotrop**, das heißt auf Ruhe ausgerichtet, und führt zur Verminderung des Herzschlags, Absenkung des Blutzuckerspiegels sowie zur Beruhigung der Atmung, zum Wiedereinsetzen der Verdauungstätigkeit und zum Aufbau von Energiereserven. Fast alle inneren Organe werden sowohl vom Sympathikus als auch vom Parasympathikus innerviert. Ihre Funktionen werden daher durch die relativen Anteile sympathischer und parasympathischer Erregung gesteuert, die unter normalen Bedingungen zusammen für einen ausgewogenen Gleichgewichtszustand sorgen.

Obwohl das sympathische und parasympathische System für gewöhnlich antagonistisch zueinander arbeiten, gibt es jedoch auch einige Ausnahmen von diesem Prinzip. So kommt es zum Beispiel in starken Angst- beziehungsweise Erregungssituationen, in denen das sympathische System vorherrscht, nicht selten zu einer vom Parasympathikus veranlassten ungewollten Blasen- oder Darmentleerung. Ein anderes Beispiel ist der Vorgang bei der männlichen sexuellen Erregung, bei der die zunächst auftretende Erektion *parasympathisch*, die anschließende Ejakulation dagegen vom *Sympathikus* gesteuert wird. Beide Systeme arbeiten also nicht in jedem Fall antagonistisch, sondern sind im Einzelnen feiner aufeinander abgestimmt.

Die generelle erhöhte Sympathikusaktivität bei psychischer beziehungsweise psychophysiologischer Erregung oder bei Stress hat dazu geführt, die durch sie gesteuerten Aktivitätsänderungen (Steigerung der Herzfrequenz, des Blutdrucks oder der Schweißdrüsenaktivität) als Aktivierungs- beziehungsweise **Stressindikatoren** zu verwenden. Da die Schweißdrüsen als seltene Ausnahme ausschließlich sympathisch innerviert werden, stellt die bei vermehrter Schweißdrüsenaktivität beobachtbare Zunahme der Hautleitfähigkeit (elektrodermale Aktivität, EDA) einen „reinen" Indikator der Sympathikusaktivität dar (Boucsein 1992).

2.2.3 Verhaltenssteuerung durch das neuroendokrine System

Im Gegensatz zum Nervensystem im Allgemeinen, das für die schnelle Informationsübermittlung und Steuerung schnell veränderlicher Aktivitäten des Organismus verantwortlich ist, bewirkt das **neuroendokrine System**, das System der neuro- und innersekretorischen Hormondrüsen, eine wesentlich langsamere und indirekte Steuerung und Kontrolle der Aktivität verschiedenster Bereiche und Organe des gesamten Körpers – einschließlich des Nervensystems. Das neuroendokrine System ist insofern auch in Teilen mitverantwortlich für unser psychisches Erleben (zum Beispiel bei Stress, Übererregbarkeit, Sexualverhalten).

Die **Hormone** lassen sich vereinfachend als „chemische Botenstoffe" verstehen. Sie werden vor allem (aber wie sich zeigte nicht nur) von den verschiedenen endokrinen, das heißt innerse-

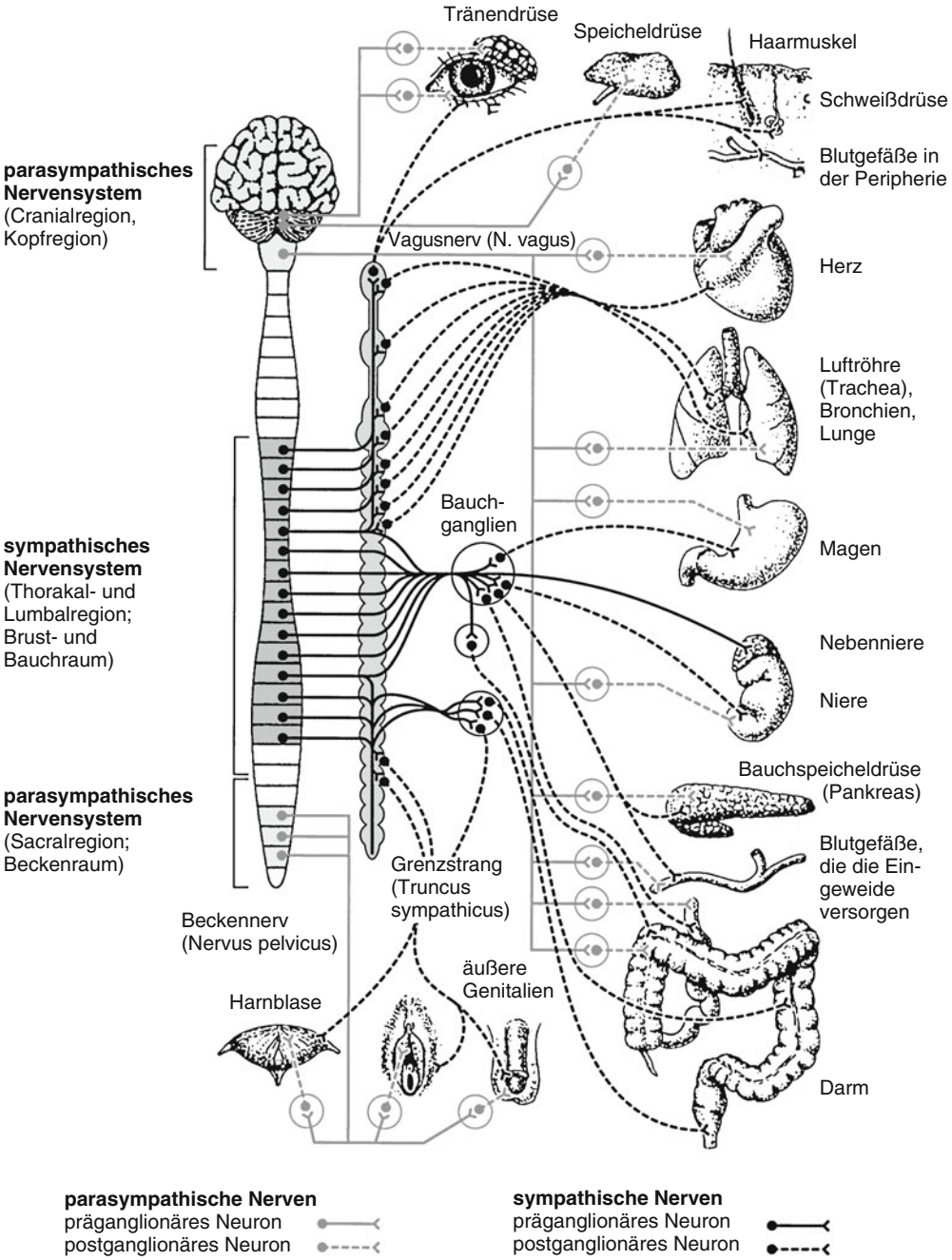


Abb. 2.14 Das vegetative (autonome) Nervensystem und seine zweifachen Funktionen. Das schematische Diagramm zeigt die wichtigsten Bestandteile und Verbindungen des sympathischen Systems (*schwarz*) und des parasympathischen Systems (*grau*). Die *durchgezogenen Linien* bezeichnen die präganglionären Fasern, die *gepunkteten Linien* bezeichnen die postganglionären Fasern, was insofern von Bedeutung ist, als die Synapsen aller präganglionären Neurone cholinerg (Acetylcholin als Überträgerstoff) sind, während die Synapsen der postganglionären Neurone nur beim Sympathikus noradrenerg (Noradrenalin als Überträgerstoff) sind und damit durch adrenerge Stoffe aktiviert werden können. Die Neurone des sympathischen Systems entspringen segmental im Bereich der Brust- und Lendenwirbel aus dem Rückenmark. Sie bilden rechts und links außerhalb desselben je kettenförmige Anhäufungen von synaptisch verknüpften Nervenzellen (Ganglien) in Form von Grenzsträngen (in der Abbildung nur einseitig gezeichnet). Die Neurone des parasympathischen Systems entspringen getrennt zum einen im Bereich der Medulla des Stammhirns (Hirnnerven mit dem Nervus vagus) und zum anderen im unteren Sacralbereich des Rückenmarks. Die Ganglienknoten des Parasympathikus liegen (anders als beim Sympathikus) in der Nähe der von ihnen innervierten Organe. Die meisten inneren Organe werden von beiden Systemen innerviert. (Pinel 1997, S. 54, Abb. 3.2b)

kretorischen Drüsen (Abb. 2.15) erzeugt und in den Blutstrom abgegeben.

Mit dem Blutkreislauf werden sie durch den ganzen Körper transportiert und gelangen so zu den verschiedenen Zielorten, die dadurch charakterisiert sind, dass sich hier spezifische Rezeptorzellen befinden, die spezifisch nur auf bestimmte Hormonmoleküle ansprechen, nämlich diejenigen, die auch an sie „adressiert" sind, das heißt für die sie genetisch vorprogrammiert sind.

Andererseits erfolgt die Steuerung der endokrinen Drüsen selbst ebenfalls durch (andere) Hormone oder aber durch neu-

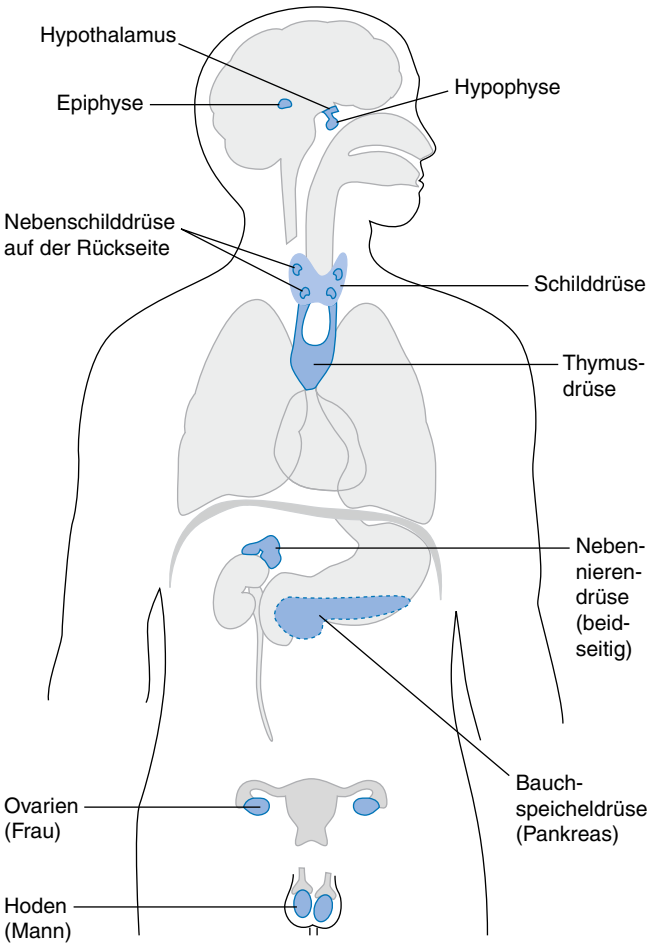


Abb. 2.15 Die wichtigsten endokrinen Drüsen des Menschen und ihre Lage im Körper. (Atkinson et al. 2003, p. 53, Fig. 2.15)

ronale Impulse aus dem Nervensystem, mit dem sie an verschiedenen Stellen, insbesondere in der noch genauer zu besprechenden *Hypophyse*, in enger Verbindung stehen. So werden manche Hormone in den Nervenzellen direkt hergestellt und fungieren dann als Neurotransmitter. Das hormonelle Kommunikationssystem dient vor allem der Kontrolle und Regulierung langsamer, kontinuierlicher Prozesse, wie Körperwachstum, Stoffwechselhaushalt, Aufrechterhaltung des Blutzuckerspiegels, aber auch der Kontrolle längerfristiger Veränderungen der Herzschlagfrequenz, der Venenkontraktion, ferner der Stimmungsänderungen, physiologischen Stressreaktionen oder Aktivierungsänderungen („Adrenalinkick").

Hormone

Hormone sind chemische Botenstoffe, die von innersekretorischen Drüsen ausgeschieden werden und mit dem Blutstrom zu anderen, teils weit entfernten Teilen des Körpers transportiert werden, wo sie erkannt werden und spezifische Effekte auslösen. Sie steuern in dieser Weise unter anderem Stoffwechsel, Wachstum, sexuelle Merkmalsausprägung, Sexualverhalten, Blutkreislauf, Immunsystem, Stressreaktionen oder Stimmungsänderungen.

Endokrines System

Als endokrines System bezeichnet man die Gesamtheit der zusammenwirkenden endokrinen Hormondrüsen.

Eine der wichtigsten und in ihren Wirkungen weitreichendsten endokrinen Drüsen ist die **Hirnanhangdrüse** (**Hypophyse**; Abb. 2.15). Sie ist zugleich ein Teil des Gehirns und liegt direkt am und unter dem **Hypothalamus**. Mit diesem zusammen bildet sie eine zentrale Schaltstelle zwischen den Funktionen des Gehirns, dem autonomen Nervensystem und dem endokrinen System. Neurosekretorische Zellen im Hypothalamus produzieren, angeregt durch Nervenimpulse, die sogenannten Freisetzungs- oder **Releasing-Hormone** (*releasing factors* oder *releasing hormones*), die durch ein spezielles Gefäßsystem zum **Hypophysenvorderlappen** (**HVL**, Adenohypophyse) transportiert werden, wo sie die Ausschüttung von Hypophysenhormonen anregen oder hemmen.

Die Hypophyse produziert etwa zehn verschiedene Hormone, die dann, zu anderen endokrinen Drüsen weitergeleitet, dort die Ausschüttung weiterer Hormone steuern oder aber direkt wirken, wie das **Wachstumshormon** (somatotropes Hormon, **STH**). Dieses wirkt auf die Proteinsynthese ein und fördert das Körperwachstum. Übermäßige Produktion von STH bei Jugendlichen führt zu Riesenwachstum, stark verringerte Produktion zu Zwergenwuchs. Die **gonadotropen Hormone** aktivieren die Keimdrüsen (Gonaden) und veranlassen bei Männern die Hoden zur Ausschüttung von **Testosteron**, das für die Ausbildung sekundärer spezifischer Geschlechtsmerkmale verantwortlich ist, wie tiefe Stimme, Bartwuchs, breite Schultern und Aggressionsbereitschaft. Bei Frauen wird dagegen in den Ovarien die Produktion von **Östrogen** angeregt, das hier entsprechend für die Ausbildung der sekundären weiblichen Geschlechtsmerkmale verantwortlich ist, wie auch für die Steuerung des Reproduktionszyklus, Eisprung (Ovulation) und Fruchtbarkeit. **Ovulationshemmer** („Antibabypillen") wirken in der Hypophyse auf diesen Hormonfluss hemmend und verhindern so die für die Befruchtung erforderliche Eireifung.

Eines der weitreichendsten Hormone der Hypophyse ist das **adrenocorticotrope Hormon** (übersetzt „auf die Nebennierenrinde gerichtet"), **ACTH**, das zusammen mit dem entsprechenden Releasing-Hormon, dem CRH, in ein als funktionale „Achse" bezeichnetes Regelkreissystem eingebunden ist. Dieses **Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-System** (kurz als **HHN-System** oder auch CRH-ACTH-Nebennierenrinden-Achse bezeichnet) kann beispielhaft die komplexen Interaktionen zwischen endokrinem System und Nervensystem verdeutlichen (Abb. 2.16)

Durch psychische oder physische Ereignisse wie Stress – zum Beispiel in Form von Angst, Freude, Furcht und Schmerz – werden über neuronale Bahnen im Hypothalamus die neurosekretorischen Zellen veranlasst, ein entsprechendes Releasing-Hormon freizusetzen, das über Gefäßbahnen zur Hypophyse transportiert wird und dort zur Ausschüttung von ACTH führt. Dieses Hormon wird nun mit dem Blutstrom zu den Drüsen der Nebennierenrinde sowie zu verschiedenen weiteren Organen

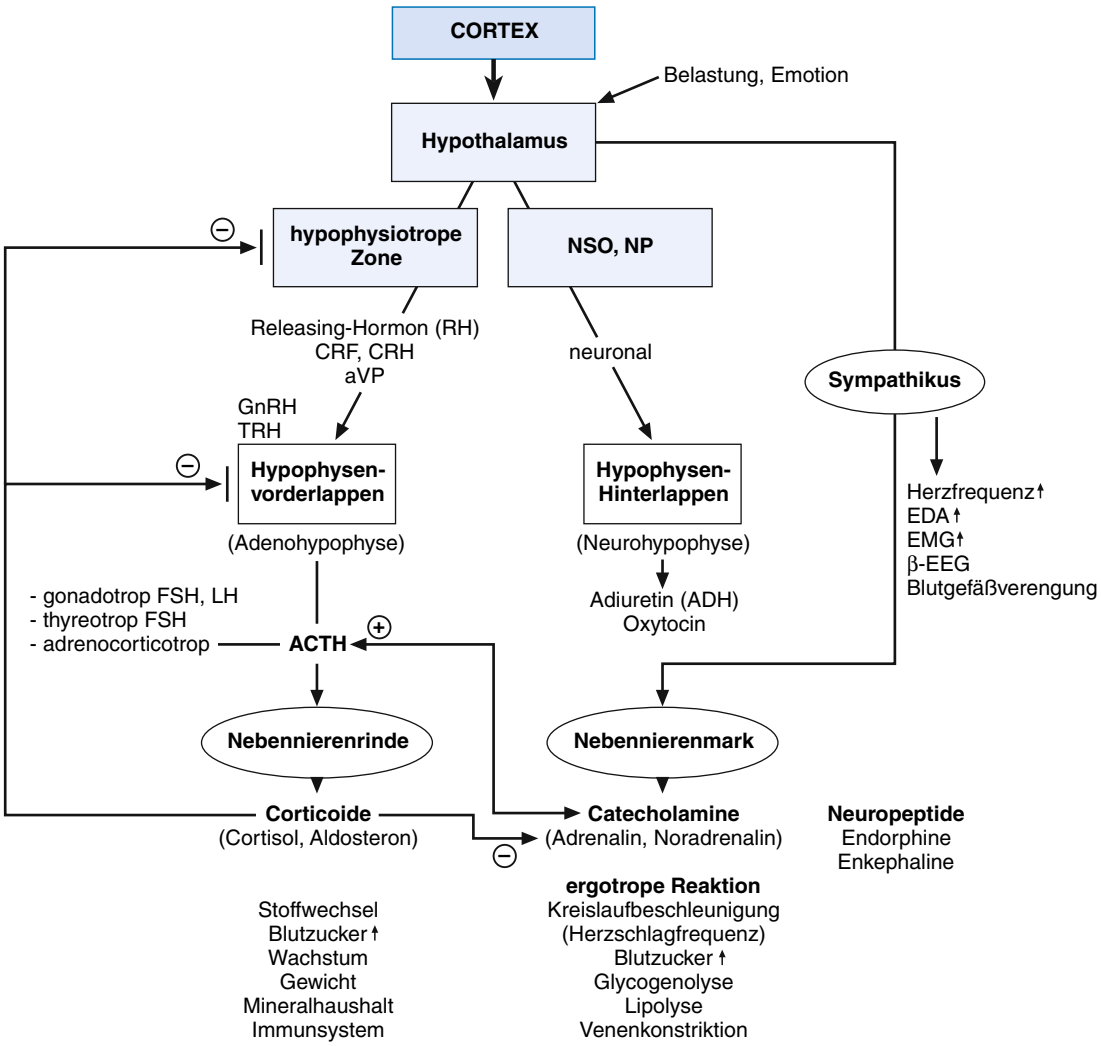


Abb. 2.16 Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse NSO: Nucleus supraopticus, NP: Nucleus paraventricularis, CRF: cortical releasing Faktor gleichbedeutend mit CRH: cortical releasing Hormon, aVP: Vasopressin. GnRH: gonadotropes releasing Hormon, TRH: tyreotropes releasing Hormon. FSH: Follikel stimulierendes Hormon, LH: luteinisierendes Hormon, EDA: elektrodermale Aktivität, EMG: Elektromyogramm. EEG: Elektroencephalographie

Exkurs 2.3

Genauer betrachtet: Hormonwirkungen

Die zwischen dem ANS und dem ZNS sowie dem Hormonsystem bestehenden Verbindungen und Beziehungen, die in den Einzelheiten vielfach allerdings noch nicht endgültig aufgeklärt sind, bilden den Forschungsgegenstand der **Neuroendokrinologie**. Sicher ist jedoch, dass die **Nebennierenhormone** wesentlichen Einfluss auf unsere Stimmungslage, unser Aktivitäts- und Energieniveau wie insbesondere unser Stressbewältigungsverhalten haben.

Adrenalin wirkt auf verschiedenen Wegen dahingehend, dass es den Organismus auf Notfallfunktionen und Stress vorbereitet, indem es zum Beispiel die Konstriktion der Blutgefäße im Magen-Darm-Bereich bewirkt und zu erhöhtem schnellen Herzschlag führt. Ebenso wirkt Noradrenalin stressvorbeugend, indem es unter anderem über die Aktivierung des ACTH die Ausschüttung der Corticoide veranlasst, die ihrerseits zum Beispiel die Leber veranlassen, Zucker freizusetzen, um so den Blutzuckerspiegel zu erhöhen, also Energie für schnelle Reaktionen des Körpers bereitzustellen. Einen Überblick über die Wirkungsbereiche und Funktionen weiterer Hormone beziehungsweise Transmitter zeigt ◘ Tab. 2.1 bei Chemische Kodierungssysteme und mehr in *Zusatztext online*.

des Körpers transportiert und löst dort die Ausschüttung von weiteren etwa 30 verschiedenen Hormonen aus, die in unterschiedlicher Weise alle an der Anpassung der Körperfunktionen an die Stressbelastung beteiligt sind. Die wichtigsten nun von der Nebennierenrinde ausgeschiedenen Hormone sind die **Corticoide**: Cortisol und Aldosterol. Sie stehen in gegenseitiger Wechselwirkung mit den vom Nebennierenmark ausgeschiedenen **Catecholaminen**: Adrenalin und Noradrenalin. Die Ausschüttung dieser Hormone wird direkt über Nervenverbindungen des Sympathikus veranlasst (► Exkurs 2.3).

Exkurs 2.4

Gehirnentwicklung (Encephalisation)

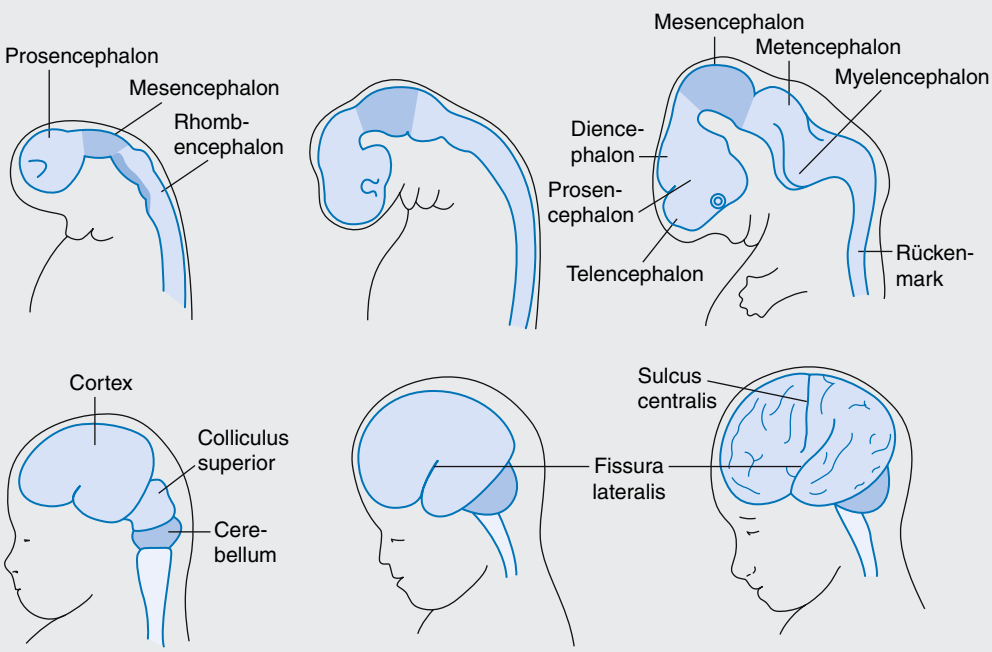
Die frühen Stufen der Embryonalentwicklung verlaufen bei allen derzeitigen Wirbeltieren sehr ähnlich und wiederholen in geraffter Form die wesentlichen Schritte der phylogenetischen Entwicklung der Wirbeltiere. Diesen von Ernst Haeckel im ausgehenden 19. Jahrhundert entdeckten und beschriebenen Zusammenhang bezeichnet man mit Haeckel als biogenetisches oder auch *phylogenetisches Grundgesetz*.

Allen Wirbeltieren gemeinsam ist, dass sich das ZNS aus einer lang gestreckten Einfaltung der ganz frühen Embryo-Rückenoberfläche zum „Neuralrohr" (später Rückenmark) entwickelt, das sich in seinem vorderen Abschnitt zunehmend staucht und hier drei primitive Gehirnbläschen bildet (◘ Abb. 2.17), aus denen die Grundanteile des Gehirns entstehen: Prosencephalon (Vorderhirn), Mesencephalon (Mittelhirn) und Rhombencephalon (Rautenhirn).

Nicht nur diese frühen Stufen der Hirnentwicklung sind bei allen Wirbeltierspezies gleich, sondern auch die weitere Differenzierung in unterschiedliche Regionen. Jedoch: Je höher die Spezies in der Evolution, desto größer und komplexer wird das Gehirn. Früher ausgebildete Funktionen werden von später in der Evolution folgenden im Wachstum überlagert. Grob vereinfachend kann man mit MacLean (1977) das menschliche Gehirn als aus drei unterschiedlichen Epochen der evolutionären Vergangenheit stammenden Gehirnanteilen aufgebaut betrachten:

1. Zuunterst, weitgehend in Hirnstamm und den benachbarten Strukturen gelegen, haben wir eine Art urtümliches *Reptiliengehirn*. Es umfasst weitgehend rigide und instinktmäßig gebundene Verhaltensprogramme, wie sie auch heute noch bei Eidechsen, Leguanen oder Schlangen anzutreffen sind, die kaum durch neue Erfahrungen verändert werden.
2. Einer weiteren Entwicklungsstufe dürfte das *alte Säugetiergehirn* entstammen, wie wir es bei Nagern oder auch bei Säugetieren (Katzen, Hunden und auch Menschen) vorfinden. Dieser alte Gehirnanteil, dessen Funktionen sich heute in den verschiedenen Anteilen des limbischen Systems wiederfinden, übernahm die Steuerung überlebenswichtiger Funktionen wie Kampf- und Fluchtreaktion, Nahrungsaufnahme und Sexualverhalten.
3. Erst spät in der phylogenetischen Entwicklungsgeschichte hat sich das Großhirn in bestimmten Teilen weiterentwickelt, in seiner Oberfläche vergrößert und überwölbte in zunehmendem Maße reichlich gefaltet als *neues Gehirn der Säuger* (Neocortex) die älteren Gehirnstrukturen. Diese *neue Hirnrinde* umfasst unsere höheren kognitiven und psychischen Fähigkeiten und ist das Instrument des Geistes, des Denkens und des rationalen Entscheidens.

Dieser auch in der frühen menschlichen Ontogenese in Ansätzen wiederzufindende phylogenetisch-ontogenetische Bezug der körperlichen Entwicklung lässt sich in großen Zügen auch als *psychologischer* Entwicklungsprozess verstehen. Dementsprechend bezeichnete der amerikanische Psychologe S. Hall diese Wiederholungsregelmäßigkeit der psychischen Entwicklung – in Anlehnung an Haeckels phylogenetisches Grundgesetz – auch als *psychogenetisches Grundgesetz*.



◘ **Abb. 2.17 Embryonale Entwicklungsstufen des Gehirns** mit der schon frühen Aufgliederung in Prosencephalon (Vorderhirn), Mesencephalon (Mittelhirn) und Rhombencephalon (Rautenhirn)

2.3 Struktur des Gehirns

Die Strukturen des gegenwärtigen menschlichen **Gehirns** (des **Encephalons**) gehen auf eine lange **phylogenetische**, das heißt stammesgeschichtliche Entwicklung zurück (phylogenetisches und psychogenetisches Grundgesetz), deren Bedeutung in ► Exkurs 2.4 dargestellt wird. Daraus resultiert, dass wir auch heute noch von älteren Strukturen (► Abschn. 2.3.1) und neueren Strukturen (► Abschn. 2.3.2) im Gehirn sprechen.

Einen Überblick über die grobe Anatomie sowie über die Hauptstrukturen des Gehirns vermittelt ◘ Abb. 2.18. Bei der am Anfang oft auftretenden Schwierigkeit, sich in der Vielfalt der nicht ganz einheitlichen Benennungen der Hirnanteile zurechtzufinden, kann ◘ Tab. 2.2 mit der Zusammenstellung verschie-

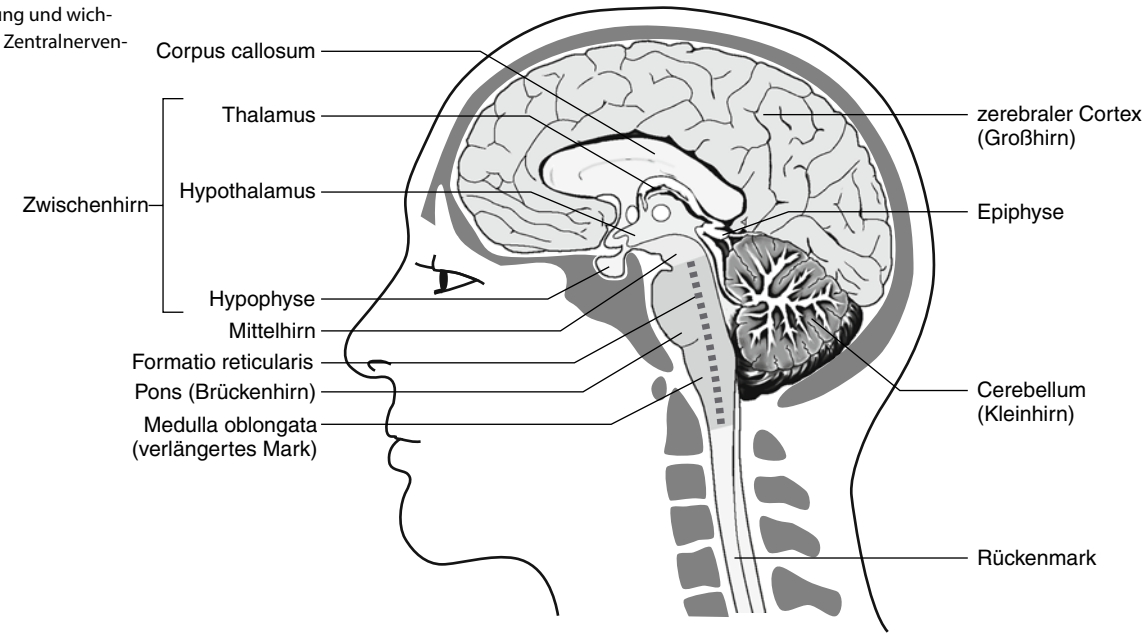


Abb. 2.18 Einteilung und wichtigste Strukturen des Zentralnervensystems (ZNS)

dener in der Literatur verwendeter Gliederungsgesichtspunkte hilfreich sein.

2.3.1 Die älteren Strukturen des Gehirns

Hirnstamm

Der **Hirnstamm** ist das Steuerzentrum für die grundlegenden lebenserhaltenden Aktivitäten wie Atmung und Herzschlag. Die Strukturen des Hirnstammes schließen sich ohne besondere Abgrenzung an die des Rückenmarks an, und eine Reihe von Nervenbahnen zieht hier unverändert durch.

Den hintersten Abschnitt des Hirnstammes, der sich durch eine leichte Verdickung vom Rückenmark abhebt (dort, wo das Rückenmark in die knöcherne Schädelhöhle eintritt), bildet die **Medulla oblongata**. Hier münden die Nerven, die die Kopfhaut und Kopfmuskulatur sowie die Geschmacks-, Hör- und Gleichgewichtsorgane versorgen. Die Medulla enthält Zentren für eine Reihe lebenswichtiger vegetativer Abläufe, so vor allem für die Atmung, den Herzschlag und die Herzgefäßmuskulatur sowie für den Blutdruck und die Verdauung, aber auch für die Kontrolle einiger mit der Aufrechterhaltung des Gleichgewichts verbundener Reflexe.

Brückenhirn

Das anschließende **Brückenhirn** (**Pons**) gehört – zusammen mit dem Kleinhirn – zum **Metencephalon** (Hinterhirn). Der Pons beherbergt zwei neuronale Kerne, den **Locus coeruleus** und den **Locus raphé**, die wesentlich die Schlaf-Wach-Funktionen steuern und für die Abfolge der **Schlafphasen** von REM- und Non-REM-Schlaf verantwortlich sind. Der Pons schafft auch die Verbindung zum dorsal gelegenen Kleinhirn. Im Bereich der Medulla und des Brückenhirns befinden sich außerdem die Ursprungskerne der meisten Hirnnerven (III–XII), darunter des **Vagusnervs** (X), die hier auch austreten, sowie verschiedene Koordinations- und Umschaltzentren der **extrapyramidalen motorischen Systeme**.

Kleinhirn

Das dorsal anschließende, relativ große und stark gefaltete **Kleinhirn** (**Cerebellum**) besteht aus zwei unterscheidbaren Hemisphären. Hier erfolgt im Wesentlichen die feinere Koordination präziser Muskel- und Körperbewegungen (Muskeltonus, Abstimmung der Muskelgruppen, zum Beispiel beim Gehen). Weiter ist das Kleinhirn zum Teil am nonverbalen Lernen und Gedächtnis beteiligt. Ferner trägt es dazu bei, Zeit abzuschätzen, Emotionen zu regulieren sowie Töne und Muster zu unterscheiden (Bower und Parsons 2003). Obgleich die koordinierende Funktion des Kleinhirns von großer Wichtigkeit ist, scheint das Kleinhirn allerdings nicht lebensnotwendig zu sein. So sind an Menschen mit angeborenem Fehlen des Kleinhirns im Alltag keine motorischen Ausfälle zu beobachten. Jedoch führen Verletzungen beim Erwachsenen zu linkischen und unkoordinierten Bewegungen.

Mittelhirn

Das **Mittelhirn** (**Mesencephalon**), das sich nach oben an das Brückenhirn anschließt, wird gebildet aus dem ventralen **Tegmentum** (Hirnschenkel) und dem dorsal darüber liegenden **Tectum** (Mittelhirndach), das im Wesentlichen die **Vierhügelplatte** bildet. Diese enthält Kerne, die der Koordination optischer Reflexe, wie Augenzwinkern, Pupillendurchmesser und Linsenfokussierung, dienen (**Colliculi superiores**), sowie Kerne für die entsprechende Koordination akustischer Informationen (**Colliculi inferiores**).

Das **Tegmentum**, das im Wesentlichen Durchgangsbahnen motorischer Nerven enthält, beinhaltet auch Nervenkerne, die mit zu den grundlegenden „Triebzentren" (Hunger, Durst, Sex) gehören, die sonst im Wesentlichen im anschließenden Hypothalamus gelegen sind.

Formatio reticularis

Die zentral gelegene **Formatio reticularis** erstreckt sich ausgehend von den zentralen Anteilen der Medulla durch das Mittel-

Tab. 2.2 Gliederung der verschiedenen Hirnabschnitte unter Berücksichtigung unterschiedlicher Systematiken

Großhirn	Neocortex Basalganglien Limbisches System	**Telencephalon** Endhirn Großhirn Cerebrum	Prosencephalon Vorderhirn	Encephalon Hirn	ZNS
Zwischenhirn	Thalamus Hypothalamus Hypophyse	**Diencephalon** Zwischenhirn			
Hirnstamm	Tectum Tegmentum	**Mesenceph.** Mittelhirn			
	Cerebellum (Kleinhirn) Pons (Brücke)	**Metenceph.** Hinterhirn	Rhombencephalon Rautenhirn	Hirnstamm Stammhirn	
	Medulla oblongata (verlängertes Mark)	**Myelencephalon** Nachirn			
Rückenmark		Rückenmark (segmental gegliedert)			

Exkurs 2.5

Genauer betrachtet: Formatio reticularis

Die Formatio reticularis spielt ebenso eine Rolle bei der Aufmerksamkeitsfokussierung auf bestimmte Reize. Bedeutsam ist, dass alle von den Sinnesrezeptoren kommenden afferenten Bahnen kollaterale (unspezifische) Abzweigungen zum ARAS senden, die das Retikulärsystem erregen, welches seinerseits dann über weitere Nervenbahnen zu einer allgemeinen Aktivierung des Cortex beiträgt. Wenngleich diese Erregung unspezifisch ist, so wurde doch vermutet, dass die Retikulärformation in gewissem Sinne als Filter betrachtet werden kann, durch dessen Aktivierung die zum Cortex gelangenden Informationen unterschiedlich stark aktiviert und so mit unterschiedlicher Aufmerksamkeitsstärke bedacht werden, sodass nicht alle Aktivitäten in gleicher Stärke wahrgenommen werden.

hirn bis in das Zwischenhirn (Abb. 2.18). Dieses System spielt eine bedeutende Rolle in der Kontrolle unseres allgemeinen Erregungszustandes und unserer Wachheit (Vigilanz). Durch implantierte Elektroden lassen sich hier bei Katzen durch verschiedene Reizströme Schlaf- und Wachverhalten auslösen. Es wird daher in der psychophysiologischen Literatur als **aufsteigendes retikuläres Aktivierungssystem** (**ARAS**) bezeichnet (▶ Exkurs 2.5).

Zwischenhirn

Global betrachtet stellt sich das Zwischenhirn oder **Diencephalon** als zentrale Schaltstelle des Nervensystems dar. Es bestehen von hier Bahnen oder Verbindungen zu wohl allen Teilen des Großhirns sowie des ZNS überhaupt. Das Zwischenhirn umfasst den dorsal gelegenen paarigen **Thalamus**, den ventral darunter gelegenen **Hypothalamus** mit der anhängenden **Hypophyse** und dem dorsal am Thalamus hängenden **Pinealkörper** (Corpus pineale), der nach Descartes der „Sitz der Seele" ist und heute meist als **Zirbel** oder **Epiphyse** bezeichnet wird. Ihre Funktion ist noch nicht restlos geklärt. In der Epiphyse wird Melatonin aus Serotonin gebildet, dem bei der über helles Licht gesteuerten Beeinflussung der endogenen Schlaf-Wach-Rhythmik eine zentrale Bedeutung zukommt.

Der **Thalamus** (von griechisch: *thalamos* für innere Kammer) stellt die Hauptumschaltstelle zwischen den Sinnesorganen und der Hirnrinde (Cortex) dar, mit der zusammen er eine funktionale Einheit bildet. Hier werden alle sensorischen Afferenzen (außer Geruch) vor ihrer Weiterleitung zu den Arealen der Hirnrinde umgeschaltet, die für Hören, Sehen, Berührung, Schme-

cken und Schmerz zuständig sind. So münden hier zum Beispiel Nervenfasern von den Augen im **Corpus geniculatum laterale** und projizieren von hier aus zu den optischen Arealen des Cortex. Da alle sensorischen Ein- und Ausgänge zu und vom Cortex in den Relais-Kernen umgeschaltet werden, wird der Thalamus auch als „Tor zum Cortex" oder auch als „Thor zum Bewusstsein" betrachtet. Den Thalamuskernen kommt entsprechend, neben der **Formatio reticularis**, auch eine zentrale Rolle bei der Wachheits- und Aufmerksamkeitssteuerung zu, sowie bei der Steuerung der rhythmischen elektrischen Aktivität des Großhirns. Bestimmte Kerne des Thalamus (besonders die Nuclei medialis) können zudem auch auf höhere psychische Funktionen, wie motivationale, emotionale und kognitive Prozesse, Einfluss nehmen. Störungen der medialen Kerngebiete führen zu z. T. schwerwiegenden Einschränkungen kognitiver Funktionen, zum Beispiel beim sog. Korsakow-Syndrom (siehe *Zusatztext online*). Auch gibt es Hinweise darauf, dass der Schrittmacher für die Deltawellen des Slow-wave-Schlafs (siehe ▶ Kap. 5) in bestimmten Kernen des Thalamus gelegen ist.

Der **Hypothalamus** als bedeutsamer Teil des limbischen Systems lässt sich zusammenfassend als zentrales Steuerzentrum für die Funktionen des vegetativen (autonomen) Nervensystems betrachten. Seine Kerne spielen eine wesentliche Rolle bei der Aufrechterhaltung der Homöostase (Gleichgewichtszustände der inneren Körpervorgänge), der Motivation und den emotionalen Zuständen sowie dem Hormonhaushalt und allen das körpereigene Milieu betreffenden Funktionen (Körpertemperatur, Blutdruck, Atmung, Eireifung), worüber in ▶ Kap. 11 ausführlicher gesprochen wird. Die Entdeckung verschiedener Motivationszentren (zum Beispiel für Hunger, Durst, Freude, Schmerz, Wut) im Hypothalamus führte zu dem regen Interesse der neueren Neurophysiologie und Neuropsychologie an diesen Strukturen. So lassen sich durch leichte elektrische Stimulation bestimmter Gebiete des Hypothalamus Gefühle von Freude hervorrufen, während die Stimulation angrenzender kleinerer Gebiete unangenehme oder schmerzvolle Empfindungen auslöst. Reizungen in wieder anderen Gebieten führen zur Auslösung bestimmter Motivationen wie zum Beispiel Hunger, Durst oder sexueller Motivation. Interessant ist die Feststellung einer neueren Untersuchung (LeVay 1991), dass sich hier auch eine spezifische Zellgruppe befindet, deren Volumen mit der Ausbildung von Homosexualität in Verbindung zu stehen scheint. Das Volumen dieser Zellgruppe ist nur bei heterosexuellen Männern doppelt so groß wie bei Frauen, während es bei Homosexuellen die gleiche Größe aufweist. In welcher Weise dabei kausale Beziehungen vorliegen, ist jedoch noch umstritten.

Von großer Bedeutung für die Funktion des Hypothalamus ist seine enge Verbindung zur **Hypophyse**, über die er die zentrale Kontrolle über das endokrine System und damit über die Produktion der verschiedenen Hormone ausübt.

Endhirn

Das **Endhirn** (**Telencephalon**), das sich weiter nach oben hin (cranial) anschließt, besteht aus Kernen und Rindenbezirken sowie Assoziationsfasern. Auffällig sind zunächst die beiden Endhirnhemisphären, die im Wesentlichen den Neocortex (im

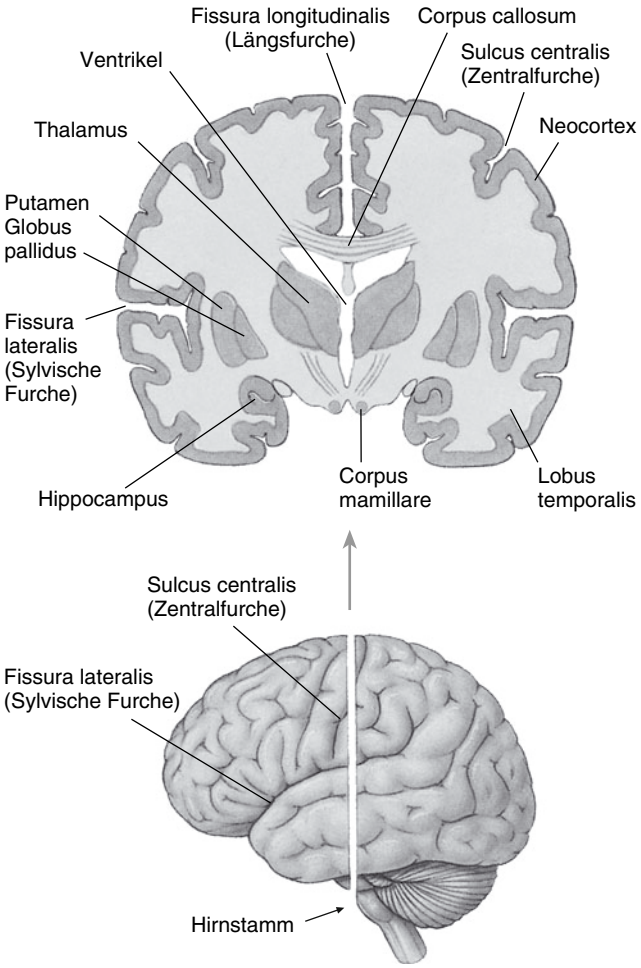


Abb. 2.19 Frontalschnitt des Gehirns auf Höhe des III. Ventrikels wie in der Seitenansicht (unten) angegeben mit Nennung der wichtigsten Strukturen und Furchen (Sulci). (Pinel 1997, S. 74, Abb. 3.27)

Vergleich zu dem phylogenetisch älteren Anteil des Gehirns, dem Allocortex oder dem Palleocortex) bilden und beiderseits die übrigen Hirnabschnitte überlagern (Abb. 2.18). Die darunter und weiter innen gelegenen großen weißen Faser- und Kernmassen werden erst auf Hirnschnitten sichtbar. Sie umfassen die **Stamm-** und **Basalganglien**, die zunächst vor dem Zwischenhirn, dann aber durch Wachstum und Verschiebung beim ausgewachsenen Individuum seitlich dem Zwischenhirn anliegen (das dann „zwischen den Endhirnhälften" liegt). Einen Überblick über die wichtigsten Strukturen zeigt Abb. 2.19.

Assoziationsfasern

Assoziationsfasern sind Nervenfasern, die verschiedene Bereiche des Cortex miteinander verbinden.

Limbisches System

Ehe wir uns weiter der phylogenetisch neuen Großhirnrinde zuwenden, betrachten wir zunächst noch eine Reihe älterer Areale und Kerne, die als **limbisches System** zusammengefasst werden und die einen Teil des alten Säugetierhirns darstellen. Hierzu gehören vor allem der **Hippocampus** und die **Mandelkerne**, die

nach frontal mit dem **Septum** verbunden sind, sowie der **Gyrus cinguli** (◘ Abb. 2.20**).**

Zum **limbischen System** (von lateinisch *limbus* = „Saum“) wird zumeist auch der Hypothalamus gerechnet, mit dem zusammen es offenbar eine zusätzliche Kontrolle über ältere instinktive Verhaltensweisen ausübt. Als erweitertes limbisches System werden andererseits auch Teile des Thalamus und des Cortex mit einbezogen, an den der Hypothalamus solche Informationen weiterreicht oder von dem er Informationen erhält. Tiere, wie Fische oder Reptilien, die nur ein rudimentäres limbisches System haben, zeigen in vielen ihrer Verhaltensweisen, wie zum Beispiel beim Fressen, Angreifen, Fliehen oder bei der Paarung, nur weitgehend stereotype Verhaltensweisen, während bei Säugetieren mit einem ausgebildeten limbischen System solche instinktiv stereotypen Verhaltensmuster weitgehend unterdrückt zu sein scheinen und zugleich ein flexibleres, an Umweltreize angepassteres Verhalten ermöglicht wird. Hierbei kommt vor allem einem Teil des limbischen Systems, nämlich dem Hippocampus, eine besondere Rolle bei der Gedächtnisbildung zu (▶ Kap. 8).

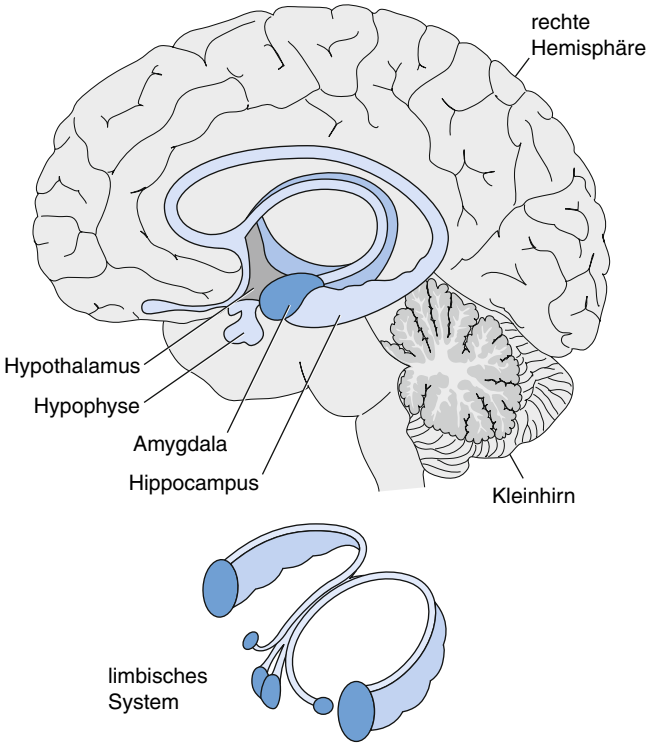
Bei Läsionen durch Unfallverletzung oder nach chirurgischer Entfernung des gesamten **Hippocampus** zeigt sich, dass er für das Lernen und Behalten neuer Ereignisse unentbehrlich ist, während das Erinnern länger zurückliegender Ereignisse dabei ungestört bleibt. So können sich Patienten mit einer Hippocampusschädigung nicht mehr an Personen erinnern, die sie nach der Operation getroffen haben, auch wenn sie mehrere Stunden mit ihnen verbrachten. Sie können täglich dieselbe Zeitung lesen, ohne sich im Geringsten an den bereits wiederholt gelesenen Inhalt zu erinnern (Squire 1992).

Das zum limbischen System gerechnete Teilgebiet der **Mandelkerne** (Nuclei amygdalae), eine unterhalb des Cortex gelegene Gruppe mandelförmiger Kerne im vorderen Bereich des Temporallappens, ist zum einen ebenfalls an der Konsolidierung neuer Gedächtnisinhalte beteiligt, andererseits sind die Amygdalae in hohem Maße für die Steuerung von Aggression und aggressivem Verhalten verantwortlich. Vollständige Ausschaltung der Mandelkerne (Amygdalektomie) führt zu einer ausgesprochenen Zahmheit und Aggressionslosigkeit der Versuchstiere (Goddard 1964).

Der ebenfalls zum limbischen System gerechnete **Gyrus cinguli**, der den Thalamus wie ein Gürtel (*cingulum*) umgibt, stellt einen großen Bereich der medialen Oberfläche des Neocortex dar und liegt direkt über dem **Corpus callosum**, dem „Balken“, einem Band von Axonfasern, durch das beide Hirnhälften miteinander verbunden sind. Der Gyrus cinguli scheint bei der emotionalen Reaktion auf Schmerz und aversive Reize und auch bei der Lösung kognitiver Assoziationsaufgaben (Petersen und Fiez 1993) beteiligt zu sein.

Limbisches System

Das limbische System ist ein ringförmig neurales Gebiet, das den Hippocampus, die Amygdala (Mandelkern) und den Hypothalamus umfasst. Es ist wesentlich an der Regulation von Emotionen, motivationalen Bedürfnissen und vegetativen Organfunktionen sowie Gedächtnisprozessen beteiligt.



◘ **Abb. 2.20 Sagittalschnitt des limbischen Systems.** Seine Strukturen formen ein ringförmiges neuronales System zwischen den älteren Teilen des Gehirns und den beiden cerebralen Hemisphären. Teil des limbischen Systems ist auch die Hypophyse. Obwohl sie nicht zum Gehirn, sondern zum Hormonsystem gehört, wird sie durch den Hypothalamus gesteuert, der direkt über ihr liegt

2.3.2 Die neueren Strukturen: das Großhirn

Die evolutionsgeschichtlich bislang letzte Stufe in der Entwicklung des Gehirns stellt die Ausbildung des Großhirns (**Cerebrum**) dar, das sich bei allen Primaten in zwei Hälften, die cerebralen **Hemisphären**, aufteilt. Diese insbesondere bei den Primaten weiterentwickelte Struktur findet jedoch erst beim Menschen eine so ausgeprägte Entwicklung wie bei keinem anderen Organismus. Seine äußere, stark gefaltete Schicht, die **Großhirnrinde** (auch **Cortex cerebri**, **cerebraler Cortex** oder einfach **Cortex** genannt), besteht im Wesentlichen aus Nervenzellkörpern (Neuronen) und unmyelinisierten Fasern, die auf einfachen makroskopischen Querschnitten des Cortex als eine bis etwa 5 mm starke, vielfach gefaltete gleichmäßige graue Schicht erscheint (◘ Abb. 2.19), die aber anatomisch und funktional feiner differenziert ist (◘ Abb. 3.25; Genaueres in *Zusatztext online*), und einer darunter liegenden **weißen Substanz**, die vor allem aus zumeist myelinisierten Axonen der afferenten und efferenten Kommunikationsfasern besteht.

Rindenfelder

Die Großhirnrinde der beiden Hermisphären ist wie eine Landkarte in vier verschiedene Lappen (Lobi) mit einzelnen Erhebungen (Gyri) aufgeteilt, die durch Furchen (Fissuren oder Sulci) getrennt werden (◘ Abb. 2.21).

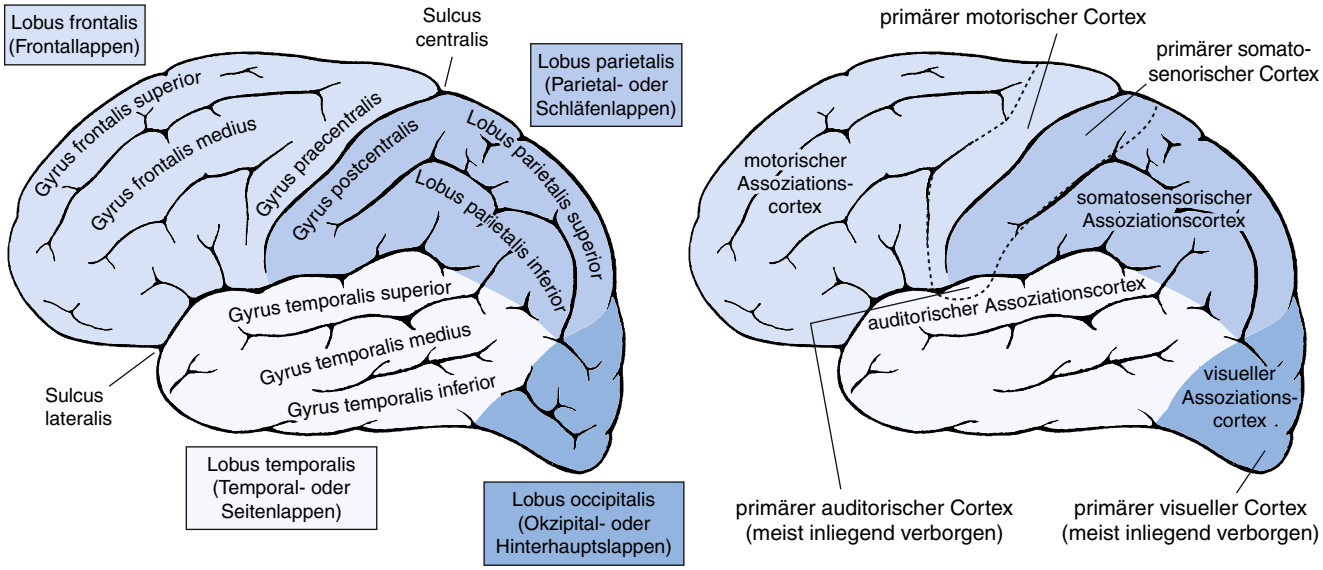


Abb. 2.21 Seitenansicht der Großhirnrinde a mit Bezeichnung der Lappen (Lobi), den wichtigsten Furchen (Sulci), die die Lobi voneinander abgrenzen, sowie der Gliederung in Furchen und Windungen (Gyri). (Nach Sobotta und Becher 1972; Bruce 1977). **b** mit Bezeichnung der Assoziationsareale

Von der Stirnseite beginnend finden wir den **Frontallappen** (Lobus frontalis), der vor der Zentralfurche (Sulcus centralis) liegt, dann den **Scheitel-** oder **Parietallappen** (Lobus parietalis), der hinter der Zentralfurche liegt, ferner den **Schläfen-** oder **Temporallappen** (Lobus temporalis), der ventral (also unterhalb „bauchwärts") der Lateralfurche (Sulcus lateralis) liegt, und den **Hinterhaupts-** oder **Okzipitallappen** (Lobus occipitalis), der den posterioren (hinteren) Anteil des Cortex bildet. Alle afferenten sensorischen Fasern, die von den Sinnesorganen des gesamten Körpers kommen, führen direkt zu bestimmten Arealen des Cortex Sie werden als **Projektionsareale** bezeichnet. Wenden wir uns nun den wichtigsten und bekanntesten Cortexarealen und ihren Funktionen zu.

Der **motorische Cortex**, der die primären motorischen Zentren umfasst, liegt im **Gyrus praecentralis**, von wo aus die Pyramidenbahn der Willkürmotorik (Abb. 2.21) ihren Ausgang nimmt. Der motorische Cortex kontrolliert die willentlichen Körperbewegungen. Er liegt direkt vor der Zentralfurche in beiden Hemisphären. Die Entdeckung dieser Funktionen geht auf die deutschen Physiologen Gustav Fritsch und Eduard Hitzig zurück, die um 1870 eine schwache elektrische Stimulation der Hirnrinde bei Fröschen durchführten und dabei feststellten, dass sie durch diese Stimulation selektiv verschiedene Körperteile zur Eigenbewegung veranlassen konnten. Stimulation bestimmter Punkte in der linken oder rechten Cortexhälfte führten jeweils zu spezifischen Körperbewegungen auf der entgegengesetzten Körperseite. In einer groß angelegten Studie untersuchten ein halbes Jahrhundert später die Neurochirurgen Otfried Foerster in Deutschland und Wilder Penfield in Montreal an Hunderten von Patienten den motorischen Cortex und konnten so eine genaue Landkarte sowohl des motorischen als auch des sensorischen Cortexareals erstellen (Abb. 2.22 /alt2). Es zeigte sich, dass eine recht genaue **somatotope Projektion** der motorisch aktivierbaren Körperregionen vorliegt (somatotop bedeutet „eine der Körperperipherie entsprechende räumliche Zuordnung"). Solche Körperteile, die eine präzise und differenzierte Kontrolle ihrer Bewegungen erfordern, wie zum Beispiel die Finger, insbesondere der Daumen oder der Mund, nehmen entsprechend den größten Platz auf dem motorischen Cortex ein. Dies wird in Abb. 2.22 durch den eingezeichneten größenverzerrten „Homunculus" symbolisiert, der zugleich verdeutlicht, dass die Körperrepräsentationen auf dem Kopf stehen (▶ Exkurs 2.6).

Der **somatosensorische Cortex** umfasst die **primären sensorischen Zentren**. Dieses auch als „Körperfühlsphäre" bezeichnete Areal liegt parallel zum motorischen Cortex direkt hinter der Zentralfurche auf dem vordersten Teil des Parietallappens und wird anatomisch als Gyrus postcentralis bezeichnet. Wie Penfield bereits in seinen Untersuchungen nachweisen konnte, ist dieses Areal darauf spezialisiert, Informationen von den Hautsinnen der Körperoberfläche und von Körperbewegungen zu verarbeiten und bewusst werden zu lassen. Wenn dieses Areal an irgendeinem Punkt elektrisch stimuliert wird, erleben wir eine Sinneserfahrung von einer bestimmten Stelle von der Körperoberfläche der gegenüberliegenden Körperseite. Bei einer Stimulation im oberen Bereich dieses bandförmigen Areals zum Beispiel, berichten die Personen, dass sie das Erlebnis verspüren, an der Schulter berührt zu werden, oder bei einer milden Stimulation seitlicher Bereiche kommt es zu dem Erlebnis, dass das Gesicht oder die Lippen berührt würden. Aber auch Hitze, Kälte, Schmerz oder die Wahrnehmung von Körperbewegungen sind hier repräsentiert, und zwar ebenfalls, wie im motorischen Cortex, immer bezogen auf die kontralaterale Körperseite. Je feiner unser Wahrnehmungsvermögen in einer bestimmten Körperregion ist, desto größer ist auch das zugehörige Areal des sensorischen Cortex.

Wie in Abb. 2.22 verdeutlicht, projizieren unsere höchst sensitiven Lippen zu einem weit größeren Cortexareal als unsere Fußzehen oder unsere Rückenfläche, wo wir nur sehr schwer einzelne Tastreize genau lokalisieren können. Diese **somatotope Empfindungsentsprechung** zeigt sich ähnlich auch im Tier-

2

Exkurs 2.6

Genauer betrachtet: Hirnstimulationsstudien

Neuere Studien haben ergeben, dass die genauen Muskel-Cortex-Verbindungen nicht so einfach sind, wie es Hirnstimulationsstudien erscheinen ließen. Mit modernen bildgebenden Verfahren (▶ Exkurs 10.4) wie der **Magnetresonanztomografie** (**MRT**), mit der sich in vivo die jeweils *aktiven* Gewebebereiche über computergenerierte Bilder sichtbar machen (scannen) lassen, konnte gezeigt werden, dass eine bestimmte Finger- oder Handbewegung nicht nur einen Punkt, sondern vielfältige, sich zum Teil überlappende kleine Gehirnbereiche aktiviert (Sanes et al. 1995). Obgleich weiterhin sicher ist, dass der motorische Cortex ganz bestimmte Körperbereiche kontrolliert, wurde deutlich, dass dabei zugleich auch weitere Hirngewebeanteile mitaktiviert werden, das heißt, dass das jeweils aktivierte neuronale Netzwerk komplexer ist, als man zunächst angenommen hatte.

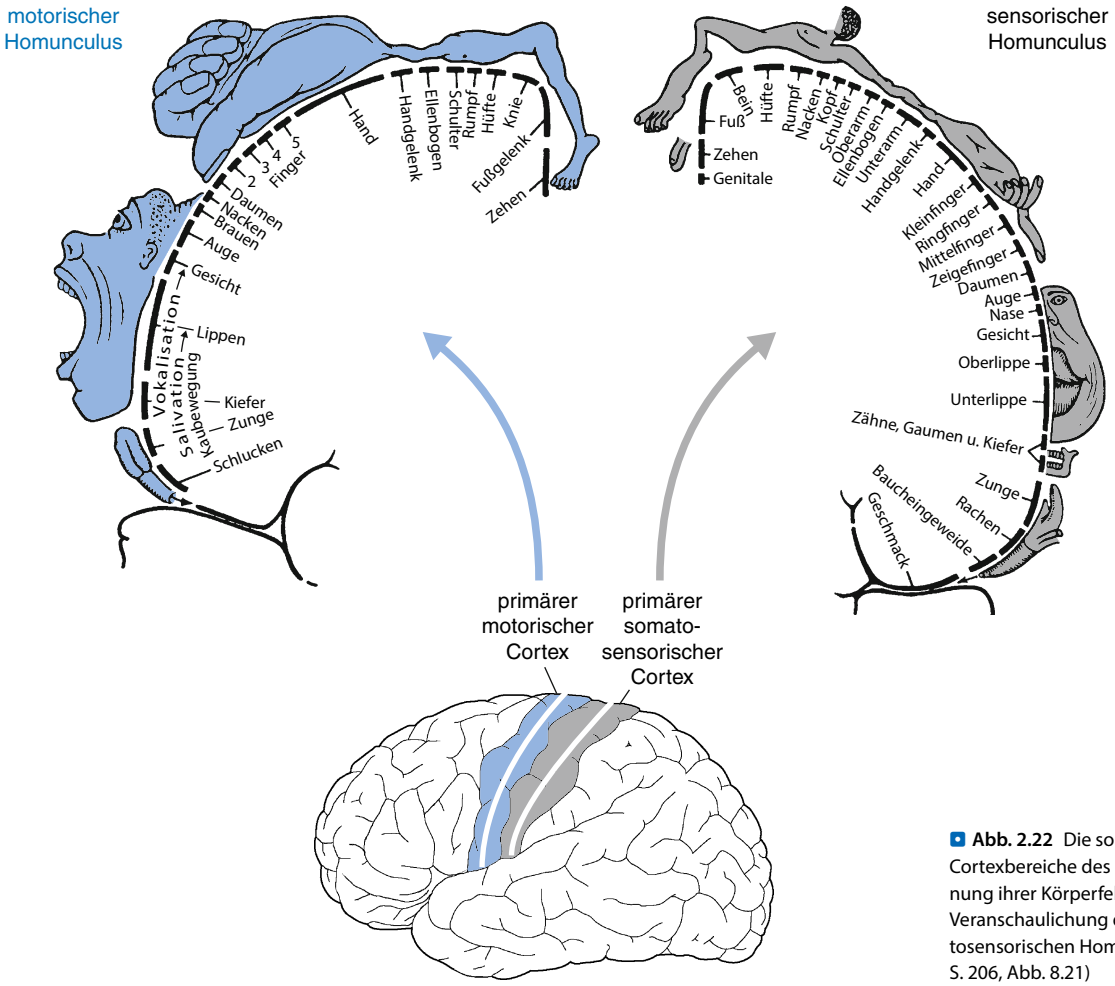


Abb. 2.22 Die somatosensorischen Cortexbereiche des Menschen mit Bezeichnung ihrer Körperfeldprojektionen und Veranschaulichung des primären somatosensorischen Homunculus. (Pinel 1997, S. 206, Abb. 8.21)

reich. So haben Ratten ein besonders großes Areal für ihre höchst sensitiven Schnurrhaare, mit denen sie die Welt erkunden, Eulen dagegen für ihr hoch sensitives Hörorgan, mit dem sie auch im Dunkeln ihre Beute orten können (▶ Exkurs 2.7).

Der **auditorische Cortex** (auch als **primäres Hörzentrum** bezeichnet) liegt beiderseits in den **Temporallappen** (Schläfenlappen) jeweils unterhalb des Sulcus lateralis. In diesem auch als **Hörrinde** bezeichneten Areal werden akustische Informationen und Signale primär verarbeitet. Die Hörzentren beider Cortexhälften erhalten Informationen aus beiden Ohren, wobei jedoch die neuronalen Verbindungen zum jeweils kontralateralen Ohr stärker ausgebildet sind. Auffällig beim auditorischen Cortex ist die qualitative **seitenspezifische Spezialisation**. Im Zusammenhang mit weiteren Arealen erfolgt im linken Schläfenlappen die Verarbeitung von sprachlichen Informationen (Sprachverständnis, Sprechen), während der Schläfenlappen der rechten Seite vornehmlich der Verarbeitung räumlicher Information dient. Mit dieser Asymmetrie der Gehirnfunktionen, einer sprachbeherrschenden linken und einer stummen rechten Hemisphäre, werden wir uns später noch genauer befassen.

Der **visuelle Cortex** (das **primäre Sehzentrum**) befindet sich auf der Rückseite der beiden Okzipitallappen (Hinterhauptlappen) in der sogenannten **Sehrinde**, wo unsere visuellen Informationen verarbeitet werden. Abb. 2.23 zeigt zusätzlich zu Abb. 2.22 die **Sehbahnen**, die von den Augen als **Sehnerv** (Nervus opticus), über die **Sehnervenkreuzung** (Chiasma opticum), laufen. Der Hauptanteil der Fasern, insbesondere der die nasalen Retinaanteile fortleitenden Fasern, wechselt hier auf die kontralaterale Seite und führt über zwischengeschaltete Kerne

Exkurs 2.7

Genauer betrachtet: Überdauernde Plastizität neuronaler Verschaltungen

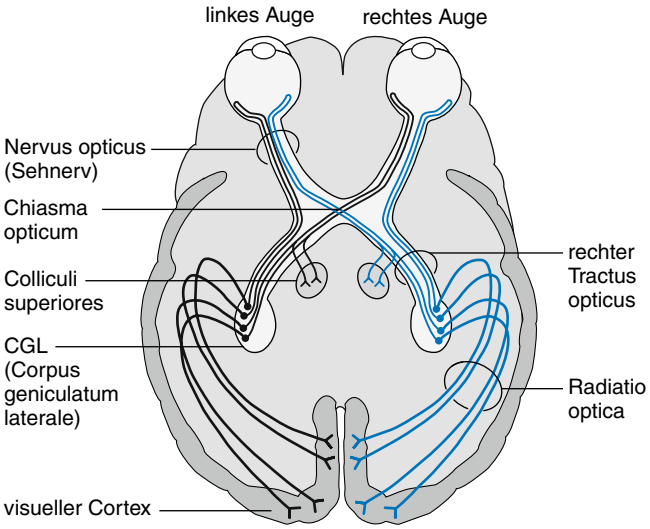
Von besonderem Interesse sind in diesem Zusammenhang auch Untersuchungsergebnisse, in denen nachgewiesen werden konnte, dass nach dem Verlust eines Fingers die Neurone der zugehörigen Cortexregion sich weiter verzweigen und dadurch auch die sensorische Information der benachbart lokalisierten Finger erhalten, die damit eine größere Sensitivität bekommen (Fox 1984). Dieses Beispiel verdeutlicht, wie wir auch im Zusammenhang mit der Wahrnehmung noch sehen werden, dass die Ausbildung des Gehirns nicht allein durch genetische Faktoren determiniert ist, sondern von unserer laufenden Erfahrung insbesondere in jeweils sensiblen Phasen wesentlich mitgestaltet wird. Im Gegensatz zur traditionellen Auffassung zeigen neuere Studien, dass in Gehirnen von erwachsenen Mäusen und Menschen neue Nervenzellen nachwachsen können (van Prag et al. 2002).

zum **okzipitalen Cortex**, dem **primären Sehzentrum**. Werden Punkte dieses Areals elektrisch stimuliert, so führt das bei uns zu Licht- oder Farbwahrnehmungen. Den spezifischeren Aufbau der primären visuellen Zentren werden wir im Zusammenhang mit den Wahrnehmungsprozessen besprechen.

Vom visuellen Cortex aus, wie auch von den anderen primären Hirnzentren, wird die aufgenommene Information weitergeleitet zu anderen Hirnarealen, in denen die Weiterverarbeitung, wie zum Beispiel die Identifizierung von Wörtern, Begriffen, Emotionen oder das Erkennen von Gestalten und Gesichtern, erfolgt. Hierher gehören vor allem die **Assoziationsareale** (von lateinisch *associare* für „beigesellen", „verbinden"). Als solche werden die verbleibenden weiteren Flächen des cerebralen Cortex bezeichnet, die nicht direkt mit sensorischen oder motorischen Prozessen verbunden sind – beim Menschen dürften das etwa drei Viertel der Cortexoberfläche sein. Die Neurone in diesen Gebieten (◘ Abb. 2.21) dienen der Integration und Verarbeitung von Information. Sie verbinden und vergleichen dabei auch die eingegangenen sensorischen Informationen mit den gespeicherten Erinnerungen und ermöglichen damit die vielfältigen Prozesse, die wir als **Denken** bezeichnen. Elektrische Stimulation in diesen Gebieten führt zu keinerlei Antworten (Empfindungen oder Bewegungen), sodass es (nicht so wie in den sensorischen oder motorischen Arealen) unmöglich ist, auf diese Weise die Funktionen des assoziativen Cortex genauer zu spezifizieren. Nur anhand von Ausfällen und Läsionen in diesen Gebieten konnte festgestellt werden, welche psychischen Funktionen ohne diese Gebiete nicht mehr ablaufen.

Die **frontalen Assoziationsareale**, die im Frontallappen vor der motorischen Area liegen, scheinen danach eine wichtige Rolle bei kognitiven Prozessen zu spielen, etwa beim Problemlösen, Entscheiden und Planen (▶ Kap. 10). So sind Affen mit Läsionen in den Frontallappen nicht mehr in der Lage, Problemaufgaben mit aufgeschobenen Handlungen zu lösen. Versteckt man vor ihren Augen Futter in einem von zwei vor ihnen stehenden Töpfen und hindert sie mit einem durchsichtigen Schirm daran, das Futter sofort zu entnehmen, so können die Tiere das Problem, den richtigen Topf zu öffnen, schon nach wenigen Sekunden nicht mehr lösen. Diese Fähigkeit wird jedoch durch Läsionen in anderen Assoziationsarealen des Cortex nicht gestört (French und Harlow 1962).

Weitere Assoziationsareale, zusammengefasst als **posteriore Assoziationsareale**, liegen in der Nähe der verschiedenen primären sensorischen Areale und scheinen jeweils einem spezifischen Sinn zugeordnet zu sein. Bei Schädigung zum Beispiel eines Areals im unteren Temporallappen kommt es unter anderem zum Verlust der Fähigkeit, eine Form als Kreis oder eine Person als



◘ **Abb. 2.23 Das visuelle System mit der zentralen Sehbahn,** deren innerer, nasaler Sehnervenanteil im Chiasma opticum zur kontralateralen Seite kreuzt und die über das Corpus geniculatum laterale (CGL) zum primären visuellen Cortex führt

den Freund zu identifizieren, obgleich die Form oder die Person als solche erkannt wird. Genaue Lokalisationen in diesen Arealen sind jedoch schwer möglich, weil zu viele Verbindungen gleichzeitig im Spiel sind. So lässt sich zum Beispiel in dem sehr kleinen Assoziationscortex der Ratte kein Punkt finden, der, wenn er ausgeschaltet wird, die Fähigkeit der Ratte, ein Labyrinth zu erlernen oder zu erinnern, ausschalten würde (▶ Exkurs 2.8).

Assoziationsareale

Assoziationsareale sind Bereiche des cerebralen Cortex, die nicht an den primären und sekundären motorischen und sensorischen Funktionen beteiligt sind, sondern höheren geistigen Fähigkeiten, wie Denken, Lernen, Erinnern oder Sprechen, zugrunde liegen.

2.3.3 Hirnasymmetrie und Sprachverarbeitung

Um 1861 machte der französische Arzt Paul Broca bei einem seiner Patienten, der bereits seit Jahren an Sprachverlust und rechtsseitiger Lähmung litt, eine interessante und – wie sich herausstellte – wichtige Beobachtung und Entdeckung: Der Patient hatte einen Gewebeschaden in einem bestimmten Areal des linken Frontallappens, das heute als **Broca-Areal** bezeichnet wird

2

Exkurs 2.8

Genauer betrachtet: Hemisphärische Asymmetrien

Bereits vor über 100 Jahren machten klinische Beobachtungen deutlich, dass die beiden Hemisphären unterschiedliche Strukturen wie auch unterschiedliche Funktionen haben. Verletzungen durch Unfälle, Hirnschlag oder Tumore in der *linken Hemisphäre* führen in der Regel zu mehr oder weniger starken Beeinträchtigungen von Lesen, Schreiben, Sprechen, mathematischem Schlussfolgern und Verstehen. Dagegen haben vergleichbare Verletzungen der *rechten Hemisphäre* keine derartigen Effekte. Aus solchen Beobachtungen resultierte die noch bis in die 1960er-Jahre vertretene Annahme der Dominanzrolle der linken Hemisphäre. Doch diese Ansicht musste revidiert werden, als man in den folgenden Jahren bei Untersuchungen an Patienten mit „geteiltem Gehirn" (*split-brain*) die Funktion beider Hirnhälften weitgehend getrennt voneinander untersuchen konnte, was wir im Anschluss an die früheren Arbeiten zur Hirnasymmetrie genauer besprechen werden (▶ Abschn. 2.3.4 Das geteilte Gehirn. Weitere Funktionen des Cortex in *Zusatztext online*).

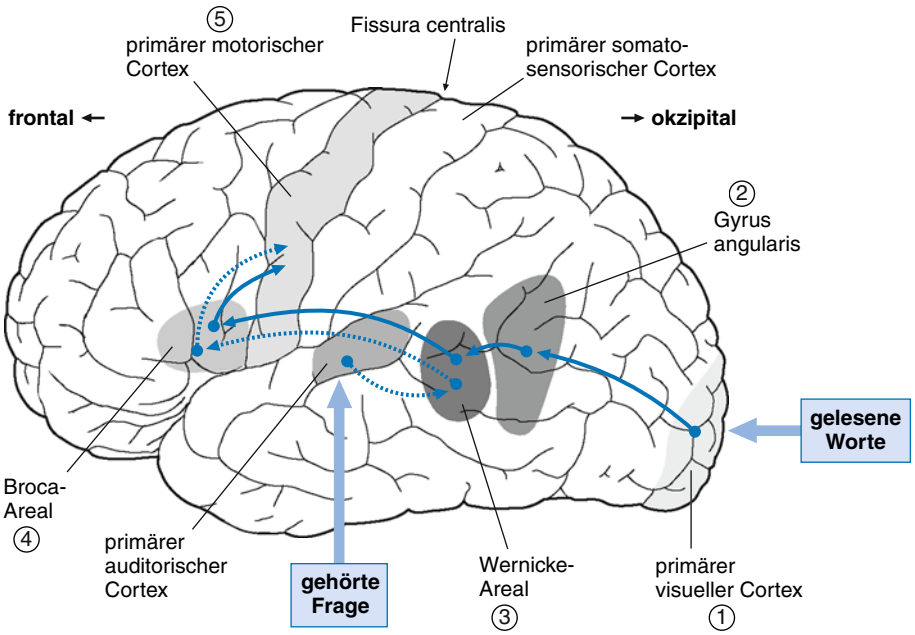


Abb. 2.24 Funktionslokalisationen auf der linken Hirnhemisphäre. Das eingezeichnete Schema zum Wernicke-Geschwind-Modell zeigt den Reaktionsverlauf auf eine gehörte Frage und ein laut gelesenes Wort. (Pinel 1997; S. 446, Abb. 16.11; Atkinson et al. 1987; p. 51, Fig. 2.13)

(Abb. 2.24). Dem Patienten war es unmöglich, Worte zu formulieren, aber er konnte sowohl gesprochene als auch geschriebene Sprache verstehen. Er war auch in der Lage, ihm vertraute Lieder zu singen. Gestört war nur die motorische Sprachproduktion. Wie bereits Broca vermutete und was spätere Untersuchungen bestätigten, handelt es sich bei dem Broca-Areal um das **motorische Sprachzentrum.**

Gleichartige Schädigungen in der rechten Hemisphäre führen dagegen nicht zu solchen Sprachstörungen. Spätere Untersuchungen zeigten, dass es ferner spezifische Areale für das Sprachverständnis, die Fähigkeit zu schreiben und die Fähigkeit, geschriebene Worte zu verstehen, gibt, die ebenfalls in der linken Hemisphäre liegen. Nur bei wenigen Linkshändern liegen diese Sprachzentren in der rechten Hemisphäre. Bei der überwiegenden Mehrheit der Linkshänder liegen die Sprachzentren wie bei Rechtshändern auf der linken Seite.

Die zweite wichtige Entdeckung in diesem Puzzle wurde 1874 von dem deutschen Forscher Carl Wernicke gemacht (Wernicke 1874). Er beobachtete, dass eine Schädigung in einem spezifischen Areal des linken Temporallappens, das heute als **Wernicke-Areal** bezeichnet wird (Abb. 2.24), dazu führt, dass die Personen zwar noch aneinandergereihte Worte sprechen können, aber keine sinnvollen Sätze mehr zu bilden vermögen. Das Sprachverständnis ist gestört.

Eine weitere, erst später gemachte Beobachtung zeigte, dass für das laute Lesen eine dritte Hirnregion von Wichtigkeit ist: der Gyrus angularis. Hier wird offenbar die visuelle Information vom visuellen Cortex in einen auditorischen Code umgewandelt, aus dem dann im Wernicke-Areal die Bedeutung entnommen werden kann.

Wernicke-Geschwind-Modell

Aus den genannten und weiteren Beobachtungen entwickelte Norman Geschwind ein Erklärungsmodell der Sprachfunktionen im Gehirn: das Wernicke-Geschwind-Modell (Abb. 2.24). Wenn wir geschriebene Worte laut lesen, werden diese visuellen Reize zunächst vom Auge aufgenommen und 1) zum primären visuellen Areal transferiert und registriert. 2) Von hier werden sie dann zum Gyrus angularis transferiert. Dieser verbindet die visuelle Information der Wörter mit dem entsprechenden auditorischen Code, der 3) vom Wernicke-Areal empfangen und verstanden wird. Von hier werden die verstandenen Wörter über die verbindenden Nervenfasern zum 4) Broca-Areal geleitet, wo der artikulatorische Code für die Aussprache aktiviert wird, der dann 5) zum motorischen Cortex weitergeleitet wird. Dieser aktiviert, wie bekannt, seinerseits die Sprachmuskulatur von Kehlkopf und Lippen.

Wenn wir dagegen vorgesprochene Wörter nachsprechen wollen, entfallen die ersten Schritte der eben dargestellten Sequenz. In diesem Fall erreicht der akustische Reiz vom Ohr das

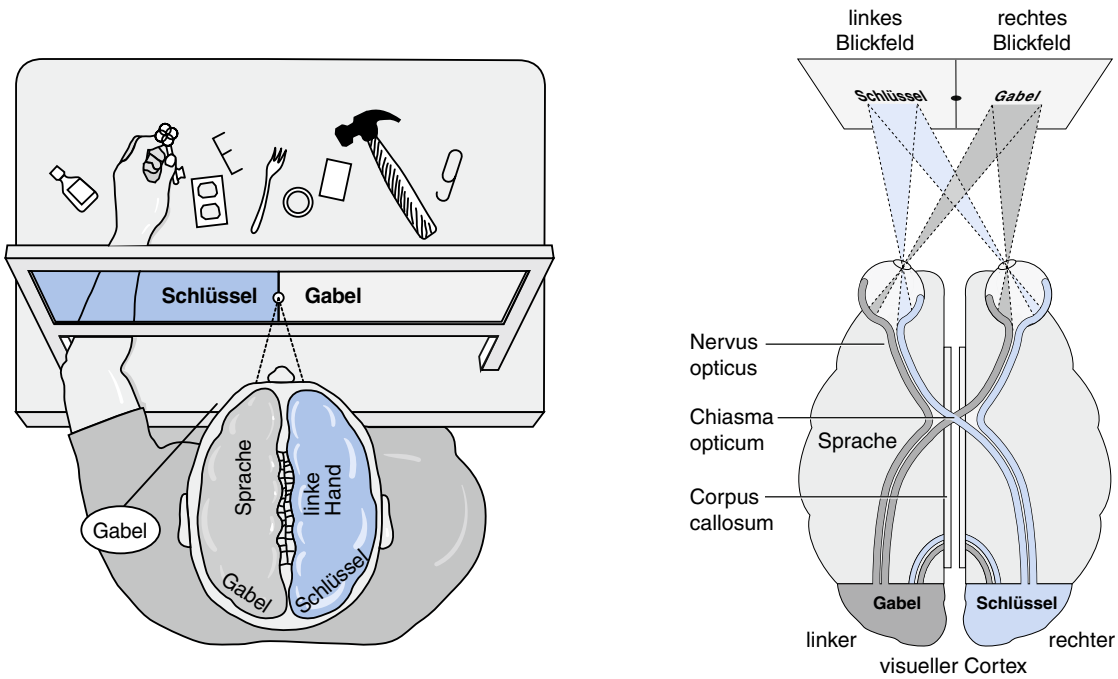


Abb. 2.25 Testanordnung zur Funktionsuntersuchung der Hirnhemisphären bei Split-Brain-Patienten. Bei zentraler Blickfixierung gelangt der visuelle Input jeder Gesichtsfeldhälfte zum jeweils kontralateralen visuellen Cortex, ebenso der feinmotorische Input jeder Hand. Jede Hemisphäre kontrolliert die Feinmotorik der kontralateralen Hand. (Nebes und Sperry 1971b)

primäre auditorische Areal, von wo aus die Weiterleitung direkt zum Sprachverständnis ins Wernicke-Areal erfolgt.

Störungen oder Verlust dieser Fähigkeiten werden als Aphasien bezeichnet. Sie werden zumeist durch Schädigungen der entsprechenden linkshemisphärischen Zentren verursacht. So führt Schädigung im Broca-Areal zu Störungen oder Verlust der Fähigkeit, Wörter zu artikulieren (*Broca-Aphasie*), Schädigung im Bereich des Wernicke-Areals zu Störung oder Verlust der Sprache (*Wernicke-Aphasie*, ▶ Kap. 10).

Aphasie

Unter Aphasie versteht man eine durch Hirnschädigung verursachte Störung der Fähigkeit, Sprache zu verstehen (Wernicke-Aphasie) oder zu produzieren (Broca-Aphasie).

2.3.4 Das geteilte Gehirn

Können auch die beiden Hemisphären des Menschen unabhängig voneinander arbeiten? Untersuchungen mit Split-Brain-Patienten haben in den 1970er-Jahren zu wichtigen Einsichten in die strukturellen Voraussetzungen des kognitiven und verbalen Lernens sowie des Bewusstseins geführt. Durchgeführt wurden diese Untersuchungen an Epilepsiepatienten, denen das Corpus callosum und die Commissura anterior chirurgisch durchtrennt worden war (*split-brain*), um anderweitig nicht zu beherrschende schwere epileptische Anfälle zu mindern oder gar völlig auszuschließen. Das postoperative Verhalten dieser Patienten wird als im Alltag unauffällig und ihr Intellekt als unverändert beschrieben.

Zur Untersuchung der Split-Brain-Patienten entwickelten Roger Sperry und Michael Gazzaniga ein Testverfahren, das auf demselben Prinzip wie bei den bekannten Katzenexperimenten beruht (bei denen sowohl das Chiasma opticum als auch das Corpus callosum durchtrennt worden waren, siehe *Zusatztext online*), das aber ohne eine Durchtrennung des Chiasma opticums auskommt. Sie erreichten das gleiche Ziel, dass die visuelle Information über die Augen jeweils nur zu einer Hirnhälfte gelangt, dadurch, dass sie eine besondere Art der Reizvorgabe wählten (■ Abb. 2.25).

Der Patient sitzt vor einem undurchsichtigen Milchglasschirm und wird aufgefordert, den in der Mitte des Bildschirms befindlichen Fixpunkt zu fixieren. Unter dieser Voraussetzung können auf den Schirm von hinten Gegenstände, Schriftzeichen oder Lichtblitze getrennt in die linke oder rechte Gesichtsfeldhälfte projiziert werden, deren Abbilder nun getrennt auf unterschiedliche Retinaanteile fallen, die entweder nur mit der linken oder nur mit der rechten Hirnhälfte verbunden sind. Eine Veränderung der Blickrichtung und damit einer Reizaufnahme in die andere Gesichtshälfte wird durch die kurze Darbietungszeit (0,1 s) verhindert. Ferner kann die rechte oder linke Hand nach Durchgreifen unter dem Schirm zum taktilen Erkennen oder zum Schreiben ohne visuelle Kontrolle benutzt werden, und über Kopfhörer können schließlich akustische Aufforderungen oder Fragen gegeben werden. Das heißt, aufgrund dieser Versuchsanordnung können visuelle und taktile sensorische Reize den beiden Hirnhälften getrennt zugeleitet werden. Wie von Sperry erwartet, ließen sich die im Tierversuch erhaltenen Ergebnisse (vergl. *Zusatztext online*) auch hier bestätigen.

Auffällig und neu war jedoch, dass die beiden Hemisphären bei bestimmten Aufgaben unterschiedlich reagierten. Der Split-Brain-Patient unterscheidet sich in seinen Reaktionsweisen nicht von einer normalen Versuchsperson, wenn die Reizvorgaben auf seiner *rechten* Seite erfolgen. Gegenstände (zum Beispiel Schlüssel, Gabel), die in die *rechte* Gesichtsfeldhälfte projiziert werden und damit zur linken Hemisphäre gelangen, kann er benennen

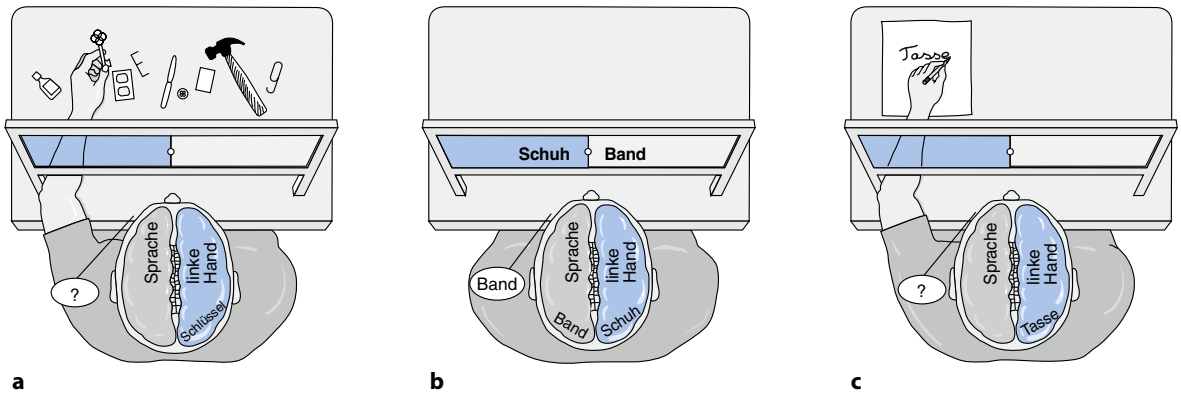


Abb. 2.26 Versuchsanordnung von Sperry und Testergebnisse bei Split-Brain-Personen. a Die Patienten können einen Gegenstand, dessen Name zur rechten Hemisphäre „geblitzt" wird, mit der linken Hand korrekt herausfinden, aber sie können das gefundene Objekt weder benennen noch beschreiben, was sie getan haben, **b** Wird ein Doppelwort wie „Schuhband" so dargeboten, dass „Schuh" zur rechten und „band" zur linken Hemisphäre gelangt, so berichten die Patienten nur das Wort „Schuh" und haben keine Ahnung, um was für ein Band es sich handelt, **c** Wird ein Wort einer zuvor gelernten Wörterliste nur zur rechten Hemisphäre projiziert, so kann die linke Hand das Wort nach Aufforderung dazu auch niederschreiben, aber wenn der Patient gefragt wird, weiß er nicht, was er geschrieben hat. (Nebes und Sperry 1971b)

oder mit der rechten Hand aus anderen Gegenständen heraussuchen. Wörter, die in diese Gesichtsfeldhälfte projiziert werden, kann er laut lesen, aufschreiben oder auch den dazugehörigen Gegenstand mit der rechten Hand unter anderen Gegenständen heraussuchen. Ebenso kann er Gegenstände, die ihm in die rechte Hand gelegt werden, benennen oder ihren Namen aufschreiben.

Erhebliche Unterschiede treten dagegen bei *linksseitiger* Darbietung auf. Gegenstände, die in die *linke* Gesichtsfeldhälfte projiziert werden und damit zur rechten Hemisphäre gelangen, kann der Patient nicht benennen (Abb. 2.26). Dagegen kann er aber auf Aufforderung diese Gegenstände mit der linken Hand (die von der rechten Hemisphäre gesteuert wird) aus anderen Gegenständen heraussuchen. Doch auch nach dieser erfolgreichen taktilen Suchleistung ist er nicht in der Lage, den Gegenstand zu benennen, den er in der linken Hand hält. Entsprechend kann er auch einen Gegenstand, der ihm in die linke Hand gelegt wird, nicht benennen. Wörter, die in die linke Gesichtsfeldhälfte projiziert werden, kann er nicht laut vorlesen. Handelt es sich aber um Wörter von alltäglichen Gegenständen (zum Beispiel Schlüssel, Ring, Messer; Abb. 2.26a), so kann er diese mit der linken Hand aus anderen heraussuchen. Auch scheint er zu wissen, um was es sich handelt, denn er kann zum Beispiel den Gebrauch des Gegenstandes durch entsprechende Gesten demonstrieren. Aber er kann die Gegenstände nicht benennen. Wenn er dann weiter gefragt wird, was da mit seiner linken Hand vor sich geht, während er den Gegenstand mit der Hand bewegt, so kann er dazu nichts sagen. Das gilt aber nur, solange die linke Hemisphäre nichts von dem Gegenstand erfährt. Wenn die rechte Hand des Patienten unerwartet den Gegenstand berührt oder dieser ein charakteristisches Geräusch macht (zum Beispiel Rascheln des Schlüsselbundes), das der Patient hört, so kann die sprechende Hemisphäre sofort die richtige Antwort geben.

Auch wenn beide Hemisphären eines Split-Brain-Patienten gleichzeitig Informationen erhalten, arbeiten sie offenbar völlig unabhängig voneinander. Wird zum Beispiel ein Wort wie „Schuhband" in der Weise auf den Bildschirm geblitzt, dass „Schuh" zur rechten und „band" zur linken Hemisphäre gelangt (Abb. 2.26b), so antwortet der Patient auf die Frage, was er gesehen habe, nur „Band". Auch wenn er weiter gefragt wird, um was für ein Band es sich handle, kann er nur Vermutungen äußern, wie zum Beispiel Farbband, Armband oder Jazzband.

Andererseits verfügt die rechte, eigentlich nicht sprechende Hemisphäre doch über gewisse sprachliche Fähigkeiten, denn sie „versteht", wie oben dargestellt, die Bezeichnungen gewisser Alltagsgegenstände, wie das Wort „Schlüssel", und sie kann das Gelesene unter bestimmten Bedingungen auch schreiben. Wird dem Split-Brain-Patienten zunächst eine Liste von Wörtern bekannter Objekte, wie Apfel, Messer, Löffel, Tasse, lange genug gezeigt, sodass sie in beide Hemisphären gelangen, und wird dann eines dieser Worte (zum Beispiel „Tasse") auf die linke Schirmseite geblitzt, sodass es nur zur rechten Hemisphäre gelangt, so ist die Person in der Lage, das richtige Wort mit der linken Hand aufzuschreiben (Abb. 2.26c). Doch wenn man sie fragt, hat sie keine Ahnung, was sie geschrieben hat. Sie weiß nur, dass ihre Hand geschrieben hat (Nebes und Sperry 1971). Nach Sperry (1971) zeigte sich bei Split-Brain-Patienten, dass jede Hemisphäre auch über einen eigenen freien Willen (Willensimpulse) verfügt, mit dem sie (im Experiment) die gegenüberliegende Körperseite und den kontralateralen Raum kontrolliert (▶ Exkurs 2.9).

Split-Brain-Patienten reagieren (im Test!), als hätten sie zwei unabhängige Gehirne mit eigenem Bewusstsein, eigenen Erinnerungen, Fähigkeiten und auch eigenen Emotionen (Gazzaniga und Sperry 1967).

2.3.5 Cerebrale Lateralisation

Tiere und Menschen, bei denen das beide Hemisphären verbindende Corpus callosum durchtrennt ist (sog. Split-Brain-Patienten) verfügen, wie aus den vielfältigen Untersuchungen hervorgeht, offenbar über zwei voneinander unabhängig arbeitende Gehirne. Die referierten Untersuchungen zeigen, dass die beiden Hemisphären recht unterschiedlich arbeiten und unterschiedliche Aufgaben übernommen haben.

Exkurs 2.9

Genauer betrachtet: Sperrys Split-Brain-Patientin

Es mag nicht verwunderlich erscheinen, wenn Sperry hierzu einen an Freudsche Darlegungen anknüpfenden, inzwischen berühmt gewordenen Versuch durchführte. Nach Freud teilt sich das Unbewusste eher über den Ausdruck, die Bewegungen und die Gestik mit, im Gegensatz zum Bewussten, das, durch die Sprache kontrolliert, sich als rationales Denken ausdrückt. So zeigte Sperry einer Split-Brain-Patientin zwischen einer Reihe „neutraler" Bilder auch das Bild einer nackten Frau, die sie nur mit der rechten Hemisphäre wahrnehmen konnte. Auf die nachträgliche Befragung hin erklärte die Patientin, sie habe nichts gesehen, wurde jedoch rot, was zeigt, dass doch eine Wahrnehmung des Inhalts stattgefunden hat, der aber nicht zum sprachlich kontrollierten Bewusstsein (linke Hemisphäre) gelangt (siehe hierzu auch explizites vs. implizites Erkennen; ▶ Kap. 8)

Die **linke Hemisphäre** hat vor allem die Fähigkeit, dass wir uns sprachlich ausdrücken können. Sie kann verschieden komplizierte logische und analytische Tätigkeiten vollbringen und mathematische Berechnungen durchführen. Auch wenn wir über Entscheidungen nachdenken, ist diese Hemisphäre aktiver (Rogers 2003). Wenngleich sie Sprache schnell und wörtlich versteht, wird sie beim Lösen ausgeklügelter Schlussfolgerungen von der rechten Hemisphäre überflügelt (Mason und Just 2004; Genaueres in *Zusatztext online*).

Die **rechte Hemisphäre** hat dagegen ein hoch entwickeltes räumliches Vorstellungsvermögen und ein weit besseres visuelles Wahrnehmungsvermögen. Sie ist der linken überlegen bei Aufgaben, die geometrisches oder perspektivisches, konstruktives Handeln erfordern. Auch ist sie besser im Wahrnehmen von Gesichtsausdruck, Stimmung und emotionalen Inhalten (Bowers et al. 1985). Sprachlich kann die rechte Hemisphäre nur recht einfache Aufgaben verstehen. Sie kann auf einfache gehörte oder gesehene Objektnamen antworten, indem die zugehörige linke Hand solche Objekte (Löffel, Nagel) unter anderen heraussucht. Sie kann auch einfache zweistellige Zahlen addieren, aber auch nicht viel mehr.

Auch bei Personen mit intaktem, nicht geteiltem Gehirn konnte die **cerebrale Lateralisation** nachgewiesen werden. Wenn wir aufgefordert werden, eine Wahrnehmungsaufgabe durchzuführen, so sind Blutfluss, Glucoseverbrauch wie auch die elektrische Hirnaktivität in der rechten Hemisphäre erhöht. Wenn wir dagegen eine Rechenaufgabe lösen oder sprechen, zeigen sich entsprechende Aktivitätserhöhungen in der linken Hemisphäre.

Ein weiterer Nachweis der hemisphärischen Spezialisation geht von der Messung der Reaktionszeiten beim Erkennen von Bildern aus. Bilder von Gesichtern oder Gesichtsausdrücke von Emotion, Linienzüge oder Punkteverteilungen werden schneller erkannt und identifiziert, wenn sie so projiziert werden, dass sie direkt zur rechten Hemisphäre gelangen. Dagegen werden verbale Informationen, wie zum Beispiel Wörter oder unsinnige Silben, schneller und sicherer erkannt, wenn sie zur linken Hemisphäre projiziert werden (Hellige 1990). Die Verzögerungszeit (Millisekunden) entspricht der Nervenleitungszeit, die nötig ist, um die Information über das Corpus callosum zur verbal befähigten Seite zu übertragen (Myers 2008; Atkinson und Hilgards 2009). (Dazu auch *Zusatztext online*).

Wir können daher festhalten:

Die beiden Hemisphären unterscheiden sich in ihren Spezialisierungen. Die einzelnen Subsysteme sind in verschiedenen Hirnregionen der beiden Hemisphären untergebracht. Für bestimmte Funktionen, wie Erkennen eines Gesichts, Wahrnehmen einer Farbe oder einer Emotion, Sprachverstehen oder Sprechen, sind verschieden lokalisierte neuronale Netzwerke verantwortlich, aber sie integrieren und koordinieren ihre Aktivitäten normalerweise jederzeit zu einer einheitlichen Leistung des Gesamtgehirns.

2.4 Genetik und Verhalten

Auch heute noch wird nicht selten die Auffassung vertreten, dass unsere menschlichen Verhaltensweisen und Persönlichkeitsmerkmale wesentlich durch Umwelt- und Erziehung bedingt seien. Dagegen steht auf der anderen Seite die Argumentation der erbbedingten Festlegung. Insbesondere bei der Diskussion von Intelligenz- oder Aggressionsverhalten stoßen diese Auffassungen, die hinsichtlich der alten **Erbe-Umwelt-Frage** von *nature or nurture* entweder die Erbanlagen (*nature*) oder den Umwelt- und Erziehungseinfluss (*nurture*) verteidigen, vehement aufeinander, obgleich die Frage des Entweder-oder für viele Verhaltensweisen bereits empirisch beantwortet werden konnte. Dabei zeigte sich: Verhaltensweisen sind, wie körperliche Eigenschaften, genetisch veranlagt, werden jedoch durch Lern- und Umwelteinflüsse angeregt, verändert oder unterdrückt.

Bevor wir uns dem Feld der **Verhaltensgenetik** (*behavior genetics*) zuwenden, die die Methoden der Genetik mit denen der Psychologie zum Studium der Vererbbarkeit von Verhaltensweisen kombiniert, werden im nächsten Abschnitt einige Grundlagen der Vererbung besprochen.

2.4.1 Genetische Grundlagen

Wie zumeist bekannt, wurden die ersten Grundprinzipien der Vererbung von dem Augustinermönch Gregor Mendel (1822–1884) zeitgleich mit, aber unabhängig von Darwins Abstammungslehre entdeckt. Mendel verwendete für seine Kreuzungsexperimente Erbsenpflanzen, die sich durch dichotome (gegensätzliche) Merkmale unterschieden (zum Beispiel weiße oder braune Samen). Mendel stellte dabei fest: Wenn man reinerbige weiße und reinerbige braune Pflanzen miteinander kreuzt (Eltern- oder **Parentalgeneration**), haben die daraus hervorgehenden Nachkommen (erste Tochter- oder **Filialgeneration**) sämtlich braune Samen. Als Mendel dann die Nachkommen dieser ersten Filialgeneration (F1) untereinander kreuzte, sah er, dass stets etwa 3/4 dieser zweiten Filialgeneration (F2) braune Sa-

men und rund 1/4 weiße Samen hervorbrachten. Das Merkmal, das bei allen Nachkommen der F1-Generation auftrat, bezeichnete er als **dominant**, das andere, das auch in der F2-Generation nur bei einem 1/4 der Nachkommen auftrat, als **rezessiv** (unterlegen). Beim Menschen finden wir das gleiche Vererbungsmuster (Abb. 2.7) für reinerbige Linien braunäugiger (dominant) und blauäugiger (rezessiv) Individuen.

Wie bereits Mendel annahm, besitzt jedes Individuum für jedes dichotome Merkmal (mit nur zwei Ausprägungen) zwei Erbfaktoren. Sie werden heute allgemein als **Gene** (von lateinisch *genere* „erzeugen") bezeichnet. Sie bilden die kleinsten Erbinformationseinheiten. Die zwei für die Ausprägung eines Merkmals (zum Beispiel Samen- oder Augenfarbe) verantwortlichen Gene heißen **Allele**. Jedes Gen eines solchen Genpaares (also jedes Allel) kann nun entweder dominant oder rezessiv sein. Sind beide Gene (Allele) eines solchen Paares in dieser Hinsicht gleichartig (also entweder beide dominant oder beide rezessiv) für das bestimmte Merkmal (Augenfarbe), so wird der Organismus als **homozygot** für dieses Merkmal bezeichnet, und die Merkmalsausprägung des Organismus entspricht dem genetischen Merkmal. Ist jedoch ein Gen dominant, das andere rezessiv, bestimmt nur das dominante Gen die Merkmalsausprägung des Organismus. Solche Organismen werden als **heterozygot** bezeichnet. In unseren Beispielen kommt also die braune (dominante) Farbe in der F1-Generation dadurch zustande, dass die Individuen je ein Allel von dem einen Elternteil (braun) und je ein Allel von dem anderen Elternteil (weiß) besitzen, also heterozygot sind. In der F2-Generation resultieren dagegen Nachkommen, von denen 1/4 wieder homozygot für „braun" sind und 1/4 homozygot für „weiß". 2/4 der Nachkommen haben jedoch wieder unterschiedliche Allele – ihr **Genotyp** ist heterozygot –, wobei das dominante Gen (braun) die äußere Ausprägung des Merkmals, den **Phänotyp** (braun), bestimmt, der äußerlich nicht (sondern nur durch weitere Kreuzung) von den homozygoten „braunen" Individuen zu unterscheiden ist.

Entsprechend kann ein blauäugiges Kind entweder zwei auch blauäugige Eltern oder einen blauäugigen und einen braunäugigen Elternteil (der das rezessive Gen für braune Augen trägt) haben oder zwei braunäugige (heterozygote) Eltern, die beide ein rezessives Gen für Blauäugigkeit tragen. Dagegen kann ein braunäugiges Kind niemals zwei blauäugige Elternteile haben (Abb. 2.27).

Wenngleich diese auf Mendel zurückgehenden Entdeckungen – die **Mendelschen Gesetze** – die Grundprinzipien auch der menschlichen Vererbung darstellen, so zeigte sich bei weiteren Untersuchungen, dass nicht alle Genpaare dem einfachen dominant-rezessiven Vererbungsmuster folgen und dass der größte Teil der menschlichen Eigenschaften und Merkmale nicht nur von einem einzigen Gen, sondern **polygen**, das heißt von einer größeren Zahl verschiedener Gene, bestimmt wird, und dass andererseits ein und dasselbe Genpaar **pleiotrop** für verschiedene Merkmale gleichzeitig verantwortlich sein kann.

Wie wir seit den bahnbrechenden Erkenntnissen des amerikanischen Genetikers Walter Sutton (1903) wissen, liegen die zunächst hypothetisch angenommenen Gene (Merkmalsfaktoren) als Molekularstrukturen verschlüsselt auf den **Chromosomen**,

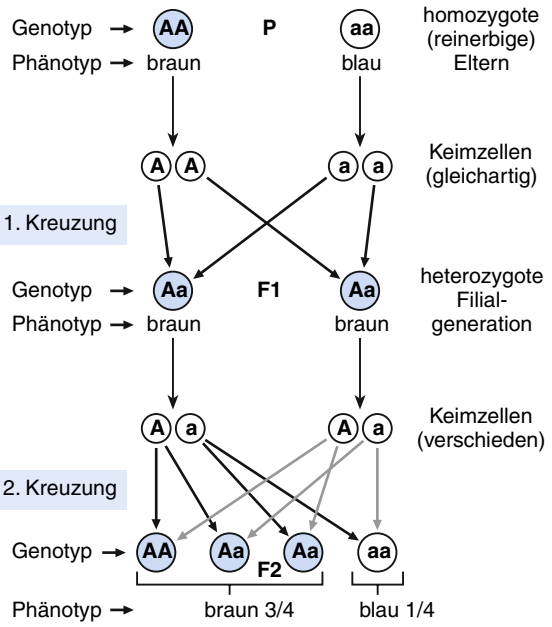


Abb. 2.27 Die Mendelsche Vererbung und Genverteilung bei reinerbigen Ausgangsindividuen. Ein Elternteil besitzt zwei dominante Allele (AA) für braune Augen, der andere zwei rezessive Allele (aa) für blaue Augen. Aus der ersten Kreuzung resultieren ausschließlich Individuen mit einem dominanten Allel (braune Augen) und einem rezessiven (blaue Augen). Folglich haben alle Individuen der F1-Generation braune Augen. Aus der Kreuzung dieser F1-Generation untereinander resultieren bei genügend großer Anzahl 25 % Nachkommen mit zwei dominanten Allelen für braune Augen (AA), 50 % mit einem dominanten und einem rezessiven Allel (Aa) und 25 % mit zwei rezessiven Allelen für blaue Augenfarbe (aa). Auf diese Weise finden sich in der F2-Generation wieder (zu je 25 %) homozygot reinerbige AA- und aa-Individuen

fadenförmigen Strukturen im Zellkern (*nucleus*) jeder einzelnen Körperzelle. Hier liegen die Chromosomen jeweils paarweise vor – als doppelter oder **diploider Chromosomensatz**. Der gesamte Chromosomensatz ist bei den verschiedenen Tierarten unterschiedlich groß. Beim Menschen beträgt die Anzahl 46 Chromosomen, von denen wir bei der Konzeption 23 Chromosomen aus dem väterlichen Samen (Spermien) und 23 Chromosomen aus der mütterlichen Eizelle (Ovum) erhalten. Diese 46 Chromosomen bilden 23 Paare, die sich bei jeder Zellteilung des wachsenden Organismus identisch verdoppeln. Diese normale Zellteilung einer Körperzelle wird als **Mitose** bezeichnet, die Verdoppelung als **identische Reduplikation**. Bei der Reduktionsteilung (**Meiose**), – das ist die Zellteilung, aus der die **Keimzellen** (Eizellen oder Spermien) hervorgehen, teilen sich dagegen die Chromosomenpaare so auf, dass jede Keimzelle nur den halben Chromosomensatz erhält, sie ist also **haploid**. Bei der Befruchtung, bei der Spermium und Eizelle und damit auch ihre Kerne verschmelzen, werden beide haploiden Sätze wieder zu einem neuen diploiden Chromosomensatz des neuen Individuums zusammengefügt.

Mitose

Mitose ist die der Zellteilung vorausgehende Zellkernteilung, bei der jede Tochterzelle den vollständigen (diploiden) Chromosomensatz erhält.

Meiose

Meiose ist die der Keimzellbildung vorausgehende Zellkernteilung, bei der der übliche (diploide) Chromosomensatz zum halbierten (haploiden) Chromosomensatz reduziert wird.

Somit ist die Meiose für einen wesentlichen Teil der genetischen Vielfalt oder **Diversität** innerhalb einer Art verantwortlich. In der Regel würden so jedoch alle Gene, die auf einem Chromosom liegen, gemeinsam vererbt, was als **Genkopplung** bezeichnet wird. Bei Untersuchungen an der Fruchtfliege (*Drosophila*) fanden Morgan et al. (1915) aber, dass sich bei der Meiose bisweilen gleichartige Chromosomen überkreuzen, abbrechen und die Bruchstücke am jeweils anderen Chromosom anlegen, sodass durch diesen als **Crossing-over** bezeichneten Vorgang die Genkopplung zum Teil aufgehoben und damit mehr Diversität ermöglicht wird.

Derzeit wird in dem internationalen Humangenomprojekt (Human Genome Project, HPG), einem losen Verbund verschiedener Forschungsinstitute, an der Erstellung einer detaillierten Karte aller menschlichen Chromosomen gearbeitet, um die schätzungsweise 200.000 Gene des menschlichen Genoms zu identifizieren, was nach Presseberichten inzwischen offenbar auch gelungen ist.

Geschlechtsgebundene Gene

Unter den 23 Chromosomenpaaren, die der Mensch in jeder Körperzelle trägt, befindet sich ein Paar, das nicht wie die anderen Paare gleichartige Paarlinge aufweist, sondern aus zwei schon unter dem Mikroskop deutlich unterschiedlichen Chromosomen besteht: einem so genannten **X-Chromosom** und einem kleineren **Y-Chromosom**. Da sie in ihrer Kombination das Geschlecht des jeweiligen Individuums bestimmen, werden sie als **Geschlechtschromosomen** bezeichnet. Weibliche Individuen besitzen zwei X-Chromosomen (XX), männliche dagegen ein X- und ein Y-Chromosom (XY). Merkmale, deren Gene auf diesen Chromosomen lokalisiert sind, werden als **geschlechtsgebundene Merkmale** bezeichnet, denn sie treten typischerweise nur bei dem einen oder anderen Geschlecht auf. Bei der Meiose, also bei der Zellteilung, die zur Bildung der (haploiden) Keimzellen führt, werden die Paarlinge so aufgeteilt, dass alle Eizellen jeweils ein X-Chromosom erhalten, die Spermien dagegen unterschiedlich ausgestattet werden: entweder nur mit einem X- oder nur mit einem Y-Chromosom (Abb. 2.28). Bei der Befruchtung entstehen dann wieder diploide Chromosomensätze, also entweder Individuen mit einem XX-Paar (weiblich) oder einem XY-Paar (männlich).

Ein wesentlicher Unterschied zwischen X- und Y-Chromosomen liegt darin, dass praktisch alle geschlechtsgebundenen Merkmale von Genen auf dem X-Chromosom kontrolliert werden, wobei die Gene dominant oder rezessiv sein können. Das Y-Chromosom trägt dagegen nur wenige, darunter die für die männlichen Geschlechtsmerkmale dominanten Gene. Das führt unter anderem dazu, dass bei männlichen Individuen die meisten rezessiven Merkmale, deren Gene auf dem X-Chromosom (das von der Mutter stammt) liegen, zur Ausprägung kommen, da sie nicht von entsprechenden dominanten Genen unterdrückt werden, wie das bei den weiblichen Individuen der Fall ist. Das klassische Beispiel hierfür bildet das rezessiv geschlechtsgebundene Merkmal der *Farbenblindheit*. Frauen sind fast nie farbenblind, da sie dafür sowohl vom Vater als auch von der farbblinden Mutter das rezessive Gen für Farbenblindheit geerbt haben müssten. Dagegen leidet jeder Mann, der dieses Gen mit dem X-Chromosom von seiner Mutter erhält, an Farbenblindheit.

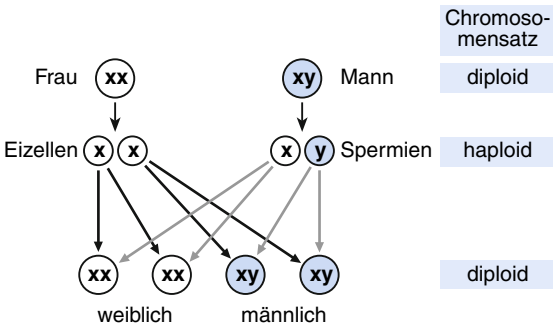


Abb. 2.28 Vererbung geschlechtsgebundener Merkmale. Bei der Reifeteilung (Meiose) erhalten die Eizellen alle in gleicher Weise ein X-Chromosom, während die Spermien nur zur Hälfte X-Chromosomen und zur Hälfte Y-Chromosomen tragen. Alle Eizellen, die von einem Spermium mit einem Y-Chromosom befruchtet werden, entwickeln sich zu männlichen Individuen

2.4.2 Chromosomenbau und Molekulargenetik

Der molekulare Aufbau der Chromosomen soll im Folgenden kurz umrissen werden, da die molekulargenetischen Prozesse heute auch zur Erklärung kognitiver Fähigkeiten und insbesondere der Langzeitgedächtnisspeicherung herangezogen werden.

Jedes Chromosom setzt sich zusammen aus einer Vielzahl von aneinandergereihten Genen, die die kleinsten Erbinformationseinheiten darstellen. Dabei wird ein Gen repräsentiert durch ein kleines Segment eines lang gestreckten, kettenförmigen, doppelsträngigen Desoxyribonucleinsäure-Moleküls, **DNS-Molekül** (oder geläufiger: **DNA,** für: *nucleic acid*), welches den eigentlichen Träger der genetischen Information darstellt. Die beiden DNA-Stränge sind schrauben- oder spiralförmig wie eine Schnecke oder **Helix** umeinander gewunden (Abb. 2.29). Sie sehen im Prinzip aus wie eine in sich verdrehte Leiter. Jeder DNA-Strang besteht in gleicher Weise aus einer Kette von Phosphatresten und einem einfachen Zucker (Desoxyribose) sowie (im Wesentlichen) vier Nucleotidbasen: Adenin, Guanin, Thymin und Cytosin (A, G, T, C), die gewissermaßen die „Leitersprossen" bilden. In der Sequenz dieser Basen, die in unterschiedlichster Reihenfolge auftreten können, ist nun der **genetische Code** verschlüsselt, ähnlich wie in einer Buchstabenfolge die Wortbedeutung.

Die Tatsache, dass die Nucleotidbasen in jeder beliebigen Abfolge auf dem DNA-Strang auftreten können, macht es möglich, dass hierin die verschiedensten genetischen Informationen

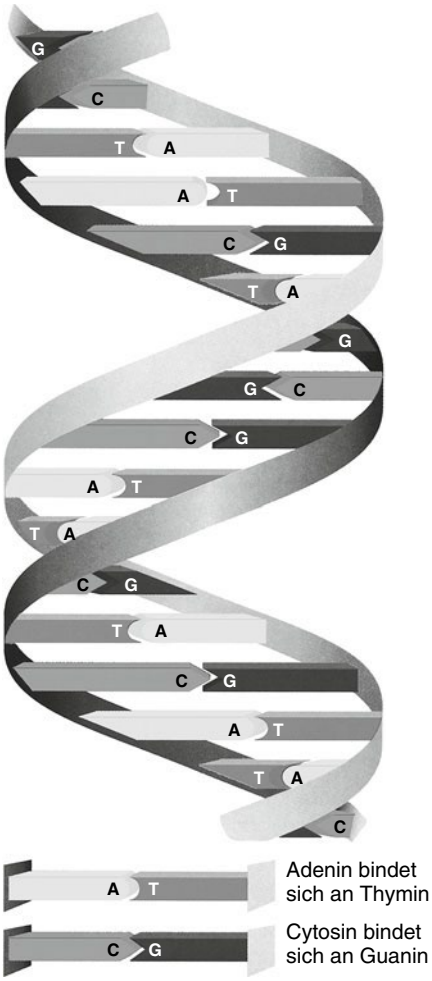


Abb. 2.29 Die DNA-Doppelhelix mit den komplementären Nucleotidbasen, die die Erbinformation codieren. (Pinel 1997, S. 38, Abb. 2.17)



Abb. 2.30 DNA-Replikation. Bei der Zellteilung teilen sich auch die DNA-Moleküle der Länge nach in zwei Stränge, sodass die Basensequenz der DNA in gleicher Weise auch in beide Tochterzellen gelangt, wo jeweils die andere Hälfte des DNA-Moleküls nach Maßgabe der vorhandenen Hälfte durch komplementäre Basenanteile aus dem Cytoplasma ergänzt wird, sodass zwei mit dem Original identische doppelsträngige DNA-Moleküle entstehen. (Pinel 1997, S. 39, Abb. 2.19)

ausgedrückt werden können. Ähnlich wie bei jeder digitalen Datenübertragung, die mit zwei Zeichen (0 und 1; ▶ Exkurs 5.1) auskommt, spezifizieren die gleichen vier Basen je nach ihrer Sequenz die Eigenschaften und Merkmale eines jeden lebenden Organismus; sie bestimmen, ob sich ein Hund, ein Vogel oder ein ganz bestimmter gesunder Mensch entwickelt. Vielleicht erstaunlich zu wissen, dass wir Menschen etwa 96 % unserer DNA-Sequenzen mit den Schimpansen gemeinsam haben (Mikkelsen et al. 2005), und mit jedem anderen Menschen sind es sogar 99,9 % (Plomin und Crabbe 2000).

Bedingt durch die molekularstrukturellen Eigenheiten dieser Nucleotidbasen paart sich A jeweils nur mit T und G nur mit C (Abb. 2.29). Das hat insofern wieder weit reichende Folgen, als dadurch die beiden DNA-Stränge eines jeden Chromosoms exakte Gegenbilder voneinander sind. Sie sind **komplementär**. Dadurch wird nun wiederum gewährleistet, dass bei der normalen Zellteilung von Körperzellen, der Mitose, immer wieder zwei neue, identische Chromosomen mit identischen DNA-Ketten gebildet werden können (Abb. 2.30).

Bei dieser Selbstverdoppelung (Reduplikation) trennen sich die beiden Stränge des ursprünglichen DNA-Moleküls des Zellkerns voneinander, und an die nun frei gewordenen Enden der Nucleotidbasen der beiden Einzelstränge binden sich freie, jeweils komplementäre Basen, die im Zellplasma vorhanden sind, bis schließlich zwei doppelsträngige DNA-Moleküle entstanden sind, die beide mit dem Original identisch sind und die gleiche genetische Information enthalten.

Obgleich alle Zellen des Körpers die gleichen Gene tragen, erklärt sich der unterschiedliche Aufbau verschiedener Zellen dadurch, dass jeweils nur ganz spezifische Gene (nur etwa 5–10 % aller vorhandenen Gene) in einer bestimmten Zelle aktiv werden. So werden im Laufe der embryonalen und späteren Entwicklung des Organismus jeweils bestimmte Gene „angeschaltet", andere dagegen aktiv ausgestellt. So werden beispielsweise bei der Bildung einer Nervenzelle nur ganz bestimmte Gene (die für die Bildung von Nervenzellen verantwortlich sind) aktiv, andere dagegen nicht, wobei der Aufbau der Zelle in einem komplexen Prozess des An- und Ausschaltens dieser **Strukturgene** erfolgt.

Dieser Prozess wird (zumindest bei Bakterien) durch **Operatorgene** gesteuert. Sie bestimmen, wann und wo die in der überwiegenden Mehrzahl vorhandenen Strukturgene aktiv werden. Die Strukturgene enthalten die Information für die Synthese der molekularen Bausteine der Zellen oder, genauer, für die Synthese je eines bestimmten **Proteins** (Eiweißkörpers). Proteine, die aus langen Aminosäureketten bestehen, sind die Bausteine der Zellen und verantwortlich für ihre physiologischen Funktionen. So geht die Ausbildung einer spezifischen Zelle – einer Drüsenzelle oder Nervenzelle – auf die aktivierte Information der jeweils selektiv

aktivierten zuständigen Strukturgene zurück, die auch in allen anderen Körperzellen enthalten sind, aber dort nicht aktiviert werden.

Die notwendige Aktivierung eines Strukturgens durch ein Operatorgen wird als **Genexpression** bezeichnet. Bei diesem Vorgang öffnet sich die doppelsträngige DNA-Kette und gibt die Basensequenz als Kopiervorlage frei, an der sich nun ein neuer komplementärer Strang bildet, der aus **Ribonucleinsäure** (**RNS** beziehungsweise **RNA**) besteht. Diese ist ähnlich wie die DNA aufgebaut, enthält aber statt der Desoxyribose den Zucker Ribose (und statt der Base Thymin die Base Uracil). Dieser neu gebildete komplementäre RNA-Strang, der die transkribierte (übertragene) genetische Information aus dem Zellkern in das Cytoplasma der Zelle trägt, wird daher als **Messenger-RNA** (**mRNA**) oder **Boten-RNA** bezeichnet.

Diese mRNA wandert dann zu den im Cytoplasma liegenden Ribosomen (Zellorganellen), an welchen die Proteinsynthese erfolgt. Hier werden nun die Aminosäurereste (wie aus ◘ Abb. 8.39 ersichtlich) mittels der ebenfalls schraubigen **Transfer-RNA** (**tRNA**) gemäß ihrem Code an die Boten-RNA angelagert und untereinander zu einem kettenförmigen Proteinmolekül verbunden. Auf diese Weise bestimmt also zunächst die vorgegebene Basensequenz auf der DNA die Struktur und Basensequenz der RNA, was als **Transkription** bezeichnet wird. Diese RNA bestimmt dann in einem weiteren Schritt die Struktur des Proteins, welches neu synthetisiert wird, was als **Translation** bezeichnet wird.

Die Entdeckung dieser molekulargenetischen Prozesse der Informationsverschlüsselung und Informationsweitergabe einerseits hat zusammen mit der Erkenntnis andererseits, dass auch psychische Eigenschaften genetischen Einflüssen unterliegen, ein höchst aufschlussreiches, aber auch ethisch problematisches Forschungsfeld, nämlich das der **Genmanipulation**, erschlossen.

2.4.3 Vererbung, Umwelt und Verhaltensgenetik

Wie bereits erwähnt, sind die meisten menschlichen Merkmale und psychischen Eigenschaften polygen bestimmt – und nicht nur von einem einzelnen Gen oder Genpaar. Wesentliche Wesenszüge des Menschen, wie Intelligenz, Emotionalität oder auch die Körpergröße, sind nicht dichotom verteilte Merkmale, wie weiße oder braune Erbsensamen. Die meisten Menschen sind nicht entweder völlig unbegabt (dumm) oder extrem hochbegabt. Vielmehr verteilen sich die Intelligenz- und Fähigkeitsgrade über einen weiten Bereich, wobei die meisten Individuen einen mittleren (durchschnittlichen) Grad aufweisen. Wenngleich auch in manchen Fällen ein spezifischer einzelner Gendefekt zu einer intellektuellen oder körperlichen Retardierung führen kann, sind doch die meisten intellektuellen Möglichkeiten bei Menschen von einer Vielzahl von Genen abhängig, die die verschiedenen Voraussetzungen unterschiedlicher Begabungen beeinflussen. Aber ob und wie sich diese genetischen Veranlagungen schließlich entwickeln und entfalten, hängt einerseits – wie bei allen Genwirkungen – davon ab, inwieweit die polygenen DNA-Informationen über die Transkription und Translation bis hin zur Genexpression sich im Individuum realisieren (wobei auch hier Umweltfaktoren im Spiel sind), andererseits aber hängt insbesondere die psychische und geistige Entwicklung auch maßgeblich von den jeweiligen Umwelteinflüssen ab, denen der werdende Organismus in den einzelnen Entwicklungsphasen ausgesetzt ist. Wir werden darauf an verschiedenen Stellen zurückkommen (Zwillingsforschung, sensible Perioden der Wahrnehmungsentwicklung, soziale Deprivation, Motivation, Fettleibigkeit). Die Bedeutung und Reichweite der Erbe-Umwelt-Frage wird in ▶ Exkurs 2.10 eingehender diskutiert.

Genetisches Potenzial

Wissenschaftler nehmen an, dass wir nur etwa 10 % der Gene, die wir erben, im Laufe unseres Lebens irgendwann tatsächlich gebrauchen. Die restliche ungenutzte genetische Information, die sich im Laufe der Evolution angesammelt hat, ruht wie ein verborgenes Potenzial und ist zur Investition bereit für Fälle, in denen sich unsere normalerweise relativ gleich bleibende Umwelt drastisch verändern würde. In einem solchen Fall würden sich nur die Individuen anpassen können, die über die nötige genetische Ausstattung verfügen und diese ihren Nachkommen vererben (Hofer 1981). Während Tiere auf einer niederen phylogenetischen Entwicklungsstufe weitgehend nur über starre stereotype Verhaltensmuster (*angeborene Auslösemechanismen*, AAM) verfügen, finden sich bei höher stehenden Arten flexiblere und durch Erfahrung veränderbare Verhaltensmuster. Beim Menschen scheint schließlich eine fast grenzenlose Vielfalt von Verhaltensweisen möglich. Hier ist das verborgene Potenzial der genetischen *Prädispositionen* so groß, dass sich im individuellen Leben in der Interaktion mit den spezifischen jeweiligen physischen, psychischen, sozialen und kulturellen Umwelten nur ein ganz bestimmter, relativ kleiner Teil entfalten kann, beispielsweise die Fähigkeit, überhaupt eine Sprache (ob Fremd- oder Muttersprache) zu sprechen oder ein Musikinstrument zu spielen.

Bereits bei der Keimesentwicklung des werdenden menschlichen Organismus wirken Faktoren der Zellumgebung auf die Ausgestaltung der einzelnen Zellen, wie dies von dem Zoologen Spemann (1936) in den seinerzeit bahnbrechenden Experimenten an Molchembryonen aufgezeigt wurde (▶ Exkurs 2.11) und in der umstrittenen gegenwärtigen Forschung an Stammzellen sowie der kommerziellen Biotechnologie praktiziert wird (Gage 2003).

Auf dem Weg der aufgezeigten vielen Schritte von der Übertragung der Geninformation über die Bildung der Eiweißmoleküle bis hin zum funktionsfähigen Organ oder einer Verhaltensweise beeinflussen Umwelteinflüsse das Geschehen. So können bekanntermaßen während der embryonalen Entwicklung im Mutterleib Umwelteinflüsse wie Unterernährung, radioaktive Strahlung oder verschiedenste Drogen oder Medikamente die normale Organentwicklung behindern, beschleunigen oder verändern. Ein berühmtes Beispiel ist das Beruhigungsmittel Thalidomid (Contergan), das zur Fehlentwicklung (Stummelbildung) von Armen und Beinen führt. Alkoholkonsum während der Schwangerschaft ist eine häufig unterschätzte Ursache einer spezifischen geistigen Retardierung.

Exkurs 2.10

Genauer betrachtet: Erbe und Umwelt

Wenige Thematiken der Psychologie sind so vehement und leidenschaftlich diskutiert worden, haben so viele Emotionen aufgewühlt und so gravierende politische Implikationen und Konsequenzen wie die Erbe-Umwelt-Kontroverse über die relative Bedeutung von Vererbung und umweltbedingten Lernerfahrungen in der menschlichen Entwicklung. Insofern streifen wir hier auch einen Themenbereich, der wesentlich in das Gebiet der *Entwicklungspsychologie* gehört, wo er ausführlicher diskutiert wird als in unserer Allgemeinen Psychologie. Die Erbe-Umwelt-Debatte betrifft unmittelbar die sozialpolitischen Aspekte von Erziehung und Bildung sowie die soziale Organisation unserer Gesellschaft.

Wenn wir davon ausgehen, dass wir unsere unterschiedlichen geistigen und psychischen Fähigkeiten vor allem der Vererbung zu verdanken haben und dass unser Erfolg im Leben sich wesentlich auf diesen ererbten Fähigkeiten gründet, dann liegt es nahe – wie in der Tradition des Sozialdarwinismus –, die sozialen Unterschiede und insbesondere die soziale Benachteiligung mit genetischen Veranlagungen zu rechtfertigen. Solche Auffassungen können und haben in der Geschichte unter anderem zu verhängnisvollen Rassenvorurteilen geführt – mit schwerwiegenden Folgen.

Wenn aber auf der anderen Seite unsere mentalen und geistigen Fähigkeiten vor allem das Ergebnis unserer Umwelt, das heißt unserer *Erziehung* und *Ausbildung*, sind, wie vom frühen Behaviorismus vermutet oder behauptet, käme diesen Faktoren eine überragende Bedeutung zu, und sozial Benachteiligte hätten von vornherein ein benachteiligtes Leben zu erwarten. In diesem Falle käme der Schaffung und Bereitstellung von Aus- und Fortbildungsmöglichkeiten eine förderliche Bedeutung zu. Dieses Thema wird insbesondere im Zusammenhang mit dem Lernen wieder aufgegriffen. Auch heute ist die kontroverse Erbe-Umwelt-Diskussion in vielen Bereichen noch nicht abgeschlossen, so zum Beispiel auf wissenschaftlicher Ebene in den Bereichen des Spracherwerbs und der Intelligenzentwicklung. Doch liegt das Interesse hier mehr auf der Frage, wie die genetischen Anlagen einerseits und die Umwelteinflüsse andererseits in ihrer Interaktion zur optimalen Entwicklung beitragen, und weniger auf dem Ausmaß ihrer relativen Bedeutung.

Ob wir, wenn wir erwachsen sind, zum Beispiel eine bestimmte Sprache sprechen und verstehen können, ist nicht genetisch festgelegt, sondern vor allem durch die soziale Umwelt bedingt, in der wir aufwachsen. Wohl aber bedarf es einer genetischen Disposition, dass wir überhaupt zum Lernen von Sprache befähigt sind, was genetisch in vielfältiger Weise gestört sein kann. In der Regel sind wir genetisch jedoch dazu disponiert, dass wir Sprechen, Hören, Sehen und Lesen lernen können (▶ Kap. 3), doch ob wir diese Fähigkeiten tatsächlich ausbilden, hängt von verschiedenen Faktoren der Umwelt ab. Genetisch veranlagte Fähigkeiten können sich nur dann entwickeln beziehungsweise realisieren, wenn die Möglichkeit beziehungsweise der Anreiz dazu gegeben wird, wie der bekannte Fall des Kaspar Hauser verdeutlicht, der als Kind ausgesetzt, sozial völlig depriviert, keine Sprache ausbildete und, als er 1828 aufgefunden wurde, nicht sprechen konnte – dann aber bei seinen Pflegeeltern mühsam Sprache erlernte, dessen geistige Entwicklung aber eng begrenzt blieb.

Ein anderes Beispiel ist Louis Armstrong, von dem berichtet wird, dass er erst spät, aber nicht zu spät, in einem Besserungsheim, in das er verbracht worden war, nachdem er auf einen Polizisten geschossen hatte, eine Trompete in die Hände bekam. Das Musikinstrument ist für die Entwicklung zum Musiker eine notwendige Umweltbedingung, so wie die Veranlagung eine notwendige genetische Vorbedingung ist, aber jede für sich allein reicht nicht aus – die meisten von denen, die schon im Kindesalter eine Trompete bekommen, werden kein Louis Armstrong.

Exkurs 2.11

Genauer betrachtet: Begrenzte Prädisposition

Spemann verpflanzte operativ Embryonalgewebe in einem frühen Stadium der Entwicklung an eine andere Körperstelle und konnte zeigen, dass sich die Gewebezellen nun – bis zu einem bestimmten Alter – nicht ihrer Herkunft entsprechend, also *herkunftsgemäß*, sondern entsprechend der neuen Umgebung also *ortsgemäß*, entwickeln. Auf diese Weise wurden beispielsweise Zellen von der Bauchseite der Molchembryonen, die sich zu Bauchgewebe entwickelt hätten, nach der Transplantation in den Rückenbereich zu normalem Rückengewebe. Die embryonalen Zellen werden von dem lokal umgebenden Gewebe determiniert, andere Möglichkeiten ihres im Genom „verborgenen Potenzials" zu entfalten. Zu spät (nach einem kritischen Entwicklungszeitpunkt) transplantiertes Gewebe entwickelt sich dagegen nach der Transplantation *herkunftsgemäß* (also zu Bauchgewebe im Rückenbereich).

Nach dieser Erörterung der Bedeutung von Umweltfaktoren, deren Einfluss auf die tatsächliche Ausprägung von Merkmalen nicht unterschätzt werden darf, wenden wir uns nun erneut der Vererbbarkeit auch von psychischen Merkmalen zu.

Selektive Zuchtwahl

Wohl der erste Forscher, der nachweisen konnte, dass auch Verhaltensmerkmale wie **intellektuelle (kognitive) Fähigkeiten** weitgehend genetisch bedingt sind und dementsprechend im Tierexperiment durch *selektive Züchtung* herausgezüchtet werden können, war Tryon (1940).

Das Prinzip dieses Verfahrens liegt darin, dass jeweils die Tiere, die entweder eine hohe oder eine sehr niedrige Ausprägung eines Merkmals besitzen, miteinander gepaart werden. Tryon verwendete als Verhaltensmerkmal das damals viel untersuchte Labyrinth-Lernen von Ratten. Er trainierte zunächst eine große heterogene Gruppe von Laborratten darauf, in einem komplizierten Labyrinth den Weg zu einer Zielbox zu finden, in der sie mit Futter belohnt wurden. Die Verteilung der Fehleranzahl dieser Ursprungs- beziehungsweise Parentalgeneration (P) zeigt ◘ Abb. 2.31.

Aus dieser Population paarte er nun die, wie er sie nannte, „Labyrinth-intelligenten" Weibchen mit ebensolchen Männchen einerseits und andererseits die „Labyrinth-dummen" Männchen und Weibchen untereinander. Die aus diesen Paarungen hervorgegangenen Tiere wurden dann, nachdem sie unter gleichartigen Umweltbedingungen herangewachsen waren, in demselben Labyrinth getestet. Auch aus dieser F1-Generation wurden dann wieder nur die den Testergebnissen nach „Intelligentesten" untereinander gepaart und andererseits nur die „Labyrinth-Dümmsten" untereinander.

Diese selektive Zuchtwahl wurde über 21 Generationen weitergeführt. Wie ◘ Abb. 2.31 zeigt, gibt es bereits bei der siebten

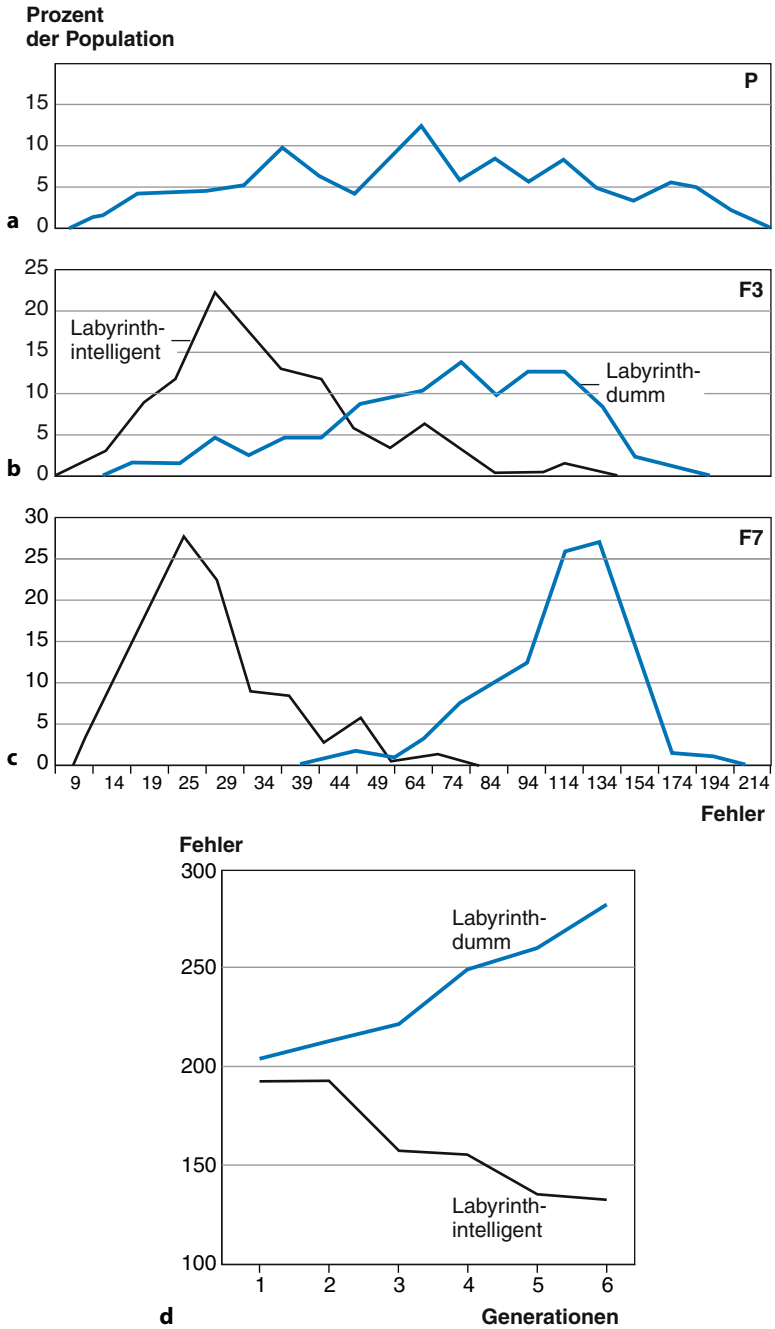


Abb. 2.31 Selektive Zucht von „Labyrinth-intelligenten" (*bright*) und „Labyrinth-dummen" (*dull*) Rattenstämmen. P: parental- (Eltern-) Generation, F3, F7: dritte, siebte Filial- (Kinder-) Generation. (Nach Tryon 1940)

Generation kaum noch eine Überschneidung in den Fehleranzahlen zwischen den herausgezüchteten „Labyrinth-intelligenten" und den „Labyrinth-dummen" Tieren.

Um auszuschließen, dass die guten Leistungen durch Lernen von den Eltern (oder durch mütterliche Fürsorge) an ihre Jungen weitergegeben wurden, tauschte Tryon die Jungtiere aus, sodass die Jungtiere der „dummen" Eltern von den „intelligenten" Müttern aufgezogen wurden und umgekehrt. Aber auch unter diesen Bedingungen machten die genetisch „intelligenteren" wieder nur wenige Fehler (Abb. 2.31b unten).

Seit den klassischen Studien von Tryon wurde die Vererbbarkeit für eine ganze Reihe von Verhaltensmerkmalen mittels der selektiven Zuchtwahl nachgewiesen. Beispielsweise wurden Mäuse gezüchtet, für die Alkohol mehr, und andere, für die Alkohol weniger attraktiv war, Hunde, die leichter erregbar oder lethargisch waren, Hühner, die aggressiver und sexuell attraktiver waren, Ratten, die ein stärkeres oder schwächeres Vermeidungsverhalten zeigten, oder ein unterschiedlicher Schwanzschwertgebrauch bei dem Aquarienfisch *Xiphophorus* (Schwertfisch). So ist nach derzeitiger Auffassung der meisten Genetiker jedes messbare Verhalten, das innerhalb einer Art variiert, auch selektiv züchtbar. Wenn ein Verhaltensmerkmal sich jedoch unter selektiver Zuchtwahl nicht verändert, wird angenommen, dass es in seiner Ausprägung eher von Umweltfaktoren abhängig ist (Plomin 1986).

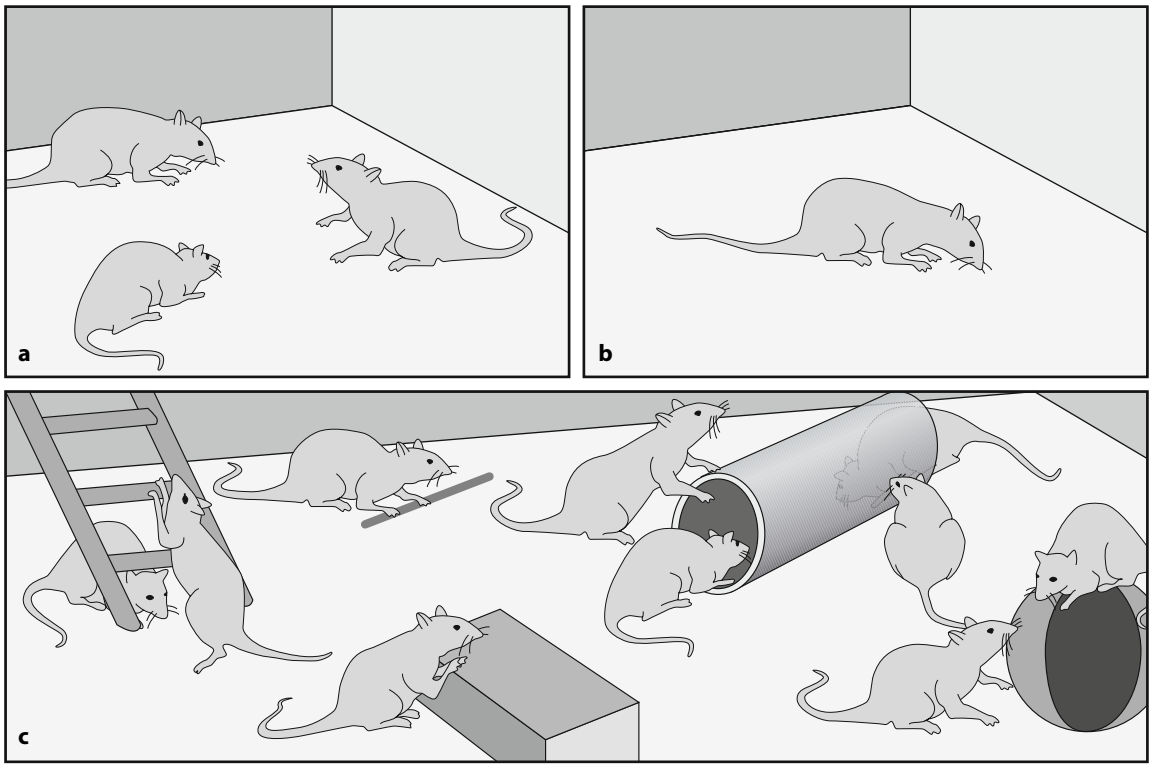


Abb. 2.32 Umgebungsvarianten bei Aufzucht und Haltung Labyrinth-intelligenter/-dummer Ratten. a Standard (nicht allein), **b** reizarme Umwelt (einzeln), **c** anregende (*enriched*) Umwelt. (Nach Rosenzweig et al. 1996)

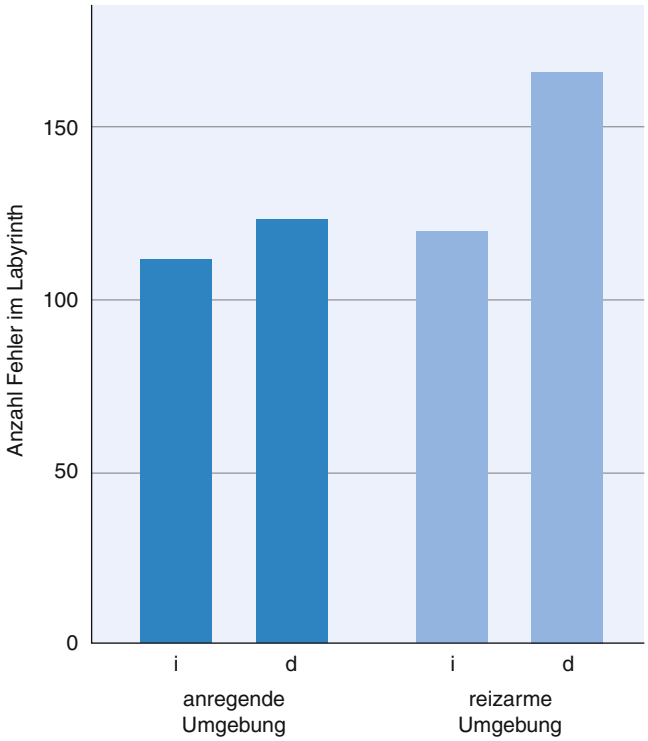


Abb. 2.33 Einfluss der Umweltbedingungen „anregend" und „reizarm" auf die Lernleistungen im Labyrinth-Test

Umweltfaktoren und Vererbung

Der Nachweis, dass Verhaltensweisen genetisch beeinflusst und verändert werden können, schließt den Einfluss von Umweltfaktoren keineswegs aus. Zieht man Labyrinth-intelligente und Labyrinth-dumme Ratten unter *unterschiedlichen* Umweltbedingungen auf, so zeigen sich später bei den herangewachsenen Tieren deutliche Unterschiede im Labyrinth-Test. Wurden die Ratten in einer reizarmen (*pure*) Umgebung (leerer reizarmer Aufzuchtkäfig; Abb. 2.32b)oder aber in einer abwechslungsreichen (*enriched environment*) Umgebung (Käfig mit Tunneln, Leitern, Rampen und Ähnlichem; Abb. 2.32c) aufgezogen, machten die Labyrinth-dummen Ratten nur dann signifikant mehr Fehler als die intelligenten, wenn sie in der reizarmen Umgebung aufgewachsen waren (Abb. 2.33).

Dagegen zeigten sich keine bedeutsamen Unterschiede zwischen beiden Stämmen, wenn die Jungtiere in der abwechslungsreichen Umgebung aufgewachsen waren (Cooper und Zubek 1958). Vergleicht man aber das neuronale Wachstum der Gehirnrinde bei den in unterschiedlichen Umgebungen aufgewachsenen Ratten, so konnten Bennett et al. (1964) nachweisen, dass die in der interessanter gestalteten Umgebung aufgezogenen Ratten eine dickere, stärkere Großhirnrinde ausgebildet hatten als die in reizarmer Umgebung aufgewachsenen (▶ Kap. 7). Weitere Beispiele der genetischen Abhängigkeit psychischer Eigenschaften finden sich in ▶ Exkurs 2.12

Die **Zwillingsforschung** liefert eine weitere Möglichkeit, den Einfluss genetischer Faktoren auf das Verhalten, insbesondere auch auf das menschliche Verhalten, zu untersuchen. Sie bietet

Exkurs 2.12

Genauer betrachtet: Genetische Einflüsse auf psychische Eigenschaften

Genetische Einflüsse wurden bei etlichen psychischen Eigenschaften und Verhaltensweisen festgestellt. Wir haben im Folgenden einige solcher Untersuchungsergebnisse zusammengestellt.

Alkoholkonsum/Alkoholismus
Kinder, auch wenn sie schon früh bei Adoptiveltern aufwachsen, haben dann eine größere Alkoholismusneigung, wenn ein oder beide Elternteile eine Alkoholismuskarriere hatten (Mirin und Weiss 1989).
Von Molekulargenetikern wurde ein Gen auf dem Chromosom 11 identifiziert, das sich häufiger bei Alkoholikern, speziell bei schweren Alkoholikern, findet als bei Nichtalkoholikern (Noble 1993). Andere Forscher konnten Ratten züchten, die im Wahlexperiment lieber Alkohol als Wasser tranken (Azar 1995; Goldman 1996).

Ängstlichkeit (*anxiety*)
Identische Zwillinge entwickelten oft gleichartige Phobien, auch wenn sie getrennt aufgewachsen waren (Carey 1990; Eckert et al. 1981). Die Wahrscheinlichkeit, an einer Angststörung zu erkranken, ist höher, wenn bereits ein erkranktes Geschwister ein identischer Zwilling ist (Kendler et al. 1992; Roy et al. 1995).

Fröhlichkeit (*happiness*)
Nach einer Untersuchung an 254 identischen und zweieiigen Zwillingen sind 50 % der Unterschiede zwischen den Fröhlichkeitsratings der untersuchten Zwillinge genetisch bedingt. Selbst identische Zwillinge, die getrennt aufwuchsen, erwiesen sich im Rating als gleich fröhlich (Lykken und Tellegen 1996).
Auch bei einigen anderen Temperamentsmerkmalen ist offenbar eine gute Voraussage von dem einen identischen Zwilling auf den anderen auch dann möglich, wenn beide in völlig verschiedenen Umgebungen aufwuchsen (Floderus-Myrhed et al. 1980).

Aggression
Aggressivität lässt sich bei verschiedenen Tierarten experimentell züchten (zum Beispiel bei Kampfstieren, Ratten, Fischen). Raine (1993) sowie Rushton et al. (1986) fanden in ihren Untersuchungen bei identischen Zwillingen eine größere Übereinstimmung in der Bereitschaft, Gewalttätigkeit zuzulassen, als bei zweieiigen Zwillingen.

Leseschwäche
Nach DeFries und Decker (1982) werden offenbar bestimmte Formen von Leseschwächen durch eine starke genetische Komponente mitbestimmt.

Motivation
Hunger und Durst und auch sexuelle Motivationen haben genetische Grundlagen (wie in ▶ Kap. 11 insbesondere am Beispiel der Fettleibigkeit deutlich wird).

sich hier auch deshalb an, weil Zuchtexperimente aus ethischen Gründen bei Menschen nicht durchführbar sind. Schon auf den ersten Blick scheinen Zwillinge sich nicht nur in ihrer Gestalt, sondern auch in ihrem Verhalten ähnlicher zu sein als Nicht-Zwillinge. Hier wie auch bei der in manchen Familien offensichtlich beobachtbaren „Vererbung" von zum Beispiel musikalischen oder mathematischen Fähigkeiten bleibt die Frage, ob die genetisch vererbte Anlage oder die elterliche Erziehung und Förderung für die Ausbildung der Verhaltensmerkmale (zum Beispiel Musikalität) verantwortlich beziehungsweise wichtiger ist.

Um die relativen Anteile von genetischen und umweltbedingten Faktoren auf die Ausbildung von Unterschieden bei psychischen Merkmalen zu erfassen, haben Psychologen und Verhaltensgenetiker Personen mit unterschiedlicher genetischer Ähnlichkeit, wie sie bei eineiigen- und zweieiigen Zwillingen vorliegt, untersucht.

Eineiige Zwillinge entwickeln sich aus einer einzigen befruchteten Eizelle (Zygote) und sind daher **genetisch identisch** (haben also auch stets das gleiche Geschlecht). Sie werden als **monozygot** oder auch als **identische Zwillinge** bezeichnet (◘ Abb. 2.34). **Zweieiige (dizygote) Zwillinge** entwickeln sich aus verschiedenen Eizellen und sind sich daher genetisch nicht ähnlicher als gewöhnliche Geschwister. Besonders informativ sind natürlich Studien an Zwillingen, die schon früh in der Kindheit durch Adoption getrennt oder gar in unterschiedlichen Kulturkreisen aufgewachsen sind, da sich hier erbbedingte und umweltbedingte Einflüsse eindeutiger abschätzen lassen. Studien dieser Art haben ergeben, dass eineiige Zwillinge einander ähnlicher sind als zweieiige, was Intelligenz (▶ Exkurs 2.13), aber auch einige Persönlichkeitsmerkmale oder Erbkrankheiten wie die Hämophilie (Bluterkrankheit) bis hin zu erblich beeinflussten psychischen Störungen wie Schizophrenie betrifft.

Auch die hohen Ähnlichkeitskorrelationen, wie sie bei eineiigen Zwillingen nachgewiesen wurden (▶ Exkurs 2.13), verdeutlichen einerseits, dass genetischen Faktoren ein beträchtlicher Einfluss auf die beobachtbaren IQ-Unterschiede zukommt. Sie machen andererseits auch deutlich, da sie wesentlich kleiner als r = 1.0 sind, dass auch Umwelt- und andere nicht genetische Faktoren einen wesentlichen Einfluss auf die Ausbildung der gemessenen Intelligenz haben.

Weiterhin ist festzuhalten, dass bei allen bislang durchgeführten Untersuchungen zur **selektiven Zuchtwahl** bei Tieren und in Zwillingsstudien beim Menschen keine psychologischen Merkmalsunterschiede gefunden wurden, für die nicht auch eine bedeutsame genetische Komponente nachweisbar war.

Kritisch hinterfragt

Kritisch anzumerken ist zu den aus der Minnesota-Zwillingsstudie stammenden Korrelationen (▶ Exkurs 2.13), dass der festgestellte Erblichkeitsgrad von 70 % stichprobenabhängig und die genetische Varianz ins Verhältnis zur Gesamtvarianz zu setzen ist, die in dieser Studie milieubedingt relativ niedrig war (die untersuchten Zwillinge wuchsen unter sehr ähnlichen Bedingungen in Industrieländern auf). Da der Wert, wie Bouchard et al. (1990) in ihrer Studie betonen, bei einer heterogenen Stichprobe daher erheblich niedriger ausgefallen wäre, lässt sich aus der Studie keineswegs schließen, dass der IQ auch zu 70 % erblich wäre. Der Umwelteinfluss ist in der homogenen Stichprobe eine gleichsam konstant gehaltene Einflussgröße, sodass der Einfluss von Veränderungen dieser Variablen gar nicht beobachtet wird. Daher dürfte die errechnete Korrelation bei einer Studie an einer heterogeneren Population durchaus wesentlich niedriger ausfallen.



Abb. 2.34 Die Ähnlichkeit eineiiger Zwillinge (monozygot) ist deutlich größer als die zweieiiger (dizygoter) Zwillinge

Abschließend lässt sich recht allgemein festhalten: Wenngleich unsere Kenntnisse im Einzelnen sicher noch unzureichend sind, geht die wissenschaftliche Forschung, wie sie sich in den gegenwärtigen Lehrbüchern repräsentiert, davon aus, dass das genetische Erbe die Möglichkeiten und Grenzen der Entwicklung festlegt. Menschen können nicht beliebig schnell schwimmen oder laufen, ihre Gedächtnisleistung und Rechengeschwindigkeit sind begrenzt und bei großen Zahlenmengen geringer als bei Computern. Auch der Spracherwerb ist wie andere Leistungen – wenngleich entscheidend auch von dem Training in den ersten Lebensjahren mitbestimmt – individuell genetisch vorgegeben. Inwieweit diese Potenziale individuell zur Ausprägung kommen, hängt dagegen wesentlich von Erfahrung, Übung und den Gelegenheiten ab, die die jeweilige Umwelt bietet.
Diese Auffassung, dass sowohl das Erbe als auch die Umwelt zur Entwicklung beitragen, wird in der Entwicklungspsychologie auch als Erbe-Umwelt-Interaktionismus bezeichnet (nicht zu verwechseln mit dem gleich lautenden Begriff Interaktionismus in der Persönlichkeitspsychologie) und stellt gewissermaßen die moderne Alternative zum Entweder-oder der alten Nativismus-Empirismus-Debatte dar, die wir im Zusammenhang mit der Wahrnehmung (angeboren – erlernt) in ► Abschn. 3.3 nochmals aufgreifen.

Zusammenfassung

All unser psychisches und kognitives Erleben und Handeln ist aufs engste verknüpft mit der Integration einer Vielzahl verschiedenster physiologischer Prozesse in unserem Körper, wobei dem Nervensystem für die Informationsübertragung und -verarbeitung eine besondere Bedeutung zukommt.

Die *Informations- oder Erregungsleitung* im Nervensystem ist ein elektrochemischer Prozess, der sich an den und in den Nervenzellen (Neuronen) abspielt. Unterschieden werden sensorische, motorische und Inter-Neurone.

Wird ein *Neuron* durch einen Reiz stimuliert, kommt es über eine lokale Depolarisation der Zellmembran bei Überschreitung eines jeweils bestimmten Schwellenwertes zur Auslösung eines Aktionspotenzials. Solche lösen an den Synapsen die Freisetzung von Neurotransmittersubstanzen aus, die in dem postsynaptischen Neuron zu EPSPs oder IPSPs führen, deren summative Verrechnung bei Überschreiten einer Auslöseschwelle zur Entstehung eines weitergeleiteten Aktionspotenzials führt (Nervenimpuls). Die chemischen Codierungssysteme an den Synapsen des neuronalen Netzwerkes sind äußerst komplex und werden an Beispielen einiger Neurotransmitter (Acetylcholin, Dopamin, Serotonin, Adrenalin, GABA sowie Opiaten und Endorphinen) erörtert.

Das *Nervensystem* der Wirbeltiere gliedert sich in das Zentralnervensystem (ZNS) und das periphere Nervensystem (PNS), mit unterschiedlichen afferenten und efferenten Bahnen. Auch das PNS besteht aus zwei Teilen, (1) dem somatischen (SN oder animalischen) und (2) dem autonomen (ANS oder vegetativen) Nervensystem. Letzteres umfasst zwei weitgehend antagonistisch zueinander arbeitende Untersysteme: (1) das sympathische und (2) das parasympathische Nervensystem.

Das *neuroendokrine System* (neuro- und innersekretorischen Hormondrüsen) bewirkt eine wesentlich langsamere und indirekte Steuerung und Kontrolle der Aktivität verschiedenster Bereiche und Organe des gesamten Körpers – einschließlich des Nervensystems. Es ist insofern auch in Teilen mitverantwortlich für unser psychisches Erleben (bei Stress, Übererregbarkeit, Sexualverhalten).

Eine der wichtigsten endokrinen Drüsen ist die Hirnanhangdrüse (Hypophyse), die als Teil des Gehirns zusammen mit dem Hypothalamus. eine zentrale Schaltstelle zwischen den Funktionen des Gehirns, dem autonomen Nervensystem und dem endokrinen System bildet. Neurosekretorische Zellen im Hypothalamus produzieren, angeregt durch Nervenimpulse, die sogenannten Freisetzungs- oder Releasing-Hormone.

Hierzu gehört das in der Hypophyse gebildete adrenocorticotrope Hormon (ACTH), das zusammen mit dem entsprechenden Releasing-Hormon, dem CRH, in das *Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-System* (kurz als HHN-System) eingebunden ist. Dies als funktionale „Achse" bezeichnete Regelkreissystem wird genauer besprochen.

Dargestellt wird die Struktur, Lage und phylogenetische Entwicklung der *Gehirnanteile,* nach der ältere und neuere Strukturen mit unterschiedlichen Funktionen unterschieden werden. Ausführlicher werden die spezialisierten Rindenfelder (*Cortex Areale*) betrachtet, motorischer Cortex, somatosensorischer Cortex, auditorischer Cortex, visueller Cortex, und die Assoziationsareale.

Untersuchungen an Patienten mit definierten Hirnschädigungen haben zu wichtigen Einsichten in die strukturellen Voraussetzungen des kognitiven und verbalen Lernens sowie des Bewusstseins geführt. So reagieren Split-Brain-Patienten (im Test), als hätten sie zwei unabhängige Gehirne mit eigenem Bewusstsein, eigenen Erinnerungen, Fähigkeiten und auch eigenen Emotionen. *Cerebrale Lateralisation* bezeichnet die unterschiedliche Funktion beider Hirnhemisphären. Die linke hat vor allem die sprachlichen Fähigkeiten und kann kompli-

Exkurs 2.13

Genauer betrachtet: IQ-Werte bei Zwillingen

Zahlreiche Untersuchungen sind der Frage nachgegangen, ob Personen, die die gleichen Erbanlagen tragen, auch annähernd gleiche geistig-mentale Fähigkeiten haben. Wie die Ergebniszusammenstellung aus gängigen wissenschaftlichen Korrelationsstudien zum Intelligenzquotienten (nach McGue et al. 1993) erkennen lässt (Abb. 2.35), scheint dies durchaus der Fall zu sein. Aufgrund solcher Studien ergab sich: Die IQ-Werte (Intelligenzquotient, Testwert) von identischen Zwillingen, die zusammen aufgewachsen waren, glichen einander nicht weniger, sondern mehr als die IQ-Testwerte ein undderselben Person, die den gleichen Test zweimal absolvierte – die Korrelation bei identischen Zwillingen lag bei r = 0.85.

Dagegen sind die IQ-Testwerte von zweieiigen Zwillingen (die nur die Hälfte der Gene gemeinsam haben) weit weniger ähnlich (bei etwa r = 0.6), während die Korrelation der IQ-Werte bei nicht verwandten, aber zusammen aufgewachsenen Personen bei knapp über r = 0.3 liegt. Selbst bei identischen Zwillingen, die von ihren Eltern nicht in identischer Weise gekleidet oder behandelt wurden, gleichen sich die IQ-Werte zum Verwechseln (Loehlin und Nichols 1976).

Die umfassendste und am sorgfältigsten ausgeführte Zwillingsstudie ist die Minnesota-Zwillingsstudie (Bouchard et al. 1990; Bouchard 1994.), bei der 59 monozygote und 47 dizygote, getrennt aufgewachsene Zwillinge sowie viele gemeinsam aufgewachsene monozygote und dizygote Zwillinge im Alter zwischen 19 und 68 Jahren an der Universität von Minnesota untersucht wurden (je Person circa 50 h lang). Grundlegend zeigte auch diese Studie, dass eineiige Zwillinge sowohl in ihrer Intelligenz als auch in ihren Persönlichkeitsmerkmalen besonders ähnlich sind. Dabei erwiesen sich die auf Umweltfaktoren zurückgehenden Unterschiede als recht niedrig.

Wie Abb. 2.36 zeigt, lag zum Beispiel die mittlere Korrelation zwischen den IQs beim Wechsler-Intelligenztest (gängiges psychologisches Testverfahren) für Erwachsene bei gemeinsam aufgewachsenen monozygoten Zwillingen bei r = 0.85 und bei getrennt aufgewachsenen bei r = 0.70.

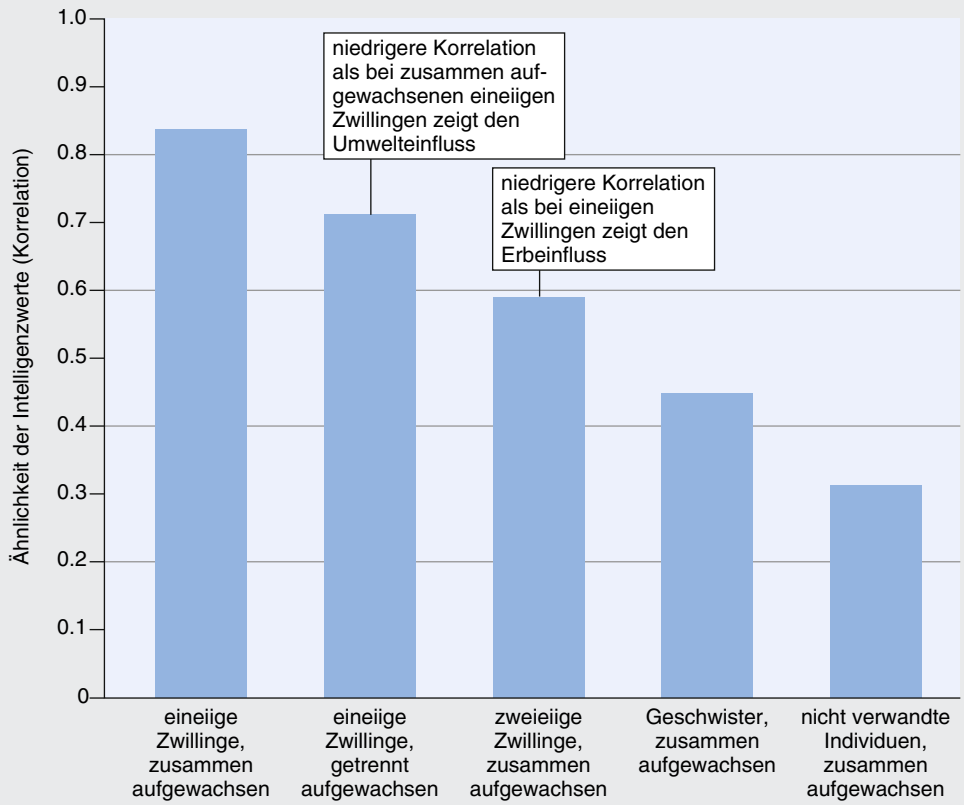


Abb. 2.35 Korrelationen der Intelligenzmaße bei verschiedenartigen Zwillingen. Bei Personen mit größter genetischer Ähnlichkeit findet sich auch die größte Übereinstimmung in den Intelligenzmaßen. (Nach McGue et al. 1993)

Exkurs 2.13 (*Fortsetzung*)

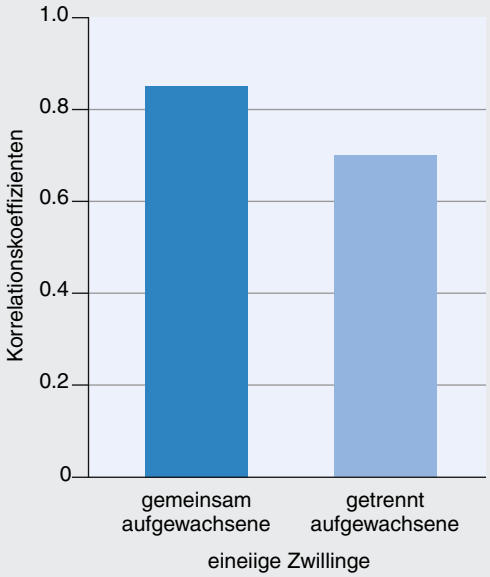


Abb. 2.36 Mittlere Korrelation zwischen den Intelligenzquotienten eineiiger Zwillinge in der Minnesota-Studie. Auch gemeinsam aufgewachsene eineiige Zwillinge zeigen in ihren IQ-Maßen keine 100 %ige Übereinstimmung

zierte logische und analytische Tätigkeiten vollbringen. Die rechte Hemisphäre hat dagegen ein hoch entwickeltes räumliches Vorstellungsvermögen und ein weit besseres visuelles Wahrnehmungsvermögen.

Im Abschnitt *Genetik und Verhalten* werden die Grundprinzipien der Vererbung, die Mendelschen Gesetze, die Wirkung unterschiedlicher Erbfaktoren (Gene) auf die Merkmalsausprägung bei homozygoten und heterozygoten Organismen umrissen. Bei der als Mitose bezeichneten Zellteilung mit identischer Reduplikation bleibt der normal doppelte oder diploide Chromosomensatz erhalten. Bei der Reduktionsteilung (Meiose), aus der die Keimzellen (Eizellen oder Spermien) hervorgehen, werden die Chromosomenpaare geteilt so dass jede Keimzelle nur den halben (haploiden) Chromosomensatz erhält. Es werden Chromosomenbau und Molekulargenetik, dazu die Rolle von DNA und RNA, besprochen.

Im Abschnitt *Vererbung, Umwelt und Verhaltensgenetik* wird die Bedeutung und Reichweite der Erbe-Umwelt-Frage erörtert, die Frage des genetischen Potenzials, der begrenzten Prädisposition und die Selektive Zuchtwahl, die auch für intellektuelle (kognitive) Fähigkeiten nachgewiesen wurde. Abschließend werden dazu auch Ergebnisse der *Zwillingsforschung* vorgestellt.

Antworten auf die Einführungsfragen

1. Das Aktionspotenzial erfolgt mit derselben Stärke und zeitlichen Dynamik, unabhängig von der Stärke der Stimulation, sofern diese ausreicht, um das Membranpotenzial über einen bestimmten Schwellenwert zu heben.
2. Das Zurückziehen der Hand von einer heißen Herdplatte wird durch einen Rückenmarksreflex vermittelt und läuft unabhängig von der sensorischen Verarbeitung im Gehirn ab, auf welcher das Schmerzempfinden beruht. Zeitlich erfolgt das Schmerzempfinden nach der Initiierung der motorischen Reaktion.
3. Zur Untersuchung der Informationsverarbeitungskapazitäten der beiden Großhirnhälften werden Reize gezielt in einer der beiden Hemisphären projiziert. Unterschiedliche Aufgabenleistungen bei links- und rechtshemisphärischer Projektion werden dann auf unterschiedliche Fähigkeiten der Hemisphären zurückgeführt. Die Methode ist in besonderer Weise zur Untersuchung von Split-Brain-Patienten geeignet, bei denen aufgrund der Durchtrennung der Commissurenfasern die Weiterleitung der Reizinformationen in die andere Hemisphäre unmöglich oder zumindest sehr erschwert ist. Aber auch bei gesunden Versuchspersonen finden sich gewisse Leistungsunterschiede bei hemisphärenspezifischer Reizdarbietung, die als Ausdruck unterschiedlicher Kompetenzen der linken und rechten Hemisphäre interpretiert werden.
4. Einigen Hirnregionen lassen sich sehr spezifische Funktionen zuordnen wie z. B. die Verarbeitung von an einem bestimmten Ort im Gesichtsfeld dargebotenen visuellen Reizen oder die Steuerung der Kontraktion spezifischer Muskeln. An vielen kognitiven Prozessen scheinen allerdings ausgedehnte Hirnstrukturen beteiligt zu sein. In vielen Fällen ist es bislang nicht gelungen, eine klare Zuordnung von Teilprozessen zu spezifischen Regionen herzustellen.
5. Hier sind keine systematischen Unterschiede gefunden worden. Verschiedenste sensorische, motorische und kognitive Verarbeitungsprozesse basieren offenbar auf dem Zusammenwirken baugleicher Verarbeitungseinheiten.

Fragen zur Wiederholung und Denkanstöße

1. Wie gliedert sich das Nervensystem der Menschen?
2. Was versteht man unter Afferenzen, was unter Efferenzen?
3. Beschreiben und erklären Sie die wichtigsten Merkmale beziehungsweise Anteile einer typischen Nervenzelle.
4. Welche Aufgaben haben die Dendriten, welche hat das Axon?

5. Wie entsteht das Ruhepotenzial eines Neurons und wie wird es aufrechterhalten?
6. Erklären Sie die Na^+-K^+-Pumpe.
7. Was sind Aktionspotenziale? Wozu dienen sie?
8. Was versteht man unter einer saltatorischen Erregungsleitung und wie funktioniert sie?
9. Was sind Neurotransmitter und wie wirken sie? Welche kennen Sie?
10. Erklären Sie die zweifache Bedeutung der Bezeichnung „Rezeptor".
11. Was ist eine Synapse und welche Prozesse laufen an ihr ab?
12. Wie werden EPSP und IPSP zur Informationsverarbeitung miteinander „verrechnet"?
13. Was ist ein (monosynaptischer) Reflexbogen und wie funktioniert er?
14. Wieweit lassen sich reflektorisch ablaufende Reaktionen willentlich beeinflussen?
15. Welche Untersysteme umfasst das autonome Nervensystem, wo liegen sie in unserem Körper und wie interagieren sie?
16. Welche Bestandteile zählen zum Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-System und wie interagieren sie miteinander?
17. Was besagt das biogenetische Grundgesetz und welchen Bezug hat es zur Entwicklung unseres Gehirns?
18. Geben Sie einen groben Überblick über die wichtigsten Anteile unseres Gehirns und deren Aufgaben.
19. Was versteht man unter somatotoper Projektion (Repräsentation) und wo im Gehirn findet sie sich?
20. Welche Funktionen haben das Broca- und das Wernicke-Areal und wo sind sie lokalisiert?
21. Welche bekannten Befunde erbrachten die Untersuchungen an Split-Brain-Patienten?
22. Inwieweit haben wir zwei verschiedene Hirnhälften und wie ergänzen sie sich?
23. Wie bestimmen dominante und rezessive Gene zusammen die Merkmalsausprägungen des Organismus?
24. Erklären Sie die Begriffe polygen, pleiotrop, homozygot und heterozygot.
25. Wie wird der genetische Code molekular verschlüsselt?
26. Worauf basiert die Zwillingsforschung und welche Erkenntnisse lassen sich mit ihr gewinnen?

Literatur

Atkinson, R. L., Atkinson, R. C., & Hilgard, E. R. (1987). *Introduction to Psychology* (9. Aufl.). San Diego, New York, Chicago, u.A: Harcourt Brace Jovanovich.

Atkinson, R. L., Atkinson, R. C., & Hilgard, E. R. et al. (2003). *(Hilgard's) Introduction to Psychology* (14. Aufl.). New York, San Diego, Chicago, San Francisco, Atlanta: Harcourt Brace Jovanovich. deutsch: Atkinson R. L., Atkinson, R.C., Smith, E. E., Bem, D. J.& Nolen-Hoeksema, S. (2001) Hilgards Einführung in die Psychologie. Spektrum: Akademischer Verlag

Nolen-Hoeksema, S., Fredrikson, B. L., Loftus, G. R., & Wagenaar, W. A. (2009). *Atkinson & Hilgard's Introduction to Psychology*. Hamchire, Cheriton House: Cengage Learning EMEA.

Azar, B. (1995). Several genetic traits linked to alcoholism. *APA Monitor*, May, 21–22.

Bennett, E. L., Diamond, M. C., Krech, D., & Rosenzweig, M. R. (1964). Chemical and anatomical plasticity of brain. *Science*, *146*, 610–619.

Bouchard Jr., T. J., Lykken, D. T., McGue, M., Segal, N. L., & Telegen, A. (1990). Sources of human psychological differences: The Minesota study of twins reared apart. *Science*, *250*, 223–228.

Bouchard Jr., T. J. (1994). Genes, environment, and personality. *Science*, *264*, 1700–1701.

Bouchard Jr., T. J., Lykken, D. T., McGue, M., Segal, N. L., & Telegen, A. (1990). Sources of human psychological differences: The Minesota study of twins reared apart. *Science*, *250*, 223–228.

Boucsein, W. (1992). *Electrodermal activity*. New York: Plenum Press.

Bower, J. M., & Parsons, L. M. (2003). Rethinking the "lesser Brain". *Scientific American*, August, 50–57.

Bowers, D., Bauer, R. M., Coslett, H. B., & Heilman, K. M. (1985). Processing of face by patients with unilateral hemisphere lesions. I. Dissociations between judgements of facial affect and facial identity. *Brain Cognition*, *4*, 258–272.

Bruce, R. L. (1977). *Fundamentals of physiological psychology*. New York: Holt Rinehart & Winston.

Carey, G. (1990). Genes, fears, phobias, and phobic disorders. *Journal of Counseling and Development*, *68*, 628–632.

Cooper, R. M., & Zubek, J. P. (1958). Effects of enriched and restricted early environments on the learning ability of bright and dull rats. *Canadian Journal of Psychology*, *12*, 159–164.

DeFries, J. C., & Decker, S. N. (1982). Genetic aspects of reading disability: The Colorado family reading study. In P. G. Aaron & H. Malatesha (Hrsg.), *Reading disorders: Varieties and treatments*. New York: Academic Press.

Eckert, E. D., Heston, L. L., & Bouchard, T. J. Jr. (1981). MZ Twins reared apart: Preliminary findings of psychiatric disturbances and traits. In L. Gedda, P. Paris & W. D. Nance (Hrsg.), *Pt. B. Intelligence, personality, and development* Twin Research, Bd. 3 New York: Alan Liss.

Floderus-Myrhed, B., Pedersen, N., & Rasmussen, I. (1980). Assessment of heritability for personality, based on a short form of Eysenck Personality Inventory: A study of 12.898 twin pairs. *Behavior Genetics*, *10*, 507–520.

Fox, J. L. (1984). The brain's dynamic way of keeping in touch. *Science*, *225*, 820–821.

French, G. M., & Harlow, H. F. (1962). Variability of delayed reaction performance in normal and brain damaged rhesus monkeys. *Journal of Neurophysiology*, *25*, 585–599.

Gage, F. H. (2003). *Repair yourself* (S. 46–53). Scientific American.

Gazzaniga, M. S., & Sperry, R. W. (1967). Language after section of the cerebral commissure. *Brain*, *90*, 131–148.

Goddard, G. V. (1964). Function of the amygdalae. *Psychological Bulletin*, *62*, 89–109.

Goldman, D. (1996). Why mice drink. *Nature Genetics*, *13*, 137–138.

Hellige, J. B. (1990). Hemispheric asymmetry. *Annual Review of Psychology*, *41*, 55–80.

Hofer, M. (1981). *The roots of human behavior: An introduction to the psychobiology of early development*. San Francisco: Freeman.

Hubel, D. H. (1979). The brain. *Scientific American*, *241*(9), 45–53.

Kendler, K. S., Neale, M. C., Kessler, R. C., Heath, A. C. & Eaves, L. J. (1992) Generalized anxiety disorder in women: A population-based twin study. *Archives of General Psychiatry*, *49*, 267–272.

LeVay, S. (1991). A difference in hypothalamic structure between heterosexual und homosexual men. *Science*, *253*, 1034–1037.

Loehlin, J. C., & Nichols, R. C. (1976). *Heredity, environment, and personality*. Austin: University of Texas Press.

Lykken, D., & Tellegen, A. (1996). Happiness is a stochastic phenomenon. *Psychological Science*, *7*, 186–189.

MacLean, P. (1977). On the Evolution of three mentalities. In S. Arieti & G. Charzanowski (Hrsg.), *New Directions in Psychiatry: A world view*. New York: Wiley.

MacLean, P. (1977). On the Evolution of three mentalities. In S. Arieti & G. Charzanowski (Hrsg.), *New Directions in Psychiatry: A world view* Bd. 2 New York: Wiley.

Mason, R. A., & Just, M. A. (2004). How the brain processes causal inferences in text. *Psychological Science*, *15*, 1–7.

McGue, M., Bouchard, T. J. Jr., Iacono, W. G., & Lykken, D. T. (1993). Behavioral genetics of cognitive ability: A life-span perspective. In R. Plomin & G. E. McClearn (Hrsg.), *Nature, Nurture and psychology*. Washington, DC: American Psychological Association.

Mikkelsen, T. S., et al. (2005). Initial sequence of the chimpanzee genome and comparison with the human genome. *Nature*, *437*, 20–40.

Mirin, S. M., & Weiss, R. D. (1989). Genetic factors in the development of alcoholism. *Psychiatric Annals*, *19*, 239–242.

Morgan, T. H., Sturtevant, A. H., Muller, H. J., & Bridges, C. B. (1915). *The mechanism of Mendelian heredity*. New York: Henry Holt.

Myers, D. G. (2008). *Psychologie*. Heidelberg: Springer.

Nebes, R. D., & Sperry, R. W. (1971). Cerebral dominance in perception. *Neurophysiologia*, *9*, 247.

Nebes, R. D., & Sperry, R. W. (1971b). Hemispheric deconnection syndrome with cerebral birth injury in the dominant arm area. *Neurophysiologia*, *9*, 247.

Noble, E. P. (1993). The D2 dopamine receptor gene: A review of association studies in alcoholism. *Behavior Genetics*, *23*, 119–129.

Pert, C. B., Snowman, A. M., & Snyder, S. H. (1974). Localization of opiate receptor binding in presynaptic membranes of rat brain. *Brain Research*, *70*, 184–188.

Petersen, S. E., & Fiez, J. A. (1993). The processing of single words studied with positron emission tomography. *Annual Review of Neuroscience*, *16*, 509–530.

Pickenhain, L. (1955). Die höhere Nerventätigkeit. In J. Gottschick (Hrsg.), *Die Leistungen des Nervensystems* (S. 696–748). Jena: Fischer.

Pinel, J. P. (1997). *Biopsychologie*. : Spektrum. engl. Original: John P. J. Pinel, Biopsychology 4E. Allyn and Bacon)Plomin, R. (1986). *Development, genetics and psychology*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Plomin, R., & Crabbe, J. (2000). DNA. *Psychological Bulletin*, *126*, 806–828.

van Prag, H., Schinder, A. F., Christie, B. R., Toni, N., Palmer, T. D., & Gage, F. H. (2002). Neurogenesis. Functional neurons in adult hippocampus. *Nature*, *415*, 1030–1034.

Raine, A. (1993). *The psychopathology of crime: Criminal behavior as a clinical disorder*. San Diego, CA: California Press.

Rogers, L. J. (2003). Seeking the right answers about right brain – left brain. *Cerebrum*, *5*(4), 55–68.

Rosenzweig, M. R., Leimann, A. L., & Breedlove, S. M. (1996). *Biological Psychology*. Sinauer: Sunderhand.

Roy, M.-A., Neale, M. C., Pedersen, N. L., Mathe, A. A., & Kendler, K. S. (1995). A twin study of generalized anxiety disorder and major depression. *Psychological Medicine*, *25*, 1037–1049.

Rushton, J. P., Fulker, D. W., Neale, M. C., Nias, D. K. B., & Eysenck, H. J. (1986). Altruism and aggression: The heritability of individual differences. *Journal of Personality and Social Psychology*, *50*, 1192–1198.

Sanes, J., Donoghue, J., Thangard, V., Edelmann, R. R., & Warach, S. (1995). Shared neural substrates controlling hand movements in human motor cortex. *Science*, *269*, 1775–1777.

Schofield, P. R., Shivers, D. B., & Seeburg, P. H. (1990). The role of receptor subtype diversity in the CNS. *Trends in neurosciences*, *13*, 8–11.

Sobotta, J. & Becher, H. (1972; 1962). *Atlas der Anatomie des Menschen*. München: Urban & Schwarzenberg.

Spemann H. (1936). *Experimentelle Beiträge zu einer Theorie der Entwicklung*. Nach Fischer-Lexikon A–Z.

Sperry, R. W. (1971). The great cerebral commissure. In N. Chalmers, R. Crawley & S. P. R. Rose (Hrsg.), *The biological bases of behavior*. London: Harper.

Squire, L. R. (1992). Memory and the hippocampus: A synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychological Review*, *99*, 195–232.

Tryon, R. C. (1940). Genetic differences in maze learning in rats. *Yearbook of the National Society for the Study of Education*, *39*(I), 111–119.

Van Prag, H., Schindler, A. F., Christine, B. R., Toni, N., Palmer, T. D., & Gage, F. H. (2002). Neurogenesis. Functional neurons in adult hippocampus. *Nature*, *415*, 1030–1034.

Wernicke, C. (1874). *Der aphasische Symptomkomplex*. Breslau: Cohn & Weigart.

Zimbardo, P. G., & Ruch, F. L. (1978). *Lehrbuch der Psychologie* (3. Aufl.). Berlin: Springer. engl. Original: Zimbardo, P. G., Ruch, F. L. (1967). *Psychology and Life*. Brief 8th Edition, © 1971,1967 by Scott, Foresman and Company, Glenview, Illinois 60025, USA

Zimbardo, P. G., & Ruch, F. L. (1995). *Psychologie*. Berlin: Springer. engl. Original: Zimbardo, P. G., Ruch, F. L., (1988) Psychology and Life, 12th ed., © 1971, 1988 Philip G. Zimbardo, Inc. Scott, Foresman and Company, Glenview, Illinoi

Wahrnehmung

Christian Becker-Carus, Mike Wendt

3.1 Generelle Eigenschaften der Sinne – 75

3.2 Phänomenales Erleben messbar machen – 77

3.2.1 Absolute Schwelle und relative Grenzschwellen – 77

3.2.2 Psychophysische Funktionen – 80

3.2.3 Signalentdeckungstheorie – 81

3.2.4 Bezugssysteme für subjektive Urteile – 83

3.3 Visuelle Wahrnehmung – 84

3.3.1 Auge und Netzhaut – 84

3.3.2 Neuronale Weiterverarbeitung der visuellen Reizinformation – 89

3.3.3 Neuronale Verarbeitung höherer Zentren – 90

3.3.4 Farbwahrnehmung – 97

3.3.5 Räumliche Tiefe und Objektgröße – 105

3.3.6 Wahrnehmungskonstanzen – 111

3.3.7 Geometrisch-optische Täuschungen – 118

3.3.8 Organisationsprinzipien und Objekterkennen – 123

3.3.9 Bewegungswahrnehmung – 137

3.3.10 Wahrnehmungslernen – 144

3.4 Schlussbetrachtung – 151

Literatur – 154

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Becker-Carus, M. Wendt, *Allgemeine Psychologie,* DOI 10.1007/978-3-662-53006-1_3

Dem Menschen, der unbefangen um sich schaut, kommen seine eigenen Augen wie eine Art Fenster vor. Öffnet er die Vorhänge, die Lider, so „ist" da draußen die sichtbare Welt der Dinge […] Nichts könnte den Verdacht erwecken, daß irgendeine der daran erkennbaren Eigenschaften ihren Ursprung im Betrachter habe oder auch nur von seiner Natur mitbestimmt sei […]. (Metzger 1975)

1. Wie lässt sich die Wahrnehmungsempfindung, die ein Reiz hervorruft, z. B. die empfundene Lautheit eines Tons, messbar machen?
2. Inwiefern unterscheiden sich die Nervensignale, die durch den Einfall von Licht auf die Netzhaut ausgelöst werden, von denen, die als Folge eines Druckreizes auf der Haut entstehen?
3. Warum sind nachts alle Katzen grau, und warum lässt sich ein lichtschwacher Stern mitunter besser erkennen, wenn man den Blick nicht direkt auf ihn, sondern leicht daneben richtet?
4. Wodurch wird der Helligkeitseindruck einer betrachteten Fläche bestimmt?
5. Wie kann sich durch die Betrachtung zweidimensionaler Reizvorlagen der Eindruck räumlicher Tiefe ergeben?
6. Wie lassen sich Objekte verstecken, ohne sie zu verdecken?
7. Warum scheinen sich im Film die Räder eines Fahrzeugs mitunter entgegen der Fahrtrichtung zu drehen?
8. Wie müsste ich die Schwingbewegung eines sich in der Bildebene bewegenden Pendels wahrnehmen, wenn einem meiner Augen die Bewegung mit einer leichten Verzögerung dargeboten wird?

Unser Verhalten, wie jede Interaktion mit der Umwelt, ist auf Wahrnehmung angewiesen. Wie aber ist es möglich, dass „die Welt da draußen" in unseren Kopf kommt? Philosophen und Wissenschaftler haben lange darüber nachgedacht und sich gefragt: Sehen wir die Welt, die wir wahrnehmen, wirklich selbst, oder machen wir uns vielmehr nur ein Bild von der Welt? Auch wenn Wahrnehmung auf den ersten Blick ganz einfach zu funktionieren scheint – wir öffnen die Augen und sehen die Welt –, verbirgt sich dahinter in Wirklichkeit ein höchst komplizierter Prozess, denn Wahrnehmung „geschieht" nicht einfach. Auch wenn zwei oder mehr Menschen ein gleiches Phänomen, ja einen gleichen Gegenstand betrachten, nehmen sie zumeist nicht „Dasselbe" wahr. Der Wahrnehmungsprozess ist äußerst komplex, und das, was wir schließlich wahrgenommen zu haben glauben, bestimmt in weitem Maße auch unsere Reaktion, unser Verhalten in einer bestimmten Situation, ohne dass wir uns bewusst Gedanken machen über das schließlich vom Bewusstsein erfasste Wahrnehmungsbild, das das Resultat einer Vielzahl von Informationsverarbeitungs-, -transformations-, -selektions- oder auch Interpretationsschritten ist, die in Bruchteilen von Sekunden automatisch und weitgehend unbewusst ablaufen. Das Gesamtkonzept der Wahrnehmungsprozesse, mit denen sich die Wahrnehmungspsychologie befasst und die wir in diesem Kapitel im Einzelnen schrittweise betrachten wollen, verdeutlicht das Schema in ◘ Abb. 3.1, in dem das Wahrnehmungssystem Mensch in seinen wesentlichsten Komponenten umrissen ist.

Stellen wir uns vor, wir kommen an einen See, an dessen Ufer ein angebundener Ruderkahn liegt und im Sonnenlicht auf den leichten Wellen tänzelt. Wir können sehen, wie der Kahn sich bewegt und dabei ständig sein Bild und seine Form verändert. Mal können wir weiter in sein Inneres, auf die Sitzbretter und den Bootsboden, sehen, mal, wenn eine Welle ihn anhebt, weiter von außen die Bemalung seiner Planken erkennen. Obgleich wir ein ständig wechselndes Bild haben, nehmen wir das Objekt, den Kahn, als unverändert festes und formgleiches Gebilde wahr. Gleichzeitig *hören* wir den leichten Wellenschlag, das Plätschern oder das Aufschlagen des Kahnes nach einem Wellenberg auf dem Wasser, vielleicht auch das Knarren des Ruders bei jedem Wellenschlag. Und wir *riechen* und *schmecken* und *fühlen* die leichte Seebrise, die uns ins Gesicht weht, mit dem Geruch des Wassers oder des geteerten Kahnes.

All dies sind zunächst Sinneseindrücke der physischen Außenwelt, die auf unsere Sinnesorgane einwirken und von denen wir nur so viel „wahrnehmen", wie von unseren eigenen Sinnesorganen perzipiert werden kann. Diesen ersten Schritt der Wahrnehmung bezeichnen wir als **Informationsaufnahme** durch die jeweils spezifischen **Rezeptoren** (von lateinisch *recipere* für aufnehmen) unserer Sinnesorgane. Dies ist der Übergang von der wahrgenommenen Außenwelt zu der von uns erlebten Innenwelt. Wir haben ein Gesamterleben des „Kahns am Ufer". Doch bis zu diesem ersten bewussten Erleben sind bereits etliche physiologisch-neuronale Verarbeitungsprozesse abgelaufen, wie wir gleich weiter betrachten werden. Ferner wird dieses erste Erleben von noch weiteren Faktoren beeinflusst, die uns zumeist nicht bewusst sind. Wie wir den Kahn wahrnehmen beziehungsweise erleben, hängt einerseits auch von unserem **Vorwissen** ab. Wir „sehen" gewissermaßen, dass der Kahn aus Holz ist (oder aus einem Kunststoff), wir „sehen", dass er fest genug ist, um uns zu tragen. So gehen außer den zunächst genannten physiologischen auch **kognitive Verarbeitungsprozesse** „automatisch" in die Wahrnehmung mit ein: Erinnerungen, Vorstellungen, Erwartungen und Vorwissen über diesen Gegenstand beeinflussen unsere Wahrnehmung dieses speziellen Kahnes und wie wir ihn wahrnehmen.

Darüber hinaus beeinflussen auch emotionale Verarbeitungsprozesse „automatisch" unsere Wahrnehmung. So kann zum Beispiel das ruhige, farbenfreudige Bild des Kahnes Ruhe und Freude in uns auslösen oder Lust, den Kahn zu besteigen. Oder wir sehen (erleben), dass es nicht bedrohlich ist, uns dem Kahn zu nähern, es sei denn, ein kläffender Hund bewacht den Kahn, und sein als Angriff erlebtes Verhalten lässt es uns kalt den Rücken herunterlaufen. So treten in unserem wahrnehmenden Erleben zugleich weiter reichende **emotionale Empfindungen** auf, die insbesondere dann reichhaltig sind, wenn wir andere Lebewesen oder andere Menschen wahrnehmen. Wir erleben unmittelbar Antipathie, Sympathie, Ekel, Angst oder Freude, die unser weiteres Verhalten und Urteilen mitbestimmen. Das Resultat all dieser teils nicht bewusst ablaufenden Bewertungs- und Wahrnehmungsprozesse ist dann unsere Reaktion beziehungsweise unser verbales oder motorisches Handeln, das nun auf die Außenwelt zurückwirkt, diese verändert und damit wieder die eingehenden Sinnesreize beeinflusst.

In diesem Kapitel werden wir der Reizinformation vom Rezeptor bis hin zu den kortikalen Verarbeitungszentren folgen

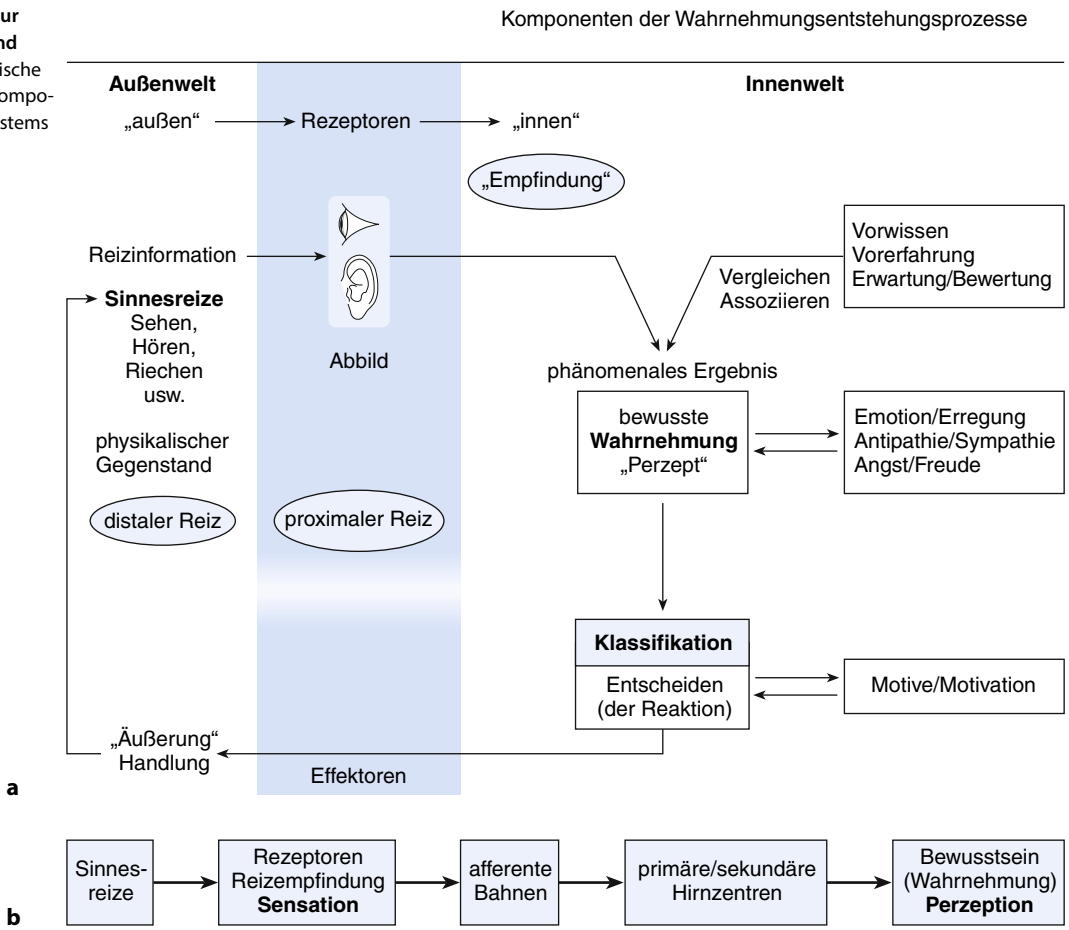


Abb. 3.1 Vom Sinnesreiz zur bewussten Wahrnehmung und Verhaltensreaktion. Schematische Darstellung der wichtigsten Komponenten des Wahrnehmungssystems Mensch

und uns dabei Schritt für Schritt mit den einzelnen Systemen und ihren Funktionen befassen (Forschungsansätze in *Zusatztext online*).

Der erste Schritt auf diesem Weg ist die Aufnahme der physikalischen Reize durch spezifische Rezeptoren, die die Reize „erkennen“ und sie in neuronale Signale umwandeln (encodieren). Dieser erste Schritt der Wahrnehmung wird nach Wundt (1874) gesondert als **Sensation** (Wahrnehmungsempfindung) bezeichnet und von der aus ihrer weiteren Verarbeitung resultierenden, uns bewussten Wahrnehmung, der **Perzeption**, unterschieden. Beide Prozesse gehen in unserer Alltagserfahrung zumeist weitgehend ineinander über.

Vielfach wird der Wahrnehmungsprozess im eigentlichen Sinne auch in drei besondere Stufen aufgeteilt:

1. Die **sensorische Empfindung** als erste Stufe der Reizaufnahme, bei der zu unterscheiden ist zwischen dem physikalischen Reizobjekt in der Außenwelt, das als **distaler Reiz** (vom Beobachter entfernt) bezeichnet wird, und seinem Abbild auf den Sinnesrezeptoren, das als **proximaler Reiz** (nahe am Beobachter) bezeichnet wird, z. B. dem optischen Abbild auf der Retina oder dem akustischen im Innenohr, wo das physikalische Signal als proximaler Reiz neuronale Aktivität auslöst.
2. Die **Wahrnehmung** (im engeren Sinne, Perzeption) umfasst die Bildung einer inneren erlebten stabilen Repräsentation des Wahrgenommenen. Sie resultiert bereits aus der Zusammenführung der einfachen sensorischen Empfindung mit übergeordneten Hirnprozessen (zum Beispiel Erkennen als Gegenstand, als Zahl) und wird als **Perzept** (auch Wahrnehmungshypothese) bezeichnet.
3. Die **Klassifikation** verweist auf die unmittelbare (kaum zu trennende) Weiterverarbeitung und Einordnung in verstehbare Zusammenhänge, was bisweilen auch zum **Perzept** hinzugerechnet wird.

3.1 Generelle Eigenschaften der Sinne

Die Vielfalt der möglichen Wahrnehmungen wird bei jedem lebenden Organismus durch die jeweiligen Möglichkeiten der vorhandenen Wahrnehmungsorgane beziehungsweise deren Rezeptoren eingeschränkt. Diejenigen Umweltreize, die unsere Sinnesorgane zu beeinflussen vermögen, werden als Sinnesreize oder auch als Stimuli bezeichnet. Sie erzeugen an der Zellmembran der jeweiligen Rezeptoren Potenzialänderungen, die über die Erregung afferenter sensorischer Nervenfasern als Information zum Gehirn gelangen. Hier induzieren sie subjektive Sinneseindrücke oder Empfindungen, die der jeweiligen Sinnesmodalität entsprechen. Als Sinnesmodalitäten bezeichnet man die verschiedenen Wahrnehmungsfelder wie Sehen, Hören, Riechen oder Schmecken.

Ihre Unterschiede resultieren aus den verschiedenen Reizformen, auf die unsere Rezeptoren ansprechen. Sie werden als

Tab. 3.1 Empfindung: Die Reize und Rezeptoren der menschlichen Sinne

Sinne	Reiz	Sinnesorgan	Rezeptor	Empfindung	Mögliche Bedeutung
Sehen	Lichtwellen (10^{-5}–10^{-4} cm)	Auge	Stäbchen und Zapfen der Retina	Farben, Helligkeiten	Gegenstände, Personen
Hören	Schallwellen (20–20.000 Hz)	Ohr	Haarzellen des Corti-Organs	Geräusche, Töne	Stimmen, Töne
Empfindungen der Haut	Äußerer Kontakt (Druck, Infrarotwellen 10^{-4}–10^{-3})	Haut	Nervenendungen in der Haut	Berührung, Schmerz, Wärme, Kälte	Stoff, Metall, Stich, Feuer, Eis
Geruch	Geruchstragende Substanzen (in Gasen)	Nase	Haarzellen des olfaktorischen Epithels	Düfte (moschusartig, blumig, verbrannt, pfefferminzartig)	Blumen, Nahrung, Menschen
Geschmack	Lösliche Substanzen (in Flüssigkeiten)	Zunge	Geschmacksnerven der Zunge	Geschmacksempfindungen (süß, sauer, salzig, bitter)	Speisen
Körperbewegung	Mechanische Energie	Muskeln, Gelenke, Sehnen	Muskelspindel-Sensoren, Golgi-Sehnenorgane	Orientierung im Raum, Bewegung, Druck, Schmerz	Eigenbewegung, Muskelanspannung
Gleichgewicht	Mechanische Kraft und Schwerkraft	Innenohr	Haarzellen in den Bogengängen und im Vestibulum	Bewegung im Raum, „Zug" der Schwerkraft	Stürzen, Drehung
Empfindungen der Organe	Mechanische Energie	Teile des Verdauungsapparates	freie Nervenendigungen	Druck, Schmerz	Verletzungen, Erkrankungen

adäquate Reize bezeichnet. So reagieren die Rezeptoren in den verschiedenen Sinnesorganen vornehmlich jeweils auf eine bestimmte Reizart, zum Beispiel das Auge auf elektromagnetische Schwingungen, die als visuelle Eindrücke (Licht) wahrgenommen werden; die Nase auf chemische Moleküle, die als Gerüche wahrgenommen werden; das Ohr auf Luftdruckschwankungen, die als Schall, Geräusche oder Musik wahrgenommen werden. Diese spezifische Reizart, auf die ein Rezeptor beziehungsweise ein Sinnesorgan spezifisch und optimal anspricht, bezeichnete Johannes Müller (1850–1934) als die „spezifische Sinnesenergie". Bezogen auf die Reizqualität spricht man heute genauer von *adäquaten Reizen*. Nach dem von Müller formulierten „Gesetz der spezifischen Sinnesenergien" vermittelt jedes Sinnesorgan ausschließlich Empfindungen seiner eigenen Sinnesmodalität, unabhängig davon, ob es durch einen adäquaten Reiz (das Auge durch Licht) erregt wird oder durch inadäquate Reize (beispielsweise Druckreizung).

Adäquater Reiz

Die Reizform, auf die ein Sinnesorgan optimal (bei minimaler Reizenergie) reagiert, wird adäquater Reiz genannt. Aber auch nicht adäquate Reize können Erregungen des Sinnesorgans auslösen.

Sinnesorgane reagieren also auch auf andere, nicht adäquate Reize. So können zum Beispiel alle Sinnesorgane durch elektrischen Strom oder chemische Reize erregt werden. Interessanterweise erfolgt die erlebte Wahrnehmung, das heißt die Interpretation der Rezeptorreizung, fast immer gemäß einer adäquaten Reizung. So sehen wir bei starkem Druck oder einem Schlag auf das Auge „Sterne", also Lichterscheinungen. Die erlebte Sinnesmodalität wird also nicht durch den Reiz bestimmt, sondern durch das gereizte Sinnesorgan.

Es lassen sich vier Haupttypen von Sinnesrezeptoren unterscheiden, die auf eine bestimmte adäquate Reizenergie hin eine bestimmte Empfindung auslösen:

1. **Fotorezeptoren** werden von elektromagnetischen Wellen erregt und führen zu Lichtwahrnehmungen.
2. **Mechanorezeptoren** reagieren auf mechanische, Bewegung auslösende Reize (Druck, Schall) und führen je nach Sinnesbahn zu Schall- beziehungsweise Berührungs- oder Druckwahrnehmungen.
3. **Chemorezeptoren** werden von chemischen Molekülen erregt und vermitteln Geruchs- oder Geschmacksempfindungen.
4. **Thermorezeptoren** reagieren auf Temperaturänderungen und führen zu Warm-kalt-Empfindungen.

Eine Übersicht über die Reize, Rezeptoren und zugehörige Sinnesempfindungen gibt Tab. 3.1.

Zu den generellen Eigenschaften der Sinne aller Modalitäten zählt die **Sensitivität** oder Empfindlichkeit, mit der sie auf die ihnen adäquaten Reize der Umwelt reagieren und mit der sie Veränderungen in Intensität beziehungsweise Stärke der Reize in unser Wahrnehmen umzuwandeln vermögen. Hierbei werden unterschieden:

- die **absolute Wahrnehmungsschwelle**, ab der ein Reiz überhaupt wahrgenommen wird;
- die **relative** oder **Unterschiedsschwelle**, die besagt, wie weit sich Reize derselben Modalität unterscheiden müssen, damit wir sie als unterschiedlich wahrnehmen.

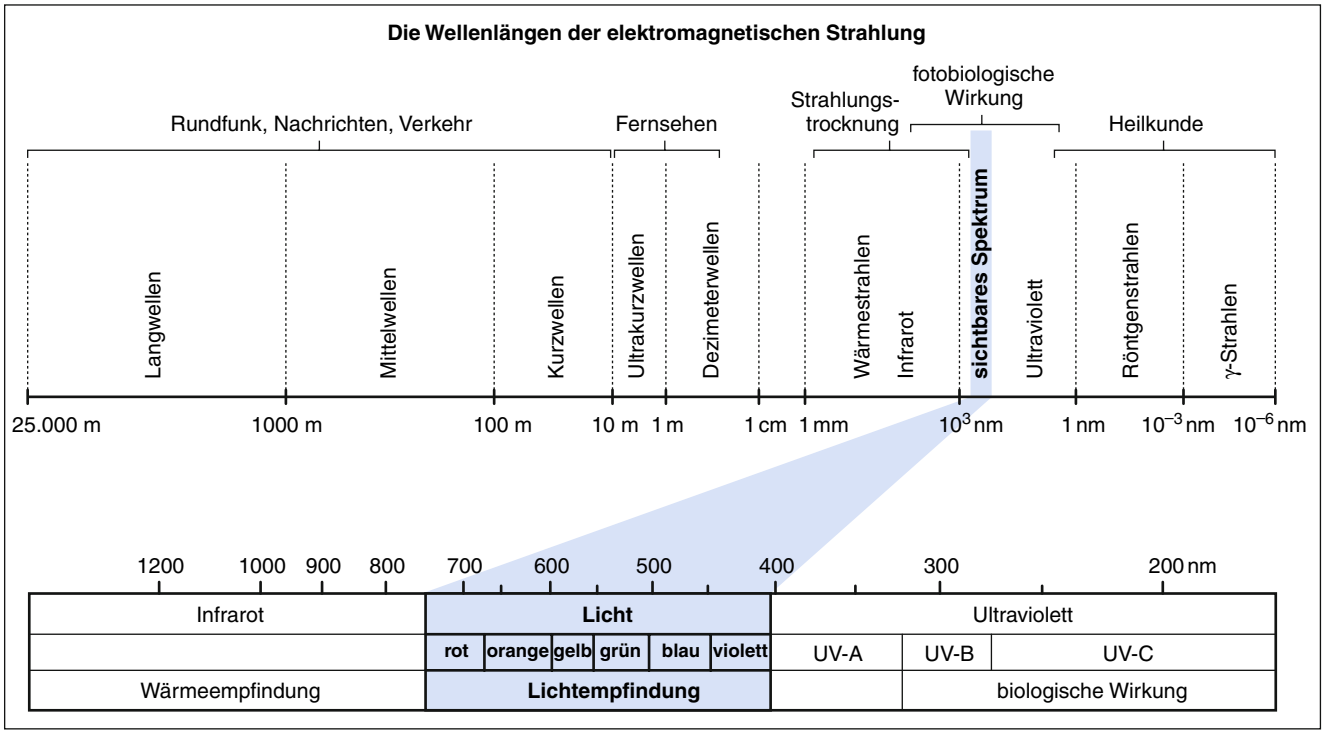


Abb. 3.2 Das Spektrum des Sichtbaren. Die für uns Menschen sichtbaren Lichtwellen umfassen nur einen sehr kleinen Bereich des elektromagnetischen Wellenspektrums, das uns darüber hinaus verborgen bleibt. Innerhalb des sichtbaren Bandes erzeugen die unterschiedlichen Wellenlängen unterschiedliche Farbempfindungen

Wie sich schon bald bei den Untersuchungen der Sinnesempfindlichkeit herausstellte, sind unsere Sinnesorgane auch *innerhalb* einer jeden Modalität nur für einen relativ kleinen, fest umgrenzten Bereich aufnahmebereit. Aus dem Kontinuum aller möglichen Schallwellen beispielsweise wird nur ein kleiner Frequenzbereich, und zwar der zwischen etwa 20 Hz (Hertz) (untere Hörschwelle) und 20.000 Hz (obere Hörschwelle, bei jungen Erwachsenen; 1 Hz entspricht einer Frequenz von einer Schwingung pro Sekunde) von unseren Ohren als Schall (Töne) wahrgenommen. Die Frequenz einer Schallwelle erleben wir als Tonhöhe, zum Beispiel 440 Hz als Kammerton a. Bei Frequenzen unter 20 Hz können Schallwellen (Bässe) zwar nicht mehr gehört, dagegen aber als Vibration empfunden werden.

Für das Kontinuum der elektromagnetischen Wellen (Licht) gibt Abb. 3.2 eine Vorstellung davon, wie klein der Bereich des sichtbaren Spektrums ist, den wir mit unseren Augen wahrnehmen können und der unserer als vollständig erlebten vielfältigen visuellen Farbwahrnehmungswelt letztlich zugrunde liegt. Andererseits ist es nur wegen dieser Begrenztheit unserer Wahrnehmungsrezeptoren möglich, dass wir Funk, Fernsehen, Mobiltelefon und alle drahtlose Informationsübertragung über von uns nicht wahrnehmbare elektromagnetische Wellen verwenden können, ohne unter einer Flut unerträglicher Wahrnehmungen zu leiden.

Zu den generellen Eigenschaften der Sinne gehört auch die **sensorische Adaptation**. Sie bezeichnet die sich vermindernde Reaktionsbereitschaft des sensorischen Systems bei länger dauerndem Reizinput, was wir in ▶ Exkurs 3.1 behandeln werden.

3.2 Phänomenales Erleben messbar machen

Die grundlegenden Untersuchungen zu der Frage, wie sich die Grenzen der Sensitivität bestimmen lassen und wie die physikalischen Reize in Sinnesempfindungen umgewandelt werden, verdanken wir der frühen **Psychophysik**. Sie ist das älteste Teilgebiet der wissenschaftlichen Psychologie und geht auf den deutschen Physiker, Psychologen und Philosophen Gustav Theodor Fechner (1801–1887) zurück.

Fechners Überlegungen zufolge lässt sich aus der Bestimmung von **Wahrnehmungsschwellen** eine allgemeine Beziehung zwischen der wahrgenommenen Stärke eines Reizes und seiner objektiv messbaren physikalischen Intensität herstellen. Die von ihm entwickelten Messmethoden werden im Prinzip auch heute noch angewandt (Genaueres in *Zusatztext online*).

3.2.1 Absolute Schwelle und relative Grenzschwellen

Fragen wir zunächst mit Fechner, wie stark ein Sinnesreiz sein muss, um überhaupt wahrgenommen werden zu können. Diesen angenommenen Grenzwert bezeichnet man mit Fechner als die **absolute Wahrnehmungsschwelle** oder auch **Absolutschwelle**. Sie entspricht der kleinsten Reizintensität, die nötig ist, damit ein Beobachter zuverlässig einen Reiz wahrnimmt. Sie lässt sich mit drei verschiedenen Methoden bestimmen: der Grenzmethode, der Konstanzmethode und der Herstellungsmethode. Diese Verfahren werden in entsprechender Weise auch zur Bestimmung der

Trials Durchgänge	1	2	3	4	5	6	7	8	n
Reizintensität	ab	auf							
....	↓								
...									
23	+								
22	+								
21	+		↓		↓		↓		
20	+		+		+		+		
19	+	+	+		+	+	+		
18	+	–	+	+	+	–	+	+	
17	+	–	+	–	–	–	+	–	
16	–	–	–	–	–	–	–	–	
15		–		–		–		–	
14		–		–		–		–	
13		–		–		–		–	
...		↑		↑		↑		↑	
...									
....									
	16,5	18,5	15,5	17,5	17,5	18,5	16,5	17,5	

Abb. 3.3 Das Vorgehen bei der Grenzmethode. Dargestellt sind die fiktiven Ergebnisse eines Experiments zur Bestimmung der absoluten Wahrnehmungsschwelle nach der Grenzmethode. Die acht Beurteilungsdurchgänge erfolgen im Wechsel nach dem absteigenden und aufsteigenden Verfahren. Jede Ja-Antwort ist durch ein + markiert, die Nein-Antwort mit –. Der erhaltene Übergangswert ist bei den einzelnen Durchgängen nicht identisch. Als Wahrnehmungsschwelle wird der Mittelwert aller Messungen definiert. Er liegt in unserem Beispiel bei 17,25. Die Darstellung verdeutlicht zugleich, dass aufsteigendes oder absteigendes Verfahren für sich genommen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen würde. Der Schwellenwert nach dem absteigenden Verfahren liegt bei 16,5, nach dem aufsteigenden bei 18,0

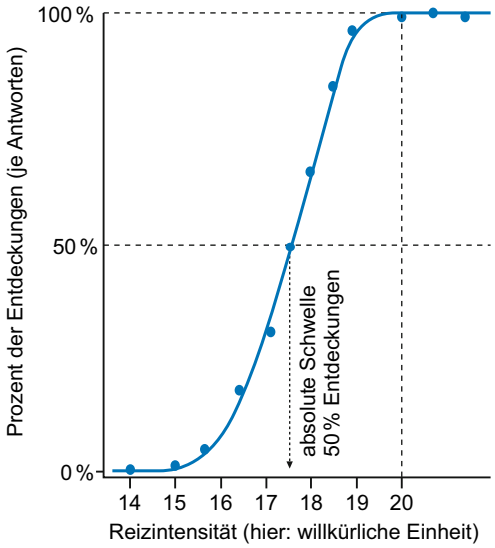


Abb. 3.4 Darstellung des Schwellenübergangs. Die dargestellten Werte (*Punkte*) sind das Resultat eines fiktiven Experiments, in welchem die Schwelle für das Entdecken eines Lichtpunktes nach der Konstanzmethode ermittelt wurde. Die Reizintensität, die in der Hälfte der Darbietungen noch wahrgenommen wird, wird als Wahrnehmungsschwelle bezeichnet

im nächsten Absatz dargestellten Unterschiedsschwellen herangezogen.

Bei der **Grenzmethode** bietet der Versuchsleiter dem Beobachter verschieden starke Reize dar und bittet ihn bei jedem Durchgang anzugeben, ob er den Reiz entdeckt habe (ja) oder nicht (nein). Dabei werden die Reize entweder in aufsteigender oder in absteigender Reihenfolge dargeboten (auf- beziehungsweise absteigendes Verfahren). Wie die Ergebnisse zeigen, ist offenbar in beiden Verfahren ein Verharrungseffekt (Perseverationstendenz) zu beobachten: Beim absteigenden Verfahren wird auch dort noch mit Ja geantwortet, wo beim aufsteigenden Verfahren noch mit Nein geantwortet wird (Abb. 3.3), und es ist zweckmäßig, beide Verfahren miteinander zu koppeln. Andererseits verdeutlichen die dargestellten Schwellenbestimmungsergebnisse den generellen Befund, dass der Übergangspunkt von Ja zu Nein (beziehungsweise von Nein zu Ja) bei den wiederholten Durchgängen auch des gleichen Verfahrens nicht bei ein und demselben Grenzwert liegt, sondern gewissen Schwankungen unterworfen ist. Dies zeigt sich auch bei den anderen dargestellten Methoden und deutet darauf hin, dass die Schwelle nicht eigentlich eine scharf abgegrenzte Stufe, sondern ein mehr oder weniger weiter Übergangsbereich ist (Abb. 3.4).

Die **Konstanzmethode** unterscheidet sich von der Grenzmethode dadurch, dass der Versuchsleiter die einzelnen Reize nicht der Reihenfolge nach (auf- oder absteigend), sondern in zufälliger Reihenfolge darbietet. Zur Durchführung der Schwellenbestimmung wird zunächst ein Satz von Reizintensitäten (etwa fünf) ausgewählt, die um den vermuteten Schwellenwert variieren (zum Beispiel ein Satz in ihrer Intensität variierender ganz schwacher Lichter oder ganz leiser Töne), wobei der stärkste eindeutig über, der schwächste eindeutig unter der Schwelle liegt. Dann werden die Reize nacheinander in zufälliger Reihenfolge und jeder Reiz mehrmals dargeboten. Die Untersuchungsperson hat jedes Mal wieder mit Ja oder Nein zu antworten, je nachdem, ob sie etwas wahrnimmt oder nicht. Das Ergebnis einer solchen Untersuchung veranschaulicht Abb. 3.4. Aufgetragen sind auf der Ordinate die Prozentsätze der Ja-Antworten („Ich sehe den Reiz“) für die verschiedenen vorgegebenen physikalischen Reizintensitäten (zum Beispiel Lichtintensität). Die Verteilung der Ja-Antworten stellt sich somit als Funktion der Reizintensität dar. Diese Kurve wird als psychometrische Funktion bezeichnet. Sie lässt erkennen, dass Reize mit der Intensität 15 nie entdeckt werden, Reize mit der Intensität 20 immer und Reize, deren Intensität dazwischenliegt, manchmal (bei zunehmender Intensität mit zunehmender Häufigkeit) entdeckt werden. Auch bei diesem Verfahren zeigt sich also keine scharf abgegrenzte Stufe.

Absolutschwelle

Die Absolutschwelle wird definiert als die Reizintensität, bei der die Hälfte der Versuche (50 %) zum Entdecken des Reizes führt.

Unterschiedsschwelle

Die Unterschiedsschwelle wird definiert als die Reizintensität, bei der die Hälfte der Versuche (50 %) zum Entdecken eines Reizunterschieds führt.

Somit liegt in unserem Beispiel die absolute Schwelle bei einer Intensität von 18 Einheiten. Bemerkenswert ist, dass die absolute

Tab. 3.2 Beispiele für die hohe Sensibilität unseres Wahrnehmungsvermögens

Sinn	Absolute Schwelle
Sehen	Eine Kerzenflamme in ca. 48 km Entfernung in einer klaren dunklen Nacht
Hören	Das Ticken einer Armbanduhr in einer Entfernung von etwa sechs Metern bei ruhiger Umgebung
Schmecken	Ein Teelöffel Zucker in 7,5 l Wasser
Riechen	Ein Tropfen Parfüm erfüllt das Volumen von sechs Räumen
Fühlen	Der Flügel einer Fliege, die in einer Distanz von 1 cm auf die Wange fällt

Schwelle beträchtlichen Schwankungen unterliegt, sowohl zwischen verschiedenen Individuen als auch bei einem Individuum über die Zeit in Abhängigkeit von seiner Befindlichkeit, seinem Aktivitätsniveau oder der Motivation.

Bei der **Herstellungsmethode** wird nur ein Reiz vorgegeben, der aber kontinuierlich und langsam in seiner Intensität verändert werden kann. Der Versuchsleiter oder die untersuchte Person selbst variiert im Wechsel auf- beziehungsweise absteigend die Intensität, bis sie den Reiz gerade noch beziehungsweise gerade nicht mehr wahrnehmen kann. Dieser Punkt des subjektiven Erscheinens oder Verschwinden des Reizes (zum Beispiel eines Lichtpunktes oder eines Tones) markiert dann den gesuchten Schwellenwert. Auch bei dieser Methode dient es der Genauigkeit, diese Durchführung mehrmals zu wiederholen und den Mittelwert dieser Messungen als Schwelle zu verwenden. Ein Vorteil dieses Verfahrens ist, dass der Proband, indem er die Reizintensität selbst verändert, eine aktive Rolle einnimmt und damit die Wahrscheinlichkeit einer hohen Aufmerksamkeit maximiert wird (Dazu *Zusatztext online*).

Beispiele für die hohe Sensibilität unseres Wahrnehmungsvermögens gibt die Tab. 3.2.

Bereits einige Jahre vor Fechner hatte sich Ernst Heinrich Weber (1795–1878) mit einer anderen Frage der Empfindlichkeit unserer Sinne befasst. Er hatte sich gefragt, wie groß der Unterschied zwischen zwei Reizen sein muss, damit wir sie nicht als gleich, sondern als unterschiedlich wahrnehmen können. Die kleinste Differenz, die nötig ist, um zwei Reize verlässlich voneinander zu unterscheiden, wird als **Unterschiedsschwelle** oder auch als „eben merklicher Unterschied" (*just noticible difference*, **jnd**) bezeichnet. So müssen beispielsweise zwei Töne einen bestimmten Intensitätsunterschied aufweisen, damit wir sie als unterschiedlich laut empfinden, oder sie müssen sich um einen bestimmten Betrag unterscheiden, damit wir den einen als tiefer oder höher als den anderen wahrnehmen können.

Das allgemeine Untersuchungsverfahren lässt sich am klassischen Experiment von Weber verdeutlichen. Weber ließ seine Probanden zunächst jeweils ein kleines „Standardgewicht" und danach ein geringfügig schwereres „Vergleichsgewicht" heben. Sie sollten dann beurteilen, welches Gewicht schwerer wog. Wie zu erwarten, fiel es den Probanden leichter, den Unterschied zu entdecken, wenn dieser groß war. Zunehmend kleinere Unterschiede wurden entsprechend weniger gut oder gar nicht mehr entdeckt. Im Prinzip lassen sich zur Bestimmung der Unterschiedsschwelle also die gleichen Messmethoden anwenden wie bei der Bestimmung der absoluten Schwelle, nur mit dem Unterschied, dass hier jeweils ein Standardreiz anwesend ist, mit dem der jeweils vorgegebene Vergleichsreiz verglichen werden muss.

Tab. 3.3 Weber-Konstanten für einige Sinnesmodalitäten

	Weber-Konstante
Lautstärke	0,15
Tonhöhe (Frequenz)	0,003
Helligkeit	0,017
Gewicht	0,02
Hautdruck	0,14
Duftkonzentration	0,07
Geschmackskonzentration (Salzlösung)	0,20

Bei seinen Untersuchungen ging Weber jedoch weiter. Er entdeckte, dass der eben merkliche Reizunterschied nicht einheitlich groß ist, sondern vielmehr von der Größe des Standardreizes abhängig ist. Nehmen wir zum Beispiel ein Standardgewicht von S = 100 g. Dann muss das Vergleichsgewicht mindestens S′ = 102 g schwer sein, damit wir es als unterschiedlich schwer (also schwerer) empfinden. Nehmen wir aber ein Standardgewicht von 200 g und vergleichen dies wieder mit einem mit nur 2 g schwereren Vergleichsgewicht S′ = 202 g, so bleibt es für uns unmöglich, beide nach ihrem Gewichtsempfinden zu unterscheiden. Dies gelingt uns erst dann, wenn das Vergleichsgewicht S′ = 204 g schwer ist. Bei einem Gewicht von 400 g muss der Gewichtsunterschied sogar 8 g betragen, damit wir ihn wahrnehmen können. Die Größe des jnd wächst also mit der Größe des Standardreizes, oder umgekehrt, unsere Unterschiedsempfindlichkeit nimmt mit zunehmender Reizstärke ab. Wie aber bereits Weber feststellte, bleibt die Schwelle (der jnd) aber relativ zu dem Standardgewicht konstant:

$$\frac{2}{100} = \frac{4}{200} = \frac{8}{400} = \ldots = 0,02 (= \text{konstant}).$$

Diesen Zusammenhang beinhaltet das erst später von Fechner formulierte **Weber'sche Gesetz.**

Weber'sches Gesetz

Es besagt, dass der eben merkliche Unterschied zweier Reize (ΔS) zur absoluten Größe des Standardreizes (S) in konstantem Verhältnis steht: $\frac{\Delta S}{S}$ = k (= Weber-Quotient, Weber-Konstante)

In unserem Beispiel weist diese Konstante den Wert k = 0,02 auf.

In Tab. 3.3 sind die Weber-Konstanten für einige Sinnesmodalitäten zusammengestellt. Sie lassen die recht unterschiedliche Empfindlichkeit unseres Wahrnehmungsvermögens erkennen.

Wie weitere Untersuchungen der letzten Jahrzehnte erkennen lassen, gilt das Weber'sche Gesetz für die meisten Sinne, sofern

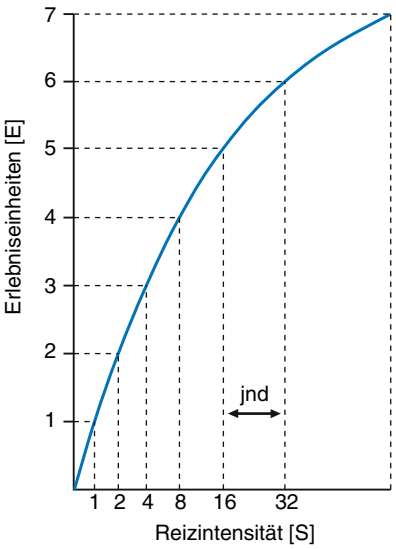


Abb. 3.5 Darstellung der Relation zwischen Empfindungsstärke und Reizintensität nach Fechners psychophysischer Beziehung. Der kleinstmöglichen Zunahme der Empfindungsstärke, definiert durch die Unterschiedsschwelle (jnd), entsprechen bei höheren Ausgangsreizen größere Reizzuwächse als bei kleinen Ausgangsreizen

die Reizstärke nicht zu nahe an der absoluten Reizschwelle liegt, bei Gewichten zum Beispiel, sofern das Standardgewicht über 50 g liegt.

3.2.2 Psychophysische Funktionen

Fechner konstruierte nun eine Skala der Empfindungsstärke, für deren Nullpunkt er die Absolutschwelle und für deren Maßeinheit er die **Unterschiedsschwelle** heranzog. Einem Reiz, dessen Intensität sich eben merklich von der Absolutschwelle der zugehörigen Reizdimension unterscheidet, wird hierbei ein Empfindungswert von 1, dem nächsten eben merklich intensiveren Reiz, ein Empfindungswert von 2 zugeordnet usw. (vgl. Abb. 3.5). Da dem Weber'schen Gesetz zufolge die Unterschiedsschwelle proportional zur Intensität des Ausgangsreizes ansteigt, ergibt sich die Empfindungsstärke als logarithmische Funktion der physikalischen Reizintensität(vgl. auch Wohlschläger und Prinz 2006):

$$E = a \times \log(S) + b$$

(wobei a und b reizdimensionsspezifische Konstanten darstellen).

Das heißt, einem linearen Zuwachs der Empfindungsstärke (E) entspricht ein logarithmischer Zuwachs der Reizstärke (S), (Abb. 3.5).

Diese Beziehung wird heute als **Fechner'sches Gesetz** bezeichnet.

Hieraus ergibt sich, dass für eine Erhöhung der empfundenen Stärke eines Reizes um einen bestimmten Betrag – beispielsweise eine Verdoppelung – mitunter eine Vervielfachung der physikalischen Reizintensität nötig ist (Beispiel in *Zusatztext online*).

Fechner'sches Gesetz

(Psychophysisches Grundgesetz)
Es besagt, dass die erlebte Empfindungsstärke (E) eines Reizes proportional zum Logarithmus der physikalischen Intensität (S) des Reizes wächst.

Oder: Fechners psychophysische Beziehung besagt, dass einem linearen Zuwachs der Empfindungsstärke (E) ein logarithmischer Zuwachs der Reizstärke (S) entspricht.

Fechners Ansatz ist nicht ohne Kritik geblieben. Insbesondere die Gültigkeit der Annahme des Zusammengehens eben merklicher Unterscheidbarkeit zwischen zwei Reizen mit einem konstanten Unterschied an Empfindungsstärke konnten in der Folgezeit so nicht bestätigt werden. Fechners Formel bringt vielmehr nur eine Approximation (Annäherung) an die tatsächlichen Verhältnisse, wie sie erst 1957 von S. S. Stevens genauer untersucht und im sogenannten **Stevens'sches Potenzgesetz** formuliert wurden, das auf der von ihm entwickelten Methode der direkten relativen Größenschätzung der jeweiligen Intensität aufbaut. Stevens betrachtete nicht Erlebniseinheiten in Relation zu Reizeinheiten, sondern Erlebnisverhältnisse in Relation zu Reizverhältnissen. Er bot seinen Versuchsprobanden jeweils zunächst einen Standardreiz, zum Beispiel einen Lichtpunkt mittlerer Intensität, dem er einen bestimmten Wert zuordnete, zum Beispiel 10. Dann bot er parallel weitere Lichtpunkte mit unterschiedlichen Lichtintensitäten dar, denen die Untersuchungsperson entsprechend der wahrgenommenen Helligkeit ebenfalls eine Zahl zuordnen sollte. Erscheint das Licht zum Beispiel nur halb so hell, erhält es die Zahl 5, entsprechend die Zahl 20 bei wahrgenommener doppelter Helligkeit. Trägt man die so erhaltenen Werte in einer Grafik auf, so resultiert in diesem Fall eine ähnliche Kurve, wie sie bereits Fechner erhielt. Anders sieht es jedoch aus, wie Stevens feststellte, wenn man das gleiche Verfahren auf weitere, bis dahin nicht untersuchte Sinnesmodalitäten anwendet. Abb. 3.6 zeigt die Ergebnisse für solche Intensitäts- beziehungsweise Größenschätzungen für (3) Helligkeit, (2) die Länge einer Linie und (1) die Schmerzempfindung auf einen am Finger verabreichten elektrischen Stromimpuls. In diesen Fällen versagt die Fechner'sche Formel.

Derlei Ergebnisse gaben Anlass zu dem Schluss, dass die Beziehungen zwischen Reiz und Empfindungsstärke meist besser durch Potenzfunktionen beschrieben werden können, bei denen die Empfindungsstärke (E) als proportional zur n-ten Potenz der Reizstärke (S) dargestellt wird (abzüglich der Schwellenreizstärke):

$$E = k \times S^n$$

(wobei k und n reizdimensionsspezifische Konstanten darstellen).

Stevens'sche Potenzfunktion

Sie besagt, dass die Erlebnisstärke (E) zu einer (jeweils bestimmten) Potenz der Reizintensität (S) proportional ist.

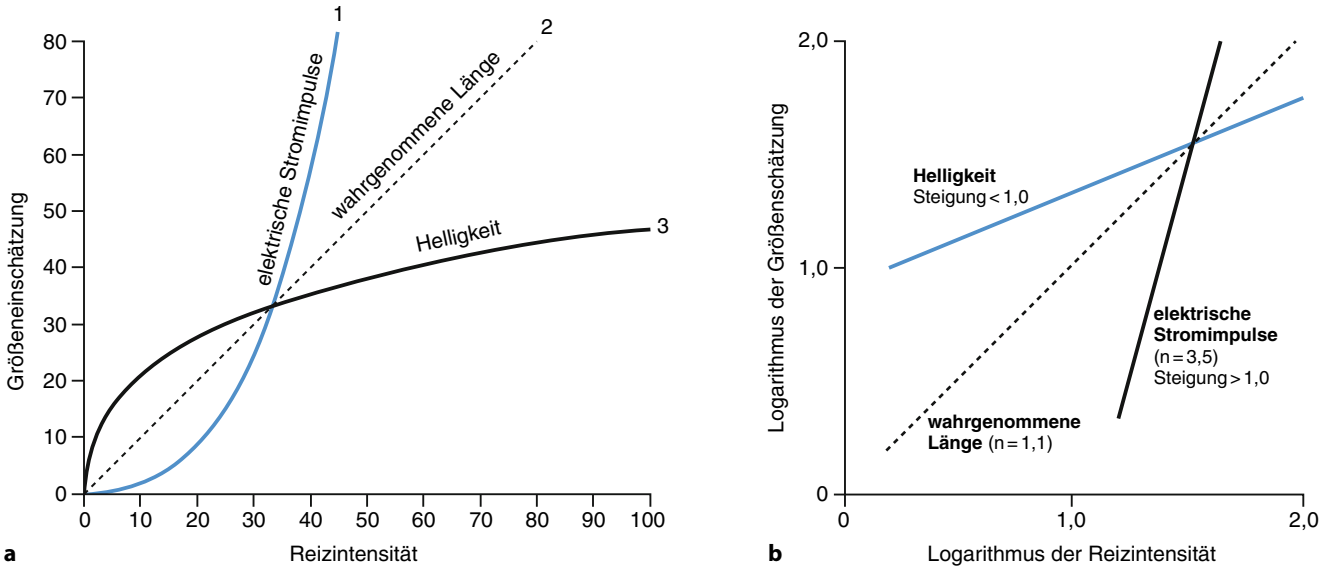


Abb. 3.6 a Darstellung der Beziehung zwischen Empfindungsgröße und Reizstärke verschiedener Reize, und zwar (1) Stärke elektrischer Stromimpulse, (2) Länge von Linien, (3) Helligkeit (bzw. Leuchtintensität) eines Leuchtfeldes. **b Darstellung derselben Beziehungen** wie a, jedoch auf logarithmischen Koordinaten. Trägt man statt der direkten Messwerte jeweils den Logarithmus derselben auf, also den Logarithmus der Empfindungsgröße gegen den Logarithmus der jeweiligen Reizstärken, erhält man statt der Kurven unterschiedlich geneigte Geraden, deren Neigung (= Steigung) durch den Exponent in der Stevens'schen Formel erfasst wird

Ähnlich wie den Weber-Quotienten $\Delta S/S = k$ als Erlebniseinheit ΔE kann man den Exponenten (n) in der Stevens-Potenzfunktion als Maß für die jeweilige Sinnesempfindlichkeit interpretieren. Stevens und Galanter (1957) sowie Stevens (1975) haben solche Exponenten für eine große Zahl von Reizkontinua ermittelt. Exponenten zwischen 0 und 1 bedeuten abnehmende Steigung der Empfindlichkeitskurven und damit abnehmende Empfindlichkeit bei zunehmender Reizstärke (zum Beispiel Lautstärke, Helligkeit), wie es auch nach Fechners logarithmischer psychophysischer Funktion der Fall ist. Ein Exponent >1 dagegen bedeutet zunehmende Steigung, das heißt, je stärker der Reiz, desto empfindlicher wird das Sinnesorgan. Der größte Exponent mit 3,5 wurde für Schmerz durch elektrische Stromimpulse gemessen.

Kritisch hinterfragt

Es gibt eine kritische Diskussion um die Frage, ob die „wahre" psychophysische Funktion logarithmisch sei (wie Fechner sagt) oder einer Potenzfunktion entspricht (wie Stevens glaubte), die auf dem Bestreben beruhe, eine universelle psychophysische Funktion zu finden, die für alle Sinnesmodalitäten gleichermaßen gilt. Aber warum sollte eigentlich ein einziger Funktionstyp für die Vielfalt der verschiedenen Sinnesorgane generell gelten?
So schränkte Stevens die Gültigkeit der Potenzfunktion als *psychophysische* Funktion bereits auf quantitative Reizkontinua ein, bei denen man „größer als"-Relationen aufstellen kann, wie zum Beispiel bei der Lautstärke oder der Helligkeit. Nicht gültig sollen sie dagegen sein für qualitative Reizkontinua, bei denen die entsprechende Relation nur lauten könnte: „anders als" (zum Beispiel Tonhöhe, Farbton). Ausführlicher in *Zusatztext online*.

Kritisch hinterfragt

In der klassischen Psychophysik soll ein Zusammenhang zwischen äußeren Reizereignissen und dem Wahrnehmungsinhalt oder der inneren Empfindung hergestellt werden. Während die äußeren Reizgegebenheiten mittels technischer Messverfahren bestimmt werden können, wird die zugehörige Empfindung aus dem Verhalten der Versuchsperson – zum Beispiel aus ihrem verbalen Urteil – „erschlossen". Ermöglicht ein solches Vorgehen wirklich einen Einblick in die subjektive Wahrnehmungswelt? Welche Arten von Verzerrungen können Sie sich vorstellen? Welche halten Sie für plausibel?

3.2.3 Signalentdeckungstheorie

Die Vorstellung einer absoluten Wahrnehmungsschwelle, wie sie in der klassischen Psychophysik (im Weber-Fechner'schen sowie Stevens'schen Sinne) vorliegt, wurde inzwischen als nicht tragfähig angesehen, denn es zeigte sich, dass die Entdeckbarkeit eines Reizes oder Reizunterschiedes nicht allein von dem Reiz abhängig ist.

Anders als die klassische Psychophysik geht die **Signalentdeckungstheorie** (*signal detection theory*) nun davon aus, dass die Reaktionswahrscheinlichkeit des Organismus von Zufallsverteilungen der Feuerbereitschaft von Nervenzellen abhängt. Sie berücksichtigt auch weiter den Einfluss motivationaler Komponenten, wie Wunsch, Erwartung und Gewohnheit: Wenn wir uns ein bestimmtes Ereignis wünschen, spiegelt sich das in unserer Reaktionsbereitschaft wider. Unsere Erwartungen über die Auftretenswahrscheinlichkeit des Reizes verändern ebenfalls unsere

		Reaktion Beobachter	
		ja	nein
Reiz	vorhanden	Treffer (*hit*)	falsch positiv (*miss*)
	nicht vorhanden	falsch negativ (*false alarm*)	korrekte Ablehnung (*correct rejection*)

Abb. 3.7 Reiz-Reaktions-Matrix zur Theorie der Signalentdeckung. Die Matrix gruppiert die möglichen Antwortergebnisse hinsichtlich ihres Zutreffens, wenn eine Versuchsperson Beobachtergefragt wird, ob sie einen vorhandenen (oder nicht vorhandenen) Reiz wahrnimmt (ja) oder nicht wahrnimmt (nein)

		induziertes Antwortverhalten	
		ja	nein
Reiz	vorhanden	großer Gewinn kleiner Verlust	großer Verlust kleiner Verlust
	nicht vorhanden	kleiner Verlust großer Verlust	kleiner Gewinn großer Gewinn

Abb. 3.8 Payoff-Matrix des Antwortverhaltens. Der antizipierte Payoff oder die Auszahlung (Gewinn oder Verlust) einer Antwortentscheidung wirkt sich auf das Antwortverhalten aus. So motiviert der angenommene, in jeder Zelle angegebene, grau unterlegte Payoff eine Ja-Antwort, der nicht unterlegte eine Nein-Antwort

Reaktionsbereitschaft. Antwortgewohnheiten neigen zur Perpetuierung (vgl. Grenzmethode).

Bei der Bestimmung der absoluten Schwelle nach den Methoden der klassischen Psychophysik könnte es also sein, dass eine Untersuchungsperson besonders „entdeckungsfreudig" ist und im Zweifel eher Ja sagt, während eine andere Person eher zurückhaltend ist und sich leichter für Nein entscheidet. Unter den Bedingungen der relativen Unsicherheit im Schwellenbereich würde das bedeuten, dass bei einem Versuch manche Personen die Entdeckung eines Reizes öfter berichten, als sie diesen wahrgenommen haben können (Ja-Sager), während die Nein-Sager dazu tendieren, bei Unsicherheit eher weniger Signalentdeckungen anzugeben. Ziel der Signalentdeckungstheorie ist es, in solchen Situationen die eigentliche Sinnesempfindlichkeit von der Antworttendenz (*response bias*) des Entscheidungsprozesses zu trennen (Genaueres in *Zusatztext online*).

Die Signalentdeckungstheorie berücksichtigt neben der durch einen Reiz ausgelösten Empfindungsstärke auch den zugehörigen Entscheidungsprozess. Sie ersetzt das Konzept einer klaren absoluten Wahrnehmungsschwelle durch das Konzept eines Zwei-Stufen-Prozesses:

1. **Eine anfängliche sensorische Aktivität, die aus der Sensitivität des sensorischen Systems resultiert,**
2. **Ein davon unabhängiger kognitiver Entscheidungsprozess, der die neuronale Aktivität gemäß eines individuell festgelegten Antwortkriteriums (entsprechend der Antworttendenz) bewertet.**

Die auf diesem Konzept basierende Messmethode der Signalentdeckungstheorie erlaubt es, sowohl die sensorischen Prozesse als auch die Entscheidungsprozesse auf einmal zu erfassen. Das prinzipielle Vorgehen verdeutlicht die Matrix möglicher Ereignisse in Abb. 3.7.

Vorgegeben wird den Probanden in der Hälfte der Durchgänge ein grenznaher schwacher Reiz, in der anderen Hälfte der Durchgänge wird gar kein Reiz geboten. Wieder lautet für den Probanden die Aufgabe, mit Ja zu antworten, wenn er meint, einen Reiz entdeckt zu haben, und mit Nein, wenn er meint, dass kein Reiz geboten wurde. Nach der Matrix lassen sich nun die erhaltenen Antworten in Bezug auf die tatsächlichen Reizvorgaben als Treffer, Fehler (falsch positiv), falsche Alarme (falsch negativ)

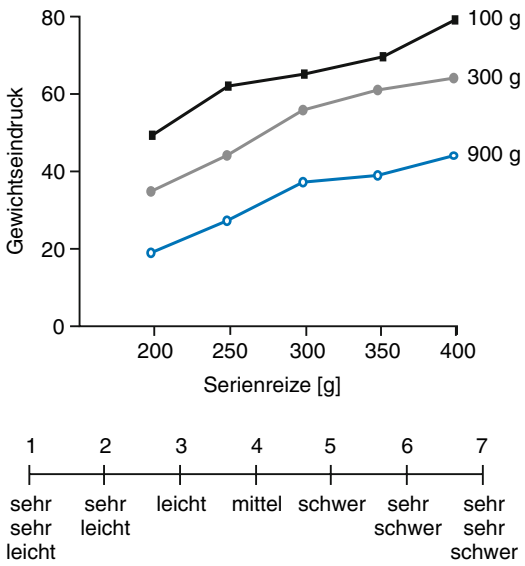


Abb. 3.9 Adaptationseffekte verschiedener Ankerreize. Die Kurven zeigen, dass gleiche Serienreize, je nach den vorher erlebten Vor- oder Ankerreizen (100 g, 300 g, 900 g), deutlich unterschiedlich, das heißt als leichter oder schwerer, wahrgenommen werden. (Nach Helson 1947)

oder korrekte Ablehnungen einordnen, je nachdem, ob tatsächlich ein Reiz vorhanden war oder nicht und ob andererseits der Proband zutreffend reagiert hat oder nicht.

Die mathematisch statistischen Überlegungen geben nun eine Möglichkeit an, die falschen Alarme von den sensorischen Reaktionen zu trennen. Zur Erfassung der Antworttendenz wird die Antwortneigung durch Manipulation der Antwortfolgen (zum Beispiel Belohnung) manipuliert. Bei hohen Kosten für „falsche Alarme" und niedrigen Belohnungen für entdeckte Reize wird der Proband bei Ungewissheit eher dazu neigen, einen nicht sicher erkannten Reiz nicht zu melden. Bei hohen Belohnungen für entdeckte Reize und niedrigen Kosten für falsche Alarme wird er dagegen eher geneigt sein, zweifelhafte Reize zu melden. Die Signalentdeckungstheorie geht nun davon aus, dass der Proband, um konsistente Entscheidungen treffen zu können, sich selbst entsprechend ein Kriterium auf dem inneren Kontinuum der neuralen Aktivität setzt, oberhalb dessen er einen Reiz meldet, unterhalb dessen jedoch nicht, und dass die Festsetzung

Exkurs 3.1

Genauer betrachtet: Ähnlichkeits-Klassifikations-Modell

Eine Erweiterung des Helson'schen Ansatzes geht auf Sarris (1971) zurück, der in seinen gleichartigen Experimenten den Bereich der Ankerreize ausdehnte und auch sehr kleine (10 g) und beträchtlich große (4,5 kg) Ankerreize mit einbezog. Dabei stellte sich heraus, dass ein Vorreiz (Ankerreiz) nur dann die von Helson vorhergesagte Wirkung auf das Adaptationsniveau ausübt, wenn er sich nicht zu stark von dem zu beurteilenden Reiz unterscheidet. Das Adaptationsniveau wird also nur bei mäßiger Abweichung verschoben, so dass verschiedene derartige Beurteilungssysteme nebeneinander bestehen können. Urteilsgegenstände werden nach diesem **Ähnlichkeits-Klassifikations-Modell** vom Organismus offenbar in Klassen zusammengefasst, die man zum Beispiel als „Federgewichte" oder „Schwergewichte" bezeichnen könnte. So unterscheiden wir beispielsweise zwischen schweren und leichten Briefen, andererseits zwischen schweren und leichten Tischen, wobei die leichten Tische weit schwerer sind als die schweren Briefe. Wir urteilen offenbar stets in bestimmten Bezugssystemen und nicht nach einfachen oder reinen Sinnesempfindungen.

dieses Kriteriums von den Erwartungen möglicher Gewinne oder Verluste abhängig ist. Diese Zusammenhänge lassen sich in einer **Auszahlungs-** oder **Payoff-Matrix** (◘ Abb. 3.8) darstellen.

In der oberen Hälfte jeder Zelle der Matrix steht die Auszahlung, die eine Ja-Antwort motiviert; die Auszahlung in der unteren Hälfte der Zelle motiviert die Nein-Antwort. Steht beispielsweise für eine Ja-Antwort ein großer Gewinn, wenn der Reiz tatsächlich vorhanden ist, und ein großer Verlust für eine (falsche) Nein-Antwort, wird die Tendenz zum Ja-Sagen überwiegen. Aus den relativen Häufigkeiten für „Treffer" und „falsche Alarme" lässt sich dann über eine hier nicht weiter dargestellte Verrechnung (zum Beispiel Velden 1982) ein Maß für die jeweilige Sinnesempfindlichkeit ableiten, das von der Antwortneigung unabhängig ist (aktueller Bezug: *Zusatztext online*).

3.2.4 Bezugssysteme für subjektive Urteile

Nach den bisher dargestellten Befunden der Psychophysik könnte man meinen, dass derselbe physikalische Reiz bei derselben Person mehr oder weniger stets ein und dieselbe gleichartige Empfindungsstärke hervorruft beziehungsweise zu einer gleichartigen Beurteilung des Sinnesreizes führt. Dass dem aber nicht so ist, konnte der amerikanische Psychologe H. Helson in einer großen Reihe von Experimenten nachweisen. Nach Helson (1964) und seiner ***adaptation level theory*** beruht die Stärke einer wahrgenommenen Empfindung nicht nur auf der Stärke des gerade vorhandenen einzelnen Reizes, sondern sie wird auch durch das Gesamtangebot vorhandener und zuvor erfahrener Reize mitbestimmt. Diese führen zur Ausbildung eines bestimmten subjektiven, durch weitere Reize veränderbaren **Bezugssystems**, von dem aus wir (zum Teil unbemerkt) jeden neuen Reiz *beurteilen*.

Helson (1947) ließ zum Beispiel von verschiedenen Personen eine Serie von fünf Gewichten zwischen 200 und 400 g anheben und anschließend auf einer neunstufigen Skala von „sehr, sehr leicht" über „mittel" bis hin zu „sehr, sehr schwer" einstufen. Vor dieser Gewichtseinschätzung hatten die Versuchspersonen jedoch noch eine Reihe anderer Gewichte anzuheben: Die Versuchspersonen der ersten Gruppe mussten vor der eigentlichen Beurteilung Gewichte von 100 g heben, die der zweiten Gruppe Gewichte von 300 g und die der dritten Gruppe Gewichte von 900 g. Wenn die Versuchspersonen nun die gleiche Serie der fünf Gewichte beurteilen sollten, stellten sich erhebliche Beurteilungsunterschiede ein (◘ Abb. 3.9).

Die Versuchspersonen, die zuvor **Ankerreize** von 100 g gehoben hatten, beurteilten die Serienreize als wesentlich schwerer, die Versuchspersonen der dritten Gruppe (die zuvor Ankerreize von 900 g gehoben hatten) beurteilten sie als wesentlich leichter als die der mittleren Gruppe. Diese Erfahrungswirkung bezeichnete Helson als **Adaptationseffekt**. Den Punkt auf dem Reizkontinuum, oberhalb dessen wir Reize als „stark" (schwer, groß, hoch und so weiter) erleben und unterhalb dessen wir Reize als „schwach" (leicht, klein, tief und so weiter) empfinden, hat Helson als **Adaptationsniveau** (*adaptation level*, **AL**) bezeichnet. Es ist der Neutralpunkt unseres Empfindens. Aus den zahlreichen Untersuchungen bei den verschiedenen Sinnesmodalitäten geht hervor, dass dieses Adaptationsniveau recht genau beim jeweiligen **geometrischen Mittel** der vorangegangenen Reize liegt. Es lässt sich nun mathematisch zeigen, dass dies einer normalen (arithmetischen) Mittelung auf einer logarithmischen Skala gleichkommt, wie es dem Fechner'schen Gesetz entspricht, denn das geometrische Mittel aus n Reizen erhält man, indem man die n Reizstärken miteinander multipliziert und aus dem Produkt die n-te Wurzel zieht. Der Logarithmus des geometrischen Mittels entspricht somit dem arithmetischen Mittel der Logarithmen der einzelnen vorangegangenen Reize, also dem gewöhnlichen Mittelwert auf einer logarithmischen Skala. Der Organismus stellt sich also auf ein mittleres Reizstärkeniveau auf der physiologischen Skala ein. Wie Helson in seinem Experiment zeigen konnte, beeinflusst auch schon ein einzelner, vor dem zu beurteilenden Reiz gegebener Ankerreiz das Urteil erheblich.

Das subjektive Urteilen bezieht sich also nicht, wie das der physikalischen Messung, auf einen Nullpunkt am unteren Ende der Skala, sondern auf einen individuellen Neutralwert in der Mitte der Skala. Solche Bezugssysteme bilden die Grundlage zur Bestimmung von Mittel- und Extremwerten sowie quantifizierten Zwischenstufen und gestatten so den Vergleich von Merkmalsausprägungen. Wie Witte (1960) herausstellte, überdauern Bezugssysteme die einzelnen Reize im Gedächtnis. Ihre Ausbildung ist eine Leistung der kognitiven Verarbeitung von Reizen (▶ Exkurs 3.1).

Nach der Adaptationsleveltheorie (*adaptation level theory*) beurteilen wir die Stärke eines erlebten Reizes nicht allein nach seiner physikalischen Intensität, sondern in Bezug auf ein subjektives Adaptationsniveau.

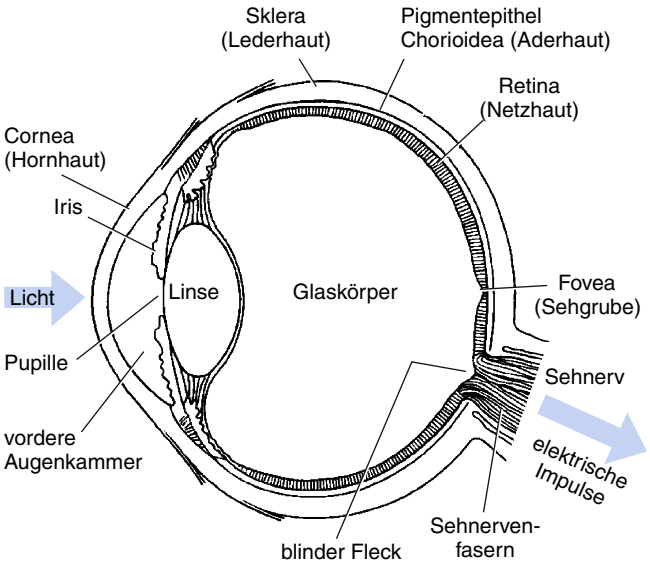


Abb. 3.10 Querschnitt durch das menschliche Auge. Das in das Auge eintretende Licht durchquert die Cornea, die bereits zur Lichtbrechung beiträgt, danach die wässrige Augenflüssigkeit, die Linse und den Glaskörper, ehe es auf die Retina auftrifft. Die ankommende Lichtmenge (Helligkeit) wird durch die Größe der Pupille geregelt. Sie stellt eine Öffnung in der aus einem ringförmigen Muskel gebildeten Iris dar, der durch Entspannung oder Zusammenziehen die Pupillengröße verändert. Die Netzhaut enthält die Fotorezeptoren und weiterleitende Neurone. Die Fovea (Sehgrube) ist die Stelle des schärfsten Sehens. Sie enthält nur Zapfenrezeptoren, die übrige periphere Netzhaut sowohl Stäbchen als auch Zapfen

3.3 Visuelle Wahrnehmung

Was wir beim Betrachten einer Szene wahrnehmen, wie wir eingangs am Beispiel des Kahnes auf einem See verdeutlicht hatten, ist das Resultat eines vielschichtigen Prozesses. Dabei werden Umweltinformationen von den Rezeptoren der verschiedenen Sinnesmodalitäten in elektrische Nervenimpulse umgewandelt, im Gehirn zusammengetragen, integriert und zu einer einheitlich schlüssigen Wahrnehmung, dem **Perzept**, verarbeitet. Für die visuelle Wahrnehmung beginnt dieser Prozess mit der Stimulation der Fotorezeptoren der Netzhaut des Auges durch einfallendes Licht.

3.3.1 Auge und Netzhaut

Das menschliche Auge als Teil des visuellen Systems (Abb. 2.23) gilt als das komplexeste und am weitesten entwickelte sowie wohl wichtigste Sinnesorgan des Menschen. Es umfasst im Wesentlichen drei unterschiedliche Verarbeitungssysteme: (1) den dioptrischen Apparat, (2) die Rezeptoren der Netzhaut und (3) ihre Verschaltung mit den Fasern des Sehnervs.

Der **dioptrische Apparat** (Linsenkörper) bündelt und fokussiert das durch die Pupille einfallende Licht und entwirft – ähnlich wie die Linse in einem Fotoapparat – ein möglichst scharfes (auf dem Kopf stehendes) Bild der Außenwelt auf der Netzhaut (Abb. 3.10 und 3.11).

Dieses das Bild erzeugende System besteht aus der durchsichtigen **Cornea** (Hornhaut), einer in ihrer Größe regulierbaren Öffnung, die als **Pupille** bezeichnet wird, und der in ihrer Form und Brechkraft ebenfalls veränderbaren **Linse**. Hornhaut und Linse zusammen fokussieren das einfallende Licht und erzeugen das Bild auf der **Retina** (Netzhaut), die zusammen mit der Aderhaut den Augenhintergrund bildet. Die Scharfeinstellung des Bildes erfolgt durch eine Formveränderung der Linse, die durch den sie wie ein Ring umfassenden **Ziliarmuskel** bewirkt wird. Dieser Vorgang der Scharfeinstellung wird **Akkommodation** genannt (Abb. 3.12).

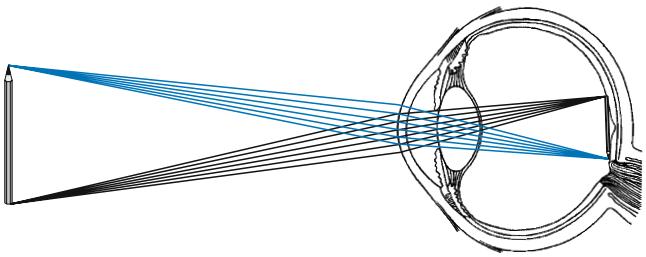


Abb. 3.11 Der dioptrische Apparat. Das Bild des gesehenen Objekts wird auf der Netzhaut auf dem Kopf stehend abgebildet

Um nahe Objekte zu fokussieren, wird die Linse durch Anspannung des Ziliarmuskels dicker und runder (stärkere Lichtbrechung), zur Fokussierung ferner Objekte wird sie flacher und dünner. Bei kurzsichtigen Personen kann die Linse bei der Entspannung des Ziliarmuskels nicht flach genug werden, um weit entfernte Gegenstände auf der Retina scharf abzubilden. Dies gelingt hier nur bei nahe gelegenen Objekten, was als **Myopie** bezeichnet wird. Bei weitsichtigen Personen kann sich die Linse nicht genug entspannen, das heißt, die Linsenkrümmung der Linse erfolgt nicht stark genug, um nahe gelegene Objekte zu fokussieren – dies wird als **Hyperopie** bezeichnet. Diese Defizite der Akkommodation lassen sich bekanntlich durch Brillen oder Kontaktlinsen weitgehend korrigieren. Die Entfernung, bei der die Linse nicht mehr weiter akkommodieren kann, heißt **Nahpunkt**. Diese Entfernung wird mit zunehmendem Alter größer und führt zu Altersweitsichtigkeit (**Presbyopie**). Auch die Akkommodation nimmt im Alter ab.

Durch die in ihrem Durchmesser variable Pupille wird die einfallende Lichtintensität reguliert und auf ein möglichst gleich bleibendes Niveau eingestellt – vergleichbar der automatischen Blendeneinstellung bei einem Fotoapparat mit Belichtungsmesser. Das heißt, bei großer Helligkeit verengt sich die Pupille, bei Dämmerlicht weitet sie sich, um genügend Licht durchzulassen.

Die **Netzhaut** des Auges bildet das zweite Verarbeitungssystem der **Transduktion** (Umwandlung) und **Codierung** des vom dioptrischen Apparat auf die Netzhaut fokussierten Bildes in elektrische Nervenimpulse. Es besteht aus den Rezeptoren der Retina und den nachfolgenden neuronalen Verschaltungen.

Abb. 3.13 und 3.14 zeigen schematisch den prinzipiellen Aufbau der Netzhaut, die aus mehreren Neuronenschichten besteht. Außen, auf der lichtabgewandten Seite, befinden sich die eigentlichen Fotorezeptoren, die **Stäbchen** (für das Hell-Dunkel-Sehen) und die **Zapfen** (für das Farbsehen). In ihnen werden die Lichtreize in elektrische Signale (siehe Aktionspotenziale) umgewandelt, die dann durch das Neuronennetzwerk aus Horizontalzellen, Bipolarzellen, Amakrinzellen und den Ganglienzellen des Sehnervs bearbeitet und zum Gehirn weitergeleitet werden.

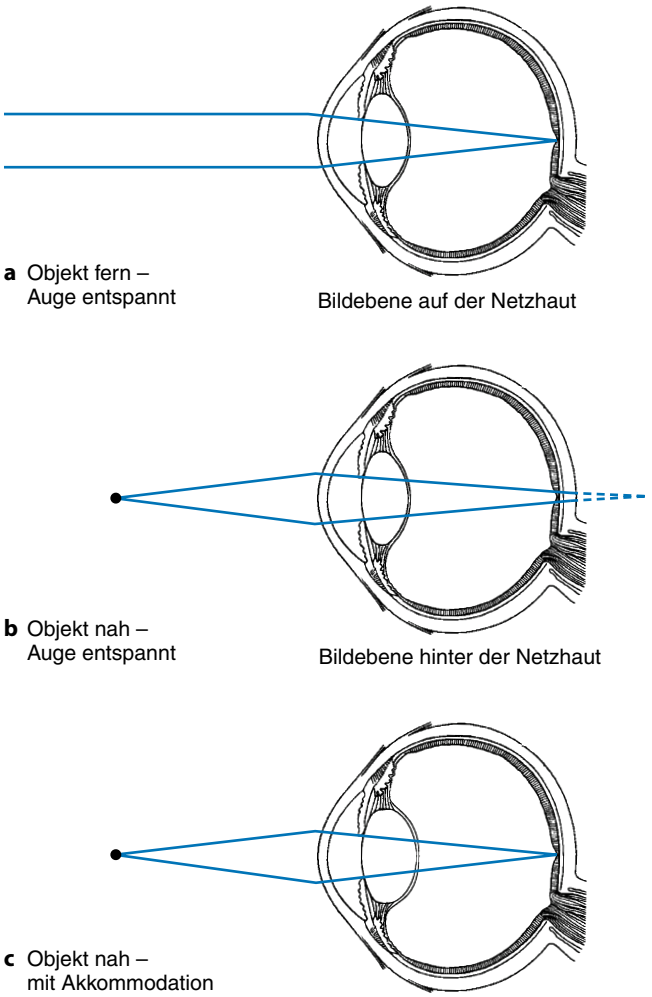


Abb. 3.12 Fokussierung des Lichtes (des Bildes) auf der Netzhaut. **a** Beim entspannten Auge werden die von einem (über 6 m) entfernten Gegenstand eintreffenden parallelen Lichtstrahlen durch den Linsenapparat so gebündelt, dass das Bild auf der Retina fokussiert (scharf gestellt) wird. **b** Näher liegende Objekte, deren Lichtstrahlen nicht parallel sind, erscheinen dann unscharf auf der Retina, weil ihre Bildebene (scharfes Bild) erst hinter der Retina liegt. **c** Durch Akkommodation, das heißt durch aktive Veränderung der Linsenform (Verdickung) und dadurch bedingte Veränderung (Erhöhung) der Brechkraft, lässt sich die Bildebene für nahe Objekte wieder nach vorn auf die Retina verschieben. (Goldstein 2014, p. 25, Fig. 2.6)

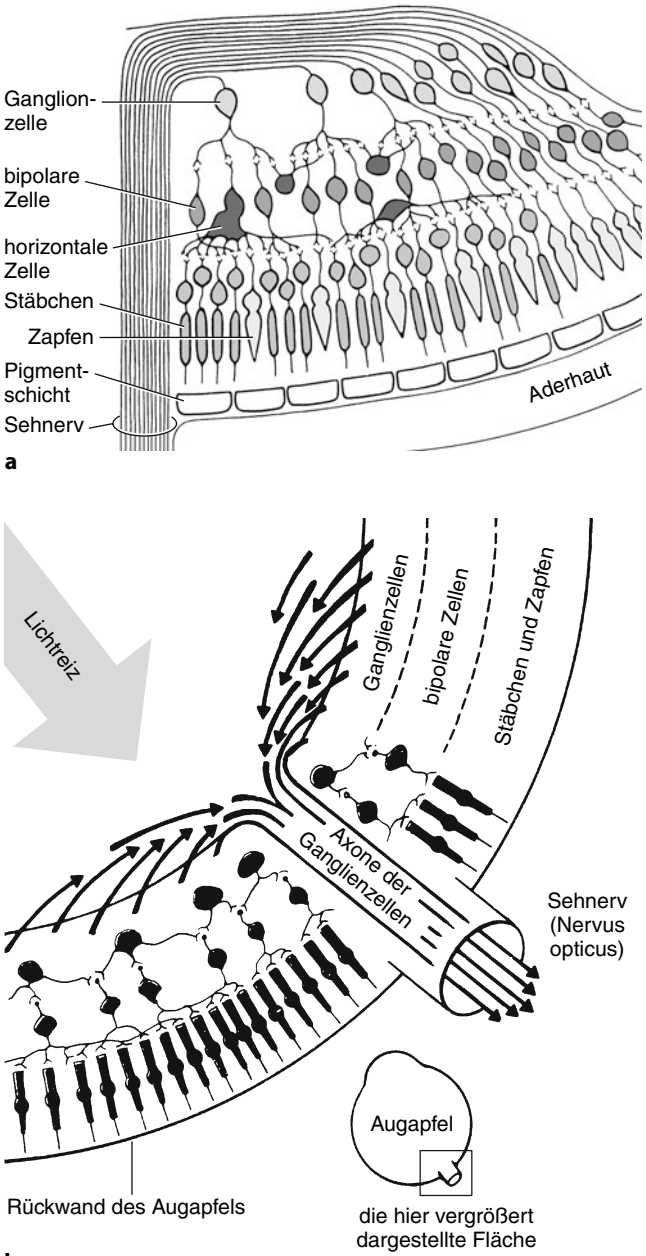


Abb. 3.13 a Übersicht über die Schichtung der Retina, b die prinzipielle unterschiedliche neuronale Verschaltung der Stäbchen und Zapfen in der Retina

Wie Abb. 3.13 zeigt, liegen die Stäbchen und Zapfen mit ihren lichtempfindlichen Enden lichtabgewandt mit Kontakt zu dem umgebenden Pigmentepithel, der Aderhaut (Chorioida), die die Rezeptoren mit Nährstoffen und Enzymen versorgt. Wegen dieser entwicklungsgeschichtlich determinierten Lage muss das Licht zunächst die anderen Netzhautneuronen (die weitgehend durchsichtig sind) passieren, ehe es die Fotorezeptoren erreicht. Dort, wo die Ganglienzellen als Sehnerv gebündelt das Auge verlassen, befinden sich keine Fotorezeptoren, sodass wir hier folglich nicht sehen können. Dieser Bereich wird als **blinder Fleck** bezeichnet. Doch ist offenbar die weitere Verarbeitung der Signale im Gehirn so organisiert, dass die Lücke kompensiert wird und wir dieses „Wahrnehmungsloch" unter normalen Umständen überhaupt nicht bemerken. Die Existenz dieser partiellen lokalen Blindheit lässt sich aber mit einem einfachen Versuch mit der in Abb. 3.15 dargestellten Vorlage nachweisen. Wenn Sie den Versuch selbst durchführen, erleben Sie auch, wie das Gehirn das blinde Feld von sich aus „automatisch ausfüllt" (Ramachandran und Gregory 1991; weitere interessante Beispiele für die „Ergänzungen" des Wahrnehmungsinhalts im Bereich des blinden Flecks finden sich bei Ramachandran 1992).

Die Stäbchen und Zapfen erfüllen ihre Aufgabe der Transduktion mittels der **Sehpigmente**. Dies sind lichtempfindliche Substanzen, die ihre molekulare Struktur unter dem Einfluss des Lichtes ändern. Das Sehpigment der Stäbchen heißt **Rhodopsin** und wird auch als „Sehpurpur" bezeichnet. Es besteht molekular aus einer Verbindung zwischen einem großen Eiweißmolekül, dem **Opsin**, und einem kleineren lichtempfindlichen Molekül,

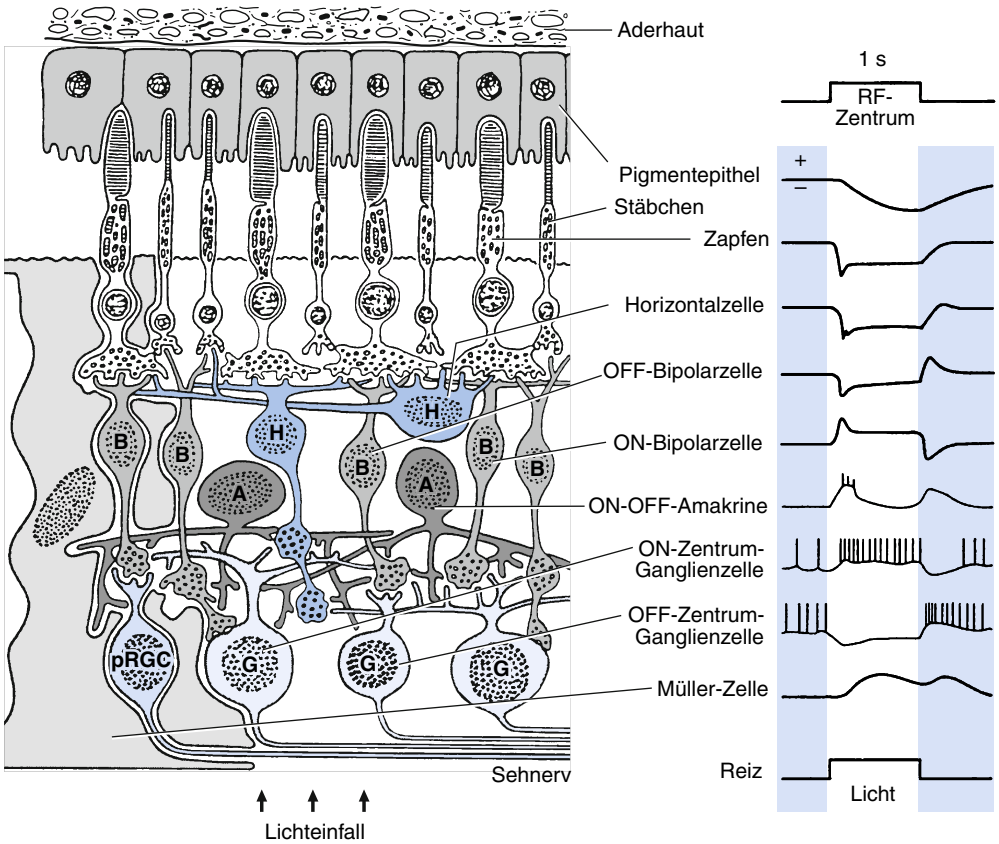


Abb. 3.14 Schematischer Querschnitt durch die menschliche Netzhaut. Gezeigt sind die fünf wichtigsten, in Schichten angeordneten Zelltypen und ihre unterschiedlichen, für die Informationsverarbeitung bedeutsamen Verbindungen. Die Stäbchen und Zapfen enthalten in ihrem Außensegment die lichtempfindlichen Substanzen (zum Beispiel Rhodopsin), deren chemische Reaktion ein elektrisches Signal auslöst. Die Bipolaren (zwei Typen) erhalten ihre Signale von einer oder mehreren Rezeptorzellen und leiten die integrierten Signale zu den Ganglienzellen, die mit ihren Axonen den Sehnerv bilden. Laterale Verknüpfungen erfolgen zum einen auf Rezeptorebene durch die Horizontalzellen, zum anderen durch sogenannte amakrine Zellen auf Ganglionzellebene. RF = receptives Feld. (Nach Dowling und Boycott 1966)



Abb. 3.15 Demonstrationsversuch zum blinden Fleck. Schließen Sie das rechte Auge und fixieren Sie mit dem linken Auge das Kreuz aus etwa 20 cm Entfernung. Bewegen Sie das Buch (oder sich selbst) langsam vor und zurück. Wenn die Kreisscheibe auf einmal verschwindet, liegt ihre Projektion im Auge genau auf dem blinden Fleck. Dennoch hat unsere Wahrnehmung hier kein „Loch", vielmehr füllt unser Wahrnehmungssystem diesen Bereich durch Umfeldinformation auf. Eine an dieser Stelle unterbrochene Linie wird in einem solchen Versuch als durchgehend wahrgenommen. (Hilgard et al. 2003, p. 118, Fig. 4.12)

dem **Retinal**. Sobald nun einfallendes Licht von dem Sehpigment absorbiert wird, zerfällt dieses unter Strukturumwandlung und über Zwischenstufen in das farblose Opsin und Vitamin A, aus denen es anschließend unter Energieaufwand wieder aufgebaut werden muss. Dieser Zerfallsprozess führt über Änderungen der Membranpermeabilität und des Membranpotenzials zur Auslösung des **Rezeptorpotenzials**, dessen Amplitude der jeweiligen Lichtintensität entspricht (Ranganathan et al. 1991).

Stäbchen und Zapfen unterscheiden sich nicht nur in ihrer Form, sondern auch in ihrer Funktionsweise, und zwar in mehrfacher Hinsicht:

1. Die **Stäbchen** sind für das Dunkel- oder **Dämmerungssehen** zuständig. Sie sprechen noch auf sehr schwache Lichtintensitäten an und liefern nur farblose Empfindungen (Hell-Dunkel-Sehen). Die **Zapfen** dagegen arbeiten am besten bei hellem Tageslicht, auch bei hohen Lichtintensitäten, und liefern farbige

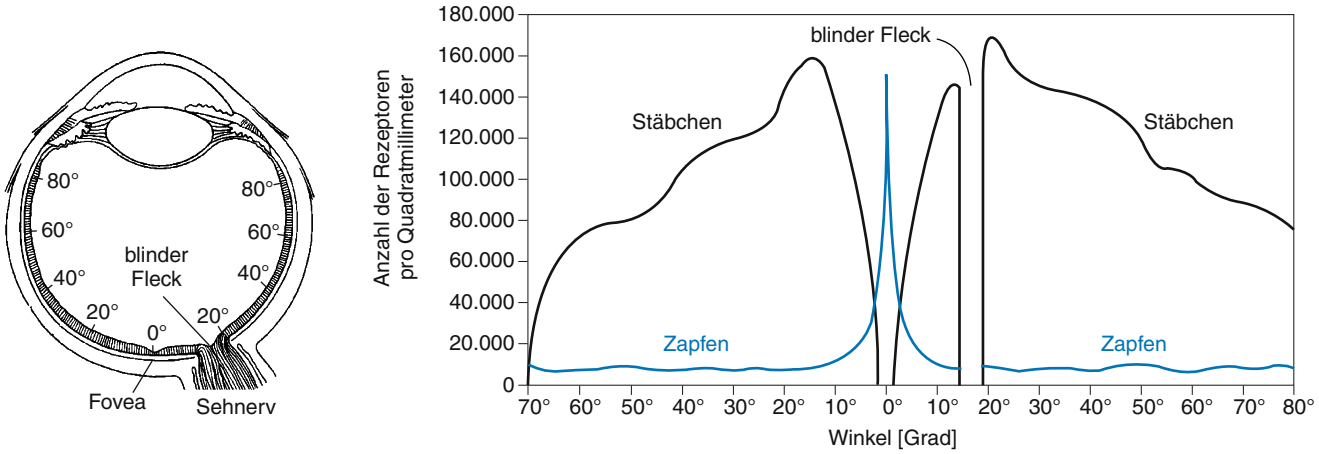


Abb. 3.16 Die Verteilung von Stäbchen und Zapfenrezeptoren in der Netzhaut Dargestellt ist die Dichte der Stäbchen und Zapfen für einen horizontalen Schnitt durch das linke Auge in Höhe der Fovea und des blinden Flecks als Funktion des Abstandes (in Grad) vom Zentrum der Fovea. (Goldstein 2014, p. 28, Fig. 2.10)

Empfindungen. Sie sind für das **Farbensehen** zuständig. Die Zahl der Stäbchen (etwa 120 Mio. in jedem Auge) übertrifft die der Zapfen (etwa 6 Mio.) um rund das Zwanzigfache.

2. Stäbchen und Zapfen haben eine recht unterschiedliche Verteilung auf der Retina. Genau gegenüber der Linse gibt es inmitten der **Makula** (**gelber Fleck**) einen kleinen zentralen Bereich, die **Fovea centralis**. Auf diesem Bereich wird das Bild des Objektes projiziert, das wir direkt anschauen. Dieser Bereich des schärfsten Sehens enthält nur Zapfen, die hier zudem am dichtesten gepackt sind (feinste Reizauflösung). Ansonsten verteilen sie sich recht gleichmäßig über den übrigen Bereich der Retina. Die Stäbchen dagegen finden sich vor allem in der Retinaperipherie, die den Punkt des schärfsten Sehens umgibt (◘ Abb. 3.16). Bei Dunkelheit können wir daher Punkte, die wir nicht fixieren, deren Bild also nicht auf die Fovea fällt, besser wahrnehmen, da sich in der Fovea keine für schwaches Licht sensitiven Stäbchen befinden.
3. Zapfen und Stäbchen unterscheiden sich zudem deutlich in der Art ihrer Verschaltung auf die nachgelagerten Nervenzellen. Im Durchschnitt erhält eine nachgeschaltete Ganglienzelle Signale von 120 Stäbchen, aber nur von etwa sechs Zapfen. Dieser Unterschied in der **Konvergenz** ist jedoch in Bezug auf die Fovea centralis noch größer, wo viele Zapfen eine direkte 1:1-Weiterleitung zu „ihrem" nachgeschalteten Neuron haben.
4. Auch die **Adaptation** an plötzliche Helligkeitsunterschiede verläuft für Stäbchen und Zapfen unterschiedlich schnell. Sie haben unterschiedliche Adaptationskurven (► Exkurs 3.2).

Die Schärfe des Sehens, das Auflösungsvermögen („sehen, was da ist") ist am höchsten im Bereich der Fovea (Punkt schärfsten Sehens), dagegen ist die Sensitivität („sehen, dass etwas da ist") am größten in der Peripherie.

Darüber hinaus enthält die Retina, wie neuere Untersuchungen zeigten, außer den Stäbchen und Zapfen eine kleinere Anzahl einer weiteren Art photosensorischer Neurone, die sogenannten **pRGC** (photosensitive Retinal Ganglion Cells). Sie befinden sich in der lichtzugewandten (inneren) Schicht. Sie bilden ein gesondertes, überlappendes *Melanopsin*-basiertes Photorezeptorsystem, das den 24-h-Hell-Dunkel-Zyklus (Tag-Nacht) registriert und für die zirkadiane Regulation verschiedener physiologische Prozesse verantwortlich ist (z. B. Pupillenkonstriktion, physiologische Schlaf-Wach-Aktivität). Es wird vermutet, dass diese Entdeckung auch weiterreichende Folgen für das Verständnis unserer Wahrnehmungsprozesse hat und klinische Relevanz besitzt (Hankins et al. 2008; Foster und Hankins 2007; Kunz und Mahlberg 2004; Wahnschaffe et al. 2013).

Wie nun diese unterschiedliche neuronale Verschaltung zu den unterschiedlichen Wahrnehmungsempfindlichkeiten führt, soll anhand von ◘ Abb. 3.18 verdeutlicht werden, in der links eine **Konvergenzschaltung** (Stäbchen) und rechts eine **lineare Schaltung** (Zapfen) dargestellt ist. Für die nachgeschalteten Neuronen nehmen wir in beiden Fällen eine gleiche Schwellenempfindlichkeit von 20 Einheiten an. Werden nun die Rezeptoren mit einer Lichtintensität beleuchtet, die unter 5 liegt, so kommt es in keinem Fall zu einer Reaktion, da die weitergeleitete Intensität weder bei Stäbchen noch bei Zäpfchen ausreicht, um das nachgeschaltete Neuron zu erregen.

Wird die Lichtintensität auf 5 oder mehr erhöht, führt dies zunächst bei der Konvergenzschaltung dazu, dass das nachgeschaltete Neuron feuert (wir sehen Licht), da hier alle gleichzeitig einlaufende Intensität zusammengenommen den Schwellenwert von 20 erreicht ($4 \times 5 = 20$). Dies wird als **räumliche Summation** bezeichnet. Bei der Zapfenganglienzelle mit der 1:1-Verschaltung reicht diese Erregung jedoch noch nicht aus. Da hier keine Summation stattfindet, müsste die Reizintensität erst auf das Vierfache, nämlich auf 20, erhöht werden, um eine Reaktion dieses nachgeschalteten Neurons auszulösen.

Neben der räumlichen Summation, die vor allem für die höhere Empfindlichkeit des Hell-Dunkel-Sehens verantwortlich ist, trägt zur größeren Empfindlichkeit des Stäbchensehens ferner sowohl ihre größere Größe bei, wodurch mehr Licht absorbiert wird als bei einem Zapfenrezeptor, als auch die Tatsache, dass die Stäbchen eine stärkere elektrische Reizantwort liefern (Barlow und Mollon 1982).

Führt Konvergenz auf der einen Seite zu einer höheren Wahrnehmungsempfindlichkeit, so ist mit ihr andererseits ein Verlust an Sehschärfe verbunden, wie wir uns an ◘ Abb. 3.19 vergegen-

Exkurs 3.2

Genauer betrachtet: Hell-Dunkel-Adaptation

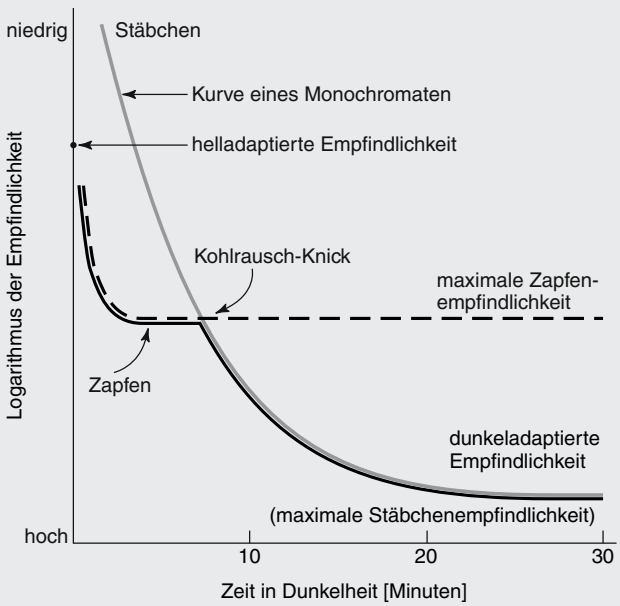
Jedem von uns dürfte das Phänomen der Licht- beziehungsweise Dunkeladaptation des Sehens aus eigener Erfahrung bekannt sein: Wenn wir aus dem hellen Sonnenlicht in einen dunklen Raum treten (zum Beispiel beim Besuch eines Kinos nach Filmbeginn), können wir zunächst kaum etwas sehen. Nach wenigen Minuten jedoch hat sich unsere Lichtempfindlichkeit so erhöht, dass wir uns orientieren und Einzelheiten erkennen können (Dunkeladaptation). Umgekehrt, wenn wir aus dem dunklen Raum schnell hinaus ins helle Tageslicht treten, sind wir zunächst geblendet und können kaum etwas erkennen. In weniger als einer Minute haben sich unsere Augen aber an die Helligkeit angepasst, und alles erscheint normal (Helladaptation).

Experimentell lässt sich nachweisen, dass die Dunkeladaptation bei Stäbchen und Zapfen deutliche Unterschiede sowohl in der Geschwindigkeit der Adaptation als auch in der erreichten Empfindlichkeitsstärke aufweist. Das Resultat solcher Experimente zeigt ◘ Abb. 3.17. Bei der Dunkeladaptation adaptieren zunächst und relativ schnell die farbempfindlichen Zapfen, bis zu einem Punkt, wo die Empfindlichkeit der langsamer adaptierenden Stäbchen überwiegt. Diesen Punkt, der den Knick in der üblichen Adaptationskurve markiert, nennt man, nach seinem Entdecker, den **Kohlrausch-Knick**.

Bei einer Untersuchung zur Bestimmung der Dunkeladaptation wird die Versuchsperson gebeten, die Helligkeit eines kleinen aufleuchtenden Lichtfeldes so einzuregeln, dass sie es gerade noch sehen kann – gemäß der Herstellungsmethode der Schwellenbestimmung. Während der Untersuchung blickt die Versuchsperson nun auf einen kleinen Fixationspunkt, während sie gleichzeitig auf das seitlich davon platzierte Feld zu achten hat, dessen Helligkeit sie einregeln soll. Bei dieser Anordnung fällt die Abbildung des Fixationspunktes genau auf die Fovea und das Testbild in die benachbarte Peripherie, wo es sowohl Stäbchen als auch Zapfen erregt. Unter dieser Bedingung messen wir also die Adaptation beider Sorten von Fotorezeptoren.

Zur Messung der **Dunkeladaptation** wird die Versuchsperson nun zunächst hellem Licht ausgesetzt, womit eine Helladaptation erzielt wird. Die Versuchsperson stellt dabei die Helligkeit des Testfeldes so ein, dass sie es gerade eben noch sehen kann. Dies entspricht der **helladaptierten Empfindlichkeit**. Nach Ausschalten des hellen Adaptationslichtes erscheint das Testfeld natürlich plötzlich viel heller, und die Versuchsperson senkt dessen Intensität zurück zur Wahrnehmungsschwelle. Mit der automatisch einsetzenden Rezeptoradaptation erscheint das Testfeld zunehmend heller, sodass die Versuchsperson die Helligkeit des Testfeldes ständig weiter herunterregeln muss, um exakt an der Wahrnehmungsschwelle zu verbleiben. Als Resultat dieser Messung über die Zeit von etwa 30 min erhalten wir eine **Dunkeladaptationskurve** (ausgezogene Linie in ◘ Abb. 3.17), mit einem deutlichen Knick bei etwa sieben Minuten Adaptationszeit, dem Kohlrausch-Knick. Offenbar erhöht sich die Empfindlichkeit (Senkung der Wahrnehmungsschwelle) des Auges in zwei Phasen: Zuerst steigt die Empfindlichkeit recht schnell an und erreicht nach etwa drei bis vier Minuten ein für weitere vier Minuten gleich bleibendes Plateau. Dann nimmt die Empfindlichkeit nach etwa sieben bis zehn Minuten erneut zu (sinkende Schwellenkurve) und erreicht nach circa 30 min die mehr oder weniger gleich bleibende **dunkeladaptierte Empfindlichkeit**.

Um zu zeigen, dass der **erste Kurvenabschnitt** der Dunkeladaptationskurve allein auf die **Adaptation der Zapfen** zurückgeht, wird das Experiment wiederholt, jedoch müssen die Versuchspersonen diesmal direkt auf das Testbild blicken, sodass dessen Abbild nun auf ihre Fovea fällt, die ausschließlich Zapfen enthält. Das Resultat dieses Durchganges zeigt die gestrichelte Kurve in ◘ Abb. 3.17. Wie ersichtlich, entspricht der erste Teil der Kurve genau der Gesamtadaptationskurve. Der zweite Teil der Kurve zeigt, dass die Zapfen aber nicht weiter adaptieren, die Empfindlichkeit also nicht weiter ansteigt. Das heißt, der weitere Teil der **Gesamtadaptationskurve** beruht ausschließlich auf der weiteren **Stäbchenadaptation**. Dies lässt sich bestätigen, wenn man die gleiche Untersuchung bei sogenannten Stäbchenmonochromaten durchführt, das heißt bei Personen, deren Retina aufgrund eines genetischen Defekts ausschließlich Stäbchen enthält (graue Kurve in ◘ Abb. 3.17).



◘ **Abb. 3.17** Verlauf der Dunkeladaptation. (Goldstein 1996 (dt. Ausgabe 1997), S. 53, Abb. 2.22)

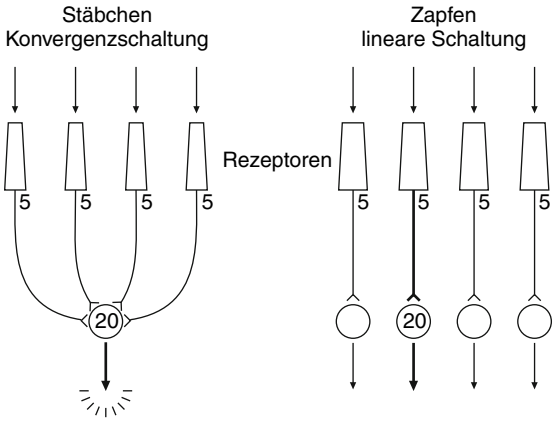


Abb. 3.18 Neuronale Verschaltungsprinzipien von Rezeptorzellen. Konvergenzschaltung bei Stäbchen (*links*) und lineare Schaltung bei Zapfen (*rechts*). Die Zahlen geben eine fiktive Reizintensität an, die nötig ist zur Erregung und Weiterleitung (Reizschwellenwerte)

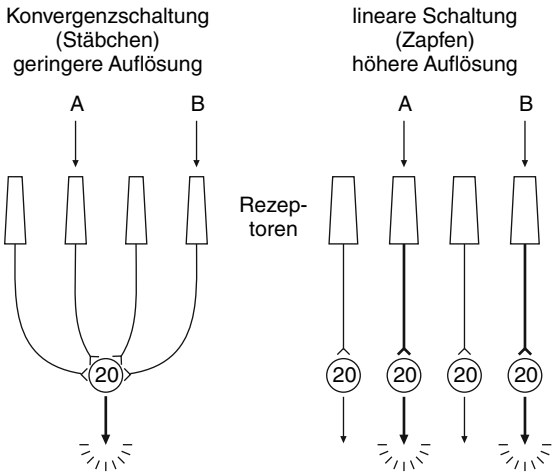


Abb. 3.19 Das Auflösungsvermögen für einzelne Reize (Unterscheidungsvermögen) ist bei der Konvergenzschaltung prinzipiell verringert

wärtigen können. In diesem Fall verwenden wir für unsere Überlegungen jeweils zwei Lichtpunkte genügend hoher Intensität, sodass in beiden Schaltungen die Schwellenempfindlichkeit des nachgeschalteten Neurons erreicht wird. Bieten wir die Lichtpunkte zunächst so dicht nebeneinander dar, dass jeweils zwei benachbarte Rezeptoren erregt werden, so können sie in keinem Fall unterschieden werden, denn auch bei der 1:1-Verschaltung, bei der zwei benachbarte Neurone erregt werden, könnte dies durch einen einzigen größeren Lichtpunkt verursacht sein. Sobald die zwei Lichtpunkte (A, B) jedoch so weit voneinander entfernt sind, dass zumindest ein Rezeptor (in unserem Beispiel) unbelichtet bleibt, signalisiert der Output der Zapfenneurone zwei gesonderte Lichtpunkte. Der Output der Konvergenzschaltung (Stäbchen) kann aber in diesem Fall noch keine Unterscheidung liefern. Konvergenz vermindert also die räumliche Auflösung und damit die Sehschärfe. Dies ist auch der Grund dafür, dass wir nur die Dinge genügend scharf erkennen können, die wir direkt anschauen, das heißt die sich direkt auf der Fovea abbilden, deren Rezeptoren (Zapfen) vorwiegend über eine 1:1-Verschaltung zu den Nervenzellen verfügen. Die Verschaltung eines Bewegungsdetektors wird in ▶ Exkurs 3.25 besprochen.

Für die erste schnelle Dunkeladaptation bis zum Kohlrausch-Knick sind die farbempfindlichen Zapfen verantwortlich (sie entspricht zugleich der Adaptation der Farbempfindlichkeit). Für die dann weiterhin erfolgende langsame Dunkeladaptation sind die Stäbchen verantwortlich.

3.3.2 Neuronale Weiterverarbeitung der visuellen Reizinformation

In der Nachfolge von Marr (1982) wird heute von vielen Forschern unterschieden zwischen frühen und späten Stadien der **neuronalen Erkennung** von Objekten. Als **frühe Stadien** der neuronalen Erkennungsprozesse werden die ersten, einfacheren Codierungs- und Verarbeitungsprozesse verstanden, die auf den direkten Informationen der Netzhaut, den fortgeleiteten Aktionspotenzialen der Sinnesrezeptoren, aufbauen. Sie nutzen zum Beispiel Variationen der Intensität oder der Bewegungsrichtung, um daraus einfache Aspekte wie Objektgrenzen, Kanten oder Winkel oder Bewegungsrichtungen und so weiter zu erkennen und quasi eine erste Objektbeschreibung zu erstellen, ohne dass hierzu Informationen aus dem Gedächtnis herangezogen werden.

Unter **späten Stadien** der Erkennung werden die Verarbeitungsprozesse verstanden, in denen das Wahrnehmungssystem die so erhaltenen „Objektbeschreibungen" mit den verschiedenen Objektklassen oder -kategorien vergleicht, die wir bereits gelernt und im visuellen Gedächtnis gespeichert haben. Man bezeichnet solche Prozesse auch als *Top-down*-Prozesse im Gegensatz zu den vorher besprochenen, von den Sinnesreizen „von unten" ausgehenden *Bottom-up*-Prozessen. Hier erfolgt eine Entscheidung und Zuordnung nach bester Übereinstimmung, so dass ein eckiger Gegenstand beispielsweise als Kiste oder als Haus oder auch als Buchstabe A „erkannt" wird. Während über die Prozesse, die den zweiten Schritt ermöglichen, noch relativ wenig bekannt ist, verfügen wir, was die ersten Schritte der Mustererkennung anbelangt, heute schon über recht genaue Vorstellungen der neuronalen Verarbeitungsmechanismen. Ihnen wollen wir uns in den folgenden Abschnitten im Einzelnen zuwenden – beginnend mit den Verarbeitungsprozessen in der Netzhaut.

Wir knüpfen dabei an die Darstellung der Rezeptororgane, insbesondere der des Auges, an (vergleiche die Abb. 3.13 und 3.14). Wie wir bereits gesehen hatten, wird jeder Sinnesreiz zunächst durch die Sinnesrezeptoren in neuronale elektrische Signale umgewandelt beziehungsweise transformiert. Dies gilt für alle Sinnesmodalitäten. Egal, ob es sich um Lichtenergie beim Sehen oder um mechanische Energie beim Hören oder Tasten handelt, oder aber um chemische Energie bei Geruch oder Geschmack, immer resultiert im weiterleitenden Nervensystem ein elektrisches Signal, das wir als Aktionspotenzialfolge kennen gelernt haben. Diese Signale werden, wie wir es bereits in einfacher Weise beim Reflexbogen (▶ Kap. 2) kennen gelernt haben, in vielfältiger Weise über Synapsen verschaltet und dabei nach ganz bestimmten Schaltplänen weiterverarbeitet bis hin zu den spezifischen zentralen Arealen des Cortex, wo sie uns schließlich zu Bewusstsein kommen.

Im visuellen System beginnt diese Weiterverarbeitung bereits in dem Neuronennetzwerk der Retina (vergleiche ◘ Abb. 3.14).

Rezeptive Felder visueller Neurone

Ein bedeutungsvolles Funktionsprinzip der neuronalen Informationsverarbeitung, das bereits auf Netzhautebene beginnt, ist das der so genannten rezeptiven Felder.

Rezeptives Feld

Jedem inneren Neuron des visuellen Systems ist ein bestimmter Bereich von Rezeptorzellen der Retina zugeordnet, dessen Reizung zu einer bestimmten Reizantwort dieses Neurons führt. Dieser Bereich wird als rezeptives Feld des Neurons bezeichnet.

Welche Reizantwort ein solches Neuron im Einzelfall zeigt, hängt davon ab, ob der Lichtreiz einen eng umschriebenen zentralen Bereich dieses Feldes trifft oder dessen Peripherie (▶ Exkurs 3.3).

Dabei lassen sich zwei Kategorien von Neuronen unterscheiden:

1. **ON-Zentrum-Neurone.** Sie reagieren auf Lichtreize, die den zentralen Bereich ihres Feldes in der Retina treffen, mit einer Impulsfolge (ON-Antwort). Wird bei einem solchen Neuron dagegen das periphere Areal des rezeptiven Feldes mit einem Lichtpunkt gereizt, führt dies zu einer Hemmung seiner Reaktion und erst anschließend, wenn das Licht ausgeschaltet wird, zu einer Entladungsfolge, die als OFF-Antwort bezeichnet wird (◘ Abb. 3.21).
2. **OFF-Zentrum-Neurone.** Sie zeigen das entgegengesetzte Reaktionsmuster. Sie reagieren mit einer Hemmung und anschließenden OFF-Antwort, wenn der zentrale Bereich des Feldes von einem Lichtreiz getroffen wird, und mit einer ON-Antwort bei Reizung der Peripherie.

Werden gleichzeitig mehrere Lichtpunkte auf verschiedene Stellen des ON-Areals geworfen (◘ Abb. 3.22a) oder wird gar das ganze ON-Zentrum beleuchtet (◘ Abb. 3.22b), erhält man eine entsprechend kräftigere ON-Antwort als mit nur einem Lichtpunkt allein. Hier findet offenbar eine **Summation** statt. Sobald aber die beleuchtete Fläche größer gewählt wird, sodass auch Teile der OFF-Peripherie getroffen werden, sinkt die Reizantwort beständig ab (◘ Abb. 3.22c).

Werden zwei Lichtpunkte gleichzeitig gegeben, von denen nur einer auf das ON-Zentrum fällt, der andere aber auf die OFF-Peripherie (in ◘ Abb. 3.22d), so gleichen sich die beiden Effekte weitgehend aus, und es wird nur eine äußerst schwache ON- oder OFF-Antwort von der abgeleiteten Zelle erhalten. Ein ähnliches Ergebnis erhält man, wenn der Lichtreiz das ganze rezeptive Feld (Zentrum und Peripherie) abdeckt (◘ Abb. 3.22e).

ON- beziehungsweise OFF-Zentrum-Neurone reagieren also am stärksten auf Helligkeitskontrast, insbesondere wenn dieser sich mit den Zentral- und Peripherieanteilen des rezeptiven Feldes deckt. Eine diffuse Beleuchtung beider Regionen hat dagegen nur geringe Wirkung auf die Impulsfrequenz des Neurons. Somit haben diese Neurone der zentralen Sehbahn eine wichtige Bedeutung bei der Erkennung von **Helligkeitskontrasten** der verschiedensten Art (mehr in *Zusatztext online*).

Laterale Hemmung und Kontrastverstärkung

Einer der wichtigsten Mechanismen der neuronalen Informationsverarbeitung ist die von Hartline und Ratliff (1957) aufgedeckte so genannte **laterale Hemmung**, die insbesondere für die Kontrastverschärfung (zum Beispiel beim Simultankontrast; ◘ Abb. 3.42) verantwortlich ist, und die wir auch an der Grenze zwischen Flächen verschiedener Helligkeit erhalten. Das hier zu beobachtende Phänomen wurde von dem österreichischen Physiker und Philosophen Ernst Mach (1838–1916) Ende des 19. Jahrhunderts an Streifenmustern verschiedener Helligkeitsstufen (◘ Abb. 3.23a) entdeckt. Wenngleich die unterschiedlich grauen Flächen bis an ihre Grenzen objektiv die gleiche einheitliche Helligkeit aufweisen, erscheinen uns die Konturen überhöht: Eine hellere Fläche erscheint an der Grenze zur nächstdunkleren noch heller (helles Band), die dunkle noch dunkler (dunkles Band). Nach ihrem Entdecker werden diese subjektiv wahrgenommenen Streifen als **Mach'sche Bänder** bezeichnet. Ihre Entstehung lässt sich, mittels der lateralen Hemmung neuronal erklären. Das Grundprinzip dieser neuronalen Verschaltung bei der lateralen (Vorwärts-)Hemmung veranschaulicht ◘ Abb. 3.23b. Die einzelnen Rezeptorzellen sind in diesem Beispiel einerseits linear über Zwischenneurone mit den nächsthöheren Ganglien verbunden. Andererseits sind sie über hemmende Interneurone divergierend lateral mit den jeweiligen Nachbarneuronen verbunden. Die auf die Rezeptoren einwirkende Reizstärkeverteilung mit einem bestimmten (Helligkeits-)Maximum wird durch die hemmende Wirkung der lateral weiterleitenden Zwischenneurone in der nächsthöheren Ganglienschicht „versteilt" (untere Kurve; ▶ Exkurs 3.4).

3.3.3 Neuronale Verarbeitung höherer Zentren

Wie wir gesehen haben, bewirken die neuronalen Verschaltungen der Netzhaut, insbesondere die (hier noch) einfach strukturierten rezeptiven Felder der Netzhautganglienzellen, bereits erste wichtige Schritte der Informationsverarbeitung im visuellen System. Nachfolgend werden wir nun die weiteren Verarbeitungsschritte auf dem Weg bis zum visuellen Cortex betrachten und sehen, wie die auch hier nachweisbaren rezeptiven Felder auf unterschiedlich komplexe Reize wie auf einfache Lichtpunkte spezifisch mit maximaler Erregung reagieren.

Corpus geniculatum laterale

Die in der Retina vorverarbeiteten elektrischen Signale verlassen mit den Ganglienzellen des Sehnervs (Nervus opticus; vgl. ◘ Abb. 3.13 und 2.23) das Auge und werden größtenteils zum **Corpus geniculatum laterale** (CGL, **seitlicher Kniehöcker**), einem Kern im Thalamus, weitergeleitet. Von hier gelangen die visuellen Signale über weitere Bahnen, als Sehstrahlung (Radiatio optica) bezeichnet, zum primären visuellen Cortex, zur primären **Sehrinde**, wo offenbar der wichtigste bisher bekannte Teil der Signalverarbeitung und -erkennung erfolgt. Danach lassen sich die Signale noch weiter verfolgen bis hin zu Regionen im Scheitel- und Schläfenlappen (sensorischer Cortex).

Exkurs 3.3

Genauer betrachtet: Einzelzellableitungen rezeptiver Felder

Die bahnbrechenden Entdeckungen über Strukturfunktion und Anordnung der rezeptiven Felder und ihre Verarbeitungsmechanismen in den verschiedenen Arealen des visuellen Cortex verdanken wir den eingehenden Untersuchungen von Hubel und Wiesel (zum Beispiel Hubel und Wiesel 1979) mit der Methode der Einzelzellableitung, bei gleichzeitiger visueller Stimulation gezielter Retinapunkte. Den grundsätzlichen Aufbau solcher Untersuchungen illustriert Abb. 3.20a.
Dem Versuchstier (Katzen oder Affen) werden auf einem Bildschirm bestimmte Lichtreize (Lichtpunkte oder Lichtbalken) dargeboten. Während der Tests werden Kopf und Augen des Tieres so fixiert, dass die Abbildungen der Lichtreize mithilfe einer Linse auf der Retina scharf eingestellt werden können. So entspricht jeder Punkt auf dem Bildschirm einem ganz bestimmten Punkt auf der Retina. Dadurch lassen sich einzelne ausgewählte Punkte und damit Rezeptoren auf der Retina gezielt belichten. Vor dem Experiment wird in das zu untersuchende Areal des visuellen Systems, zum Beispiel im visuellen Cortex, die Spitze einer Mikroelektrode so eingebracht, dass mit ihr die Aktivität eines einzelnen Neurons abgeleitet werden kann. Das verstärkte Bild dieser Aktivität wird dann als Impulsfolge auf einem Bildschirm (Oszillograf) sichtbar gemacht.
Wird nun in der eigentlichen Untersuchung ein Lichtpunkt an verschiedenen Stellen des Bildschirms dargeboten, zeigt sich, dass unser abgeleitetes Neuron nur dann reagiert, wenn der Lichtpunkt sich in einem ganz bestimmten Areal auf der Netzhaut befindet. Punkte außerhalb dieses Areals führen zu keiner Veränderung der Spontanaktivität.
Nachdem Lage und Größe des rezeptiven Feldes eines Neurons bestimmt sind, werden in einem weiteren Schritt verschiedene Reize (Lichtpunkte, -balken, -ecken, -kurven) an verschiedenen Stellen innerhalb des visuellen Feldes präsentiert, und die jeweilige Antwort wird notiert. Bei der Ableitung der Antworten beispielsweise von einer Ganglienzelle in der Netzhaut der Katze zeigt sich (Abb. 3.20b), dass in einem etwa kreisrunden Zentralbereich eine exzitatorische oder **ON-Antwort** erfolgt, das heißt, das Neuron feuert bei Einschalten des Lichtreizes häufiger. Dieser Bereich der ON-Antworten ist in Abb. 3.20b hellgrau markiert. Darum herum findet sich ein ringförmiger Bereich (Peripherie des rezeptiven Feldes, dunkelgrau). Ein hier dargebotener Reiz löst eine inhibitorische Reaktion (reduzierte Entladungshäufigkeit) während der Lichtreizung aus. Wird der Lichtreiz abgeschaltet und damit die Hemmung beendet, erfolgt eine **OFF-Antwort**. Danach kann schließlich die Mikroelektrode ein kleines Stück weiter verschoben und das gleiche Vorgehen zur Identifizierung und Charakterisierung des rezeptiven Feldes eines weiteren Neurons wiederholt werden. Üblicherweise beginnt man bei solchen Untersuchungen zunächst mit Ableitungen nahe den Sinnesrezeptoren und wählt dann schrittweise Neurone immer „höherer" Ebenen des Systems aus, um auf diese Weise die zunehmende Komplexität der neuronalen Antworten der nachgeschalteten höheren Ebenen bis hin zum visuellen Cortex zu erfassen.
(genaueres zur Neuronalen Kodierung und Mustererkennung -> *Zusatztext online*)

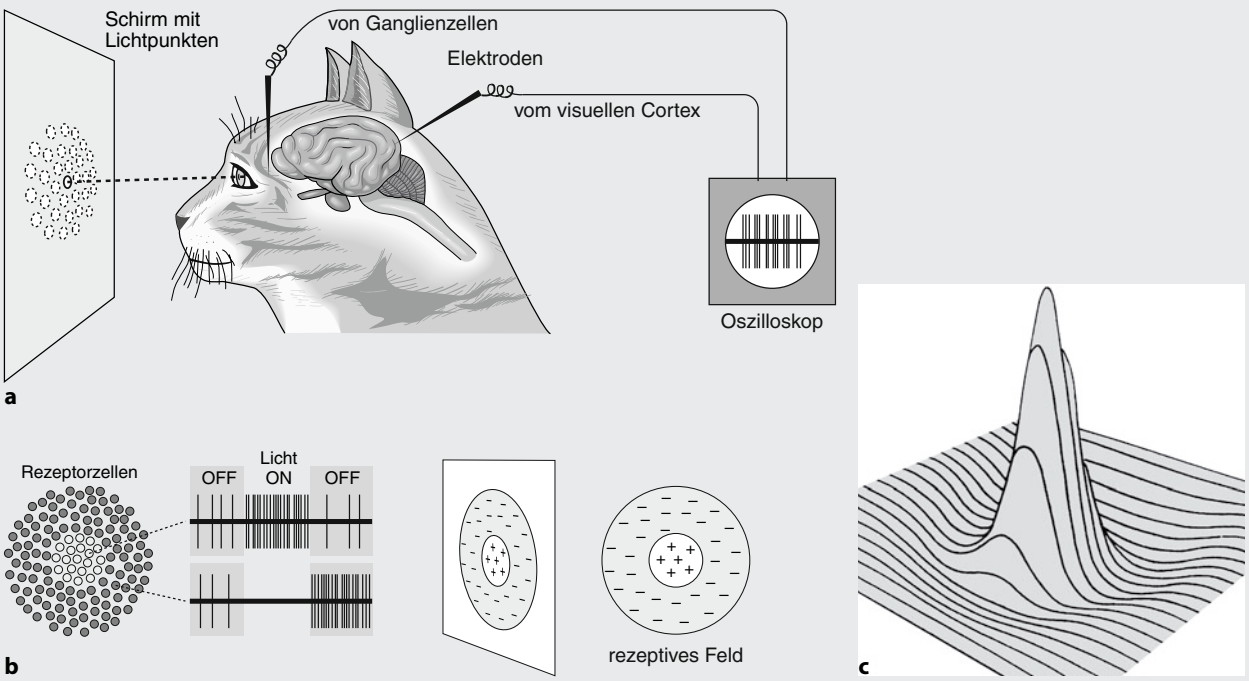


Abb. 3.20 Einzelzellableitung. (**a** Goldstein 2014, p. 63, Fig. 3.24, **b** Goldstein 1996 (dt. Ausgabe 1997), S. 63, Abb. 2.35)

Das Corpus geniculatum laterale ist, wie die ganze zentrale Sehbahn bis hin zum visuellen Cortex, durch seine retinotope Organisation gekennzeichnet, das heißt, auf jeder Ebene entspricht die räumliche Anordnung der Erregungsmuster quasi einer Landkarte der Retina.

Die retinotope Organisation bedeutet, dass zwei benachbarte Erregungsorte im CGL auch zwei benachbarten Orten auf der Retina entsprechen. Wie in Abb. 3.25 angedeutet, gliedert sich das CGL in sechs übereinander gelagerte Neuronenschichten, in denen die afferenten visuellen Signale von je einem Auge verarbeitet und von nicht visuellen Signalen modifiziert werden.

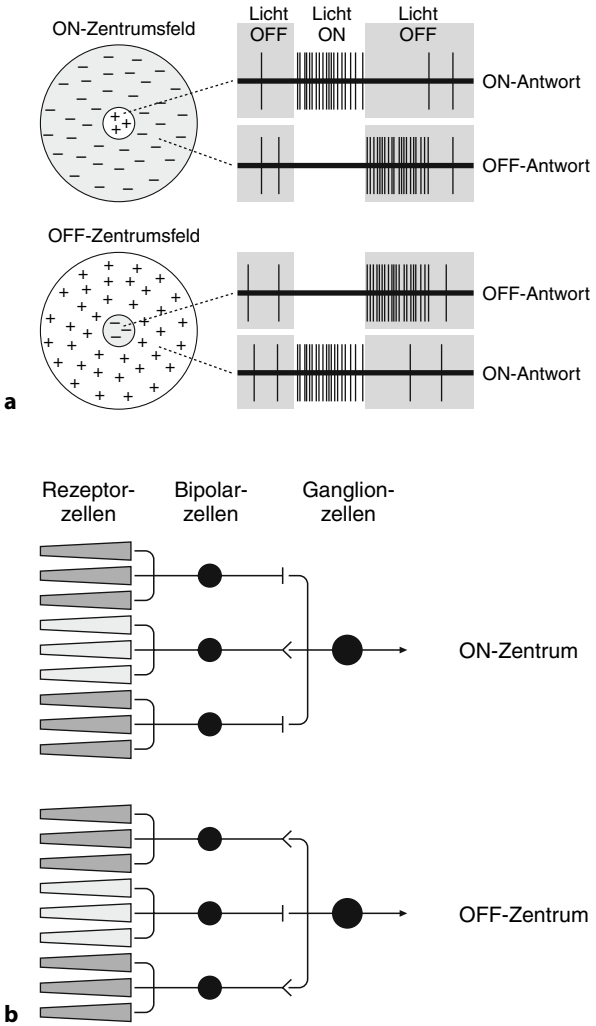


Abb. 3.21 Rezeptive Felder (links in **a** und **b**) und die Reaktion des zugehörigen zentralen Neurons (rechts in **a**) bei Belichtung innerhalb des Zentrums oder innerhalb der Peripherie des rezeptiven Feldes. In **b** ist oben die Verschaltung für ein ON-Zentrum-Neuron, unten für ein OFF-Zentrum-Neuron gezeigt

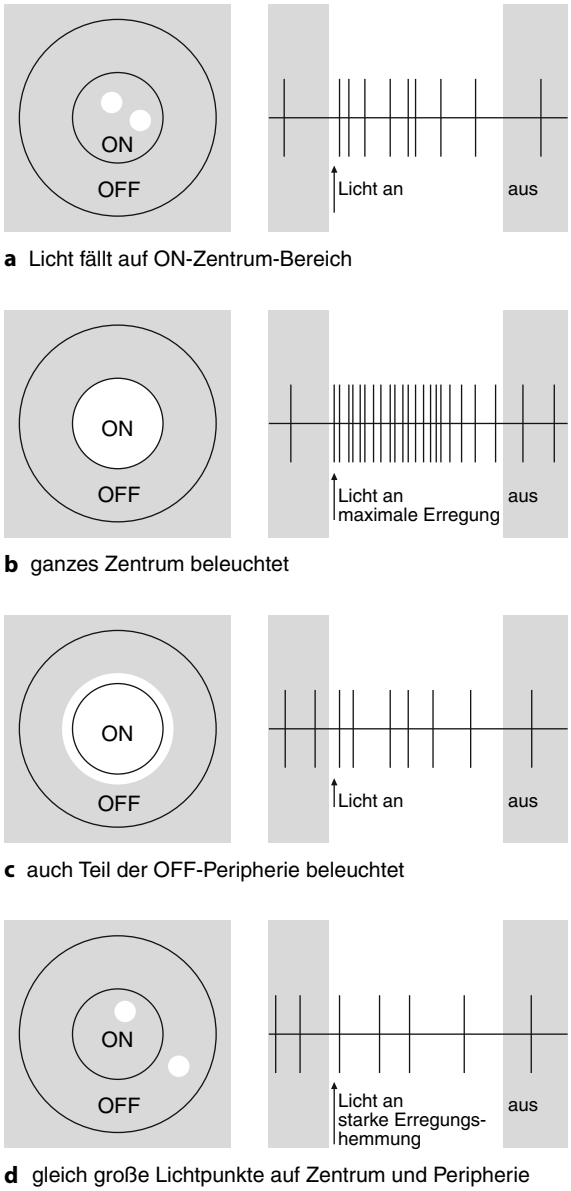


Abb. 3.22 Die unterschiedlichen Antworten eines ON-Zentrum-Neurons. Der mit Licht gereizte Bereich ist jeweils weiß hervorgehoben. Die vom zugehörigen Neuron abgeleiteten Reizantworten sind rechts dargestellt. Bei zunehmender Reizgröße innerhalb der zentralen Felder (**a**, **b**) erfolgt auch eine zunehmende Reaktion. Wird auch ein Teil der (hemmenden) Peripherie gereizt (**c**), nimmt die Reaktion ab. Wird das ganze rezeptive Feld (**e**) oder werden etwa gleich große Bereiche in der Peripherie und dem Zentrum beleuchtet (**d**), verschwindet die Antwort fast vollständig. Entsprechendes gilt umgekehrt für OFF-Zentrumneurone. (Nach Hubel und Wiesel 1961)

Dabei erhalten die Schichten 1, 4 und 6 ihre Signale vom kontralateralen Auge, die Schichten 2, 3 und 5 vom ipsilateralen Auge. Entsprechend leiten diese Schichten des CGL ihre Signale zum visuellen Cortex für das linke und das rechte Auge. Im Wesentlichen haben die Neurone des CGL ähnlich wie die Ganglienzellen der Retina weitgehend noch eine kreisförmig konzentrische Organisation, doch gibt es funktionale Unterschiede. In den beiden inneren Schichten, den **magnozellulären Schichten**, werden die Mechanismen des Simultankontrastes durch **Kontrastneurone** deutlich verstärkt und **Bewegungsinformationen** vermittelt, was über die sogenannte **M-Bahn** erfolgt. Die darüber liegenden vier **parvozellulären Schichten** (aus Neuronen mit kleinen Zellkörpern; von lateinisch *parvus* für „klein“) sind dagegen durch die Übermittlung von Hell-Dunkel-Werten über **Kontrastneurone** und **Hell-Dunkel-Neurone** sowie durch farbspezifische rezeptive Felder und Information über Form, Textur und Tiefe gekennzeichnet. Die Neurone dieser **P-Bahn** bilden den Hauptteil der Sehbahn; der größte Teil ihrer Signale stammt von den Zapfen, während die M-Bahn hauptsächlich Signale von den Stäbchen erhält.

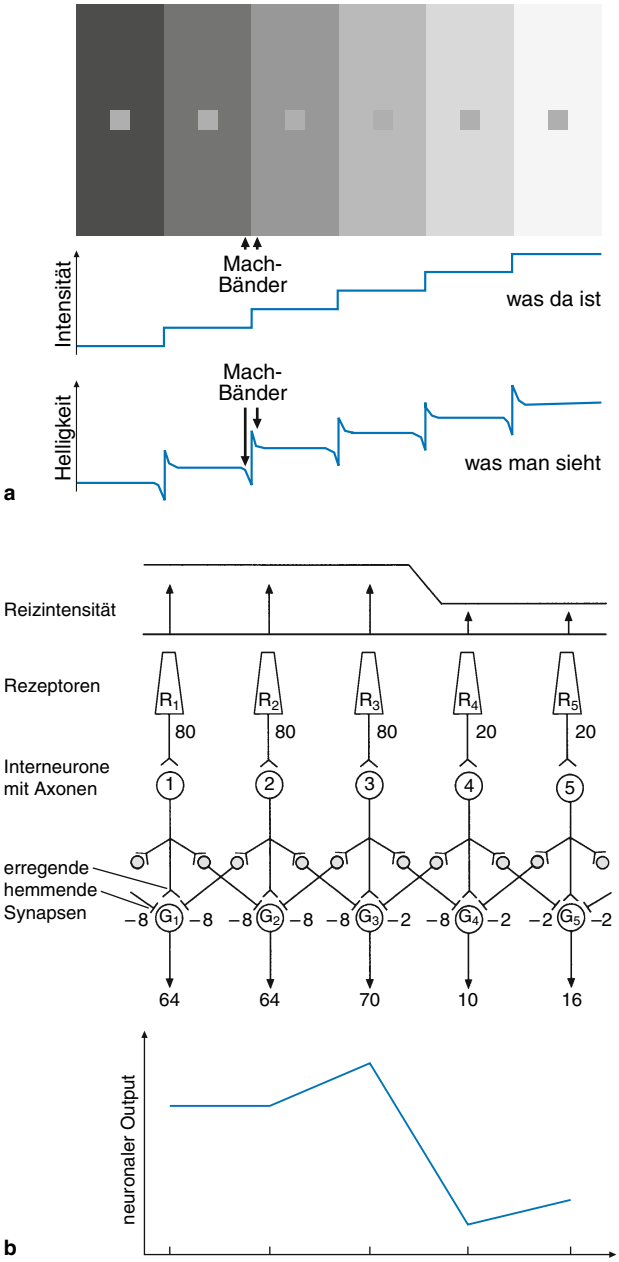


Abb. 3.23 Mach'sche Bänder. Die an der Streifenvorlage (**a**) beobachtbaren senkrechten Mach'schen Bänder (die Kanten der homogen gefärbten Flächen erscheinen je nach der Helligkeit der angrenzenden Fläche dunkler oder heller) lassen sich durch die neuronale Verschaltung der lateralen Hemmung (**b**) erklären

Visueller Cortex

Der **primäre visuelle Cortex** (V_1), auch **Area striata** (Streifenfeld) oder Area 17 genannt, stellt das **Zentrum** der visuellen Informationsverarbeitung dar. Neben ihr wurden in den letzten Jahrzehnten auch noch so genannte **extrastriäre** visuelle Areale entdeckt, die zum Beispiel eine Rolle bei der sogenannten Blindsichtigkeit spielen. Auch der visuelle Cortex ist, ähnlich wie das CGL, in Schichten gegliedert (Abb. 3.25 I–VI).

Die bereits im CGL erwähnte funktionelle Trennung in ipsi- und kontralaterale Zuflüsse (aus den beiden Augen) setzt sich bei der Projektion zum visuellen Cortex fort, wo diese Trennung in rechte (re) und linke (li) Augenrepräsentation weiter aufrechterhalten wird. Dabei projizieren auch hier die Funktionen vom gleichen Netzhautabschnitt in den gleichen Sehrindenabschnitt. Das heißt, auch die primäre Sehrinde ist **retinotop organisiert**. Doch wird die bisher herrschende lineare 1:1-Abbildung der Retina verlassen: Der kleine Bereich der **Fovea centralis** ist weit stärker repräsentiert; er nimmt ein mindestens ebenso großes Areal ein wie die gesamte übrige Retina zusammen (Singer 1994). Nach dieser mehr anatomisch-lokalisatorischen Orientierung wenden wir uns nun wieder den funktionalen Verarbeitungsmechanismen und den Eigenschaften der rezeptiven Felder der corticalen Neurone zu.

Als Hubel und Wiesel erstmals versuchten, auch von einzelnen Neuronen des visuellen Cortex elektrische Antworten auf visuelle Reize abzuleiten, hatten sie größte Schwierigkeiten, die Neurone überhaupt zu einer Reaktion zu veranlassen. Dieselben Lichtpunkte, die bei den Ganglienzellen der Netzhaut so erfolgreich zu distinkten Reaktionen führten, bewirkten meist überhaupt keine Wirkung. Doch die Überraschung kam, als sie bei ihren zahllosen vergeblichen Versuchen wieder ein Punktemusterdia in den Projektor schoben. In diesem Moment ging ein Neuron „los wie ein Maschinengewehr" (Hubel 1982, S. 517). Erst nach mehrfachen weiteren Durchgängen erkannten sie, dass nicht das Punktemuster, sondern die gerade Kante des Dias beim Einschieben die Reaktion des Neurons auslöste. Und tatsächlich, wie sie bei vielen weiteren Neuronen nachweisen konnten, reagieren die meisten *Cortexneurone* nicht auf Punkte, sondern am besten auf **streifenförmige Lichtreize** einer jeweils **bestimmten Richtung**.

Mit dem bereits in ▶ Exkurs 3.2 dargestellten Verfahren der Einzelzellableitung bei visueller Reizvorgabe identifizierten Hubel und Wiesel nach ihren Reaktionseigenschaften im Wesentlichen *drei* **Hauptneuronentypen**: einfache, komplexe und hyperkomplexe Zellen des visuellen Cortex.

Einfache Zellen des visuellen Cortex

Diese Neurone mit einfachen rezeptiven Feldern reagieren nicht auf diffuse Beleuchtung, sondern haben ebenfalls rezeptive Felder, die in hemmende und erregende Bereiche geteilt sind. Diese Bereiche sind jedoch mit geradlinigen Grenzen nebeneinander angeordnet und nicht konzentrisch. Wie Abb. 3.26a und 3.26b verdeutlichen, reagiert eine solche Zelle optimal auf einen in gleicher Richtung orientierten Lichtbalken. Bei Reizung mit anders orientierten Lichtstreifen erfolgt eine schwächere Reizantwort. Diese nimmt mit zunehmender Neigung ab. Das heißt, je weiter die Richtung des Lichtstreifens von der Ausrichtung des rezeptiven Feldes abweicht, desto schwächer ist die Reizantwort. Liegt der Lichtbalken senkrecht zum rezeptiven Feld der Zelle, liefert sie überhaupt keine Reizantwort mehr (Hubel und Wiesel 1959). Eine solche Zelle kann nach ihrer Funktion daher als **Detektorzelle** verstanden werden, die die räumliche Ausrichtung eines Lichtstreifens oder aber auch einer **Hell-Dunkel-Grenze** „erkennt". Wie Abb. 3.26c verdeutlicht, gibt es nach diesem Grundprinzip recht unterschiedliche Detektoren einfacher Cortexzellen. Sie reagieren zum Beispiel maximal, wenn als Reiz ein Lichtbalken bestimmter Richtung in einem dunklen Feld oder aber ein dunkler Streifen in einem hellen Feld geboten wird. Sie

Exkurs 3.4

Genauer betrachtet: Auswirkung lateraler Hemmung

Die hemmende Verschaltung benachbarter neuronaler Kanäle führt zu einer Erhöhung des wahrgenommenen Kontrasts zwischen aneinandergrenzender Bereiche unterschiedlicher Intensität. Helle Nachbarschaft vermindert, dunkle Nachbarschaft erhöht die wahrgenommene Helligkeit. Dies lässt sich am Beispiel der Mach'schen Bänder veranschaulichen (Abb. 3.23).
Ein besonders deutlicher Effekt zeigt sich im Hermann-Gitter (auch Hering-Gitter genannt; Abb. 3.24). Kreuzungspunkte der weißen Streifen, die auf vier Seiten von weißen Bereichen umgeben sind, erscheinen dunkler als die übrigen Bereiche der Streifen, die nur zu zwei Seiten hin von Weiß umgeben sind. (Genaueres zur Neuronalen Kodierung, Mustererkennung und der Funktion der **lateralen Hemmung** bei der Kontrastverstärkung in *Zusatztext online*)

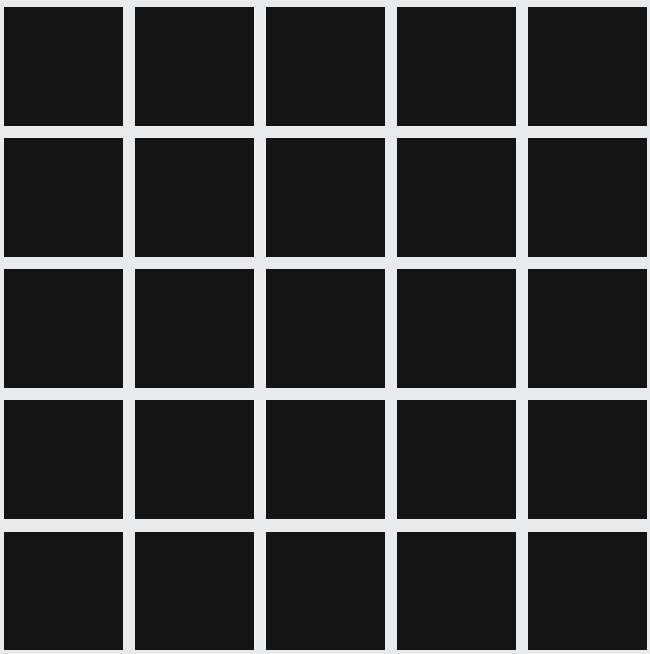


Abb. 3.24 Herrmann-Gitter

reagieren aber auch auf einfache Kanten zwischen einer hellen und einer dunklen Fläche, und zwar maximal, wenn diese in der dem rezeptiven Feld entsprechenden Ausrichtung und Position liegen. Die Ausrichtung der einzelnen rezeptiven Felder auf der Retina (Abb. 3.26c) ist für verschiedene Neurone unterschiedlich, sodass diese Detektoren auf unterschiedliche Richtungen (horizontal, senkrecht, schräg, diagonal) optimal ansprechen.

Einfache corticale Zellen

Einfache corticale Zellen sind Neurone im visuellen Cortex, die optimal auf Streifen oder Kanten einer bestimmten Orientierung auf der Retina ansprechen.

Komplexe Zellen des visuellen Cortex

Neben den einfachen Zellen enthält der visuelle Cortex überwiegend komplexe Zellen, die sich in ihrer Reaktionsweise in dreifacher Hinsicht von den einfachen Cortexzellen unterscheiden:

1. Sie besitzen weitaus größere rezeptive Felder.
2. Ihre rezeptiven Felder lassen sich nicht in statische ON-OFF-Regionen unterteilen. Das zeigt sich zum Beispiel darin, dass die meisten auf einen richtig ausgerichteten Lichtbalken optimal reagieren, wenn er in einer *bestimmten Richtung* über das gesamte rezeptive Feld bewegt wird. Bewegt man also zum Beispiel einen um 35° geneigten Lichtbalken, der in einer entsprechend ausgerichteten komplexen Zelle eine ON-Antwort auslöst, in einer bestimmten Richtung über das rezeptive Feld dieser Zelle, dann feuert sie weiterhin mit gleichbleibend hoher Intensität. Bei einer Hin- und Herbewegung feuert sie nur zum Beispiel bei der Hin- und nicht bei der entgegengesetzten Rückwärtsbewegung (Abb. 3.27).
3. Schließlich kommt hinzu, dass ein Großteil der komplexen Zellen im Gegensatz zu den einfachen Zellen **binokular** ist. Das heißt, sie reagieren auf die Stimulation jedes der beiden Augen und nicht, wie die (allermeisten) einfachen Zellen, entweder auf Stimulation des rechten oder des linken Auges.

Bei der Bestimmung der rezeptiven Felder binokularer komplexer Zellen ließ sich weiter feststellen, dass die zugehörigen rezeptiven Felder des linken und des rechten Auges sowohl (1) die **gleiche Vorzugsrichtung** und Orientierung haben als auch (2) eine **nahezu identische Lage** innerhalb des Sehfeldes einnehmen. Ferner führt die gleichzeitige Stimulation beider Augen zu einer stärkeren Antwort der binokularen Zelle, als wenn nur ein Auge stimuliert wird. Und hinzu kommt, dass einige Zellen am stärksten antworten, wenn der bevorzugte Reiz beiden Augen gleichzeitig, aber in leicht versetzter Position im Sehfeld geboten wird, was bei der Tiefenwahrnehmung durch **Querdisparation**

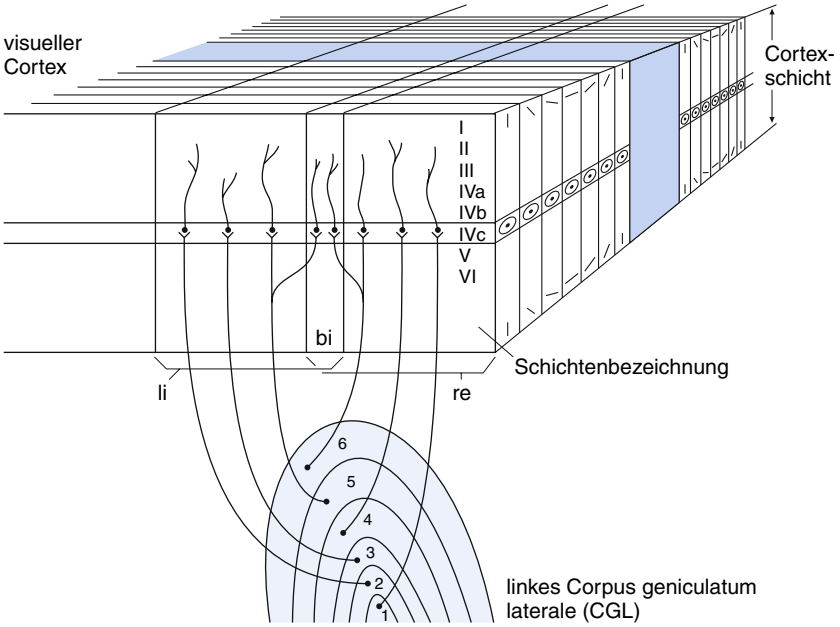


Abb. 3.25 Organisationsprinzip von CGL und visuellem Cortex. Unten die Schichtung des CGL. *Oben*: „Säulenorganisation" der primären Sehrinde (Area V 1). Die in „Säulen" geordneten Nervenzellen haben oberhalb und unterhalb der Schicht IV orientierungsabhängige Reaktionen (wie angedeutet). Sie reagieren vornehmlich sensibel auf bewegte Kannten bestimmter Orientierung. Besonders bewegungsempfindlich sind die Neurone der Schicht IVb. Die dominante Erregung von rechtem (*re*) und linkem (*li*) Auge erfolgt auch hier getrennt in unterschiedlichen Dominanzsäulenarealen, zwischen denen es auch binokulare (*bi*) Bereiche gibt, in welchen die Neurone gleichstark von beiden Augen aktiviert werden. (Nach Hubel und Wiesel 1979; umgezeichnet nach Schmidt und Thews 2000)

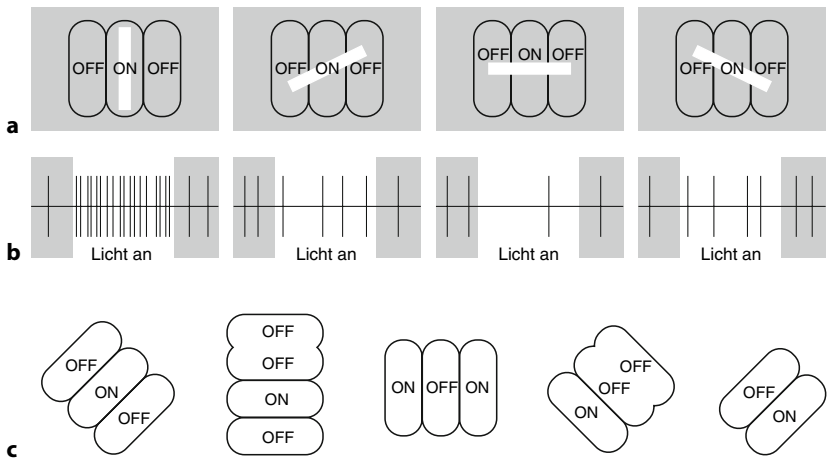


Abb. 3.26 Ausrichtung rezeptiver Felder. a Rezeptives Feld einer einfachen Zelle im visuellen Cortex, die optimal auf einen senkrechten Lichtbalken reagiert, **b** Bei zunehmender Neigung des Lichtbalkens erfolgt eine entsprechend schwächere Reaktion, **c** Verschiedene rezeptive Felder einfacher Cortexzellen, zum Teil ohne eigentliches Zentrum. (Goldstein 1996)

von Bedeutung ist, und dort genauer besprochen wird (▶ Abschn. 3.3.5). Offenbar dürfte es sich hier also um Zellen handeln, die optimal auf die retinale Querdisparation reagieren und somit so etwas wie Detektoren für räumliche Tiefe darstellen (Ohzawa et al. 1990).

Komplexe corticale Zellen

Komplexe corticale Zellen sind Neurone im visuellen Cortex, die optimal auf bewegte Streifen oder Kanten einer bestimmten Orientierung ansprechen. Dabei reagieren viele Zellen gleichermaßen auf eine bestimmte Bewegungsrichtung.

Hyperkomplexe Zellen des visuellen Cortex

Diese von Hubel und Wiesel ursprünglich so genannten Zellen werden heute auch vielfach als endinhibierte Zellen bezeichnet, was darauf hindeutet, dass sie zusätzlich noch über einen hemmenden (inhibierenden) Bereich verfügen, der die Länge des visuellen Reizes begrenzt. Um eine hyperkomplexe Zelle zu erregen, muss der Stimulus nicht nur eine bestimmte Orientierung und Bewegungsrichtung haben, sondern darf zudem eine spezifische Länge nicht überschreiten. Ist er länger, nimmt die Reizantwort ab: Die Zelle hört auf zu feuern (vgl. Abb. 3.27d).

Seit diesen Entdeckungen von Hubel und Wiesel (1965) sind noch weitere spezifizierte Zellen gefunden worden, die beispielsweise selektiv auf andere Gestaltmerkmale wie Ecken oder Winkel ganz bestimmter Größe und Orientierung optimal reagieren (Shapley und Lennie 1985). Diese hyperkomplexen Zellen werden daher auch als **Merkmalsdetektoren** oder auch **Gestaltdetektoren** (Abb. 3.88) bezeichnet. Denn die einzelnen Merkmale, auf die sie optimal reagieren, bilden zusammengenommen die wesentlichen Charakteristika der einfachen Gestaltwahrnehmung wie zum Beispiel bei der Buchstabenerkennung (vgl. „Konnektionistische Netzwerke" in ▶ Abschn. 3.3.8).

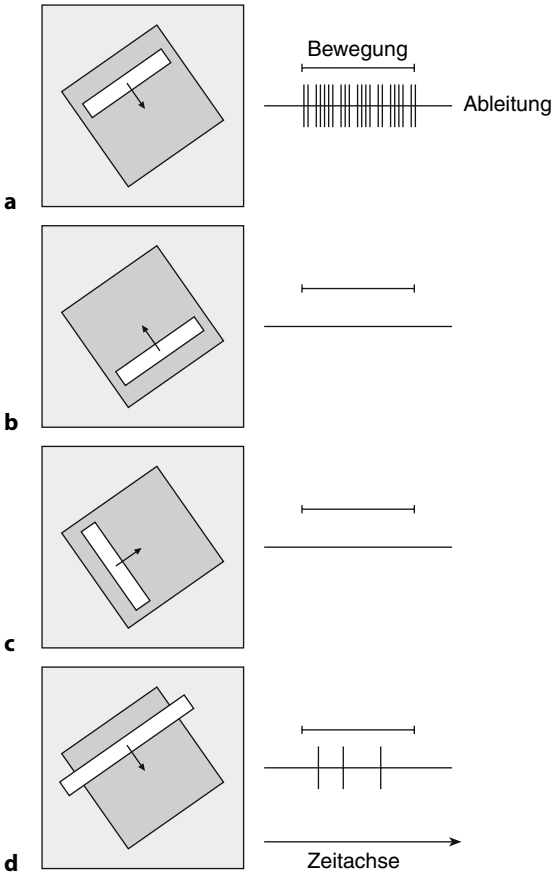


Abb. 3.27 Organisation rezeptiver Felder. Rezeptive Feldorganisation und Entladungsmuster komplexer Zellen im visuellen Cortex auf Lichtreize unterschiedlicher Bewegungsrichtung. Die stärkste Aktivierung wird bei diesem Neuron durch einen schräg orientierten und schräg nach unten bewegten Lichtbalken hervorgerufen(**a**, **d**). Andere Ausrichtungen erbringen kaum oder keine Erregung (**b**, **c**). Überschreitet die Ausdehnung des Lichtreizes eine durch die Breite des exzitatorischen Feldes festgelegte Größe (**d**), führt seine Bewegung auch in der vorher erfolgreichen Richtung (**a**) bei der endinhibierten Zelle (**d**) zu entsprechend stark verminderter Reaktion (die Pfeile zeigen jeweils die Bewegungsrichtung des kürzeren oder längeren Lichtbalkens über das quadratisch gezeichnete rezeptive Feld an)

Hyperkomplexe corticale Zellen

Hyperkomplexe corticale Zellen sind Neurone, die optimal auf Linien oder auf Winkel einer bestimmten Länge und Orientierungsrichtung in einer bestimmten Bewegungsrichtung ansprechen.

Ferner gibt es auch Neurone, die optimal auf die Gesamtrichtung der Bewegung eines optischen Musterfeldes, also die **Ganzfeldbewegung**, ansprechen. Sie gehören ebenfalls hierher.

Organisation des visuellen Cortex in Säulen

Die systematische Untersuchung der neuronalen Verarbeitung der rezeptiven Felder von einfachen bis hin zu komplexen Neuronen des visuellen Cortex führte zu folgenden Erkenntnissen:

1. Sowohl der Signalfluss als auch die anatomische Anordnung dieser Neurone ist in Form sogenannter **Positionssäulen** organisiert.
2. Die rezeptiven Felder der Neurone einer solchen Säule liegen auf derselben Netzhautstelle. In ▶ Exkurs 3.5 wird erläutert, wie Hubel und Wiesel diese Struktur mittels schrittweise in den visuellen Cortex eingeführter Elektroden nachweisen konnten.

Insgesamt ist der visuelle Cortex also vornehmlich nach drei Merkmalen der Reize in Säulen organisiert (vgl. Abb. 3.25):

1. In **Positionssäulen** nach dem Ort auf der Netzhaut. Die verschiedenen Neurone (einfache, komplexe und hyperkomplexe), die ihre Eingänge von demselben Ort auf der Netzhaut erhalten, sind in senkrechten Säulen (circa 1 mm Durchmesser) angeordnet.
2. In **Orientierungssäulen** nach der Richtungsorientierung auf der Netzhaut. Cortexneurone, deren rezeptive Felder dieselbe Ausrichtung haben, finden sich in Orientierungssäulen, bei denen dicht nebeneinander alle möglichen Orientierungen vertreten sind.
3. In **okulären Dominanzsäulen**, in denen die Neurone je nach ihrer optimalen Reaktion auf Signale vom rechten, vom linken oder von beiden Augen (binokular) wechselweise nebeneinander angeordnet sind. Die Säulen sind etwa 0,5 mm breit.

Die wesentlichen Eingänge zum visuellen Cortex stammen, wie bereits dargelegt, vom CGL. Die dort bereits vorhandene funktionale Trennung von ipsi- und kontralateralen Bahnen setzt sich, wie in Abb. 3.25 dargestellt, zum visuellen Cortex fort und mündet hier in die vom rechten beziehungsweise vom linken Auge dominierten **okulären Dominanzsäulen**. Zwischen diesen sind jeweils die binokulären Bereiche angeordnet, deren Neurone von beiden Augen gleich stark aktiviert werden (binokulares räumliches Sehen). Weiter zeigt die Abb. 3.25 die ebenfalls zur Cortexoberfläche senkrechte Anordnung der **Orientierungssäulen**, kenntlich gemacht durch die kleinen schwarzen Balken verschiedener Richtung, die die Ausrichtung der rezeptiven Felder der Neurone dieser Säulen symbolisieren. Diese Neurone sind besonders empfindlich für bewegte Kontrastgrenzen der angegebenen Orientierung. Besonders bewegungsempfindlich sind dabei die Neurone der Schicht IVb. Die Neurone der Schicht IVc, in die auch die Fasern vom CGL projizieren, besitzen jedoch konzentrisch organisierte rezeptive Felder. Zwischen diese Säulen eingefügt sind Säulen, deren Neurone meist keine Orientierungspräferenz für Reizausrichtungen besitzen. Sie sind dagegen farbspezifisch organisiert.

Nach Hubel und Wiesel lassen sich solche Verarbeitungseinheiten des Cortex aus Orientierungs- und Dominanzsäulen als **Verarbeitungsmodule** für je einen bestimmten Netzhautbereich verstehen, die sie zusammenfassend als **Hypersäulen** bezeichneten. Der visuelle Cortex besteht danach aus Tausenden solcher Hypersäulen, die jeweils gemäß ihrer retinotopen Zuordnung für einen kleinen Netzhautbereich zuständig sind.

Vergegenwärtigen wir uns nun die funktionale neuronale Verarbeitung eines diskreten visuellen Reizes im visuellen Cortex, zum Beispiel eines kleinen, um 35° geneigten Lichtbalkens bestimmter Länge, den wir auf die Retina des rechten Auges projizieren. Ist der Lichtbalken so kurz, dass er nur den rezeptiven

Exkurs 3.5

Genauer betrachtet: Positionssäulen und retinotope Anordnung

Unsere Kenntnis über die funktionale Struktur des visuellen Cortex verdanken wir den zuerst von Hubel und Wiesel durchgeführten Experimenten, bei denen sie schrittweise eine Mikroelektrode an verschiedenen Stellen und in verschiedenen Richtungen in den Cortex eines Affen einführten und bei jedem Schritt die Reizantwort des jeweiligen Neurons auf die visuelle Stimulation ihres retinalen rezeptiven Feldes maßen Wird zum Beispiel die Elektrode senkrecht zur Cortexoberfläche in den Cortex eingeführt (Abb. 3.28, Einstichkanal A) und nach und nach durch die verschiedenen Schichten weitergeschoben, so lassen sich dabei die rezeptiven Felder von verschiedenen untereinander liegenden Zellen aufzeichnen. Dabei zeigte sich:

1. Die rezeptiven Felder der verschiedenen Neurone liegen in derselben senkrechten Säule etwa im gleichen Bereich des Gesichtsfeldes.
2. Alle diese Zellen reagieren optimal auf gerade Linien (Kanten, Balken) einer bestimmten und für alle diese Zellen gleichen Orientierung. Sie bilden die Orientierungssäulen.
3. All diese Zellen weisen die gleiche okuläre Dominanz auf, das heißt, wenn die Zellen der untersten Schicht beispielsweise nur oder verstärkt auf Reize des rechten Auges ansprechen, dann ist dies auch für alle Zellen der darüber liegenden Schichten dieser Säule der Fall. Diese Säulen werden daher auch als okuläre Dominanzsäulen bezeichnet.

Wird dagegen die Elektrode schräg durch den Cortex geschoben, sodass sie nacheinander verschiedene Orientierungssäulen trifft (Einstichkanal B), lässt sich beobachten, dass die angetroffenen Neurone räumlich nacheinander regelmäßig leicht versetzte bevorzugte Orientierungen aufweisen und dass sich beim Weiterführen der Elektrode innerhalb weniger Millimeter Zellen fanden, die zusammengenommen auf das gesamte Orientierungsspektrum von 180° reagierten. Das heißt, Zellen dicht nebeneinander liegender Orientierungssäulen weisen eine systematische Verschiebung der Lage und Orientierung der rezeptiven Felder ihrer Neurone auf. Weiter konnte beobachtet werden, dass beim horizontalen Weiterschieben der Elektrode um nur 0,5 mm das Dominanzmuster von einem Auge zum anderen wechselte. Offenbar liegen also die okulären Dominanzsäulen für das rechte und das linke Auge jeweils dicht nebeneinander. Schließlich zeigte sich bei dem seitlichen horizontalen Weiterschieben der Elektrode, dass sich dabei auch die Lage der rezeptiven Felder der Neurone systematisch verschiebt (Abb. 3.26 und 3.27).

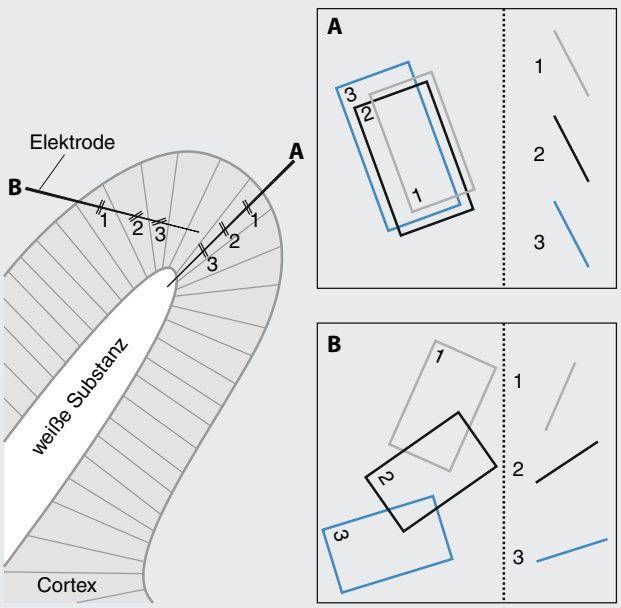


Abb. 3.28 Visueller Cortex mit Einführungsrichtungen zweier Mikroelektroden **A** und **B**. Beim Einstich **A** (senkrecht) reagieren alle Schichten (z. B. *1, 2, 3*) gleich optimal auf visuelle Reize (*Kanten, Balken Linien*) gleicher Richtung (*rechts oben*). Beim Einstich **B** (schräg durch verschiedene Dominanzsäulen) reagieren die nacheinander getroffenen Neurone (z. B. *1, 2, 3*) optimal auf unterschiedlich ausgerichtete visuelle Reize (*rechts unten*). (Pinel, 1997, S. 176, Abb. 7.18.)

Bereich einer Hypersäule bedeckt, so werden dadurch innerhalb dieser Hypersäule nur die Neurone der Rechts-Dominanz-Säule und der 35°-Orientierungssäule aktiviert. Ist der Lichtbalken aber länger, sodass er auch Neurone weiterer Positionssäulen reizt, werden auch die Neurone weiterer Rechts-Dominanz-Säulen und 35°-Orientierungssäulen in den benachbarten Hypersäulen aktiviert, wie dies in den beiden Hypersäulen in Abb. 3.25 angedeutet ist.

Diese Verarbeitungsprozesse können offenbar auch ohne unser Bewusstsein ablaufen, wie Untersuchungen an hirngeschädigten Patienten gezeigt haben (▶ Exkurs 3.6).

3.3.4 Farbwahrnehmung

Obwohl für uns eine Rose rot, eine Wiese grün und ein Regenbogen vielfarbig aussieht, existiert die „wahrgenommene" Farbe weder an den Objekten noch in den Lichtstrahlen, die unser Auge treffen. Bereits Isaac Newton (1704) konstatierte: „Die Strahlen (des Lichts) sind nicht farbig." Bis heute ist es eines der größten und beeindruckendsten Rätsel, warum wir die Welt farbig sehen, wie es unserem Gehirn gelingt, aus der Lichtenergie, die auf die Retina trifft, unser Farberleben zu erzeugen. Und welche Vielfalt von Farben!

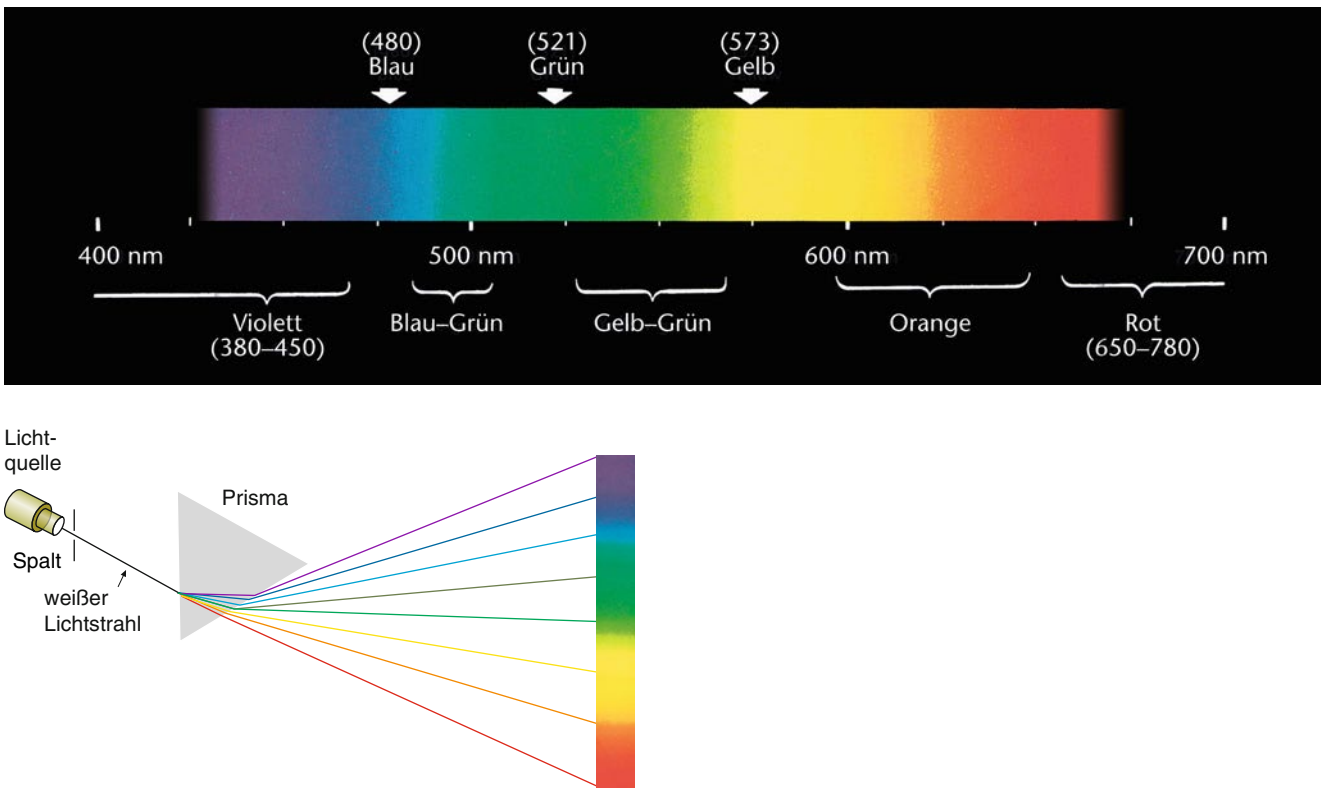
Die **Unterschiedsschwelle unserer Farbwahrnehmung** ist so niedrig, dass wir in der Lage sind, annähernd sieben Millionen verschiedene Farbstufen zu unterscheiden. Dennoch: Das, was

Exkurs 3.6

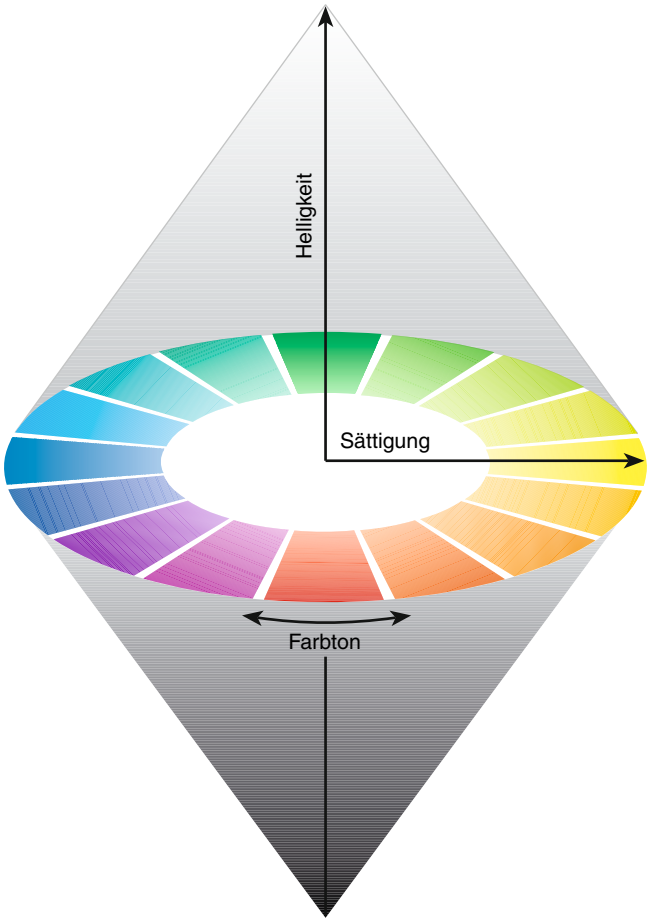
Genauer betrachtet: Blindsehen (Blindsight)

Schädigungen der Sehrinde, wie sie zum Beispiel infolge eines Schlaganfalls auftreten können, können zur Blindheit für Teile des Gesichtsfeldes führen (corticale Blindheit). In extremen Fällen ist hiervon eine gesamte Gesichtsfeldhälfte (die der geschädigten Hirnhälfte gegenüberliegende) betroffen. Bei der augenärztlichen Untersuchung zeigen die Patienten auf in diesen Bereichen dargebotene visuelle Reize keine Reaktion. Bei einigen Patienten mit corticaler Blindheit sind jedoch trotz ausbleibenden Bewusstseinseindrucks gewisse Fähigkeiten der Reizverarbeitung erhalten geblieben, insbesondere die Nutzung der räumlichen Position eines Reizes zur Handlungssteuerung. So können diese Patienten mit überzufälliger Genauigkeit den Ort eines für sie nicht sichtbaren Reizes anzeigen (Weiskrantz 1986; Weiskrantz et al. 1974). In derartigen Untersuchungen wird den Patienten oftmals ein zusätzliches akustisches Signal als Hinweis, dass ein für sie nicht sichtbarer Lichtreiz präsentiert wurde, dargeboten, woraufhin sie die Lokalisierungsaufgabe durchführen. Diese als Blindsight bezeichnete Fähigkeit wird vermutlich über ein zweites, entwicklungsgeschichtlich älteres, visuelles System vermittelt, das Teile des Mittelhirns (Tectum) umfasst. Obwohl Blindsight keine bewussten Seheindrücke hervorruft, kann es durch diese subcorticale Verarbeitung visueller Reize zu erstaunlichen Leistungen wie der kollisionsfreien Navigation durch einen Hindernisparcours kommen (de Gelder et al. 2008; siehe *Zusatztext online*).

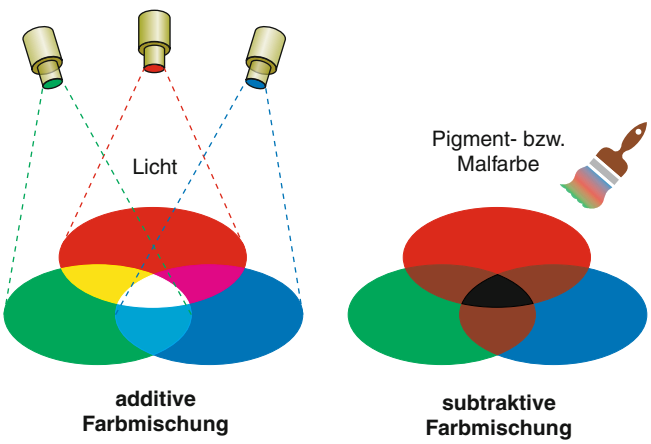
wir als Farbigkeit sehen, ist eine subjektive psychische Qualität, die durch verschiedene Wellenlängen des sichtbaren Lichts hervorgerufen wird. Diese **Farbwahrnehmung** ist jedoch objektiv in dem Sinne, dass jeder Mensch, der über die gleiche Art von Farbrezeptoren (Zapfen in der Retina) verfügt, in seinem Gehirn aus den verschiedenen Lichtwellenlängen in systematisch gleicher Weise die gleichen Farben konstruiert. So erleben wir zum Beispiel kurze Wellenlängen von circa 450–500 nm (Nanometern) als blau, mittlere Wellenlängen (etwa 500–570 nm) als grün und lange Wellenlängen (circa 650–780 nm) als rot. Ob jedoch alle, die eine Tomate als rot beschreiben, dieses Rot in gleicher Weise erleben, ist wohl schwerlich festzustellen. So gibt es Personen, deren Augen bei einäugiger Betrachtung die gleiche Farbe unterschiedlich wahrnehmen, je nachdem, mit welchem Auge sie blicken, beispielsweise mit dem einen Auge etwas gelblicher als mit dem anderen (siehe hierzu: Ich sehe, was du nicht siehst in *Zusatztext online*). Ferner verändert auch die Farbadaptation die Wahrnehmung derselben Farbe, die für beide Augen unterschiedlich ausfallen kann. Eine vollständige, generelle Zuordnung der Wellenlängen des Lichts zu den erlebten Farben gibt Farbtafel 3.I.



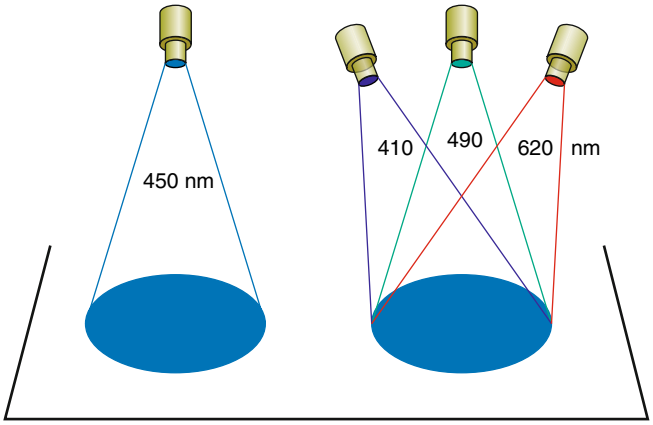
Farbtafel 3.I Das Spektrum des Sonnenlichtes, wie es nach Brechung eines Lichtstrahls durch ein Glasprisma entsteht. Angabe der entsprechenden Wellenlängen in nm (Nanometer)



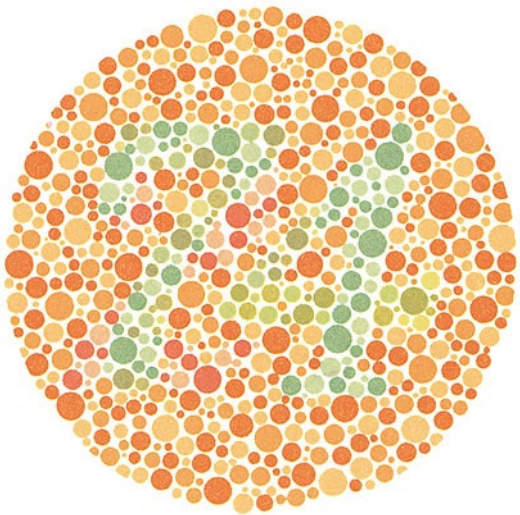
Farbtafel 3.II Anordnung der Farben in einem Farbraum (Doppelkegel) nach Farbton (gewöhnlicher Farbkreis der Spektralfarben), Sättigung (horizontal, radial) und Helligkeit (vertikal)



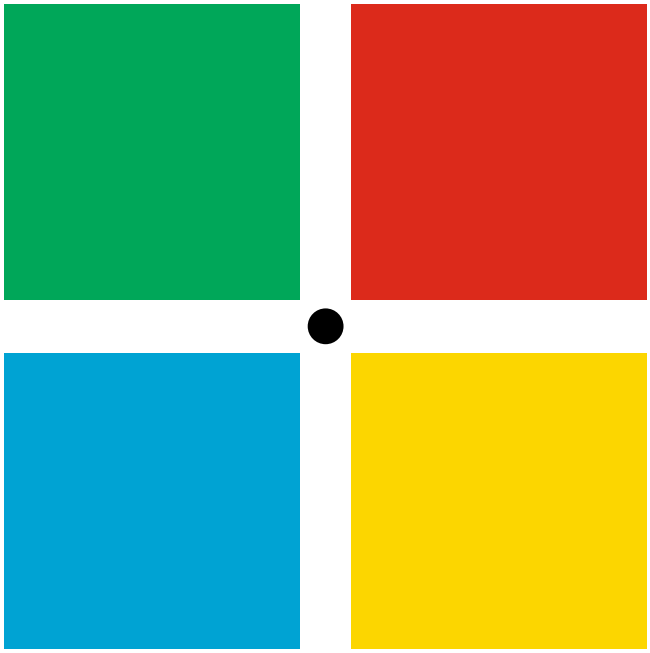
Farbtafel 3.III Additive und subtraktive Farbmischung. Bei der additiven Farbmischung (*links*), der Mischung farbiger Lichter, führt die Mischung von rot und grün zu gelb; grün und purpur erscheinen blau und so weiter, die Mischung aller Farben des Spektrums erscheint wieder weiß. Bei der subtraktiven Farbmischung (*rechts*), der Mischung von Pigmentfarben oder Farbfiltern, führt die Mischung von gelb und (grünlichem) blau zu grün; rot und blau erscheinen violett bis purpur, und gelb und rot ergibt orange. Die Mischung von Komplementärfarben erscheint mehr oder weniger schwarz



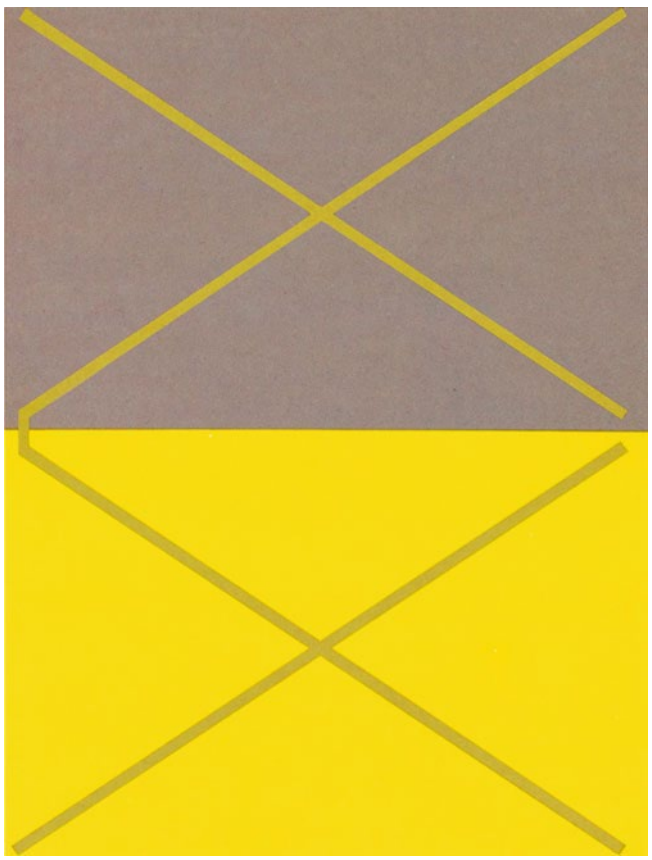
Farbtafel 3.IV Farbabgleichsexperiment zur Farbmischung. Durch die additive Mischung der Lichter von 410 und 490 und 620 nm Wellenlänge lässt sich der gleiche Farbeindruck erzeugen, wie ihn ein Testlicht von 450 nm Wellenlänge für uns erzeugt



Farbtafel 3.V Farbtafeltest. Pseudoisochromatische Tafeln (auch Ishiharatafeln) dienen zur Prüfung der Farbenfehlsichtigkeit beziehungsweise Farbtüchtigkeit des Auges. Die in der Vorlage für normalsichtige (rot-grün-gelb-tüchtige) Personen erkennbare 74 wird bei verschiedenen Formen von Rot-Grün-Blindheit nicht erkannt, oder es wird bei noch intakter Rot-Grün-Tüchtigkeit, aber fehlender Gelb-Tüchtigkeit, stattdessen eine 71 gesehen. Die Tafel ist zugleich ein Beispiel für die Gruppierungseffekte in der Wahrnehmung

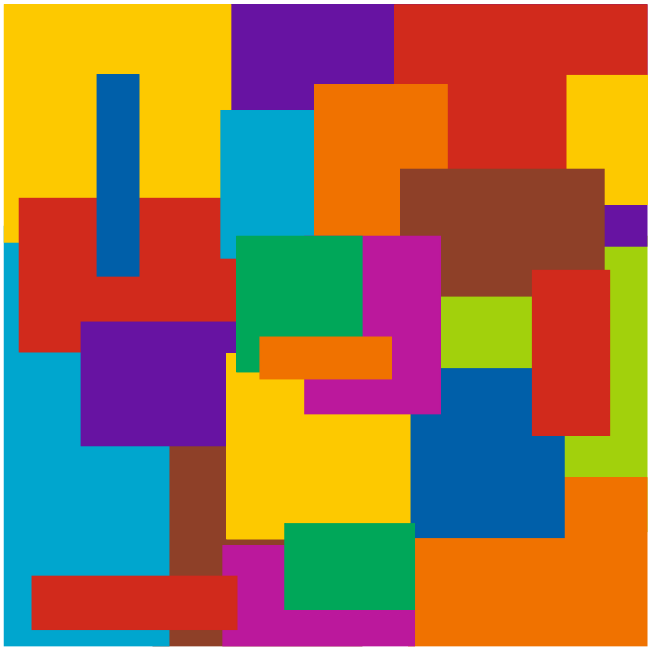


a

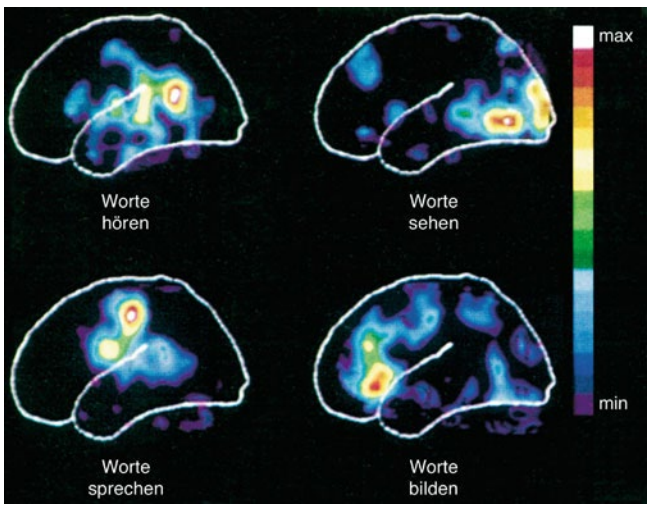


b

Farbtafel 3.VI **a** Komplementärfarben, **b** Simultankontrast



Farbtafel 3.VII Mondriantafel



Farbtafel 3.VIII Positronen-Emissions-Tomografie (PET) des lebenden Gehirns bei verschiedenen Sprachaktivitäten (siehe ► Exkurs 10.4. Bildgebende Verfahren)

Modell des Farbraumes

Die wahrgenommenen Farben lassen sich nach drei Dimensionen in einem **Farbraum** anordnen und beschreiben: nach Farbton, Helligkeit und Sättigung. Dabei meint Farbton die Farbqualität, die durch den Farbnamen beschrieben wird, zum Beispiel Rot bei Lichtwellenlängen von 500–550 nm. Helligkeit bezeichnet die Lichtintensität (oder Leuchtkraft) der Farbe, Sättigung bezeichnet die Reinheit der Farbe in dem Sinne, dass reine Farben kein Grau enthalten (zum Beispiel ungesättigtes Rosa, eine Mischung aus Rot und Grau, im Gegensatz zu reinem Rot). Die wahrgenommenen Farben lassen sich insgesamt als **Farbkreis** oder Farbraum darstellen (Farbtafel 3.II). Diese kreisförmige Anordnung der Farben trägt auch dem Erlebnis Rechnung, dass

sich die wahrgenommenen Farben insgesamt zu einem Farbkreis zusammenschließen, was für die zugrunde liegenden Lichtwellenlängen jedoch nicht zutrifft.

Das Modell des Farbraumes (auch Farbspindel) beschreibt jeden möglichen Farbeindruck in den Dimensionen Farbton (auf dem Kreisumfang), Sättigung (entlang des jeweiligen Radius mit der geringsten Sättigung auf der Achse) und der Helligkeit (entlang der senkrechten Achse). Alle Farbempfindungen zusammen bilden die Farbspindel. Innerhalb dieses Farbwahrnehmungsbereiches zwischen circa 400–750 nm Wellenlänge, für die das menschliche Auge sensitiv ist, können wir gut 150 Farbtöne unterscheiden. Bezogen auf die unterscheidbaren Wellenlängen würde das heißen, dass wir bereits Unterschiede von nur etwa 2 nm wahrzunehmen in der Lage sind, das heißt, der gerade wahrnehmbare Farbunterschied (jnd) beträgt nur 2 nm. Nimmt man die Vielzahl der unterscheidbaren Helligkeitsstufen und Sättigungsgrade hinzu, so ergibt das mehr als sieben Millionen Farbabstufungen, die wir unterscheiden können, was zugleich die Bedeutung unterstreicht, die das farbige Sehen für unser Leben hat (Coren et al. 1999).

Zunächst wenden wir uns nun den physikalischen Eigenschaften der wahrnehmbaren Farben zu, denn die Erkenntnis des Zusammenhanges zwischen Wellenlänge und Farbe ist von großer Bedeutung für das Verständnis der physiologischen wie auch der kognitiven Prozesse der Farbwahrnehmung.

Spektralfarben und Farbmischung

Bereits Anfang des 18. Jahrhunderts machte Isaac Newton bei seinen Untersuchungen im verdunkelten Arbeitszimmer der Universität von Cambridge die Entdeckung, dass sich das helle „weiße“ Sonnenlicht in das ganze Spektrum der Farben aufspalten lässt. Er beobachtete, dass ein durch ein Loch in seinem geschlossenen Fensterladen eindringender Lichtstrahl, der in einem ganz bestimmten Winkel durch ein Glasprisma lief, an der gegenüberliegenden Wand einen Farbenbogen – eben das Farbenspektrum (Farbtafel 3.I) – erzeugte. Bei seinem Versuch, die **Spektralfarben** mit einer Linse wieder zu bündeln, gelang es Newton, abermals, weißes Licht herzustellen. Also musste das Sonnenlicht aus den Spektralfarben zusammengesetzt sein. Wie wir heute wissen, unterscheiden sich die Spektralfarben physikalisch nur in ihren Wellenlängen.

Aus Newtons Prismenversuch geht für unsere Farbwahrnehmung hervor: Wir sehen weiß, wenn alle Wellenlängen des Spektrums gleichzeitig und mit gleicher Intensität auf uns einwirken. Wir sehen aber farbig, sobald nur ein Teil der Wellenlängen des Spektrums unser Auge trifft.

Im Alltag haben wir es jedoch zumeist nicht mit einzelnen spektralen Wellenlängen zu tun, sondern mit einem Gemisch verschiedener Wellenlängen, die zudem nicht direkt von ein und derselben Lichtquelle ausgehen, sondern von Gegenständen der Umgebung reflektiert werden. Dieses Reflexionsvermögen oder der **Reflexionsgrad** der Gegenstände, der ihre „Farbe“ ausmacht, bestimmt, welcher Wellenanteil des einfallenden Lichtes von einer Oberfläche reflektiert wird und unser Auge erreicht und welcher Anteil „verschluckt“ (absorbiert) wird. Der Reflexionsgrad bestimmt damit die wahrgenommene Farbe des Objektes. So erscheinen Gegenstände, die überwiegend kurzwelliges Licht reflektieren (zum Beispiel blau „angestrichene“ Gegenstände), blau, solche die mittel- und langwelliges Licht reflektieren, erscheinen uns gelb. Eine reife Tomate erscheint deshalb rot, weil sie kurz- und mittelwelliges Licht absorbiert und nur langwelliges Licht reflektiert. Da die restlichen Farbwellenlängen bereits von den reflektierenden Objektoberflächen absorbiert, also abgezogen oder „subtrahiert“ werden, ehe sie zum Auge gelangen, spricht man hier von **subtraktiver Farbmischung**. Sie gilt für **Malfarben** und Pigmentmischungen. Um subtraktive Farbmischungen handelt es sich auch, wenn wir durchsichtige Farbfilter verwenden, die nur Licht eines bestimmten Wellenlängenbereichs durchlassen (Farbtafel 3.III).

Dagegen handelt es sich um **additive Farbmischung**, wenn wir (wie Newton mit seiner Linse) farbiges Licht verschiedener Wellenlängen, zum Beispiel Licht aus verschiedenen Farbscheinwerfern, mischen. Hier erfolgt die eigentliche Mischung erst in unserem Auge. Das Zusammenfügen aller Farben des Spektrums wird als „weißes Licht“ wahrgenommen. Wenn wir dagegen mit Filtern alle Farben des Spektrums ausfiltern, entsteht dagegen die Wahrnehmung „Schwarz“.

Dreifarbentheorie von Young und Helmholtz

Bereits im frühen 19. Jahrhundert konnten die beiden bedeutenden Wissenschaftler Thomas Young (1773–1829) und 50 Jahre später Hermann von Helmholtz (1821–1894) mit ihren **Farbabgleichexperimenten** zeigen, dass sich jede für uns wahrnehmbare Farbe durch Kombination von Licht von nur drei verschiedenen Wellenlängen herstellen lässt, wenn man dazu Licht aus allen drei Wellenlängenbereichen, langwellig (rot), mittel- (grün–gelb) und kurzwellig (blau–violett), verwendet. Erstaunlicherweise können dabei verschiedene Wellenlängen der jeweiligen Bereiche verwendet werden, wenn nur jeder Bereich einmal vertreten ist. *Subjektiv identisch* erscheinende Farben können also *physikalisch unterschiedlich* aufgebaut sein, woraus zu schließen ist, dass wir offensichtlich für manche Unterschiede der physikalischen Reizzusammensetzung blind sind, was uns ebenso wenig auffällt, wie es Menschen, die für eine bestimmte Farbe farbenblind sind, auffällt, dass sie es sind.

In einem solchen Farbabgleichexperiment lässt man die Versuchsperson zu einem vorgegebenen einfarbigen Testlicht einer bestimmten Wellenlänge (Farbtafel 3.IV), das auf einen Schirm projiziert wird, ein Vergleichslicht durch Mischen von drei Farben verschiedener Wellenlänge herstellen. Dies gelingt allen normal farbensichtigen Personen. Es gelingt aber nur, solange sich keine der drei Farben durch Mischen der beiden anderen herstellen lässt. Durch Mischen von Licht der Wellenlänge 410 nm, Licht von 490 nm und Licht von 620 nm lässt sich zum Beispiel der gleiche blaue Farbeindruck erzeugen, wie er von einem spektralen Licht der Wellenlänge 450 nm erzeugt wird. Diese Beobachtungen machten deutlich, dass unsere Farbwahrnehmung nicht einfach auf einer direkten Umsetzung von **Wellenlänge** in **Farberleben** beruhen kann.

Bei diesen Untersuchungen zeigte sich weiter, dass es auch einige Menschen gibt, die ihre subjektiv erlebte farbige Welt

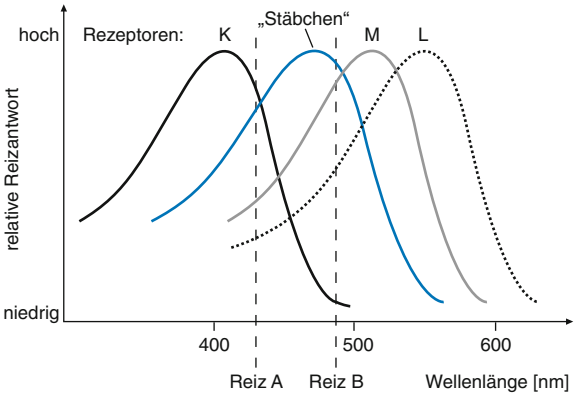


Abb. 3.29 Dreifarbentheorie. Dargestellt sind die Rezeptorempfindlichkeitskurven der drei Zapfentypen, K für kurzwelliges, M für mittel- und L für langwelliges Licht. Die Reizantwort der drei Zapfentypen auf einen vorgegebenen Reiz von zum Beispiel ca. 440 nm (Reiz A) ergibt sich aus den Schnittpunkten der Senkrechten in diesem Punkt mit den Empfindlichkeitskurven, und es lässt sich die relative Reaktion an der Abszisse ablesen. Genaueres im Text

durch Mischen von nur zwei primären Lichtfarben herstellen können. Sie werden im Gegensatz zu den normal farbsichtigen **Trichromaten** als **Dichromaten** bezeichnet. Wenngleich auch ihre Farbwelt vollständig scheint, so verwechseln sie doch bestimmte Farben, die von Menschen mit normalem Farbsehen (den Trichromaten) unterschieden werden. Die bei den Dichromaten am häufigsten vorkommende Rot-Grün-Farbenblindheit lässt sich mit dem Farbtafeltest (Farbtafel 3.V) leicht nachweisen. Während Dichromaten also durchaus farbig sehen können, gilt dies nicht für die **Monochromaten**, die wirklich **farbenblind** sind und nur Hell-Dunkel-Unterschiede wahrnehmen können.

Aus diesen Beobachtungen, dass zur Herstellung einer – dem monochromatischen Licht des Testfeldes entsprechenden – identischen Farbwahrnehmung mindestens drei Wellenlängen nötig sind, entwickelte Young (1802) seine trichromatische oder Dreifarbentheorie. Sie wurde von Helmholtz (1852) erweitert und ausgebaut. Nach dieser **Young-Helmholtz-Dreifarbentheorie** beruht unsere gesamte vielfältige Farbwahrnehmung auf nur drei Rezeptorsystemen mit jeweils unterschiedlicher spektraler Sensitivität. Wie wir heute wissen, finden sich diese drei Rezeptortypen in den **drei Typen von Zapfen** in der Retina. Jeder der drei Zapfentypen ist zwar für einen weiten Bereich von Wellenlängen sensitiv, reagiert aber optimal nur auf einen streng begrenzten Wellenlängenbereich. Wie Abb. 3.29 zeigt, sind zum Beispiel die Zapfen für kurzwelliges Licht bei einer Wellenlänge von 419 nm am empfindlichsten (hohe Reizantwort), Zapfen für langwelliges Licht bei einer Wellenlänge von 558 nm.

Die Vielfalt an Farbempfindungen kommt nach der Dreifarbentheorie dadurch zustande, dass Licht mit einer bestimmten Wellenlänge die drei Rezeptorsysteme in unterschiedlichem Maße erregt. Das dadurch erzeugte *unterschiedliche* **Aktivitätsmuster** in den drei Systemen führt zusammengenommen zu unserer Farbwahrnehmung. Das heißt, für jede vorgegebene Wellenlänge entsteht im Nervensystem ein eigenes Aktivitätsmuster der drei Rezeptorsysteme, durch welches die Wellenlänge codiert ist.

Das Prinzip dieser **Farbcodierung** sei anhand von Abb. 3.29 für zwei beliebige Lichtreize A und B verdeutlicht. Die relativen Reizantworten auf einen Lichtreiz von 440 nm Wellenlänge (Reiz A) ergeben sich aus den Schnittpunkten der senkrechten Linie mit den Reaktionskurven der drei Zapfentypen: K (kurzwellig), M (mittelwellig) und L (langwellig). Zapfen K spricht hier am stärksten an, die Zapfen M und L reagieren schwächer. Dagegen sprechen bei Reiz B die Zapfen M und L deutlich stärker an als K. Die drei Rezeptortypen werden also von einer bestimmten Reizwellenlänge in unterschiedlichem Maße aktiviert, und das spezifische Verhältnis dieser zueinander führt zur Wahrnehmung einer bestimmten Farbe.

Diese Art der Codierung, die sich im Nervensystem ebenfalls in den Entladungsmustern der zugehörigen Neurone widerspiegelt, ist auch weitgehend unabhängig von Veränderungen in der Reizstärke, denn egal, ob es sich um einen Reiz hoher (hell) oder niederer Intensität handelt, die Relation der Reizantworten zueinander (K > M > L bei Reiz A) bleibt konstant.

Die Dreifarbentheorie der Farbwahrnehmung (trichromatische Farbwahrnehmung) besagt, dass die Qualität Farbe von unseren Augen durch ein gemeinsames Aktivitätsmuster von drei Farbrezeptortypen codiert wird und nicht durch spezifische Rezeptoren für jede einzelne Farbe.

Mit der Young-Helmholtz-Dreifarbentheorie lässt sich eine Reihe unterschiedlicher Fakten erklären:

1. Wir können zwischen Licht verschiedener Wellenlänge unterscheiden, da jede Reizwellenlänge zu einem anderen Reaktionsmuster der drei Rezeptortypen führt.
2. Wir können das Phänomen erklären, dass die Vorgabe von einer Mischung der drei verschiedenen Reizwellenlängen (aus den Bereichen K, M, L) die gleiche Farbe erzeugt wie eine monochromatische Reizwellenlänge, da die drei weit auseinander liegenden Reizwellenlängen der Mischung ebenfalls alle drei Rezeptortypen aktivieren und das Verhältnis ihrer Aktiviertheit die Farbwahrnehmung bestimmt.
3. Die Theorie erklärt die verschiedenen Formen der Farbblindheit durch den Ausfall oder das Fehlen eines oder mehrerer Rezeptor-(Zapfen-)Typen.
4. Schließlich hat die Theorie in letzter Zeit dazu geführt, dass Physiologen tatsächlich drei verschiedene Zapfentypen in der Retina nachweisen konnten, die den geforderten Eigenschaften entsprechen.

Wie wir bereits besprochen haben, erfolgt die Umwandlung von physikalischen Lichtreizen in neuronale Impulse über den Zerfall und Wiederaufbau von Sehpigmenten in den Rezeptoren. Dies gilt auch für die differenzierte Wahrnehmung verschiedener Wellenlängen. Aus den Untersuchungen zur Molekularstruktur des Sehfarbstoffs wissen wir, dass sich das Sehpigmentmolekül stets aus einem großen Protein, dem Opsin, und einem kleineren lichtempfindlichen Molekül, dem Retinal, zusammensetzt. Während das Retinal in allen Sehpigmenten identisch ist, gibt es Unterschiede im Aufbau der Aminosäuresequenzen, aus denen das Protein des Opsins zusammengesetzt ist. Diese Unterschiede sind für die unterschiedliche Absorption des einfallenden Lichtes verantwortlich. Ähnliche Aminosäuresequenzen führen zu

ähnlichen Absorptionsspektren des Opsins. Nachdem es möglich geworden war, Absorptionsspektren der Sehpigmente zu messen, konnten Dartnall et al. (1983) beim Menschen die Existenz **dreier Zapfenpigmente** mit deutlich unterschiedlichen **Absorptionsmaxima** nachweisen. Danach liegen die Maxima im kurzwelligen Bereich bei 419 nm, im mittelwelligen bei 531 nm und im langwelligen Bereich bei 558 nm. Diesen Absorptionsspektren für den kurz-, mittel- und langwelligen Bereich entsprechen auch die Reaktionskurven K, M und L, die wir bereits in Abb. 3.29 kennengelernt haben. Demnach ist also die unterschiedliche molekulare Struktur der Sehpigmente für die unterschiedliche Reaktion der drei Zapfentypen verantwortlich, während die chemische Zerfallsreaktion gleichartig verläuft (Genaueres zur Tetrachromasie in *Zusatztext online*).

Gegenfarbentheorie von Hering

Trotz der dargestellten Erklärungserfolge gibt es aber eine Reihe weiterer Beobachtungen zur Farbwahrnehmung, die mit der Dreifarbentheorie nicht erklärt werden können. Solche Beobachtungen wurden bereits von Ewald Hering (1834–1918), einem weiteren bedeutenden Forscher und Zeitgenossen von Helmholtz (1821–1894), gemacht. Durch seine systematischen „phänomenologischen Beobachtungen" kam er zu der Feststellung, dass sich alle wahrnehmbaren Farben

1. mit nur vier Farbempfindungen, nämlich Rot, Grün, Gelb und Blau, beschreiben lassen und
2. dass dabei Rot und Grün sowie Blau und Gelb perzeptuell einem Gegensatzpaar – eben Gegenfarben – verbunden erscheinen.

Er stellte fest, dass für die meisten Menschen nichts „rötlichgrün" oder „gelblich-blau" sein kann oder dass sie sich kein rötliches Grün oder ein gelbliches Blau vorstellen können, dagegen aber leicht ein grünliches Blau oder ein rötliches Gelb. Es scheint unmöglich, dass man sich die Farben eines Gegensatzpaares gemeinsam vorstellen oder diese gleichzeitig wahrnehmen kann.

Auch mit zwei weiteren experimentellen Beobachtungen konnte Hering die Existenz dieser antagonistischen Farbgegensatzpaare nachweisen:

1. **Farbige Nachbilder** Fixieren wir zunächst für einige Zeit (40 s) farbiges Licht oder eine beleuchtete farbige Fläche und schauen danach auf eine neutrale Fläche, so erscheint diese für uns in der **Gegenfarbe** (**Komplementärfarbe**). Nach dem Betrachten zum Beispiel einer roten Fläche erscheint uns dann auf der neutralen Fläche ein grünes **Nachbild**. Man bezeichnet dies auch als **Sukzessivkontrast**. Interessanterweise können derartige Nachbilder auch nach Reizen auftreten, die so kurzzeitig dargeboten wurden, dass sie selbst keine bewusste Wahrnehmung hervorrufen (Sperling 1960).
2. **Simultankontrast** Hierbei wird in einem zentralen oder benachbarten Bereich, auf den wir blicken, durch ein umgebendes farbiges Umfeld die jeweilige Gegenfarbe erzeugt.

Zu diesen Beobachtungen kam für Hering als weiteres Indiz für die Annahme von Gegenfarben die Kenntnis darüber hinzu, dass grünblinde Personen zugleich rotblind sind (**Rot-Grün-Blindheit**, Protanopie) und gelbblinde Personen auch kein Blau sehen können (**Blau-Gelb-Blindheit**, Tritanopie).

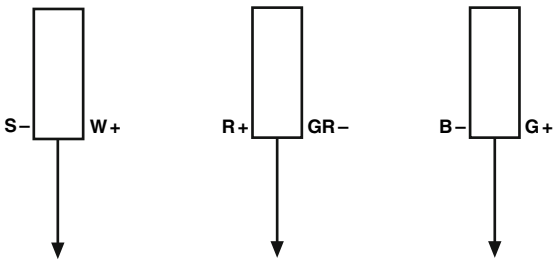


Abb. 3.30 Die drei Gegenfarbenmechanismen nach Hering. Rot-Grün-Einheit (R+, GR–), Blau-Gelb-Einheit (B–, G+) und Schwarz-Weiß-Einheit (S–, W+)

Alle diese Beobachtungen veranlassten Hering, eine alternative Farbtheorie zu entwickeln: die **Gegenfarbentheorie**. Hering nahm an, dass das visuelle System zwei Typen farbempfindlicher Einheiten besitzt: eine, die auf Rot oder Grün reagiert, und eine zweite, die auf Gelb oder Blau anspricht. Jedes dieser Systeme reagiert in entgegengesetzter Weise auf Licht seiner beiden Gegenfarben: Die **Rot-Grün-Einheit** zum Beispiel reagiert positiv mit einer Erhöhung ihrer Entladungsrate auf Rot und negativ mit einer Verminderung ihrer Entladungsrate auf Grün. Die **Blau-Gelb-Einheit** reagiert positiv auf Gelb und negativ auf Blau. Ein gleicher Mechanismus wird auch für die achromatischen Farben Schwarz und Weiß angenommen (Abb. 3.30).

Die Gegenfarbentheorie (*opponent-process theory*) besagt, dass das Farbensehen auf zwei Typen von farbempfindlichen Einheiten beruht (Rot-Grün, Gelb-Blau) daneben eine Einheit für Schwarz-Weiß, die jeweils in entgegengesetzter Weise auf ein Gegenfarbenpaar reagieren (z. B. Rot stimuliert, Grün hemmt). Da beides zugleich nicht möglich ist, können ein rötliches Grün und ein gelbliches Blau nicht vorkommen.

Während Hering seinerzeit die Vorstellung hatte, dass die positiven und negativen Reizantworten durch den Auf- und Abbau chemischer Substanzen in der Retina verursacht würden, wissen wir seit den letzten Jahrzehnten, dass hierfür vielmehr nachgeschaltete Neurone in der Netzhaut, dem Corpus geniculatum laterale (CGL) und dem Cortex verantwortlich sind. Diese Neurone reagieren auf verschiedene Wellenlängensignale mit antagonistischen elektrischen Reaktionen und fungieren so als neuronale **Opponenteneinheiten**.

Auch die Gegenfarbentheorie ist in der Lage, eine Reihe von Phänomenen zu erklären:

1. Wir sehen eine bestimmte Farbe, Rot oder Grün, Blau oder Gelb, wenn *eine* der Opponenteneinheiten sich im Ungleichgewicht befindet, erregt oder gehemmt ist. Wir sehen eine Kombination von Farbtönen, wenn *beide* Opponenteneinheiten im Ungleichgewicht sind.
2. Wir können nichts als gleichzeitig rot und grün oder blau und gelb wahrnehmen, weil jede der Einheiten nicht gleichzeitig erregt und gehemmt sein kann.
3. Das Erscheinen eines komplementärfarbenen Nachbildes – nach dem längeren Fixieren eines farbigen, beispielsweise

Exkurs 3.7

Experiment: Komplementäre Nachbilder im Selbstversuch

Zur Demonstration des Phänomens komplementärfarbiger Nachbilder (Sukzessivkontrast) verwenden wir Farbtafel 3.VIa. Das Phänomen tritt am deutlichsten auf, wenn Sie die Farbtafel (beispielsweise mit der Schreibtischlampe) hell beleuchten. Nun fixieren Sie aus circa 40 cm Entfernung mit möglichst starrem Blick (sodass das Bild auf der Retina nicht verwackelt) den schwarzen Punkt in der Mitte der Tafel für mindestens 40 s. Wenn Sie dann den Blick auf eine neutral graue oder weiße Fläche verschieben, sehen Sie für kurze Zeit ein farbiges Nachbild in der jeweiligen Komplementärfarbe: statt Grün, Rot, Blau und Gelb erscheinen Rot, Grün, Gelb und Blau. Zur besseren Kontrolle können Sie auch jeweils drei Farben mit einem Stück Papier abdecken und das Experiment mit nur einem – zum Beispiel dem roten – Farbfeld durchführen, auf dessen Mitte Sie nun den Blick fixieren.
Das Phänomen des farbigen Simultankontrasts erleben Sie, wenn sie auf Farbtafel 3. VIb blicken. In diesem Bild von Josef Albers erscheint die eine x-förmige Linie grau, die andere gelb, obwohl sie in Wirklichkeit die gleiche Farbe haben, wovon Sie sich an der Verbindungsstelle beider Linien überzeugen können. Allein das jeweilige Umfeld verändert den Farbeindruck – ein Phänomen, das sich viele Maler in verschiedenster Weise zunutze gemacht haben.
Das Simultankontrastphänomen lässt sich auch am farbigen Nachbild sehr schön demonstrieren. Hierzu verwenden Sie wieder die Farbtafel 3.VIa, bei der Sie diesmal alle Quadrate bis auf eines, zum Beispiel das rote, mit weißem Papier abdecken. Nun schneiden Sie aus weißem Papier noch ein kleines Quadrat mit gut einem 1 cm Kantenlänge aus und legen es auf die Mitte des roten Quadrats. Fixieren Sie nun wieder aus circa 40 cm Entfernung mit starrem Blick für 40 s das weiße Quadrat. Wenn Sie dann den Blick auf eine weiße Fläche richten, erscheint Ihnen in einem lichtgrünen Umfeld ein kleines, nun rotes Quadrat. Wieder handelt es sich um die Gegenfarben. Die rote Quadratfläche hat als Nachbild Grün erzeugt, was im simultanen Farbkontrast das kleine Quadrat rot erscheinen lässt. In der gleichen Weise können Sie für jede andere farbige Vorlage die zugehörige Komplementärfarbe ausfindig machen.
Besonders eindrücklich erscheinen die Komplementärfarben bei der Beobachtung farbiger Schatten, wie sie bereits J. W. von Goethe in seiner *Farbenlehre* verwendete. Hierzu wird in einem normal mit weißem Licht beleuchteten Raum ein Schatten werfender Gegenstand, zum Beispiel ein Bleistift oder ein Stuhlbein, verwendet, dessen Schatten auf eine weiße Fläche fällt. Der Schatten erscheint dann grau. Wird nun der Gegenstand zusätzlich mit einem farbigen Licht, zum Beispiel einer rot leuchtenden Taschenlampe, einer farbigen Glühbirne oder auch nur einer Kerze (rötliches Licht) angestrahlt, so erscheint der Schatten des Gegenstandes – obwohl kein zusätzliches farbiges Licht in den Schattenbereich gelangt – in der Gegenfarbe, nämlich grün (und nicht grau).

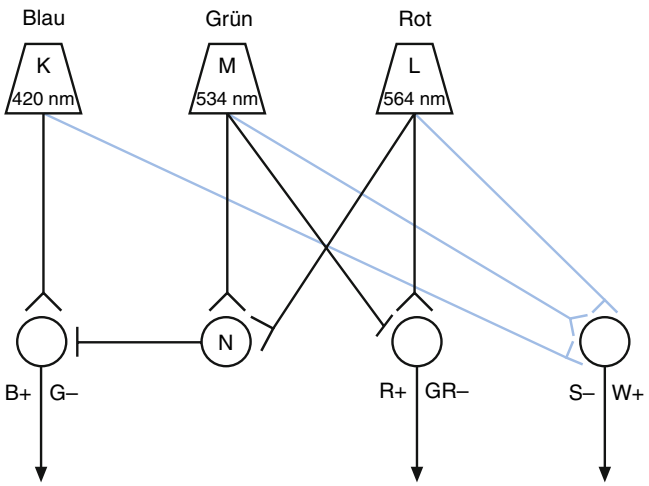
roten Lichtpunktes – erklärt sich daraus, dass beim längeren Fixieren die eine Komponente (rot) der Opponenteneinheit ermüdet und bei nachträglicher neutraler Reizung die nicht ermüdete (grüne) Komponente aktiver ist. Dies lässt sich im Selbstversuch demonstrieren (▶ Exkurs 3.7).

Physiologische Basis der Farbwahrnehmung und die Zweistufentheorie

Viele Jahrzehnte standen sich die Dreifarbentheorie von Young-Helmholtz und die Gegenfarbentheorie von Hering als mögliche, aber jeweils unvollständige Erklärungsansätze gegenüber. Erst in den letzten Jahren reifte aufgrund erweiterter und verfeinerter neurophysiologischer und biochemischer Untersuchungen die Vorstellung einer Kombination beider Ansätze zu einer **Zweistufentheorie der visuellen Reizverarbeitung**. Danach arbeiten auf der ersten Stufe die in der Retina identifizierten drei Typen von Zapfen (Rezeptoren) gemäß dem Prinzip der trichromatischen Theorie mittels chemischer Veränderungen. Ihre Resultate werden sodann auf einer zweiten Stufe im visuellen System von den nachgeschalteten Gegenfarbeneinheiten (Opponenten) weiterverarbeitet.

Das zweistufige Zusammenwirken der drei Rezeptortypen mit den **Gegenfarbenneuronen** ist in deren neuronaler Verschaltung begründet. Zur Verdeutlichung des zugrunde liegenden Prinzips, über dessen Realisierung die Meinungen noch nicht völlig übereinstimmend sind, verwenden wir das in ◘ Abb. 3.31 dargestellte mögliche neuronale Schaltdiagramm zwischen den drei Zapfentypen K, M und L und den nachgeschalteten Gegenfarbenneuronen für Blau-Gelb und Rot-Grün.

Wird in unserem Beispiel der L-Rezeptor von langwelligem Licht (rot) erregt, erregt dieser auch das Gegenfarbenneuron R+GR–, das gemäß der Definition bei Rot-Erregung ebenfalls eine positiv erregende Antwort weiterleitet, was Rot bedeutet.



◘ **Abb. 3.31 Schaltdiagramm zur Gegenfarbentheorie** und ihre Verknüpfung zur trichromatischen Theorie. Die drei Rezeptortypen sind so mit den nachfolgenden Neuronen verbunden, dass sie antagonistische Reaktionen bei den Blau-Gelb- und den Rot-Grün-Mechanismen erzeugen

Wird das R+GR–-Neuron beim Einfall von mittelwelligem Licht (grün) über die M-Rezeptoren stimuliert, reagiert das Neuron mit einer Hemmung seiner Spontanaktivität, was Grün bedeutet. Kurzwelliges blaues Licht hat auf diesen Systemanteil keinen Einfluss, wohl aber auf das B+G–-Neuron, das bei positiver Aktivierung seine Spontanfrequenz steigert, was Blau bedeutet. Die Verschaltung der M- und L-Rezeptoren über ein zwischengeschaltetes Neuron (N) erklärt die weitere Beobachtung, dass gelbes Licht, das die Rezeptoren M und L erregt, zu einer Senkung der Spontanfrequenz des B+G–-Neurons führt, was wiederum Gelb bedeutet.

Die neuronalen Verschaltungen der Gegenfarbenzellen sind in Wirklichkeit weitaus komplizierter, als wir es an dem verein-

fachten Diagramm des Opponentenprozesses dargestellt haben. Die zugrunde liegenden neuronalen Mechanismen haben wir bei der Darstellung der **rezeptiven Felder** bereits kennen gelernt. Aber es mag deutlich geworden sein, dass unsere Farbwahrnehmung in wesentlichen Teilen erst durch die neuronale Verarbeitung mitbestimmt wird. So wird auch verständlich, dass es im Tierreich (zum Beispiel nachweislich bei Bienen) ganz *andere* **Farbwahrnehmungswelten** gibt als beim Menschen.

Das Zweistufenmodell der visuellen Reizverarbeitung besagt also, dass auf einer ersten Stufe drei Farbrezeptortypen in der Retina das einfallende Licht nach den verschiedenen Wellenlängen codieren (Dreifarbentheorie) und dass auf einer zweiten Stufe nachgeschaltete Gegenfarbenneurone in Retina, CGL und Cortex für die Wahrnehmungsphänomene der farbkomplementären Nachbilder und des Simultankontrastes verantwortlich sind (Gegenfarbentheorie).

Wir wollen an dieser Stelle nochmals einen Blick auf den Weg unseres wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnes werfen, der hier in der Zusammenarbeit von psychologischen und biologischen Ansätzen besonders eindrücklich ist: Aufgrund psychologisch-phänomenologischer Beobachtungen war nach der Dreifarbentheorie zu vermuten, dass es nur drei Typen von Farbrezeptoren geben kann, und die spätere biologisch-physiologische Forschung konnte nachweisen, dass wir tatsächlich über drei unterschiedlich arbeitende Typen von Zapfen in der Retina verfügen. Ebenfalls aufgrund phänomenologischer Beobachtungen vermutete die Gegenfarbentheorie, dass es noch andere Funktionseinheiten im visuellen System geben muss, deren Funktion sie bereits vorhersagen konnte. Auch diese Funktionseinheiten konnten inzwischen von physiologisch-neurologischer Seite nachgewiesen werden. Und schließlich erforderte die integrative Verarbeitung beider Ansätze, dass die trichromatischen Rezeptorzellen ihre vorverarbeitete Information an die Gegenfarbenzellen weitergeben müssen, was sich ebenfalls bestätigen ließ. Durch diese in zahlloser Kleinarbeit erreichten Erfolge wurde die Analyse der Farbwahrnehmungsprozesse für viele Forscher zum Modell für die Analyse der anderen sensorischen Systeme.

3.3.5 Räumliche Tiefe und Objektgröße

Sowohl bei der Wahrnehmung einzelner Objekte als auch bei unserer Orientierung im Raum erleben wir ein dreidimensionales räumliches Bild der Wirklichkeit, obgleich unsere Augen auf der Retina nur ein zweidimensionales Bild empfangen können. Wie ist es möglich, dass aus dem zweidimensionalen Retinabild für uns eine dreidimensionale Wahrnehmung wird? Das heißt, wie erfahren wir etwas über die räumliche Tiefe? Heute wissen wir, dass es eine Reihe **Cues** (Hinweise) für die Verarbeitung von räumlicher Tiefe gibt. Cues sind Eigenschaften im zweidimensionalen Netzhautbild, die es unserem Wahrnehmungssystem ermöglichen, Schlüsse auf Entfernungen in einer dreidimensionalen Welt zu ziehen und daraus automatisch ein dreidimensionales Perzept aufzubauen. Üblicherweise unterscheidet man zwischen **binokularen** Tiefenhinweisen, für die beide Augen erforderlich sind, und **monokularen** Tiefenhinweisen, die wir auch mit nur einem Auge wahrnehmen können.

Monokulare Tiefenhinweise

Wenngleich unsere dreidimensionale Wahrnehmung der Welt vor allem und im Wesentlichen durch unser beidäugiges Sehen begründet ist, das wir anschließend besprechen werden, sind wir bekanntlich in Lage, auch mit nur einem Auge und auch von einem nur zweidimensionalen Bild, zum Beispiel einem Foto, Informationen über die räumliche Tiefe zu erhalten. Dies geschieht über die monokularen Tiefenmerkmale, aus denen unser Wahrnehmungssystem räumliche Tiefe konstruiert beziehungsweise rekonstruiert. Hierzu gehören:

1. **Linearperspektive**: Parallel verlaufende Linien (zum Beispiel Straßenränder) konvergieren im Bild in einem am Horizont gedachten Fluchtpunkt, wodurch für uns ein Tiefeneindruck erzeugt wird (Abb. 3.32a). Daraus ergeben sich im Einzelnen:
2. **Relative Größe im Blickfeld**: Enthält ein Bild (oder unser Blickfeld) eine Reihe gleichartiger Objekte, die sich nur in ihrer Größe unterscheiden, so interpretieren wir die kleineren als weiter entfernt gelegen. Das größere Objekt wirkt näher (Abb. 3.32b).
3. **Verdeckung** (**Interposition, Superposition**): Wird ein Objekt im Bild teilweise von einem anderen Objekt verdeckt, so wird das verdeckte Objekt als weiter entfernt wahrgenommen, auch wenn sich beide Objekte, wie auf einem Bild, in gleicher Entfernung befinden (Abb. 3.32c).
4. **Relative Höhe im Blickfeld**: Objekte, die sich im Blickfeld weiter oben (höher) befinden, erscheinen (selbst bei gleicher Größe) weiter entfernt. Interessanterweise gilt dies jedoch nur unterhalb einer Horizontlinie. Oberhalb derselben kehren sich die Verhältnisse um (ein Phänomen, das darauf verweist, dass sich unsere Wahrnehmung in Interaktion mit unserer Umwelt entwickelt haben muss; Abb. 3.32d).
5. **Relative Klarheit** (**atmosphärische** oder **Luftperspektive**): Weiter entfernte Objekte erscheinen infolge der davor liegenden Luft-, Schmutz- und Dunstpartikel unschärfer und haben weniger gesättigte Farben – sie werden daher als weiter entfernt interpretiert. Veränderungen der atmosphärischen Trübung führen daher auch zu Veränderungen der wahrgenommenen Entfernung. So rücken zum Beispiel Bergketten, die bei trübem Wetter weit entfernt scheinen, bei klarer Wetterlage („Fön“) in fast greifbare Nähe.
6. **Texturgradient**: Ebenfalls durch lineare Perspektive bedingt erscheinen Elemente des Untergrundes (zum Beispiel Straßenpflasterung) mit zunehmendem Abstand immer dichter gepackt. Diese nach hinten immer feiner werdende Struktur gibt damit Hinweise auf die Raumtiefe (Abb. 3.33 und 3.56). Bei wirklich spiegelglatter See ist die Größe der Entfernung eines Schiffes schwerer richtig zu schätzen als bei Wellengang. Nach einem Experiment von Gibson (1950) ist die Länge einer auf einem weiten Feld aufgestellten Latte bei gepflügtem Feld genauer einzuschätzen als bei glattgewälztem Feld.
7. **Gewohnte Größe von Gegenständen** (Bekanntheit): Auch die im Gedächtnis gespeicherte Größe von Gegenständen

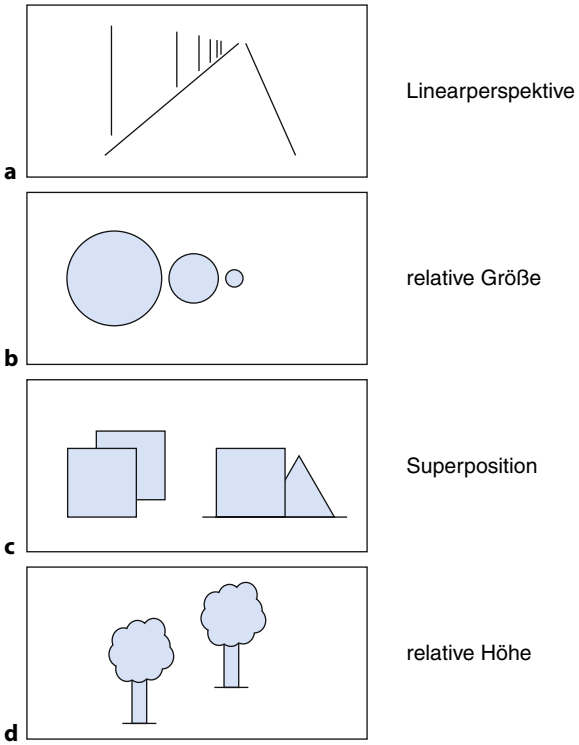


Abb. 3.32 **Monokulare Tiefenhinweise** bewirken, dass auch zweidimensionale Darstellungen räumlich, dreidimensional, erscheinen können. Hierzu tragen bei die Linearperspektive (**a**), die relative Größe (**b**), die Superposition (Verdeckungen) (**c**) und die relative Höhe im Bild (**d**)



Abb. 3.33 Beispiel für einen Texturgradienten

wirkt sich auf die Wahrnehmung von Größe oder Tiefe aus und signalisiert eine erinnerte Entfernung.

8. **Horizontverhältnis**: Es bezeichnet den Anteil eines Objekts auf einer Grundfläche, der über den Horizont hinausragt, geteilt durch den Anteil, der sich unter dem Horizont befindet (Gibson 1950). Dieses Horizontverhältnis bleibt zur Position des Beobachters in der Landschaft invariant. Der Ort, an dem die Horizontlinie (zum Beispiel im ebenen Gelände) die gesehenen Objekte (zum Beispiel einen Telegrafenmasten) schneidet, liegt jeweils in unserer Augenhöhe über dem Boden (Abb. 3.34).

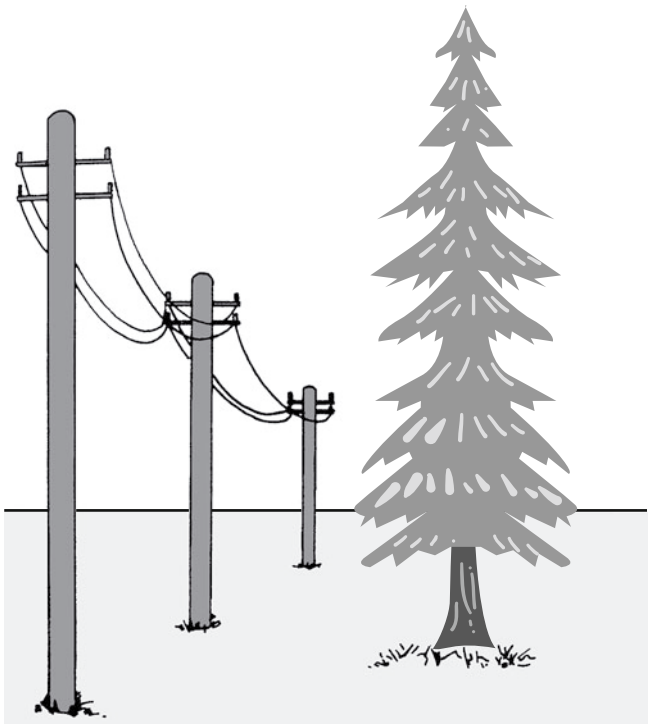


Abb. 3.34 Das Prinzip des Horizontverhältnisses. Die Horizontlinie liegt in Augenhöhe des Betrachters (sie sinkt, wenn wir uns bücken) und schneidet alle nahen Objekte, die am Boden sind, in einem bestimmten Verhältnis, das über deren Größe Auskunft gibt. Gleich große Objekte wie die Masten haben das gleiche Horizontverhältnis. Den Baum nehmen wir als größer wahr, weil ein größerer Teil von ihm über dem Horizont liegt. (nach Goldstein 1996 (dt. Ausgabe 1997), S. 251, Abb. 6.51 verändert)

Von den einfachen monokularen Tiefenhinweisen werden **bewegungsinduzierte** monokulare **Tiefenhinweise** unterschieden. Ihre Tiefeninformation resultiert aus den Wahrnehmungsveränderungen bei Bewegung des eigenen Körpers im Raum.

1. **Bewegungsparallaxe** Sie bezeichnet die unterschiedlich weite (und unterschiedlich schnelle) gegenseitige Verschiebung weit entfernter und naher Objekte auf der Retina bei einer Kopf- oder Körperbewegung. Besonders deutlich wird dieser Effekt, wenn wir aus dem Seitenfenster des fahrenden Zuges oder Autos blicken. Nahe Gegenstände sausen unscharf vorbei, während Objekte am Horizont fast stillzustehen scheinen. Wie Abb. 3.35 verdeutlicht, legt bei unserer Bewegung von Position A nach B das Abbild eines entfernteren Objektes (a) auf der Retina unseres Auges nur eine relativ kleine Strecke (a1 → a2) zurück, während das Abbild des näher gelegenen Objektes (b) einen beachtlich weiteren Weg (b1 → b2) zurücklegt. In gleicher Weise besteht auch zwischen dem Blickwinkel des rechten und des linken Auges eine **Parallaxenverschiebung**. Sie können sich diese verdeutlichen, indem Sie beispielsweise mit ihrem Zeigefinger (b) auf einen entfernten Gegenstand (a) zeigen und dabei zunächst zum Beispiel das rechte Auge schließen. Ohne die Lage Ihres Zeigefingers oder Ihres Kopfes zu verändern, schließen Sie nun das linke und blicken nur mit dem rechten Auge: In Relation zum fernen Gegenstand (a) springt Ihr Finger nach links, das heißt, sein Abbild im rechten Auge liegt entsprechend weiter

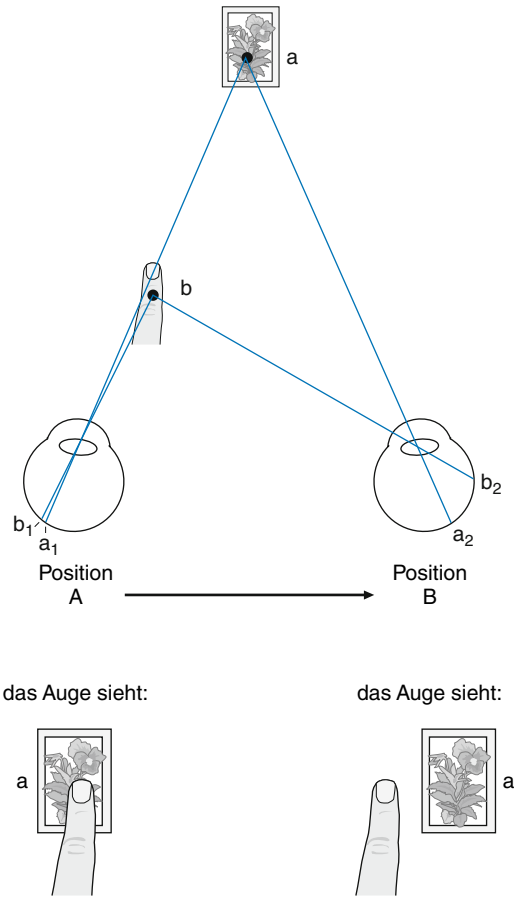


Abb. 3.35 Bewegungsparallaxe *Oben*: Die Abbilder auf der Netzhaut von unterschiedlich weit entfernten Objekten bewegen sich unterschiedlich schnell und unterschiedlich weit, wenn sich ein Auge von Position A nach Position B bewegt. *Unten*: Desgleichen tritt eine Parallaxenverschiebung ein, wenn wir zwei unterschiedlich weit entfernte Objekte (Fingerspitze und Wandbild) abwechselnd mit dem rechten oder linken Auge betrachten

rechts (b2). Aber auch das Abbild des fernen Gegenstandes liegt wegen der auch hier auftretenden Parallaxenverschiebung nicht an derselben Stelle wie im linken Auge.

2. **Fortschreitendes Zu- oder Aufdecken** Dieses ergibt sich aus der Bewegungsparallaxe, wenn bei unserer Bewegung ein weiter vorn gelegener Gegenstand einen weiter entfernt liegenden „überholt". Der entferntere Gegenstand wird dabei fortschreitend zunächst ver- oder zugedeckt und anschließend wieder aufgedeckt. Der Effekt beruht auf der relativen Bewegung der Kanten von sich überschneidenden Wahrnehmungsbildern (Kaplan 1969).

Binokulare Tiefenhinweise

Binokulare (zweiäugige) Tiefenmerkmale werden beim beidäugigen Sehen von unserem zentralen Nervensystem zur Errechnung der Tiefenwahrnehmung verwendet und ermöglichen im Nahbereich unsere recht genaue Raumtiefeneinschätzung.

1. **Konvergenz und Akkommodation** der Augen werden vielfach auch als **okulomotorische Tiefenhinweise** zusammengefasst. Sie beruhen auf Signalen, die entstehen, wenn sich unsere Augen bei der Betrachtung sehr nahe gelegener Gegenstände einwärts bewegen, wenn die Augenachsen (bis

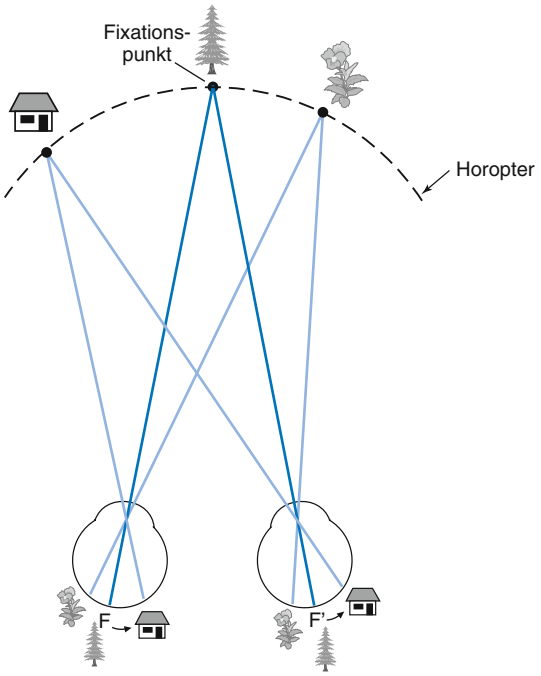


Abb. 3.36 Korrespondierende Netzhautpunkte und Horopter. Bei Fixierung eines Gegenstandes (Tanne) mit beiden Augen fallen die Abbilder desselben in beiden Augen auf korrespondierende Netzhautpunkte, die mit derselben Stelle im visuellen Cortex verbunden sind. Dasselbe trifft zu für alle Objekte, die auf einem gedachten Kreis, dem Horopterkreis, liegen, der laut Definition durch den Fixationspunkt und den optischen Mittelpunkt beider Augen geht (aus Gründen der Übersichtlichkeit ist dies in unserer Darstellung nicht berücksichtigt)

zum „Schielen") konvergieren, um das Abbild des betrachteten Gegenstandes bei beiden Augen auf die Fovea centralis zu zentrieren (Konvergenz). Weitere Signale entstehen bei der Naheinstellung (Nahakkommodation), wenn sich die Augenlinse verdickt, um ein nahe gelegenes Objekt auf der Retina scharf einzustellen. Konvergenz und Akkommodation sind als Tiefenhinweise jedoch nur bei Distanzen von bis zu maximal 3 m wirksam (Leibowitz et al. 1972).

2. **Querdisparation** ist ein Tiefenhinweis, der sich aus einer Abweichung der beiden Netzhautbilder ergibt. Wir sehen die Welt mit unseren beiden Augen von zwei leicht unterschiedlichen Positionen und damit gleichzeitig aus zwei verschiedenen Blickwinkeln. Dies hat zur Folge, dass wir auf den beiden Netzhäuten zwei etwas voneinander abweichende Abbildungen erhalten, deren Unterschiede uns normalerweise nicht bewusst werden, weil sie über das nachgeschaltete Nervennetz erst in mehrfacher Weise miteinander „verrechnet" werden, ehe uns eine räumliche, plastische Wahrnehmung als Ergebnis zu Bewusstsein kommt. Wie die voneinander abweichende Lage der beiden Retinabilder zustande kommt, hatten wir uns bereits anhand der Parallaxenverschiebung klargemacht: Das Bild des Gegenstandes, den wir direkt fixieren (F und F′ in Abb. 3.36), fällt dabei in beiden Augen auf die gleichen Punkte (innerhalb der beiden Foveae), die somit korrespondierende Netzhautpunkte darstellen.

Alle Gegenstände, die sich in gleicher Entfernung befinden, die also auf einem durch den Fixationspunkt gehenden, gedachten

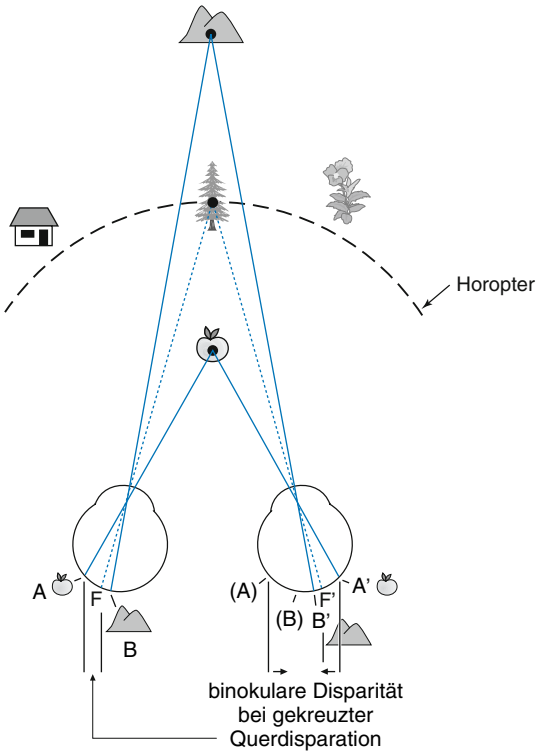


Abb. 3.37 Zusammenhänge zwischen Querdisparation und binokularer Disparität in Abhängigkeit von der Lage des Beobachtungsobjektes vor oder hinter dem Horopter. Die korrespondierenden Netzhautpunkte A – A′ und B–B′ im gleichen Auge erhält man, indem man gedanklich beide Netzhautquerschnitte übereinanderlegt

Kreisbogen – dem so genannten **Horopter** – liegen, werfen ihre Abbilder ebenfalls auf korrespondierende Netzhautstellen beider Augen, zum Beispiel ein gleich weit entferntes Haus oder eine Blume (Abb. 3.36). Alle anderen näheren oder weiter entfernten Objekte (Apfel oder Berge in Abb. 3.37) werfen dagegen ihre Bilder auf unterschiedliche, **disparate**, nicht korrespondierende Stellen beider Netzhäute. Diese Abbilder sind auf beiden Netzhäuten in unterschiedliche Richtungen verschoben. Hier fallen also korrespondierende Abbilder auf unterschiedlich weit disparate Netzhautstellen. Ist die **Disparität** zwischen den korrespondierenden Bildern beider Netzhäute klein genug, so können sie durch das neuronale visuelle System zu einer Wahrnehmung des räumlich erscheinenden Gegenstandes verbunden werden. (Liegen die disparaten Bilder jedoch wie beim **Schielen** zu weit auseinander, sehen wir tatsächlich zwei einzelne Bilder, Doppelbilder.) Dabei vergleicht das visuelle System die beiden Netzhautbilder im Hinblick auf die horizontale Verschiebung oder **Querdisparation** ihrer korrespondierenden Bestandteile und stellt daraus eine einheitliche Wahrnehmung eines räumlich-plastischen Gegenstandes her. Das heißt, die horizontale Verschiebung, die Querdisparation, zwischen beiden Bildern, wird als Tiefe in der dreidimensionalen Welt interpretiert. Dies ist möglich, da die Querdisparation (beziehungsweise der Querdisparationswinkel A A′ sowie B B′) in Abb. 3.37 proportional mit der Entfernung vom Horopter (Fixationspunkt) wächst. Je weiter ein Objekt vom Horopter entfernt ist, desto größer ist die Querdisparation. Befindet sich ein Objekt vor dem Horopter (also näher am Betrachter), so liegen seine Abbilder in Richtung der äußeren Randbereiche der Netzhäute, was als **gekreuzte Querdisparation** bezeichnet wird. Bei Gegenständen, die außerhalb des Horopters (weiter entfernt) liegen, entstehen die Abbilder auf dem inneren, nasalen Bereich der Retina, was als **ungekreuzte Querdisparation** bezeichnet wird.

Der räumlich-plastische Eindruck, den wir beim normalen Sehen der Welt haben, lässt sich bekanntlich auch künstlich mit zweidimensionalen Vorlagen erzielen, wenn dafür gesorgt wird, dass beide Augen, etwas seitlich versetzt, unterschiedliche (das heißt querdisparate) Bilder des gleichen Objektes erhalten, wie dies bei **3-D-Bildern** oder -**Filmen** der Fall ist. Hierzu entwickelten Physiker wie C. Wheatstone und Oliver W. Holmes (im Jahre 1861) das **Stereoskop**: eine Vorrichtung, mit der den beiden Augen getrennt zwei (disparate) Bilder oder Fotografien dargeboten werden, die mit einer Doppelkamera gleichzeitig von verschiedenen, in Augenabstand benachbarten Punkten aufgenommen (oder gezeichnet) waren (ähnlich wie bei unserem Fingerzeige-Beispiel) und dann so vor die Augen gehalten wurden, dass jedes Auge nur „sein" Bild zu sehen bekam. Die Betrachtung dieser Bilder durch ein solches Stereoskop erzeugt bei uns eine lebhafte plastische Tiefenwahrnehmung, ähnlich wie wir sie heute bei den nach dem gleichen Prinzip arbeitenden 3-D-Darbietungen mit den 3-D-Brillen erleben können, die dafür sorgen, dass jedem Auge nur eines der beiden gleichzeitig auf der Vorlage vorhandenen Bilder sichtbar wird. Wheatstone prägte für diese Art des räumlichen Tiefensehens den Begriff **stereoskopisches Sehen** oder **Stereopsis**.

Querdisparität (binokulare Disparität)

Wahrgenommene Objekte erzeugen auf den Netzhäuten beider Augen einander entsprechende, aber seitlich verschobene differente Bilder. Diese Unterschiede werden als Querdisparation oder binokulare Disparität bezeichnet.

Stereopsis (Wahrnehmung der räumlichen Tiefe)

Stereopsis (Wahrnehmung räumlicher Tiefe) entsteht durch die neuronale Verarbeitung der in der Querdisparation enthaltenen Information über die relative Entfernung zwischen wahrgenommenem Objekt und dem Betrachter.

Zufallsstereogramme und binokulare Neurone

Einen eindeutigen Beleg dafür, dass die Querdisparation allein für sich die plastische Wahrnehmung räumlicher Tiefe erzeugt, verdanken wir den Untersuchungen von Julesz (1971) mit den sogenannten **Zufallsstereogrammen**, die keine andere Tiefeninformation enthalten als die einer absichtlich konstruierten Querdisparation. Betrachtet man solche Vorlagen paarweise mit einem Stereoskop, wie bereits dargelegt, so erscheint die hineinkonstruierte Figur in plastisch-räumlicher Tiefe. Abb. 3.38a zeigt zwei solcher Punktemuster, von denen das rechte die durch Querdisparation bedingte Figur (ein Quadrat) enthält. Zur Herstellung werden zunächst vom Computer zwei identische Zufallsmuster generiert. Bei einem Muster wurde dann zum Beispiel ein quadratischer Ausschnitt nach rechts verschoben, wie dies in Abb. 3.38b symbolisch veranschaulicht ist. Durch diese minimale Verschiebung eines Teilbereichs wird beim stereoskopi-

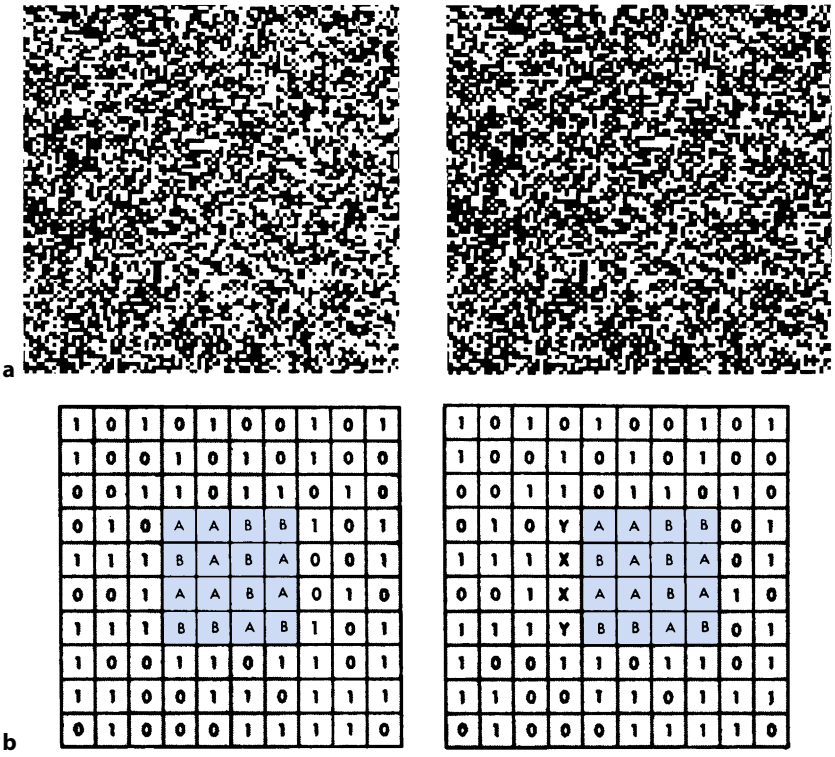


Abb. 3.38 Julesz-Stereogramm. a paariges Zufallsstereogramm, **b** schematische Verdeutlichung des Konstruktionsprinzips. Die Nullen bedeuten weiße, die Einsen schwarze Punkte. Diese Punkte des grau unterlegten quadratischen Bereichs werden in der rechten Abbildung um eine Einheit nach rechts verschoben. Der dadurch frei werdende Bereich, markiert durch X und Y, wird dann zur Vervollständigung des Musters wieder nach dem Zufall mit weißen und schwarzen Punkten aufgefüllt. (Julesz 1971)

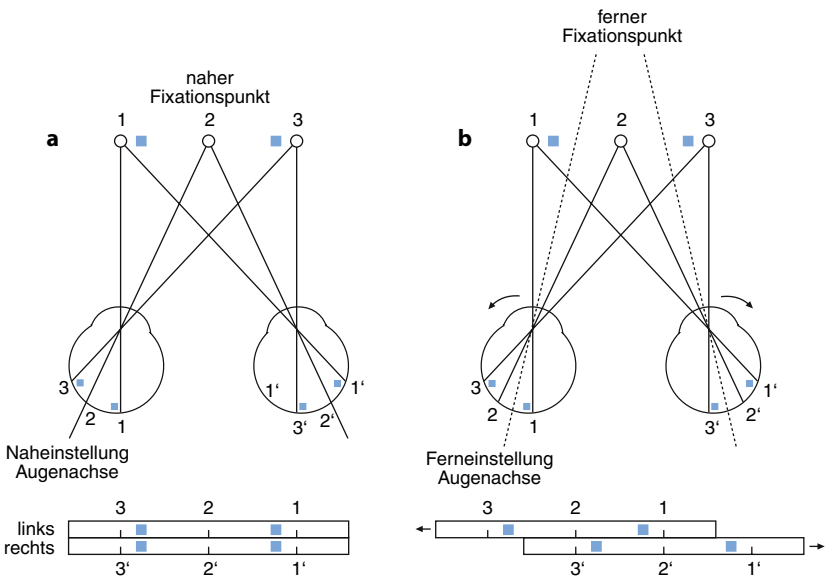


Abb. 3.39 Stereoskopisches Sehen. Es wird nur bei auftretender Querdisparation der Netzhautbilder erzeugt. a Bei normaler Betrachtung des Musters aus Quadraten und Kreisen fallen die Abbilder im Auge auf korrespondierende Netzhautpunkte, wie das untere Diagramm verdeutlicht. Es wird keine räumliche Tiefe gesehen., b Wenn die Augen in die Ferne blicken und somit divergieren (angedeutet durch die Pfeile und den Fernpunkt), verschieben sich die Netzhautbilder des Musters in beiden Augen in entgegengesetzte Richtung. Bei einer bestimmten Entfernung kommen die identischen Kreise wieder zur Deckung und bilden keine Querdisparation (und folglich auch keine räumliche Tiefe), während die grauen Punkte sich nicht mehr decken und auf unterschiedliche, nicht korrespondierende Netzhautpunkte fallen, wie das untere Diagramm zeigt. Die resultierende Querdisparation erzeugt folglich räumliche Tiefe, sodass sie in einer anderen Entfernung wahrgenommen werden. (Goldstein 1996 (dt. Ausgabe 1997), S. 233, Abb. 6.25)

schen Betrachten, wenn also das linke Auge nur die linke Vorlage und das rechte Auge nur die rechte Vorlage sieht, im Auge Querdisparation erzeugt. Und tatsächlich erscheint dem Betrachter dabei ein kleines Quadrat, das über beziehungsweise vor dem gleichartigen Hintergrund schwebt. Mittels solcher Zufallsstereogramme, durch die sich die Querdisparation in Abwesenheit anderer Tiefencues manipulieren lässt, konnte Julesz den Nachweis erbringen, dass die Wahrnehmung räumlicher Tiefe allein durch Querdisparation erzeugt werden kann (vgl. Abb. 3.39).

Besonders schön lässt sich dieser Tiefen-3-D-Effekt im Selbstversuch mit den bekannten Autostereogrammen demonstrieren. Dazu dient das Experiment zum Autostereogramm (▶ Exkurs 3.8).

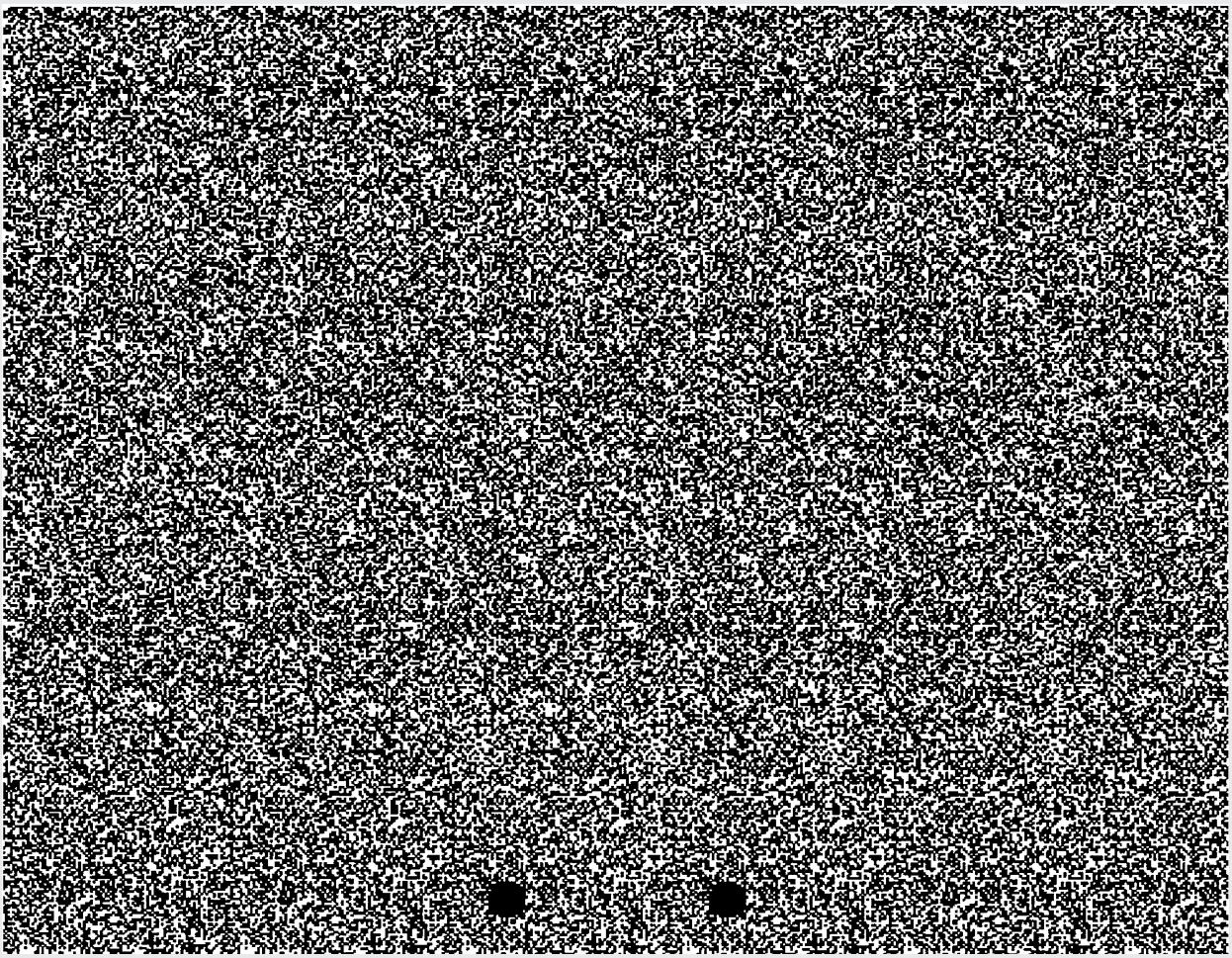
Exkurs 3.8

Experiment: Autostereogramm mit Demonstrationsversuch

Bei Autostereogrammen wird der Querdisparationseffekt innerhalb eines einzigen Bildes erzeugt, und zwar dadurch, dass durch die Anordnung der einzelnen, sich wiederholenden Elemente bei der Betrachtung mit einem divergierenden (auf unendlich eingestellten) Blick bestimmte Bildpunkte nicht mehr auf korrespondierende Netzhautpunkte fallen und damit zur Querdisparation führen.

Zur Demonstration des 3-D-Effektes an einem Julesz-Stereogramm verwenden wir das Autostereogramm. Um das darin zunächst verborgene Bild dreidimensional sehen zu können, müssen Sie Ihre Augen auf „unendlich" einstellen. Dazu kann folgende Vorübung dienen: Nehmen Sie einen Stift und halten Sie ihn mit ausgestrecktem Arm vor sich hin. Nun blicken Sie durch ihn hindurch, indem Sie versuchen, Ihre Augen auf einen Gegenstand weit hinter dem Stift zu konzentrieren. Nach ein paar Sekunden sollten Sie in der Lage sein, zwei Stifte wahrzunehmen. Versuchen Sie, nicht auf die Stifte zu schauen, sondern blicken Sie durch sie hindurch. Wenn Ihnen diese einfache Übung gelungen ist, blicken Sie in der gleichen Weise möglichst entspannt auf das Autostereogramm, doch achten Sie darauf, nicht auf die Muster zu schauen, die die eigentlichen Bilder überlagern. Versuchen Sie erneut, durch sie hindurchzublicken.

Als besonders hilfreich hat sich bei vielen auch folgendes Vorgehen bewährt: Führen Sie ◘ Abb. 3.40 ganz dicht an Ihr Gesicht heran, sodass das Buch fast Ihre Nase berührt und das Bild völlig unscharf ist. Starren Sie dabei möglichst entspannt ins Leere. Nachdem sich Ihre Augen daran gewöhnt haben, entfernen Sie das Buch langsam wieder von Ihrem Gesicht, ohne die Ferneinstellung der Augen zu ändern. Sie dürfen sich dabei nicht auf die Bildoberfläche konzentrieren. Während Sie das Buch langsam von Ihrem Gesicht wegbewegen, sollte Ihnen bei einem bestimmten Abstand das versteckte 3-D-Bild eines frei vor dem Hintergrund schwebenden großen Ringes aus der Tiefe entgegenkommen.



◘ **Abb. 3.40** Autostereogramm. (Thimbleby et al. 1994)

Das Prinzip der hier verwendeten Querdisparationserzeugung verdeutlicht ◘ Abb. 3.39. Bei der normalen Betrachtung eines Musters aus sich wiederholenden Elementen (naher Fixationspunkt in ◘ Abb. 3.39a, links) fallen diese auf korrespondierende Netzhautstellen und erzeugen somit keine räumliche Tiefe. Wird jedoch ein Fernpunkt hinter der Bildebene fixiert (◘ Abb. 3.39b), so werden zwei Punkte des Bildes nicht mehr auf korrespondierende Netzhautstellen fokussiert, und es tritt eine Querdisparation auf, die eine räumliche Wahrnehmung erzeugt.

1. In den Diagrammen unten in ◘ Abb. 3.39 sind linke und rechte Netzhaut als Streifen dargestellt, auf denen Muster und graue Bildpunkte entsprechend ihrer Korrespondenz

genau übereinander liegen (Abb. 3.39a). Wenn die Augen bei Ferneinstellung divergieren (Pfeile in Abb. 3.39b), verschieben sich die beiden Netzhautbilder in entgegengesetzter Richtung.

2. Wie im Diagramm unten in Abb. 3.39b zu sehen ist, kommen bei der Verschiebung um genau eine Einheit die Punkte der identischen Muster 2′ und 3′ sowie 1′ und 2′ genau zur Deckung, sodass für diese Punkte auch jetzt keine Querdisparation erfolgt. Die in gleicher Weise mitverschobenen grauen Bildpunkte fallen dagegen nun nicht mehr auf korrespondierende Netzhautpunkte, sodass sie infolge der damit verbundenen Querdisparation in anderen räumlichen Tiefen wahrgenommen werden, wie in dem unserem Demonstrationsbeispiel in ▶ Exkurs 3.8 der schwebende Ring.

Autostereogramme, inzwischen zumeist computergeneriert, fanden wegen ihres verblüffenden Wahrnehmungseffektes sehr bald weite Verbreitung auch als neue 3-D-Art (Tyler 1983; Tyler und Clarke 1990).

Den nächsten Schritt in der Aufklärung der räumlichen Tiefenwahrnehmung verdanken wir unter anderem den neuropyhsiologischen Untersuchungen von Hubel und Wiesel (1970) am visuellen Cortex des Affen. Hier fanden sie nachgeschaltete Neurone, die nur dann optimal auf Reize reagieren, wenn diese gleichzeitig beide Augen treffen und dort auf Punkte fallen, die durch einen bestimmten Querdisparationswinkel getrennt sind. Reizung nur eines Auges mit demselben Reizmuster führte dagegen zu keinerlei Reizantwort. Diese **querdisparationsempfindlichen Neurone** nannten Hubel und Wiesel Zellen für räumliche Tiefe beziehungsweise **binokulare Neurone**.

Wenn diese binokularen Neurone im visuellen Cortex tatsächlich für das stereoskopische Sehen verantwortlich sind, müsste man im Verhaltensexperiment zeigen können, dass Degeneration oder Verlust der binokularen Neurone zum Verlust des stereoskopischen Sehens führt. Werden Katzen nach ihrer Geburt bis zum Ende der kritischen Periode der Wahrnehmungsentwicklung (das heißt bis zum sechsten Lebensmonat) so aufgezogen, dass sie nur monokular, mal mit dem einen, mal mit dem anderen Auge, sehen können, so gehen (1) die binokularen Zellen nachweislich zugrunde und (2) sind die Tiere nicht mehr in der Lage, stereoskopisch zu sehen (Film-Link dazu in *Zusatztext online*).

Aber auch mit nur einem Auge gelingt, dank der monokularen Tiefenhinweise, eine für viele Belange ausreichende Tiefenwahrnehmung. Die besprochenen Möglichkeiten, zu denen ferner die bewegungsinduzierten und okulomotorischen Hinweisreize gehören, werden im Alltag gemeinsam genutzt und gemeinsam ausgewertet, um das nur zweidimensionale Netzhautbild objektgemäß dreidimensional zu interpretieren, aber auch, um die Wahrnehmung der Größe von Objekten zu ermöglichen. Dass es in beiden Fällen zu beträchtlichen Differenzen zwischen den gleichzeitig verarbeiteten Tiefeninformationen kommen kann, haben sowohl Wissenschaftler wie auch Künstler mit der Darstellung sogenannter **geometrisch-optischer Täuschungsvorlagen** deutlich gemacht, die wir anschließend behandeln werden.

3.3.6 Wahrnehmungskonstanzen

Eine weitere besondere Leistung unseres Wahrnehmungssystems besteht darin, dass es uns trotz allen Wechsels in den Reizaufnahmebedingungen ein stetiges und **konstantes Bild der Welt** vermittelt. Ein Haus, ein Buch, ein Kahn bleiben für unsere bewusste Wahrnehmung konstant in Größe, Form, Farbe und sonstiger Beschaffenheit, egal aus welcher Position, welcher Entfernung oder bei welcher Beleuchtung wir sie betrachten. Wenn wir ein Buch im Regal sehen, uns ihm nähern und es herausnehmen, haben wir nicht den Eindruck, dass es sich (wie das Retinabild) um ein Mehrfaches vergrößert, wenn wir es in Reichweite vor uns haben. Auch verändert es nicht seine rechteckige Form, wenn wir es vor unseren Augen umdrehen, auf den Tisch legen oder darum herumgehen und es aus den verschiedenen Blickwinkeln betrachten, wobei das Retinabild dagegen ständige Veränderungen erfährt, sowohl in Größe, Form und Farbe als auch Helligkeit. Obwohl sich die Stimulation unserer Sinnesrezeptoren bei solchen Veränderungen ständig ändert, nehmen wir die übermittelten Dinge als invariant und konstant wahr. Dieses Phänomen wird als **Wahrnehmungskonstanz** bezeichnet. Obgleich diese Konstanz nicht völlig perfekt ist (aus großer Distanz sehen Menschen tatsächlich kleiner aus), sind die **Korrekturprinzipien** von großer Bedeutung für unsere Wahrnehmung.

Wahrnehmungskonstanz

Wahrnehmungskonstanz bezeichnet das Phänomen, dass wir Objekte als stabil, invariant und konstant (mit gleicher Helligkeit, Farbe, Größe, Form) wahrnehmen, auch wenn sich die proximalen Reize des Netzhautbildes bei jeder Bewegung oder unterschiedlicher Beleuchtung ändern.

Im Folgenden werden wir die bekanntesten Konstanzphänomene – Helligkeits-, Farb-, Größen- und Formkonstanz – darstellen und sehen, wie das Wahrnehmungssystem es im Einzelnen fertig bringt, trotz der variablen Netzhautbilder die Objekte „wirklichkeitsgetreu“ zu erfassen.

Helligkeitskonstanz

Schwarzer Samt erscheint uns in hellem Sonnenlicht genauso schwarz wie im Schatten, und das, obgleich er im Sonnenlicht etwa 100fach mehr Licht reflektiert als weißes Papier in einem schattigen Raum (McBurney und Collings 1984). Diese Tatsache wird als Helligkeitskonstanz bezeichnet. Wir nehmen Objekte so wahr, als hätten sie eine konstante Helligkeit, auch dann, wenn die Beleuchtungsverhältnisse sich ändern. Oder anders ausgedrückt:

Das Prinzip der Helligkeitskonstanz bewirkt, dass wir die achromatischen Eigenschaften eines Objektes in gewissem Ausmaß unabhängig von ihrer Beleuchtung wahrnehmen können.

Zur Erklärung dieses Phänomens hatte bereits Gelb (1929) ein einfaches Experiment unternommen, in welchem er zeigen konnte, welche Bedeutung der relativen Helligkeit, das heißt der Relation zu anderen gleichzeitig wahrgenommenen Helligkeiten,

Exkurs 3.9

Experiment: Demonstrationsversuche zur Helligkeitskonstanz

Das Experiment von Gelb (1929) lässt sich zur Demonstration des Effektes in zweifacher Weise selbst durchführen:

1. Hängen Sie ein möglichst großes, möglichst dunkles (schwarzes) Stück Stoff (zum Beispiel über die Lehne eines genügend hohen Stuhles) so auf, dass Sie es aus dem Nachbarzimmer durch das Schlüsselloch betrachten können. Achten Sie darauf, dass Sie nur den Stoff, aber keine anderen Gegenstände des Zimmers sehen können. Nachdem Sie außerdem dafür gesorgt haben, dass der schwarze Stoff von einer hellen Lampe gut beleuchtet wird, gehen Sie ins Nachbarzimmer und betrachten Sie aus einiger Entfernung den Stoff durch das Schlüsselloch. Sieht er schwarz, weiß oder grau aus? Im zweiten Durchgang des Experimentes heften Sie noch ein Stück weißes Papier auf den schwarzen Stoff und betrachten beides zusammen vom Nachbarzimmer aus. Jetzt sollte der Stoff wieder schwarz erscheinen.
2. Rollen Sie sich aus möglichst dunklem, nicht lichtdurchlässigem Papier eine dünne Röhre und blicken Sie durch diese auf einen möglichst schwarzen, aber gut beleuchteten Untergrund, an den sich ein weißer anschließt, beispielsweise ein schwarzes Stück Papier neben einem weißen, sodass Sie zunächst nur den schwarzen Bereich im Blickfeld haben. Vergleichen Sie diesen Eindruck mit dem, den Sie erhalten, wenn Sie nun die Röhre, durch die Sie blicken, langsam zur Seite bewegen, bis auch das weiße Papier schließlich bis etwa zur Hälfte des Blickfeldes sichtbar wird. Wenn Sie bei dem Versuch die Lichtverhältnisse richtig in den Griff bekommen haben, werden auch Sie erlebt haben, wie die Wahrnehmung des hell erscheinenden Papiers beim Erscheinen des weißen Papiers deutlich auf schwarz umgesprungen ist.

zukommt. In seinem Versuchsraum befestigte Gelb eine kaum Licht reflektierende schwarze Scheibe vor einem völlig dunklen Hintergrund und beleuchtete dann allein die Scheibe mit einer für den Betrachter verborgenen Lichtquelle (◘ Abb. 3.41).

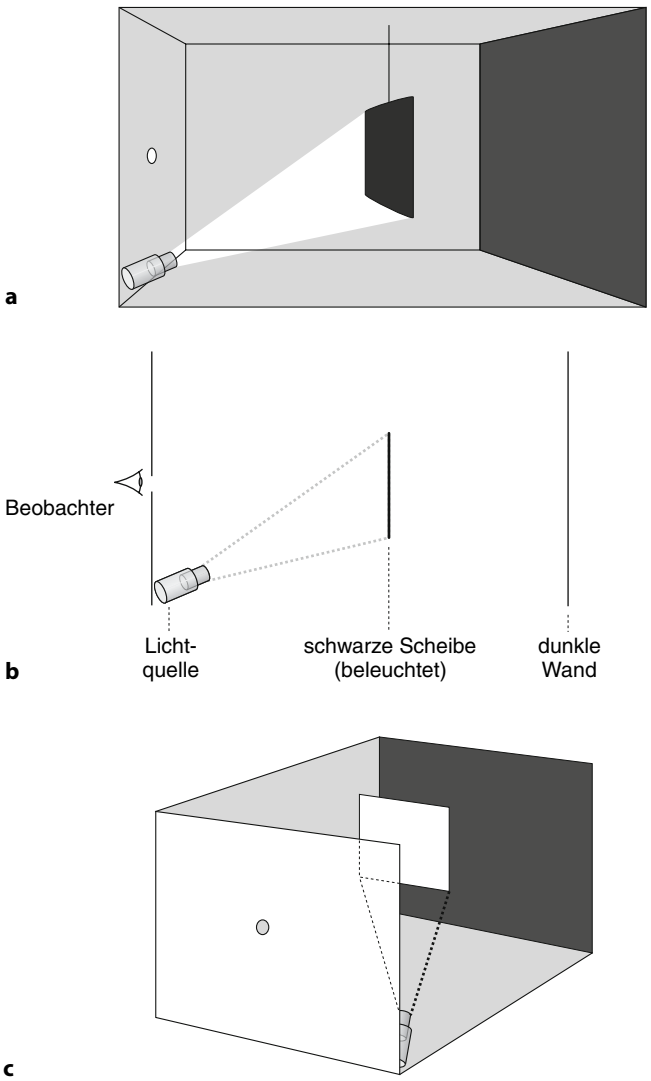
Unter diesen Bedingungen erscheint dem Betrachter die sonst schwarze Scheibe weiß, wenn er diese nur durch das Loch in dem Reduktionsschirm sehen kann. Dieser Effekt ist, wie Gelb richtig beobachtete, darauf zurückzuführen, dass außer der beleuchteten Scheibe nur der schwarze Hintergrund zu sehen war, und dieser reflektierte – verglichen mit der beleuchteten Scheibe – deutlich weniger Licht, er erscheint also vergleichsweise (relativ zu ihr) schwarz. Als Beweis für die Richtigkeit dieser Erklärung durch das Verhältnisprinzip der relativen Helligkeit führte Gelb eine kleine Veränderung in den Bedingungen ein. Er schob ein kleines Stück weißes Papier so vor die Scheibe, dass es mit beleuchtet wurde. Sobald das weiße Papier mit ins Blickfeld kam, erschien die Scheibe eindeutig schwarz. Die beiden Demonstrationsversuche in ▶ Exkurs 3.9 verdeutlichen das Phänomen.

Diese Experimente machen, wie auch Gelb zeigen konnte, deutlich, dass die Helligkeitskonstanz zusammenbricht, wenn das eigentlich schwarze Objekt im momentanen Wahrnehmungsfeld die höchste Reizintensität hat. Schwarz wirkt ein Objekt nur in Relation zu einem (normalerweise stets vorhandenen) helleren Gegenstand. Und diese **Relation** bleibt bei verschiedenen Beleuchtungsstärken konstant. Die Buchstaben dieses Textes erscheinen bei jeder Beleuchtung in Relation zu dem hellen (weißen) Papier schwarz, weil die Relation des von beiden reflektierten Lichtes stets konstant bleibt.

Helligkeitskonstanz

Helligkeitskonstanz bezeichnet das Gleichbleiben der wahrgenommenen Helligkeit eines Objektes bei verschiedenen Beleuchtungsintensitäten. Dies beruht darauf, dass die wahrgenommene Helligkeit von dem relativen Prozentsatz des reflektierten Lichtes bestimmt wird.

Das gleiche Prinzip der Relation des Wahrnehmungseindrucks zeigt sich auch beim **Simultankontrast** beziehungsweise **Helligkeitskontrast**.

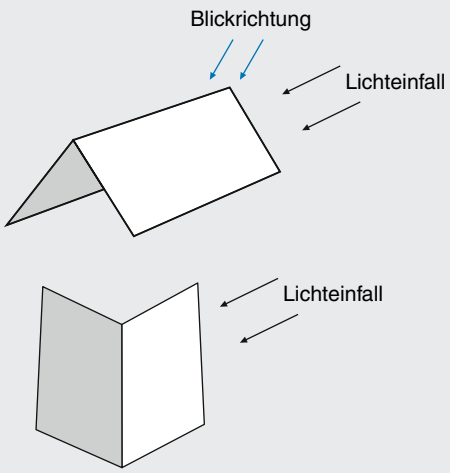


◘ **Abb. 3.41 Helligkeitskonstanz und relative Helligkeit.** Beleuchtung einer schwarzen Scheibe vor einem unbeleuchteten Hintergrund und Betrachtung derselben durch das Loch in einem Reduktionsschirm. Die Scheibe erscheint unter dieser Bedingung weiß und nicht schwarz

Exkurs 3.10

Experiment: Mach'scher Kartenversuch zur Helligkeitskonstanz und Kognition.

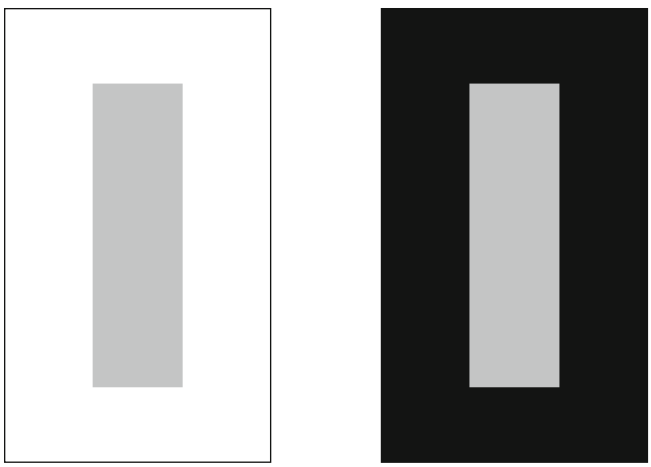
Für das Experiment, das auf den österreichischen Physiker und Philosophen Ernst Mach (1838–1916) zurückgeht, benötigen Sie eine weiße Karte oder ein Stück Papier etwa von der Größe einer Postkarte. Falten Sie diese der Länge nach zu einer Art Dach und stellen Sie dieses so auf, dass eine der Dachseiten weniger beleuchtet wird als die andere. Blicken Sie nun in einem Winkel von etwa 45° von oben auf die Karte, sodass Sie beide Seiten gut sehen können (◘ Abb. 3.43). Obwohl die eine Seite etwas im Schatten liegt, erscheinen beide Seiten der Karte durchaus weiß. Das ändert sich, wenn Sie nun die Karte als aufgeschlagenes Buch betrachten. Dazu schließen Sie ein Auge und betrachten die Karte so lange, bis Ihre Wahrnehmung wie bei einer Kippfigur umschlägt und Sie die Vorlage wie ein auf der Kante stehendes, zu Ihnen hin aufgeschlagenes Buch wahrnehmen. Beachten Sie, dass unter diesem Aspekt die vorherige Schattenseite plötzlich substanziell dunkler aussieht, so als bestehe sie aus grauem Karton. Die helle Seite erscheint dagegen sogar heller als zuvor. Unter diesen Bedingungen bricht also die Helligkeitskonstanz zusammen. Unser Wahrnehmungssystem kann die unter dieser Erwartung wahrgenommenen Lichtverhältnisse nur so interpretieren, dass es der dunkleren Seite eine andere Qualität zuschreibt.



◘ **Abb. 3.43** Mach'scher Kartenversuch zur Helligkeitskonstanz. Erklärung im Text

◘ Abb. 3.42 zeigt zwei graue Streifen, die objektiv die gleiche Lichtintensität reflektieren. Sie bestehen aus demselben grauen Raster. Dennoch erscheinen sie uns unterschiedlich hell, weil wir sie jeweils in Relation zu dem sie umgebenden Kontext wahrnehmen – ein Phänomen, das insbesondere für Raumgestalter, Maler und Designer von Bedeutung ist.

Die Helligkeitskonstanz ist ferner offenbar weiterhin davon abhängig, wie unser Wahrnehmungssystem die Beleuchtung eines Objektes *beurteilt*. Gewöhnlich wird die Schattenseite eines Objektes nicht so interpretiert, als habe das Objekt auf dieser Seite eine dunklere Farbe. Ein weißer Gegenstand ist auch auf seiner der Lichtquelle abgewandten Seite weiß. Wenn aber das Wahrnehmungssystem *aufgrund unserer Kognition* davon ausgehen muss, dass die dunklere Seite die dem Licht zugewandte Seite darstellt, vermittelt es uns dagegen den Eindruck, dass das Objekt hier einen dunkleren Anstrich hat oder aus dunklerem Material besteht. Das Phänomen wird in ► Exkurs 3.10 demonstriert.



◘ **Abb. 3.42 Simultaner Helligkeitskontrast**. Die beiden inneren Rechtecke sind mit identischem Grauton gedruckt. Dennoch erscheint unserem Auge das rechte heller als das linke, was durch den Kontrast zur jeweiligen Umfeldhelligkeit bedingt wird

Farbkonstanz

Auch das Phänomen der **Farbkonstanz** geht vor allem auf das Verhältnisprinzip zurück – hier das der Relation zu anderen, gleichzeitig aufgenommenen Wellenlängen. Wie bereits erwähnt, wird die wahrgenommene Farbe eines Objektes durch die jeweils von diesem reflektierten Wellenlängen bestimmt. Ein rotes Objekt reflektiert vornehmlich lange Wellenlängen und erscheint damit rot. Ein Objekt, das vornehmlich kurzwelliges Licht reflektiert, ist (oder erscheint) blau. Nun aber ist die Wellenlänge des reflektierten Lichts nicht nur von der Beschaffenheit der Objektoberfläche abhängig, sondern auch von derjenigen der verwendeten Lichtquelle. Betrachten Sie beispielsweise Farbtafel 3.VIa (Komplementärfarben) bei normalem Tageslicht und anschließend in einem Zimmer bei Kunstlicht. Wenn Sie die Vorlage mit einer herkömmlichen Glühbirne beleuchten, die einen wesentlich höheren Rotanteil hat als das Sonnenlicht, erhöht sich der langwellige Anteil des reflektierten Lichts, das in Ihr Auge fällt.

Exkurs 3.11

Experiment: Demonstration zum Umwelteinfluss bei Farbwahrnehmung

Im Selbstversuch können Sie sich aus einem Blatt Papier eine enge Röhre zusammenrollen und durch diese farbige Objekte wie zum Beispiel eine rote Tomate oder eine einheitlich farbige Fläche in Ihrer Umgebung betrachten. Achten Sie darauf, dass Sie nichts außer der (roten) Farbfläche sehen. Wenn Sie nun die Beleuchtung vom Tageslicht zu Kunstlicht oder sogar zu farbigem Licht ändern, ändert sich auch die wahrgenommene Farbe in gleicher Richtung. Bei gelblichem Kunstlicht erscheint beispielsweise eine grüne, aber auch eine rote Fläche deutlich mehr gelblich. Offenbar ist also auch für die Aufrechterhaltung der Farbkonstanz die Relation zum Umfeld beziehungsweise zu den im Umfeld gleichzeitig wahrgenommenen Farben von Bedeutung. Dies konnte auch in experimentellen Untersuchungen mit sogenannten Mondrian-Vorlagen (Farbtafel 3.VII, benannt nach dem niederländischen Maler Piet Mondrian) nachgewiesen werden, deren Ergebnisse dafür sprechen, dass unser Wahrnehmungssystem recht komplexe Vergleichsberechnungen zwischen den einzelnen Wahrnehmungsflächen vollzieht (Land 1983, 1986).

Nach Jameson (1985), die einen ähnlichen Versuch machte, entspricht das von einer blau gestrichenen Fläche unter Innenraumbedingungen reflektierte Licht dem einer goldgelben Fläche im Sonnenlicht. Dennoch: Auch unter diesen deutlich veränderten Lichtbedingungen bleibt unsere Farbwahrnehmung „annähernd" unverändert. Dies wird als **Farbkonstanz** bezeichnet.

Zur Erklärung des Phänomens der **Farbkonstanz** werden insbesondere drei Faktoren diskutiert: Umfeldeinfluss, Gedächtnisfarbe und Farbadaptation.

Umfeldeinfluss

Das Farbwahrnehmungsergebnis fällt jedoch deutlich anders aus, wenn wir eine einfarbige Farbfläche isoliert vom Umfeld bei unterschiedlicher Beleuchtung betrachten (▶ Exkurs 3.11).

Eine andere Umfeldabhängigkeit unserer Wahrnehmung, die ebenfalls auf im Gehirn ablaufende Verrechnungsprozesse hinweist, hatten wir bereits unter Kontexteffekten besprochen.

Die physiologischen Grundlagen der Farbkonstanz werden, zumindest was den Umfeldeffekt betrifft, in der Funktionsweise bestimmter farbempfindlicher Neurone in der Area striata des visuellen Cortex vermutet. Etwa 60 % der Neurone hier im Areal V4 reagieren auf Farbe. Zeki (1983, 1984) untersuchte diese Neurone mit Mondrian-Vorlagen (s. Farbtafel 3.VII). In seinen Experimenten mit Affen leitete Zeki gleichzeitig die Aktivität eines GR+R−-Neurons in der Area striata des Cortex und eines V4-Neurons ab, während die Tiere eine grüne Fläche dieser Vorlage, umgeben von einem andersfarbigen Umfeld, sahen. Dabei wurden die Blickrichtung des Affen und die Position der Reizvorlage so eingestellt, dass die grüne Fläche auf der Netzhaut im **rezeptiven Feld** der abgeleiteten Neurone abgebildet wurde. Wird dabei die grüne Vorlage mit weißem Licht beleuchtet, so werden durch das reflektierte mittelwellige grüne Licht beide Neurone aktiv und signalisieren Grün. Wird die Vorlage dann jedoch mit langwelligem roten Licht beleuchtet, sodass der grüne Fleck mehr langwelliges als mittelwelliges Licht reflektiert, feuert nur noch das V4-Neuron in fast gleicher Stärke, während das GR+R−-Neuron gehemmt wird. Das GR+R−-Neuron reagiert also wie erwartet „objektiv" nur auf das mittelwellige Licht. Die Reizantwort des V4-Neurons entspricht dagegen nicht der Wellenlängenverteilung des Lichtes, sondern der Farbe der Fläche, die der normale Beobachter ebenfalls auch unter veränderter Beleuchtung wahrnimmt, sofern die Farbfläche (wie hier in einer Mondrian-Vorlage) Teil eines komplexen mehrfarbigen Wahrnehmungsfeldes ist. Hier sorgt offenbar der Verrechnungsprozess der Farbkonstanz innerhalb des jeweiligen rezeptiven Feldes dafür, dass die grüne Vorlage sowohl in weißem als auch im langwelligen Licht im V4-Neuron die annähernd gleiche Reaktion hervorruft.

Exkurs 3.12

Experiment: Farbadaptation im Selbstversuch

Zur Selbsterfahrung der Farbadaptation können Sie eine rote Fläche, zum Beispiel das rote Feld in Farbtafel 3.VIa (Komplementärfarben) oder in Farbtafel 3.VII verwenden, wenn Sie den Rest der Farbflächen abdecken. Beleuchten Sie das Feld intensiv mit einer Schreibtischlampe, schließen Sie nun ein Auge und blicken Sie mit dem anderen, das Sie möglichst dicht an die Vorlage führen, für knapp eine Minute auf die rote Fläche. Danach blicken Sie zunächst mit dem so (an langwelliges Licht) adaptierten Auge auf beliebige Gegenstände Ihrer Umgebung. Schließen Sie das Auge und betrachten Sie dieselben Gegenstände nun mit dem anderen, nicht adaptierten Auge: Die Gegenstände erscheinen rötlichgelber und weniger blau als mit dem adaptierten Auge. Noch effektiver gelingt die Adaptation, wenn Sie das eine Auge mit der Hand abdecken und das andere Auge direkt mit einer nicht zu hellen (40 W) Glühbirne Ihrer Schreibtischlampe kurze Zeit bestrahlen.

Gedächtnisfarbe

Außer dem Umfeld trägt auch die in unserem Gedächtnis gespeicherte und von uns erwartete Farbinformation zum Phänomen der Farbkonstanz bei. Wenn Sie in unserem Selbstversuch mit der Papierröhre den Ausschnitt so groß wählen, dass der Betrachter erkennen kann, dass es sich bei dem Objekt um eine rote Tomate handelt, wird der zuvor beschriebene Veränderungseffekt der verschiedenen Beleuchtungen weitgehend oder ganz aufgehoben. Vielfach aber reicht bereits das Wissen aus, eine rote Tomate zu betrachten. Wer schon einmal unter einer knallgelben Straßenbeleuchtung von monochromatischen Natriumlampen sein geparktes rotes Auto gesucht hat, wird erlebt haben, wie das jetzt zunächst zwischen anderen Wagen unauffällig bräunlichgrün erscheinende Fahrzeug kaum zu erkennen ist. Sobald Sie das Auto aber als das Ihre wiedererkannt haben, wird es Ihnen plötzlich auch wieder „rot" erscheinen (Belege dazu in *Zusatztext online*).

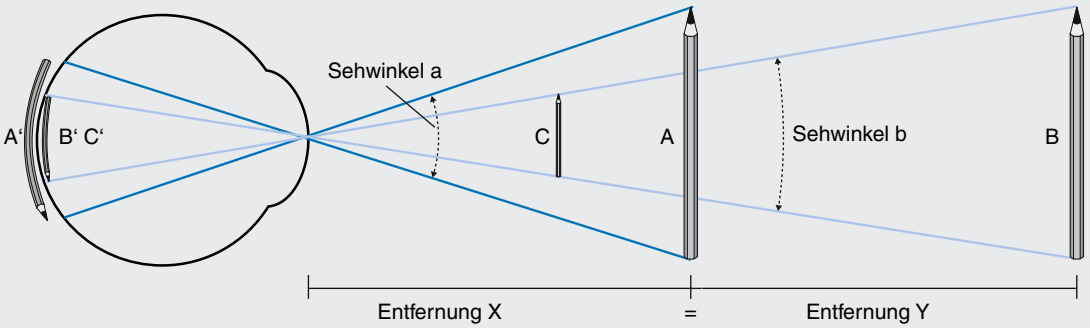
Farbadaptation

Auch der in den Rezeptorzellen der Retina ablaufende Mechanismus der Farbadaptation ist für die Farbkonstanz mitverantwortlich. Adaptationsprozesse wurden praktisch bei allen Sinnesmodalitäten gefunden. Sie bestehen darin, dass bei länger dauernden Reizen die Empfindungsintensität für diese Reize abnimmt. So wie wir den Ring am Finger nicht mehr spüren, merken wir bald nach Einschalten des langwelligen Kunstlichts auch nichts mehr von der damit verbundenen Farbveränderung. Wohl aber fällt uns auf, wenn wir aus dem mit Kunstlicht beleuchteten Zimmer am Abend (bei gleicher Helligkeit) nach draußen blicken, dass

Exkurs 3.13

Experiment: Größenkonstanz

Nehmen Sie zum Beispiel einen Bleistift und betrachten Sie ihn aus etwa 30 cm Entfernung und bewegen Sie ihn dann von sich weg, bis Ihr Arm ausgestreckt ist (circa 60 cm). Seine wahrgenommene Größe dürfte sich dabei für Sie nicht wesentlich verändert haben. Aber tatsächlich ist das Retinabild des Bleistiftes aus 60 cm Entfernung nur noch halb so groß wie das aus 30 cm Entfernung (◘ Abb. 3.44).



◘ **Abb. 3.44 Sehwinkel und retinale Bildgröße.** Der Sehwinkel ergibt sich aus den Verbindungslinien vom optischen Mittelpunkt der Augen zu den äußeren Grenzen eines wahrgenommenen Objekts. Ihre Fortsetzung zur Retina ergibt die zugehörige retinale Bildgröße. Somit zeigt die Abbildung die geometrische Beziehung zwischen der Größe des wahrgenommenen Objekts, seiner Entfernung vom Auge und der Größe des Retinabildes. Die Bleistifte A und B sind gleich groß, aber Bleistift B ist doppelt so weit vom Auge entfernt wie Bleistift A. Daher ist das Retinabild von Stift A etwa doppelt so groß wie das von Stift B. Stift C ist zwar kleiner als Stift A oder B, aber er ist näher am Auge, und zwar so nahe, dass er den gleichen Sehwinkel wie Stift B einnimmt und folglich ein gleich großes Retinabild erzeugt

alles viel bläulicher erscheint. Diese Farbadaptation lässt sich im Selbstexperiment leicht demonstrieren (▶ Exkurs 3.12).

In all diesen Fällen adaptiert das Auge an das vorherrschende langwellige rotgelbe Licht. Die Adaptation betrifft dabei selektiv unser langwelliges Zapfenpigment, das Rhodopsin, das dabei einer biochemischen Veränderung (Ausbleichen) unterliegt. Seine Empfindlichkeit für rotes Licht nimmt ab, und wir sehen infolgedessen mit dem adaptierten Auge die langwelligen Farben Rot und Orange schwächer, weniger gesättigt und weniger hell als mit dem nicht adaptierten Auge (vgl. hierzu auch ▶ Exkurs 3.7).

Größenkonstanz und Größenwahrnehmung

Unter den Konstanzphänomenen gehört die **Größenkonstanz** wohl zu den bekanntesten. Größenkonstanz bezeichnet die Tatsache, dass die wahrgenommene Größe eines Objektes für uns normalerweise konstant bleibt, egal, wie weit es von uns (im Nahbereich) entfernt ist – und wie groß es auf unserer Retina abgebildet wird. So haben wir, wenn uns ein Mensch auf der Straße entgegenkommt, nicht den Eindruck, dass sich seine Größe beim Näherkommen (oder Entfernen) wesentlich verändert, wenngleich genau dies für das Retinabild der Fall ist (dazu ▶ Exkurs 3.13).

In ◘ Abb. 3.44 ist dies durch die beiden gleich großen Stifte A und B veranschaulicht. Es ist ersichtlich, dass der Sehwinkel (Winkel der Projektionslinien durch den optischen Mittelpunkt des Auges) kleiner ist, wenn der Gegenstand weiter entfernt ist. Damit wird auch das Abbild auf der Retina kleiner als bei großem Sehwinkel. Wie ersichtlich, erzeugt ein näher gelegener, kleinerer Gegenstand (C), der den gleichen Sehwinkel einnimmt wie Gegenstand B, ein gleich großes Retinabild. Es erzeugen also unterschiedlich große Gegenstände in unterschiedlichen Entfernungen, wenn sie den gleichen Sehwinkel bilden, gleich große Retinabilder. Somit kann die Größe des Netzhautbildes allein keine eindeutige Information über die Größe (aber auch nicht über die Entfernung) liefern. Für den Fall jedoch, dass keine Distanzhinweise verfügbar sind, richtet sich die wahrgenommene Größe nach der Größe des Netzhautbildes.

Ein „kosmisches" Beispiel hierfür ist die Wahrnehmung von Mond und Sonne, die beide annähernd gleich groß wahrgenommen werden. Beide bilden für unser Auge einen gleichen Sehwinkel von etwa 0,5°. Ihre wahre Größe und Entfernung verhalten sich jedoch umgekehrt proportional zueinander. Die etwa 390-mal weiter entfernte Sonne hat einen um etwa 400-mal größeren Durchmesser als der Mond, ist also wesentlich größer.

Die Größe des Retinabildes (Sehwinkels) ist abhängig sowohl von der Größe des Objekts als auch von dessen Entfernung zum Beobachter.

Zwei gleich große Objekte haben bei unterschiedlicher Entfernung auch unterschiedliche Sehwinkel. Unterschiedlich große Objekte können bei unterschiedlichen Entfernungen den gleichen Sehwinkel haben und folglich gleich große Retinabilder erzeugen (vergleiche ▶ Exkurs 3.14). Wenn jedoch keine anderen Distanzhinweise zur Verfügung stehen, so resultiert die **wahrgenommene Größe** allein aus der Größe des Retinabildes (Sehwinkels).

Dennoch nehmen wir die Größe eines Gegenstandes im Nahbereich richtig und konstant unabhängig von der jeweiligen Entfernung wahr. Sehr weit entfernte Objekte erscheinen allerdings tatsächlich kleiner, als wenn wir sie aus der Nähe sehen, was zeigt, dass auch die Größenkonstanz nicht perfekt ist.

Wie das obige Beispiel schon vermuten lässt, verwendet unser visuelles Wahrnehmungssystem offenbar eine zweite Komponente, die wahrgenommene Entfernung, um aus ihr und der

Exkurs 3.14

Experiment: Größen-Distanz-Invarianz nach Emmert

Zur Vergegenwärtigung des von Emmert gefundenen Prinzips der Größen-Distanz-Invarianz lässt sich Emmerts Experiment leicht nachvollziehen. Betrachten Sie bei guter Beleuchtung die Figur in ◘ Abb. 3.45 aus normalem Leseabstand. Fixieren Sie das kleine Kreuz in der Mitte möglichst beständig für etwa eine Minute. Dann heben Sie den Kopf und blicken auf eine mäßig beleuchtete, weiter entfernte Wand Ihres Zimmers. Wie zu erwarten, werden Sie dort ein helles (weißes) Nachbild der ringförmigen Figur sehen, das jedoch deutlich größer als die Vorlage im Buch erscheint. Wenn Sie sich nun schnell genug (ehe das Nachbild zu sehr verblasst) mit starr gehaltenem Blick der Wand nähern, werden Sie erleben, wie das helle Nachbild an der Wand proportional zu Ihrem Abstand von der Wand kleiner wird und mit zunehmender Entfernung wieder an Größe zunimmt. Wenn das Nachbild zu früh verschwinden sollte, lässt es sich zumeist durch leichtes Augenblinzeln wieder hervorlocken. Wiederholen Sie das Fixieren und blicken Sie dann auf die weiße Buchseite neben der Vorlage. Nun sollten Vorlage und helles Nachbild gleich groß sein.



◘ **Abb. 3.45** Experimentalvorlage zur Größen-Distanz-Invarianz

Retinabildgröße die „wirkliche Größe" des wahrgenommenen Objektes zu berechnen. Bereits 1881 konnte **Emmert** diesen **Korrekturmechanismus** in einem genialen Experiment nachweisen, in welchem er seine Versuchspersonen die Größe von verschiedenen optischen Nachbildern einschätzen ließ (▶ Exkurs 3.1).

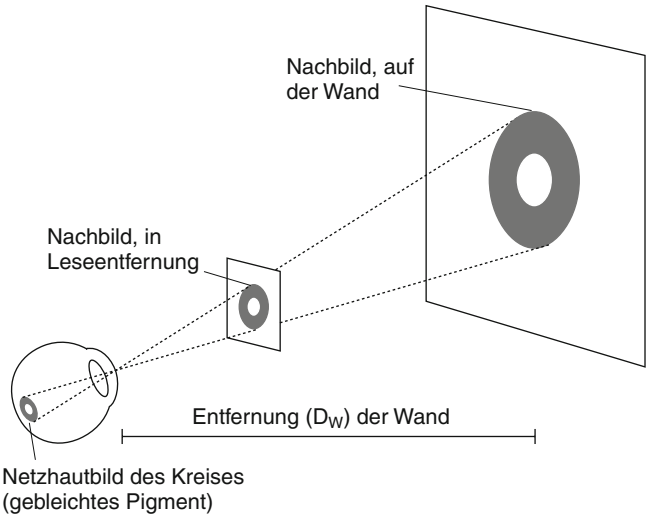
Das Prinzip des von Emmert beobachteten Phänomens veranschaulicht ◘ Abb. 3.46. Durch das längere Fixieren der Figur wird in dem ringförmigen (dunklen) Bereich das Sehpigment in der Retina weniger gebleicht als das helle Umfeld. Damit wird die Größeninformation des Retinabildes festgelegt. Bei dem anschließenden Blick auf die entfernte Wand erscheint die Größe des subjektiv erlebten Nachbildes proportional zu seiner Entfernung, das heißt, die Größe des Nachbildes wächst mit der wahrgenommenen Entfernung. Diese Veränderung erfolgt nach dem **Emmert'schen Gesetz**.

Emmert'sches Gesetz

Die wahrgenommene Größe eines Objekts ergibt sich aus der Multiplikation der Netzhautbildgröße mit der wahrgenommenen Entfernung. Diese von Emmert gefundene Beziehung zwischen wahrgenommener Distanz (D_W) und der Größe des Retinabildes (G_R) wird als Emmert'sches Gesetz bezeichnet. Danach ist die wahrgenommene Größe proportional zu

$$G_W = (G_R \times D_W)K$$

(wobei K eine zusätzliche Proportionalitätskonstante darstellt).



◘ **Abb. 3.46** Die Größe des Nachbildes beim Sukzessivkontrast ist abhängig von der Entfernung der Projektionsfläche, auf der wir das Nachbild wahrnehmen, und entspricht dem Emmert'schen Gesetz

Das Emmert'sche Gesetz beschreibt zugleich die neuronale Funktionsweise des Prinzips der **Größen-Distanz-Invarianz** beziehungsweise der Größenkonstanz. Betrachten wir dazu nochmals ◘ Abb. 3.44. Wenn sich die Entfernung zu einem gegebenen Objekt (A) vergrößert (Position B), reduziert sich damit automatisch der Sehwinkel, womit auch das Retinabild (G_R) kleiner wird (A′→ B′). Gleichzeitig aber vergrößert sich, sobald entsprechende Distanzhinweise (Tiefencues) vorhanden sind, auch die wahrgenommene Entfernung (D_W) in gleichem Maße. Daraus folgt, dass das Produkt aus retinaler Größe und wahrgenommener Entfernung annähernd konstant bleibt. Das heißt, auch die subjektiv wahrgenommene Größe des Objektes (in unserem Beispiel die Bleistiftgröße) bleibt annähernd konstant (Größenkonstanz). Wie der nach dem Emmert'schen Gesetz zu erwartende Zusammenhang zwischen der erlebten Größenkonstanz und Entfernungswahrnehmung experimentell nachgewiesen werden konnte, wird in ▶ Exkurs 3.15 beschrieben.

Form- und Lokationskonstanz

Eine weitere Wahrnehmungskonstanz betrifft Form und Lage. Gegenstände wie zum Beispiel ein Tisch oder ein darauf liegendes Buch verändern nicht ihre rechteckige Form, wenn wir um sie herum gehen, das Buch aufschlagen oder die Gegenstände aus verschiedenen Blickwinkeln betrachten. Aus den meisten Blickwinkeln werfen beide Gegenstände zumeist eher trapezförmige Bilder auf die Netzhaut, und die Formen wandeln sich im Vorübergehen. Dennoch nehmen wir ihre „wahre", eigentlich rechteckige Gestalt wahr und nicht ihre vielen verschiedenen Formen auf der Netzhaut. Dieses Wahrnehmungsphänomen wird als **Formkonstanz** bezeichnet.

Außer der Form bleibt auch die Position dieser Gegenstände für unsere Wahrnehmung unverändert und konstant, wenn wir

Exkurs 3.15

Genauer betrachtet: Größenkonstanz, Entfernungswahrnehmung und Alter

Der aus dem Emmert'schen Gesetz folgende Zusammenhang zwischen Größenkonstanz und Entfernungswahrnehmung war Gegenstand verschiedener Untersuchungen, bei denen die Versuchspersonen die Größe von verschiedenen, in unterschiedlicher Entfernung dargebotenen Testobjekten einschätzen mussten. In einer klassischen Untersuchung von Holway und Boring (1941) wurden dem Beobachter, der am Ende eines langen Flures sitzt, verschieden große Testscheiben im Abstand zwischen 9 und 36 m dargeboten. Dabei wurde die Größe der Testkreisscheiben bei den verschiedenen Entfernungen so bemessen, dass sie den gleichen Sehwinkel einnahmen, das heißt, dass die von ihnen auf der Retina des Beobachters erzeugten Retinabilder stets die gleiche Größe hatten. Der Beobachter musste nun die jeweils wahrgenommene Größe angeben, indem er die Größe einer seitlich von ihm in etwa 3 m Entfernung befindlichen Vergleichsscheibe entsprechend gleich groß einstellte (Abb. 3.47a). Solange in dem Flur genügend Tiefenhinweise vorhanden sind und die Person beide Augen benutzen darf, entsprechen ihre Größenangaben sehr genau der tatsächlichen physikalischen Größe der Testscheiben, das heißt, die weiter entfernten größeren Scheiben werden auch tatsächlich größer eingeschätzt (Abb. 3.47b, Gerade 1). Auch bei einäugigem Sehen gelingt dies noch recht gut (Gerade 2). Werden die Tiefenhinweise aber weiter reduziert, indem der Blickwinkel zum Beispiel durch eine Lochblende (Gerade 3) eingeengt wird, oder werden sie schließlich vollständig mithilfe von Stellwänden oder Dunkelheit eliminiert, so bricht die Größenkonstanz vollständig zusammen, und alle Scheiben werden entsprechend der gleich großen Netzhautbilder gleich groß wahrgenommen (Gerade 4). Dies wird Gesetz des Sehwinkels genannt.

Interessanterweise entwickelt sich die Fähigkeit der Größenkonstanzwahrnehmung großteils erst in Abhängigkeit von Erfahrungen. In einer ähnlich angelegten Untersuchung verglichen Ziegler und Leibowitz (1957) die Größenwahrnehmung von normalen Erwachsenen und vier Jahre alten Kindern. Wie in Abb. 3.47c dargestellt, gelingt den Kindern die „objektive" Größenwahrnehmung nur in großer Nähe. Bei zunehmender Distanz dagegen wird die Größenwahrnehmung zunehmend von der retinalen Bildgröße bestimmt, sodass fernere Objekte ihnen eher kleiner erscheinen.

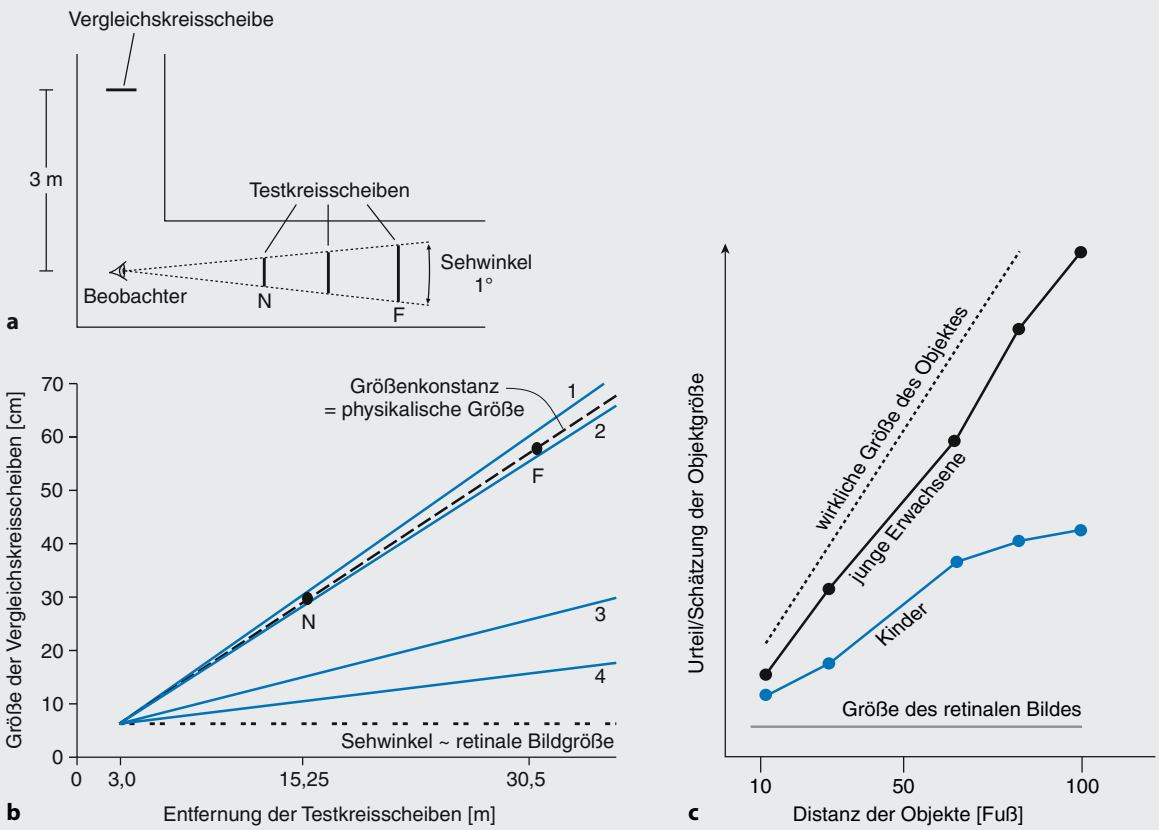


Abb. 3.47 Aufbau und Ergebnisse der Experimente von Holway und Boring (1941) sowie Ziegler und Leibowitz (1957)

uns im Raum um sie herum bewegen und sich nacheinander ganz verschiedene Bilder der Gegenstände auf unserer Retina abbilden. Dieses ebenfalls zunächst vielleicht selbstverständlich erscheinende Phänomen wird als **Lokationskonstanz** bezeichnet. Beide Phänomene der **Invarianzenbildung** beruhen auf internen Verrechnungsprozessen im Gehirn. Zur Erreichung dieser Beständigkeit muss unser Wahrnehmungssystem, zum Beispiel bei der Lokationskonstanz, sowohl unsere eigene Bewegung als auch die Veränderungen der retinalen Abbildungen berücksichtigen. Da diese Veränderungen der Netzhautbilder und die Eigenbewegungen des Betrachters kausal miteinander verbunden sind, konnte man annehmen, dass der Organismus hierfür über einen **internen Verrechnungsmechanismus** (Algorithmus) verfügt, der die Bewegungen des Netzhautbildes mit Informationen

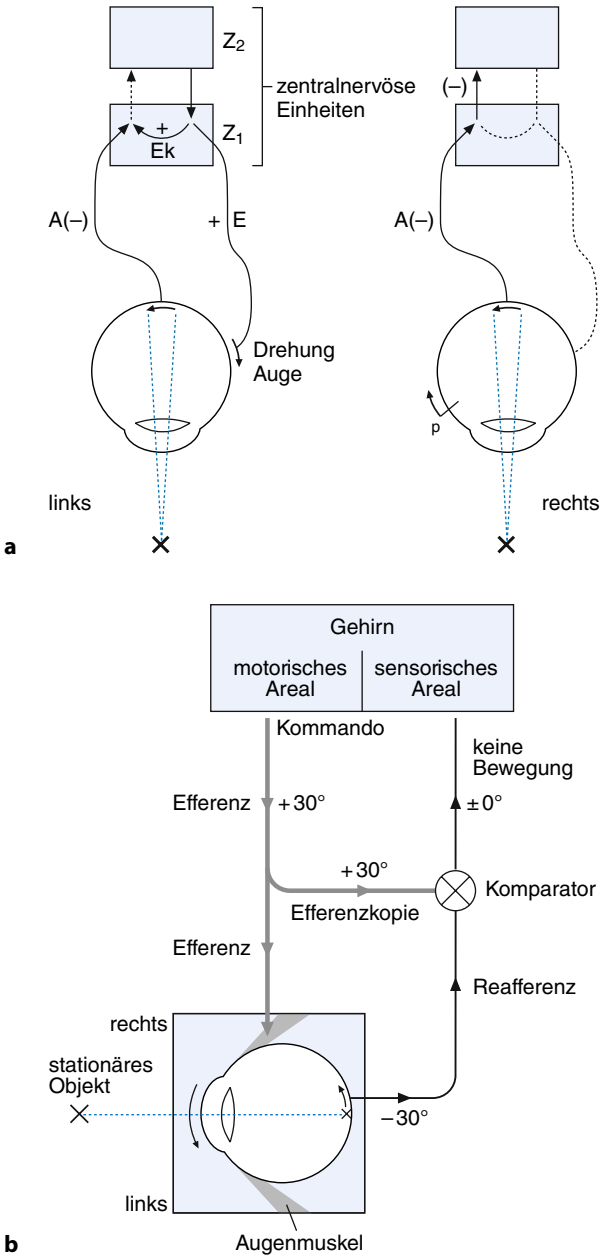


Abb. 3.48 Funktionsschaltbild zum Reafferenzprinzip für die Bewegungswahrnehmung beim menschlichen Auge. **a** Originalmodell zum Reafferenzprinzip nach Holst und Mittelstaedt (1950). *A* Afferenz, *E* Efferenz, *Ek* Efferenzkopie, *p* passive Augendrehung (Fingerdruck) *Z* okulomotorisches Zentrum, **b** Kybernetisch orientiertes Funktionsschaltbild mit den Hauptkomponenten des Reafferenzprinzips. (Verändert nach von Holst und Mittelstaedt 1950)

über die Eigenbewegungen korrigiert und so zu einer Invarianz des Wahrnehmungsbildes führt.

Dasselbe Problem stellt sich, wenn wir allein die Augenbewegungen betrachten: Auch hier bewegt sich die wahrgenommene Umwelt nicht, obwohl sich die Bilder der Umwelt auf der Retina verschieben. Zur Erklärung dieses Phänomens hatte bereits Helmholtz im 19. Jahrhundert eine Verrechnung der efferenten motorischen Kommandos für die Augenbewegung mit den afferenten visuellen Signalen aus der Retina postuliert. Das grundlegende Prinzip dieser Wahrnehmungskorrektur wurde von von Holst und Mittelstaedt (1950) im Modell des **Reafferenzprinzips** formuliert, das sich bei verschiedenen Regelprozessen im Organismus wiederfindet.

Abb. 3.48a zeigt eine Originaldarstellung aus von Holst und Mittelstaedt (1950) und Abb. 3.48b das prinzipielle, heute gebräuchliche Funktionsschaltbild, anhand dessen wir das Reafferenzprinzip betrachten wollen. Erhält die Augenmuskulatur vom okulomotorischen zentralen Zentrum ein motorisches Drehkommando für eine Augenauslenkung nach links, so wandert das Abbild eines in der Umwelt gesehenen Objektes (x) auf der Retina nach rechts, ohne dass es zu einer Wahrnehmung dieser Veränderung kommt. Dies wird dadurch bewirkt, dass eine Kopie des vom okulomotorischen Zentrums ausgesandten efferenten Bewegungssignals – die **Efferenzkopie** – abgezweigt und mit den afferenten visuellen Bewegungssignalen aus der Retina so verrechnet wird, dass es zu keiner Bewegung der wahrgenommenen Sehwelt kommt. Diese Rückmeldung der ausgeführten Bewegung wird als **Reafferenz** bezeichnet. Die Wahrnehmungskonstanz beruht in diesem kybernetischen Verrechnungsmodell mit Differenzbildung in einem hypothetischen Komparator darauf, dass sich das positive Signal der Efferenzkopie gegen das gleich große negative Signal der Reafferenz aufhebt, sodass kein Bewegungssignal an die nachgeschalteten Sehzentren weitergeleitet wird. Wird dagegen aber der Augapfel passiv bewegt, indem wir ihn mit dem Finger leicht zur Seite drücken, so bewirkt dies sehr wohl eine Verschiebung der Sehwelt, und zwar in entgegengesetzter Richtung zur passiven Augenbewegung (und ein Doppelbild, sofern das andere Auge nicht geschlossen wird). Bei einer solchen passiven Bewegung ohne ein vom Gehirn kommendes efferentes Bewegungskommando ist auch die Efferenzkopie gleich null, sodass die Reafferenz des (passiv) bewegten Augapfels ohne Abzug an das Gehirn weitergeleitet wird und zu einer Bewegungswahrnehmung des betrachteten Objektes führt. Das Reafferenzprinzip erklärt auch eine Reihe weiterer Erscheinungen, denen wir zum Beispiel bei der Bewegungswahrnehmung noch begegnen werden.

Ein einleuchtendes Beispiel eines solchen Korrekturmechanismus im Rahmen der Lokationskonstanz, der die Eigenbewegung des eigenen Körpers mitberücksichtigt, zeigt ▶ Exkurs 3.16

Bemerkenswert bei dem Phänomen der **Lokationskonstanz** ist ihre **Abhängigkeit von Lerneffekten** (siehe hierzu *Zusatztext online*).

3.3.7 Geometrisch-optische Täuschungen

Wahrnehmungstäuschungen waren lange ein zentrales Gebiet psychologischer Forschungen. Grundlegend für viele der untersuchten Täuschungen ist offenbar die implizite Verwendung einer irreführenden Tiefeninformation, die aufgrund der Größen-Distanz-Invarianz zu Fehlwahrnehmungen führt. Ein einfaches Beispiel ist die **Ponzo-Täuschung** (Abb. 3.50), die in vielfältiger Weise dargestellt sein kann. Entscheidend ist in jedem Fall, dass die beiden konvergierenden Linien eine räumliche Tiefeninformation enthalten, die unseren **Korrekturmechanismus der Größen-Distanz-Invarianz** aktiviert, der die Größe beziehungsweise Länge des scheinbar weiter entfernten waagerechten Balkens entsprechend mit dessen größerem Entfernungswert multipliziert, sodass jener länger als der vordere erscheint. Beide

Exkurs 3.16

Genauer betrachtet: Beispiel einer Invariantenbildung

Unsere einfache Sinneserfahrung lehrt uns, dass Gegenstände um uns auch dann noch von uns als senkrecht stehend wahrgenommen werden, wenn wir unseren Kopf zur Seite neigen oder uns gar auf die Seite legen. Das scheint auf den ersten Blick selbstverständlich, doch zeigt eine einfache Überlegung sogleich die Problemaufgabe, die unser Organismus zu lösen hat. Bekanntlich entsteht bei der visuellen Wahrnehmung mithilfe der Augenlinse zunächst ein umgekehrtes verkleinertes Bild der betrachteten Gegenstände auf der Retina, von deren Rezeptoren die aufgenommene Information zum ZNS weitergeleitet wird (Abb. 3.49a). Bei Neigung des Kopfes verschiebt sich also auch das auf der Retina aufgefangene Bild der Umwelt, und zwar gegensinnig: Neigen wir den Kopf nach rechts, so dreht sich für die Retina die gesamte Umwelt im Gegensinn um die Blickachse nach links. Wie gelingt es dem Organismus, dass diese „Verdrehung" von uns in der Regel gar nicht bemerkt und die Umwelt doch senkrecht stehend gesehen wird? Noch verwunderlicher wird es, wenn man diesen Versuch im abgedunkelten Laboratorium durchführt und einmal die Verschiebung des Bildes auf der Retina durch Kopfneigen erzeugt (Abb. 3.49b), das andere Mal aber durch Neigen des betrachteten Bildes (Abb. 3.49c). Obwohl in beiden Fällen auf der Retina die genau gleiche Bilddrehung bewirkt wird, sehen wir nur im zweiten Fall ein „schiefes" (gedrehtes) Bild, im ersten Fall dagegen nicht. Dieser Vergleich führt aber sogleich zur Lösung des Problems: Es lässt sich nämlich folgern, dass der Organismus zusätzlich noch eine Information über die räumliche Stellung des Kopfes haben muss, die er dann gewissermaßen als Beurteilungsschlüssel für die visuelle Eingangsinformation verwenden kann.

In der Tat wird die durch unseren Statolithenapparat im inneren Ohr wahrgenommene und ebenfalls in Impulsform verschlüsselte Meldung über die Kopfneigung mit der visuellen Lagemeldung im ZNS verrechnet, und zwar nach einem recht einfachen Schema, nämlich dem der *afferent gesteuerten Fremdkompensation* bei der Vertikalenkonstanz (Abb. 3.49 unten). Das Blockschaltbild zeigt links, wie die Kopfneigung Ss beispielsweise um 30° nach rechts (= +30°), das retinale Bild (Primärsignal Sp) um 30° nach links verschiebt, indem der Winkelbetrag dieser Störgröße (Sekundärsignal Ss) von der objektiven Eingangsgröße abgezogen wird. Dieses veränderte Signal (das Vereinigungssignal Sv = Sp–Ss) erreicht die Retina. Der gleichzeitig über das Gleichgewichtsorgan gesondert wahrgenommene Beitrag der Störgröße (Ss) kann dann (rechts im Blockschaltbild) zentralnervös mit umgekehrtem Vorzeichen wieder in das Vereinigungssignal eingespeist werden, indem sie zu der veränderten Retinameldung (–30°) einfach addiert wird, womit der Störbetrag im Idealfall vollständig wieder ausgeschaltet ist: Es resultiert das Primärsignal Sp.

Nach diesem Funktionsschema müsste es also zu einer Wahrnehmungstäuschung kommen, wenn der Statolithenapparat daran gehindert wird, die Störgröße zu ermitteln und weiterzuleiten. Dass es tatsächlich zu der hiernach zu erwartenden Fehlwahrnehmung kommt, wenn die Korrekturmeldung unterbunden wird, zeigt das Phänomen des sich bewegenden Horizontes beim Kurvenflug in Flugzeugen: Da hier die auf den Statolithenapparat wirkende „Schwerkraft" infolge der aerodynamisch bedingten Schräglage des Flugzeugs nicht mehr zum Erdmittelpunkt, wohl aber zur Flugzeugsenkrechten zeigt, erhält der Statolithenapparat keine wahre Meldung über die zur Erdoberfläche relative Schräglage. Mithin kann auch keine adäquate Kompensationsgröße zur visuellen Wahrnehmung addiert werden; das Ergebnis ist eine entgegengesetzte scheinbare Eigenbewegung des Horizonts (Abb. 3.49d).

Abb. 3.49 Beispiel einer Invariantenbildung

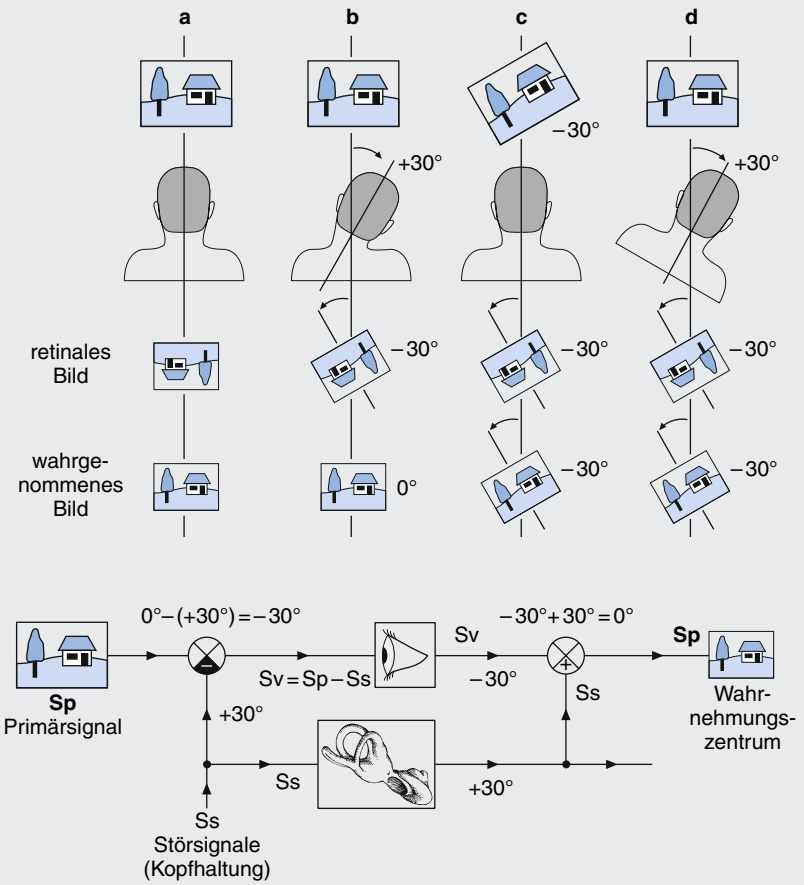




Abb. 3.50 Ponzo-Täuschung (aus Becker-Carus, 2004)

Balken haben jedoch die gleiche Länge auf der Buchseite und folglich auch den gleichen Sehwinkel.

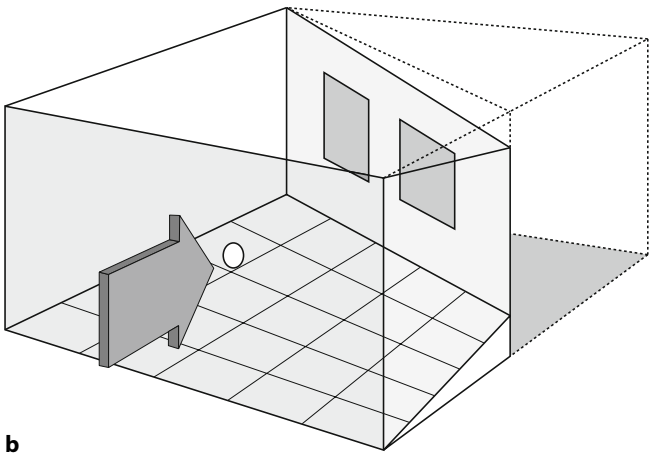
Das wohl bekannteste Beispiel einer solchen geometrischen Täuschung ist der nach seinem Erfinder benannte **Ames'sche Raum**. In diesem wirken zwei Menschen gleicher Größe völlig unterschiedlich groß, je nachdem, in welchem Teil des Raumes sie sich befinden.

Das Foto der Abb. 3.51a zeigt den Blick, den der Betrachter hat, wenn er durch die Lochblende in den Ames'schen Raum blickt, dessen Konstruktion in Abb. 3.51b und 3.51c verdeutlicht ist. Die Person in der rechten Ecke wirkt viel größer als die in der linken Ecke, obwohl beide in Wirklichkeit gleich groß sind. Der Trick des Ames'schen Raumes liegt aber darin, dass er so konstruiert ist, dass die Person in der linken Ecke fast doppelt so weit vom Beobachter entfernt ist wie die in der rechten Ecke. Die hintere Wand und die Fenster sind jedoch geometrisch so geformt, dass der Raum von der Lochblende aus betrachtet wie ein ganz normales rechteckiges Zimmer wirkt. Aufgrund der Raumkonstruktion hat die Person in der linken, doppelt so weit entfernten Ecke für den Betrachter einen viel kleineren Sehwinkel als diejenige in der rechten Ecke. Da der Betrachter aber den Eindruck hat, dass beide Personen gleich weit entfernt sind, hat der Größen-Distanz-Korrekturmechanismus unserer Wahrnehmung keinen Anhaltspunkt, die (tatsächlich) größere Entfernung bei der linken Person zu berücksichtigen. So liefert unser Wahrnehmungssystem (wie auch der Fotoapparat) die unkorrigierte Sehwinkelgröße beider Personen.

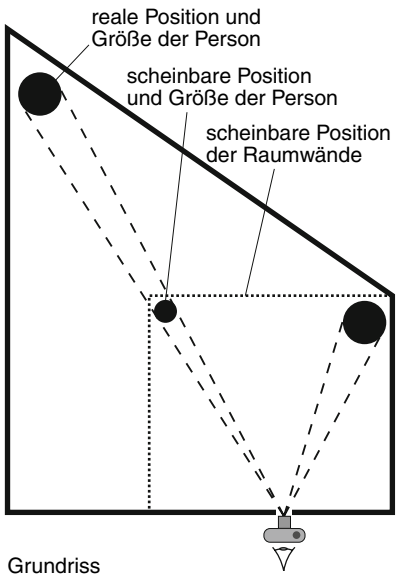
Diskutiert wird ferner die sogenannte **Mondtäuschung** (Hershenson 1989), die großteils ebenfalls auf eine **unterschiedliche Entfernungsbeurteilung** zurückgeht. Wenn der Mond knapp über dem Horizont steht, erscheint er uns um bis zu 50 % größer, als wenn er hoch im Zenit steht, obgleich er in beiden Fällen den gleichen Sehwinkel hat und ein gleich großes Bild auf der Retina erzeugt. Auch die Mondtäuschung lässt sich durch eine unterschiedlich *wahrgenommene Entfernung* erklären. Sehen wir den Mond nahe dem Horizont, so stehen unserem Blick zahlreiche Tiefencues durch den erfüllten Raum des Geländes zur Verfügung, die eine größere Tiefeneinschätzung induzieren, als wenn unser Blick auf den im freien Himmel stehenden Mond



a



b



c Grundriss

Abb. 3.51 **Ames'scher Raum a** Was der Betrachter durch die Lochblende sieht, **b** und **c** die Konstruktion des Raumes mit der Position der beiden in Wirklichkeit gleich großen Menschen. (Goldstein 1996)

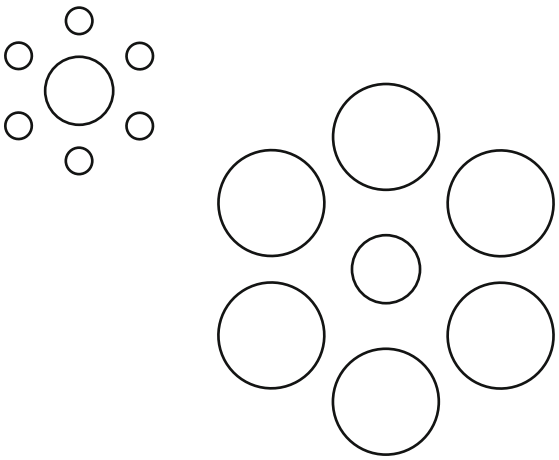


Abb. 3.52 Kontrast-Täuschung. Der von kleinen Kreisen umgebene zentrale Kreis (*links*) erscheint größer als der (objektiv gleich große) von großen Kreisen umgebene (*rechts*)

gerichtet ist, wo wir ähnlich wie in dem Testscheibenexperiment (vgl. Abb. 3.47b, Gerade 3 und 4) so gut wie keine Tiefencues mehr zur Verfügung haben, die unser automatischer *Größen-Distanz-Korrekturmechanismus* mit der Retinabildgröße verrechnen könnte. Nach dieser Erklärung wirkt der tief stehende Mond deshalb größer, weil er ferner erscheint als der im Zenit stehende und beide den gleichen Sehwinkel haben.

Das zugrunde liegende Prinzip ist das gleiche, wie wir es bei den unterschiedlich großen Nachbildern (Abb. 3.46) kennengelernt haben. Das Nachbild erscheint dann größer, wenn man es an einer entfernteren (oder entfernter eingeschätzten) Fläche sieht.

Es gibt auch eine Reihe experimenteller Untersuchungen, die diesen Erklärungsansatz bestätigen. Kaufmann und Rock (1962) zeigten ihren Versuchspersonen zum Beispiel gleich große künstliche Monde über unterschiedlichen Horizonten, die beispielsweise 600 m oder 3 km entfernt waren. Auch hier wurde der über dem weiter entfernten Horizont gezeigte Mond größer gesehen als der über dem nahen.

Zur Erklärung der Mondtäuschung gibt es aber auch andere Ansätze. Nach der **Theorie des Sehwinkelgrößenvergleichs** erscheint der Mond dann kleiner, wenn er von größeren Objekten, wie der Weite der großen Himmelsfläche, umgeben ist (Kontexteffekt). Er erscheint größer, wenn er von Objekten mit vergleichsweise kleineren Sehwinkeln umgeben ist, wie den Konturen am Erdhorizont. Zur Illustration dieses Sehwinkelgrößenvergleichs kann die in Abb. 3.52 dargestellte Kontrasttäuschung dienen. Auch hier erscheint das innere, in beiden Fällen gleich große Kreisobjekt dann größer, wenn es von kleinen Kreisen umgeben ist, und kleiner, wenn die umgebenden Kreise größer sind (Baird et al. 1990).

Sicher aber kommen in der Realsituation bei der Mondtäuschung zusätzlich offenbar in die gleiche Richtung wirkende weitere Faktoren hinzu, etwa die **atmosphärische Perspektive** und **Lichtbrechungen** im horizontnahen Dunst, die beide zur Steigerung der wahrgenommenen Größe beitragen, sowie nach Plug und Ross (1994) auch die rötliche Farbe und okulomotorische Faktoren der Augenkonvergenz bei Betrachtung des Horizonts.

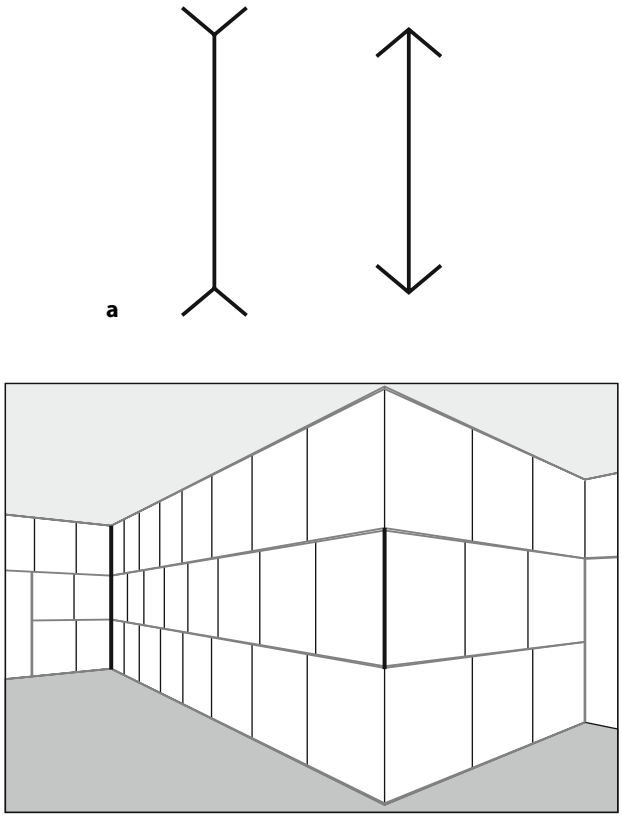


Abb. 3.53 Müller-Lyer-Täuschung a Die senkrechten Linien in beiden Figuren sind nachmessbar gleich lang, **b** Illustration der perspektivischen Erklärung. Auch hier sind die beiden (fetten) schwarzen senkrechten Streifen gleich lang

Auch die lange bekannte **Müller-Lyer'sche-Täuschung** (Abb. 3.53a) wird auf eine fehlangewandte Korrektur der Größenkonstanz zurückgeführt (nach Gregory 1966). Wie Sie sich durch Nachmessen überzeugen können, sind die beiden Linien zwischen den unterschiedlich angesetzten Winkelspitzen objektiv gleich lang, dennoch erscheint die mit der nach außen gerichteten Spitze wesentlich länger. Nach Gregory kommt diese Größenfehlwahrnehmung der beiden gleich langen Linien dadurch zustande, dass unser Korrekturmechanismus die Winkelspitzen automatisch dreidimensional perspektivisch interpretiert – daher auch *perspektivische Erklärung* genannt – wie in Abb. 3.53b demonstriert: Auf der rechten Seite des Bildes sind die Winkel als eine nach vorne kommende Außenecke, links als eine zurückliegende (also weiter entfernte) Rauminnenecke gezeichnet, deren Größe im Netzhautbild automatisch (nicht bewusst!) mit der scheinbar größeren Distanz multipliziert wird und daher länger erscheint. Was bei der isolierten Müller-Lyer-Vorlage (Abb. 3.52a) zur optischen Täuschung führt, befähigt uns normalerweise zur korrekten Tiefenwahrnehmung in unserer dreidimensionalen Welt. Je mehr Tiefenhinweise zum Einsatz kommen (Abb. 3.53b), desto überzeugender beziehungsweise stärker wird die Täuschung.

Interessanterweise gibt es hinsichtlich der Stärke dieses Täuschungseffektes kulturelle Unterschiede, die ebenfalls (Abb. 3.47c) darauf hinweisen, dass der Effekt zumindest teilweise lernbedingt ist. Personen, die wie wir in einer durch rechteckige Architektur bestimmten Welt leben, die perspekti-

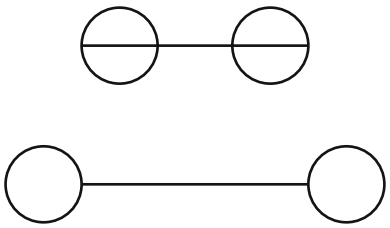


Abb. 3.54 „Hantelform" der Müller-Lyer-Täuschung, bei der die Perspektivenwirkung ausgeschaltet sein soll, die Täuschung jedoch nicht verschwindet

visches Sehen erleichtert, unterliegen der Täuschung weit mehr als bestimmte afrikanische Stämme in einem rein ländlichen Lebensraum (Segall et al. 1990). In die gleiche Richtung weisen Berichte des Anthropologen Turnbull (1961), der mit seinem afrikanischen Pygmäenführer Kenge erstmals aus dem dichten Wald trat und dabei eine etliche Kilometer weit entfernte Büffelherde sah. Kenge, der noch keine Erfahrung darin hatte, über unstrukturierte Weiten Größen zu beurteilen, stellte die Frage, um was für Insekten es sich handle. Er wollte nicht glauben, dass die „kleinen Dinger" Büffel sein sollten.

So überzeugend Gregorys perspektivische Theorie der Täuschungserklärung auch scheint, gibt es dennoch einige Zweifel, denn auch andere „Zugaben" an den Linienenden, die sich nicht perspektivisch erklären lassen und keine räumliche Tiefeninformation enthalten, wie die verschiedenen „Hanteln" in Abb. 3.54, rufen die Täuschung ebenfalls hervor. Auch bei der Verwendung dreidimensionaler Vorlagen, wie dem Aufstellen von aufgeschlagenen Büchern in gleicher Entfernung, kommt es zu dem Täuschungseffekt, der sich mit Gregorys Theorie nicht schlüssig erklären lässt.

Eine andere, ebenfalls nicht voll befriedigende Erklärung geht auf den ganzheitlichen Ansatz der Gestalt- sowie der Ganzheitspsychologie zurück, mit der bekannten Aussage: „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile." Bei der ganzheitlichen Verarbeitung beurteilt der Wahrnehmende nicht nur die Teilstrecken als solche, sondern bezieht die von den „Zugaben" umschlossenen Flächen mit ein. Da diese bei den nach außen gerichteten, stumpfen Winkeln größer sind als bei den nach innen gerichteten Spitzen, kommt es – so die **gestaltpsychologische Erklärung** – zu der Größentäuschung.

Ein weiterer Ansatz geht davon aus, dass unser Wahrnehmungssystem eine unterschiedliche Beurteilung von spitzen oder stumpfen Winkeln durchführt. Danach werden spitze Winkel (angeborenermaßen) generell als etwas stumpfer wahrgenommen, also überschätzt, und stumpfe Winkel unterschätzt (beides in Richtung auf 90°). Dies verdeutlichen zwei weitere bekannte „klassische" Wahrnehmungstäuschungen.

Bei der **Zöllner'schen Täuschung** (Abb. 3.55) erscheinen die an sich parallelen vertikalen Linien durch die sie kreuzenden schrägen Striche nicht mehr als parallel. Bei der **Poggendorf'schen Täuschung** (Abb. 3.56) erscheinen die diagonalen Linien hinter dem senkrechten Balken versetzt, obwohl der obere Teil tatsächlich die geradlinige Fortsetzung des unteren ist. In beiden Fällen werden die vorhandenen spitzen Winkel stumpfer wahrgenommen, als sie tatsächlich sind, wobei die Abstumpfung durch eine scheinbare Drehung der Schenkel

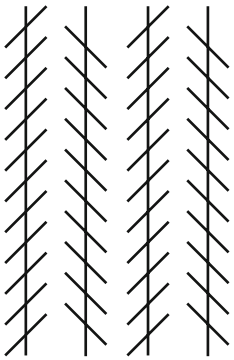


Abb. 3.55 Zöllner'sche Täuschung. Die parallelen Senkrechten erscheinen schräg zueinander geneigt

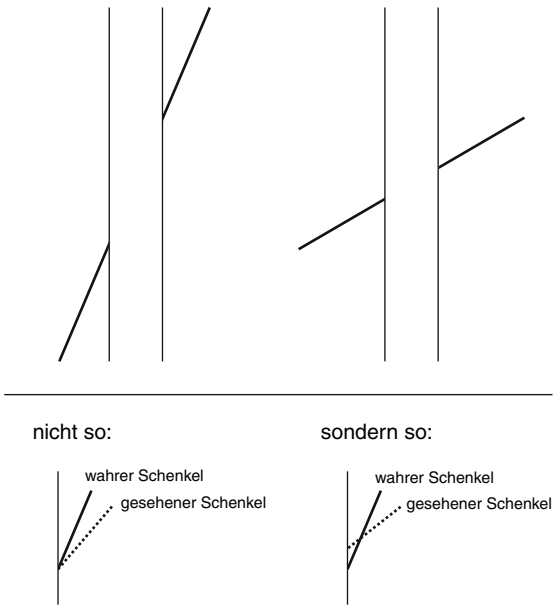


Abb. 3.56 Poggendorf'sche Täuschung. Die verdeckten schrägen Linien sind nicht versetzt, sondern durchgehende Geraden

etwas abseits vom Scheitelpunkt erfolgt, was sich aufgrund der Reaktion der konzentrischen ON-OFF-Zentren der rezeptiven Felder erklärt (Hubel und Wiesel 1962). Diese sind als Detektoren bei uns Europäern wesentlich stärker ausgeprägt für horizontale und vertikale Linien, auf die sie leichter ansprechen als auf diagonal-schräge Linien. Dies dürfte auch der Grund dafür sein, dass die Täuschung der Poggendorf-Figur fast ganz verschwindet, wenn man die Figur so weit rotiert, dass die ursprüngliche Diagonallinie genau senkrecht oder genau waagerecht vor dem Betrachter liegt.

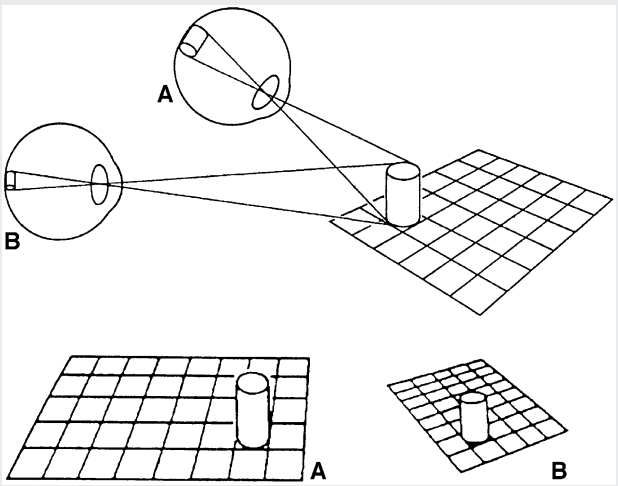
Diese Winkeltäuschung wurde auch zur Erklärung der Müller-Lyer-Täuschung herangezogen, was zeigt, dass es offenbar verschiedene Mechanismen in der Wahrnehmung gibt, die bei dieser Täuschung gleichsinnig wirken, den beobachteten Effekt verstärken und sich somit nicht gegenseitig widersprechen.

Außer den dargestellten Erklärungsversuchen, bei denen – gemäß eines konstruktivistischen Ansatzes – Wahrnehmung sowohl auf psychische als auch auf physiologische Verarbeitungsprozesse zurückgeführt wird, lassen sich Phänomene wie die Größenwahrnehmung auch in anderer Weise nach dem von

Exkurs 3.17

Genauer betrachtet: Der wahrnehmungsökologische Ansatz

Als wahrnehmungsökologischer Ansatz wird die von James Jerome Gibson (1904–1979) begründete und über Jahre ausgebaute Wahrnehmungstheorie bezeichnet, die von der Untersuchung der Wahrnehmung in natürlichen Situationen und natürlichen (ökologischen) Umwelten ausgeht und die zugleich die Rolle des sich bewegenden Beobachters hervorhebt. Sie steht damit im Gegensatz zu dem üblichen Vorgehen, bei dem der Sehvorgang wie bei einer feststehenden Kamera untersucht wird, deren Einzelbilder erst einer konstruktivistischen oder kognitiven Verarbeitung bedürfen (Gibson 1950).
Diesem „Schnappschusssehen" stellt Gibson das umherwandernde oder ambulatorische Sehen (*ambulatory vision*) als Umgebungssehen (*ambient vision*) entgegen. Dabei legt er besonderen Wert auf Reizinformationen, die trotz der situativen Veränderungen invariant bleiben: „Die Wahrnehmung der Welt beginnt mit der *Entnahme von Invarianten*" (Gibson 1982, S. 274). Statt nur die im Netzhautbild liegende Information zu untersuchen, forderte er, das Augenmerk auf die (als Invarianz) in der umgebenden optischen Anordnung liegende Information zu legen. Wenn sich der Beobachter (was natürlich ist) bewegt, verändert sich die optische Anordnung laufend; die Raumwinkel werden zusammengedrückt oder erweitert, die Form der Gegenstände ändert sich. Diese Veränderungen geben Information über die Fortbewegung. Einige Merkmale der Anordnung bleiben jedoch unverändert bestehen. Diese **Invarianten** haben ihre Ursache in der starren Flächenanordnung der Umwelt (ausführlicher in *Zusatztext online*).
Nach Gibsons Konzept der unmittelbaren Wahrnehmung ist diese invariante Struktur der Wahrnehmung unmittelbar zugänglich und bedarf nicht erst einer **kognitiven Verarbeitung.** Wir können uns dies am Beispiel des Texturgradienten in ◘ Abb. 3.57 verdeutlichen. Wenn der Betrachter seinen Standpunkt wechselt, ändern sich die Größen der Netzhautbilder einzelner Gegenstände, aber so, dass sie im Verhältnis zur Struktur oder Textur des Hintergrundes gleich bleiben. Zwar verringern sich die Größe eines Zylinders im Gesichtsfeld und der Blickwinkel bewegungsbedingt, wenn der Betrachter von Standpunkt A nach B wechselt, aber der Zylinder bedeckt in beiden Situationen jeweils immer (invariant) genau eine gleich große Einheit des Texturgradienten – hier die Quadrate der Standfläche, die ihre Größe entsprechend mitverändern.
Auch **Muster des optischen Fließens** enthalten, wie Gibson darlegte, ebenfalls invariante Information. Sie entstehen in der visuellen Wahrnehmung. Wenn ein Beobachter sich relativ zur Umwelt bewegt, beginnen für ihn die Gegenstände des Umfeldes bei hinreichend hoher Geschwindigkeit zu fließen, wie man das leicht beim Blick aus dem Seitenfenster eines fahrenden Autos beobachten kann. Sehr nahe Gegenstände sausen mit hoher Bewegungsgeschwindigkeit vorbei, und je weiter die Entfernung vom Beobachter ist, desto geringer sind ihre Bewegungsgeschwindigkeit und das damit verbundene Fließen. Dieses Bewegungsgefälle wird als Gradient des Fließens bezeichnet. Hier handelt es sich nach Gibson im Gegensatz zur bereits besprochenen Bewegungsparallaxe um ein optisches Fließen des gesamten Sehfeldes. Dabei erzeugen Vor- und Rückwärtsbewegungen entgegengerichtete **Fließmuster**: Vorwärtsbewegungen ein sich ausdehnendes, Rückwärtsbewegungen ein sich zusammenziehendes Fließmuster (zum Beispiel beim Blick aus dem letzten Wagen der Bahn nach hinten). Wir kommen ausführlicher darauf im Zusammenhang mit der Bewegungswahrnehmung zurück.



◘ **Abb. 3.57 Texturgradient.** Blickt ein Beobachter aus zwei unterschiedlich entfernten Positionen auf einen Zylinder auf einem Schachbrett, so erhält er je nach Entfernung unterschiedlich große Abbilder auf der Retina. Wenn der Beobachter von A nach B wechselt, ändert sich der Blickwinkel, und es verringert sich die Größe des Zylinders im Gesichtsfeld, aber der Zylinder bedeckt mit seiner Grundfläche in beiden Situationen jeweils gerade eine Einheit der Texturgradienten. Die Relation bleibt invariant. (Goldstein 1996 (dt. Ausgabe 1997), S. 253; Abb. 6.54)

James Jerome Gibson begründeten **wahrnehmungsökologischen Erklärungsansatz** erklären (► Exkurs 3.17).

Als wahrnehmungsökologischer Ansatz wird die von Gibson begründete Wahrnehmungstheorie bezeichnet, die von der Untersuchung der Wahrnehmung in natürlichen Situationen und natürlichen Umwelten ausgeht und die zugleich die wichtige Rolle der Bewegung des Beobachters hervorhebt, dessen direkte Informationsaufnahme nicht erst einer kognitiven Verarbeitung bedarf.

3.3.8 Organisationsprinzipien und Objekterkennen

Wenn wir mit den Augen um uns blicken und uns fragen, was wir da sehen, so ist uns gewiss, dass wir eine Welt voller Objekte wahrnehmen. Wir sehen Leute, Gegenstände, Pflanzen, wir sehen integrierte Ganzheiten und nicht ein Mosaik von einzelnen unterschiedlichen Lichtpunkten, die unsere Sinnesorgane eigentlich erreichen. Obgleich das auf der Retina entworfene Bild nur zweidimensional ist, sehen wir die Welt dreidimensional. Unsere Wahrnehmung ist offenbar *auf Dinge orientiert*. Dies wird als **Objekt-**

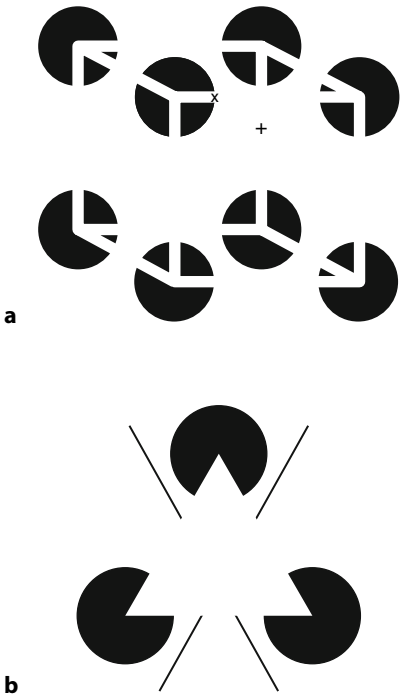


Abb. 3.58 Scheinkonturen. Wir sehen die Konturen eines Würfels (**a**) und ein ausgefülltes weißes Dreieck (**b**), die es eigentlich nicht gibt. (Goldstein 1996)



Abb. 3.59 Figur-Grund-Unterscheidung. Ein einfaches Beispiel der Figur-Grund-Trennung. (Krech et al. 1969)

wahrnehmung bezeichnet. Die wahrgenommenen Eigenschaften, wie Farbe, Rauheit, Glanz, werden als solche von Objekten erlebt und nicht als zusammenhangloses, unstrukturiertes Reizmuster. Nur unter besonderen Umständen – etwa bei Kunstwerken des Pointillismus, dessen Vertreter erstmals auf dieses Wahrnehmungsphänomen aufmerksam machten, oder bei grob gerasterten Bildern in Zeitungen – bemerken wir isolierte Reizeigenschaften, aus denen sich die wahrgenommene Ganzheit zusammensetzt. Auch bei mehrdeutigen Kippbildern wie in Abb. 3.61, fällt es schwer, kein Gesicht zu sehen, sondern einfach den Kreis mit einer Wellenlinie (siehe auch: *Zusatztext online*).

Die grundlegenden Überlegungen und Erkenntnisse über diese Wahrnehmungsorganisation verdanken wir der in den 1920er-Jahren durch Max Wertheimer (1880–1943) begründeten psychologischen Schule der **Gestaltpsychologie**. Sie entstand als

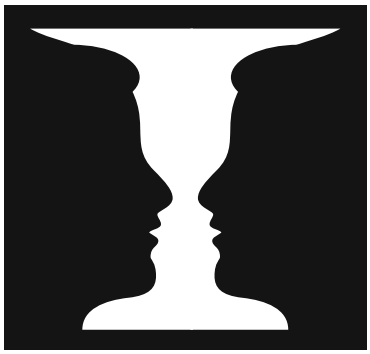


Abb. 3.60 Rubins Kippbild in einer der vielen Versionen, in denen man entweder eine helle Vase oder zwei Gesichtsprofile sehen kann. (Nach Goldstein 1997)

Reaktion auf die damals vorherrschende theoretische Richtung der **Elementenpsychologie**, nach deren Verständnis sich unsere „Wahrnehmungen" einfach aus einzelnen kleinen Teilstücken, den elementaren Empfindungen, aufbauen.

Die Gestaltpsychologen argumentierten aufgrund ihrer Beobachtungen und Experimente (z. B. bei Scheinbewegungen, ▶ Exkurs 3.22) dagegen: „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile." Es ist also nicht allein aus seinen einzelnen Teilelementen zusammengesetzt vorstellbar. Zur Verdeutlichung verwenden wir die beiden Darstellungen in Abb. 3.58, die zugleich als Belege für die grundlegende Aussage angesehen werden.

Sowohl bei der Betrachtung des erdachten Würfels, der vor den acht schwarzen Kreisflächen zu schweben scheint (Abb. 3.58a) als auch des „erdachten" Dreiecks (Abb. 3.58b), können Sie mehr oder weniger deutliche Scheinkonturen wahrnehmen, die die Kanten des wahrgenommenen Objektes darstellen. Sie sind im physikalisch vorliegenden Reizmuster jedoch nicht wirklich vorhanden, wovon Sie sich durch Abdecken einzelner schwarzer Kreisflächen überzeugen können. Unsere Wahrnehmung bestimmter Teile der Figur ist also von der gesamten Konfiguration abhängig, und das Gesamtphänomen lässt sich nicht aus der Summe der einzelnen physikalischen Sinnesempfindungen zusammensetzen.

Ein Beleg aus dem auditiven Bereich ist die Wahrnehmung einer Melodie. Auch sie ist mehr als die Summe der einzelnen Tonfolgen.

Figur-Grund-Trennung und Gestaltprinzipien

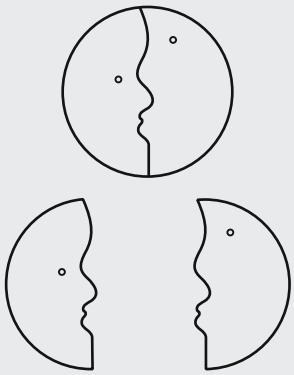
Als einen der wichtigsten und grundlegenden Prozesse unserer Wahrnehmungsorganisation betrachteten die Gestaltpsychologen die **Figur-Grund-Trennung**, die sich in allen Wahrnehmungsmodalitäten zeigt.

Sobald wir eine nur irgendwie differenzierte oder beliebig strukturierte Fläche betrachten, bemerken wir, dass sich ein gewisser Teil derselben unweigerlich und bestimmt von den übrigen abhebt. Er wird als **Figur** bezeichnet, die sich von einem dahinterliegenden **Hintergrund** abhebt. Besonders gut kennen wir dieses Phänomen von unseren Kindern, wenn sie in der Suppe, dem Rührei oder den vorüberziehenden Wolken „Gestalten" wie Tiere „sehen" und beschreiben, die sich von der restlichen Vielfalt für sie abheben und Bedeutung gewinnen. Diese einfachste Form der Wahrnehmungsorganisation scheint bereits bei Neu-

Exkurs 3.18

Genauer betrachtet: Figur-Grund-Effekte

Zur Vergegenwärtigung der oben genannten Eigenschaftsveränderungen bei dem Wechsel zwischen Figur- und Grundentscheidung kann die doppeldeutige Vorlage in ◘ Abb. 3.61 dienen. Bei längerer Betrachtung der oberen Zeichnung kommt es zu einer wechselweisen Fluktuation zwischen Figur und Grund, sodass zeitweise das linke Gesicht und zeitweise das rechte Gesicht gesehen wird. Dabei erscheint das jeweils gesehene Gesicht (die Figur) im Vordergrund und wird „dinghafter". Das jeweils andere Gesicht weicht dagegen zurück, wird unwesentlicher und ist gleichzeitig überhaupt nicht zu erkennen. Versucht man sich nun auf dieses Gesicht zu konzentrieren, springt das Bild wieder um, und das andere Gesicht wird zum nichtssagenden Hintergrund. Auch die gemeinsame Kontur zwischen beiden Gesichtern ändert vollständig ihre Erscheinung und Zugehörigkeit, je nachdem, welches Gesicht von ihr gerade definiert wird. Sie gehört immer zu dem gerade wahrgenommenen Gesicht, und ihre Gestalt (Vorwölbungen) erhält unterschiedliche Bedeutungen, wie es die untere Zeichnung mit den getrennten Gesichtern leichter erkennen lässt (mehr dazu in *Zusatztext online*).



◘ **Abb. 3.61** Doppeldeutige Vorlage zum Figur-Grund-Effekt. (Nach Krech et al. 1969)

geborenen vorzuliegen, wenn sie mit den Augen einer durch ihr Gesichtsfeld bewegten Figur folgen.

Ein einfaches Beispiel zur Wahrnehmung der Figur-Grund-Trennung zeigt ◘ Abb. 3.59. Was wir als Figur sehen, scheint besser definiert, abgeschlossener und fester zu sein als das, was wir als Hintergrund wahrnehmen. Bei dieser Vorlage fällt es schwer, die gestreifte Fläche als Figur zu sehen, zum Beispiel als Brett mit einem unregelmäßigen Loch. Andere Vorlagen wie die sogenannten **Kippfiguren** (zum Beispiel die Rubin'sche Vase; ◘ Abb. 3.60) ermöglichen dagegen unterschiedliche Sichtweisen. Dabei verändern die Teile, je nachdem ob sie als Figur oder als Grund gesehen werden, ihre Eigenschaften. Dazu gehört insbesondere:

1. Die Figur wirkt *dinghafter*, ist zumeist in sich geschlossener und wird eher als „vollständig" wahrgenommen (Faktor der Geschlossenheit). Sie ist daher einprägsamer und besser erinnerbar.
2. Die Figur wird *vor dem Hintergrund* befindlich gesehen.
3. Der Hintergrund wirkt *unstrukturierter*, ungeformt und unbestimmt und scheint sich auch hinter der Figur weiter zu erstrecken.
4. Die Figur hebt sich durch eine **Kontur** vom Hintergrund ab.
5. Die Kontur zwischen Figur und Hintergrund wird immer *als Kontur der Figur* gesehen, zu der sie zu gehören scheint (▶ Exkurs 3.18).

In zahlreichen Experimenten ist versucht worden, **Determinanten** zu finden, nach denen sich entscheidet, was wir als Figur, was als Grund sehen.

Obgleich es keine eindeutigen Regeln gibt, hat sich gezeigt, dass es bestimmte Merkmale und Eigenschaften des Wahrnehmungsfeldes gibt, die sehr wahrscheinlich machen, welchen Teil wir bevorzugt als Figur und welchen wir als Grund sehen. Hierzu gehören vor allem die Größe, die Lage und die Gestalt der beiden Bereiche. So wird in der Regel (bei sonstiger Gleichheit) der kleinere, in sich abgeschlossenere Teil als Figur gesehen. Das Gleiche gilt für regelmäßig oder symmetrisch geformte Bereiche gegenüber unregelmäßigen, für konvexe (nach außen gewölbte) Formen gegenüber konkaven (nach innen gewölbten) sowie für die Orientierung in der Horizontalen (Waagerechten) oder Vertikalen (Senkrechten) gegenüber anderen Orientierungen. Aber auch persönliche Faktoren spielen eine Rolle bei der Figur-Grund-Entscheidung. So werden in der Regel eher die Anteile als Figur wahrgenommen, denen wir (nach unserer persönlichen Erfahrung) leichter eine bestimmte Bedeutung beimessen können, zum Beispiel Tiergestalten oder Gesichter. Einige Beispiele für das Wirken dieser Determinanten gibt ▶ Exkurs 3.19.

Die Differenzierung in Figur–Grund ist, soweit wir heute wissen, eine Grundeigenschaft aller menschlichen Wahrnehmungsprozesse, also auch des Hörens, Tastens, Riechens oder Schmeckens. So hören wir einen einzelnen Ton, eine Melodie gegen den Hintergrund der anderen Töne, die miteinander verschwimmen. Schließlich lässt sich auch Aufmerksamkeit, die auf bestimmte Vorgänge in unserem Blickfeld gerichtet wird, als Selektion von Objekt und Hintergrund verstehen.

Die **Gestaltpsychologen** waren als Erste bemüht, die Determinanten oder Gesetzmäßigkeiten herauszufinden, nach denen sich unsere Wahrnehmungen organisieren und strukturieren oder Einzelteile zu ganzen Gestalten (Figuren) zusammenfügen. So formulierten sie eine Vielzahl von **Gestaltgesetzen der Wahrnehmung** (Helson 1933 beschreibt 114 Gestaltfaktoren; Metzger 1966 reduzierte diese auf sieben). Die wichtigsten sind:

1. **Gesetz der guten Gestalt** (oder Prägnanzgesetz): Es besagt, dass jedes Reizmuster so gesehen wird, dass die wahrgenommene Struktur so einfach wie möglich ist, wobei einfache Strukturen eben „gute" oder uns vertraute geläufige Gestalten sind. Vielfach schließt die Prägnanz Symmetrie und Regelmäßigkeit mit ein. So werden wir in ◘ Abb. 3.64a eher einen Kreis und ein Rechteck sehen als die ebenso gut möglichen Formen wie ◘ Abb. 3.64b oder 3.64c. Auch werden Einzelreize, wenn sie zusammen eine „gute Gestalt" ergeben, zusammen „gruppiert" (für uns zum Beispiel einfache Sternbilder am Nachthimmel).
2. **Gesetz der Nähe**: Dieses wie die folgenden Wahrnehmungsgesetze werden auch als Gruppierungsprinzipien zusammengefasst, da sich ihre Aussagen darauf beziehen, wie wir Einzelheiten zu zusammenhängenden Gestalten gruppieren.

So besagt das Gesetz der Nähe, dass nahe beieinander befindliche Reize bevorzugt als zusammengehörig erscheinen: Die Punkte in ◘ Abb. 3.65a scheinen demgemäß nicht waagerecht, sondern senkrecht zu Säulen angeordnet zu sein. Auch wenn wir ein bestimmtes Zielelement, zum Beispiel ein T in ◘ Abb. 3.65b, aus einer Ansammlung andersartiger Elemente (Fs) erkennen sollen, gelingt uns dies leichter, wenn der Abstand zu diesen Elementen größer ist, als wenn sich das Zielelement nahe oder in der Gruppe befindet (die Nähe überwindet die Unähnlichkeit).

3. **Gesetz der Geschlossenheit**: Es besagt, dass in unserer Wahrnehmung die Tendenz besteht, Einzelelemente zu kompletten Figuren zusammenzufassen, die als Ganzes gesehen wieder eine gute Gestalt darstellen. So werden die Teile einer unvollständig gezeichneten Figur zur bekannten Gesamtfigur zusammengefasst. Dieser Effekt erweist sich oft stärker als der der Nähe. So sehen wir in ◘ Abb. 3.66a senkrechte Linien, die sich für uns zu Paaren zusammengruppieren, mit einer einzelnen Linie auf der rechten Seite. Erhalten die Linien jedoch eine leichte Modifikation (◘ Abb. 3.66b), so erfolgt für die Wahrnehmung die entgegengesetzte Paarung der Elemente. Hier überwiegt der Faktor der Geschlossenheit den der räumlichen Nähe.
4. **Gesetz der Ähnlichkeit**: Einander ähnliche Elemente erscheinen uns bevorzugt als zusammengehörig und gruppieren sich zu einer gemeinsamen Gestalt. So werden die in ◘ Abb. 3.67 mit gleichen Abständen angeordneten Punkte entsprechend ihrer farblichen beziehungsweise gestaltlichen Ähnlichkeit als zu waagerechten Reihen gruppiert wahrgenommen. Das Gruppierungsprinzip der farblichen Ähnlichkeit hat bei der Diagnostik der Farbfehlsichtigkeit eine praktische Bedeutung erhalten. Auf einer sogenannten Ishihara-Tafel (Farbtafel 3.V) mit einem sonst gleichartigen Farbpunktmuster bilden nur einige der Punkte durch ihre ähnliche Farbe eine Figur (Zahl), die daher nur von dem entsprechend farbtüchtigen Auge erkannt (gruppiert) werden kann.
5. **Gesetz der guten Fortsetzung** (oder der gestaltgerechten Linienfortführung): Linien werden tendenziell so gesehen, als folgten sie einem einfachen Weg. Ebenso werden Punkte, wenn sie entsprechend angeordnet sind, als zu einer Linie zusammengehörig wahrgenommen. So wird die Figur in ◘ Abb. 3.68a gemäß dem Prinzip der guten Fortsetzung als aus zwei Kurven zusammengesetzt gesehen (Wellenlinie und Rechtecklinie, in ◘ Abb. 3.68b), obgleich die Figur logisch genauso gut aus den beiden in ◘ Abb. 3.68c abgebildeten Linienzügen zusammengesetzt erscheinen könnte. Diese machen jedoch keine so gute Gestalt und sind uns nicht so vertraut.
6. **Gesetz des gemeinsamen Schicksals**: Es bezieht sich vornehmlich auf Bewegung. Dinge, die gemeinsam einer gleichartigen Bewegungsrichtung folgen, werden als zusammengehörig wahrgenommen. Sie heben sich von den gleich gestalteten, aber nicht gleichartig bewegten Dingen ab. Dieses Prinzip wird vielfach genutzt im Ballett, der Eurythmie oder dem Gruppentanz. Tänzer, die sich gleichzeitig in eine Richtung bewegen, heben sich sofort als gemeinsame Gruppe von den anderen, sich anders bewegenden oder stehenden Tänzern ab (◘ Abb. 3.69).
7. **Gesetz der Vertrautheit**: Es besagt, dass Elemente mit großer Wahrscheinlichkeit als zu einer Gruppe zusammengehörig wahrgenommen werden, wenn die Gruppierung vertraut ist oder etwas bedeutet (Helson 1933; Hochberg 1971). Einzelelemente oder Dinge, die sich kognitiv als sinnvoll zusammenfügen lassen (wie Buchstabenzeichen zu einem Wort), werden auch leichter als zusammengehörig wahrgenommen und, wie wir in der Gedächtnispsychologie noch sehen werden, als sogenannte Chunks auch besser behalten. Ein gutes Beispiel haben wir bereits in ◘ Abb. 3.62c kennengelernt. Nachdem Ihnen inzwischen die Bedeutung und die Gruppierung der hellen Elemente der Vorlage vertraut sind, werden Sie diese beim erneuten Ansehen sofort alle als zusammengehörig wahrnehmen (▶ Exkurs 3.20).

Die gestaltpsychologische Forschung hat zeitweise in der Wahrnehmungspsychologie einen weiten Raum eingenommen. Trotz vieler kritischer Beiträge gelten ihre Erkenntnisse auch heute noch als wertvoll, wenngleich in vielen Fällen ihr eigentlicher Erklärungswert als fraglich betrachtet wird. Diese Kritik richtet sich insbesondere auf drei Punkte:

1. Die Gestaltgesetze sind im Grunde keine Erklärungen oder Begründungen, warum die Wahrnehmungsorganisation gerade so und nicht anders arbeitet, auch wenn sie durchaus annehmbare Beschreibungen grundlegender Prinzipien der Wahrnehmungsorganisation darstellen.
2. Die Aussagen der einzelnen Gestaltgesetze, vor allem des grundlegenden Prägnanzkonzepts, sind so unscharf, dass daraus keine eindeutigen Vorhersagen möglich sind: Was genau ist eine gute Gestalt oder eine einfachere Figur (Palmer 1982)? Das Gesetz der Einfachheit enthält keine Kriterien für Einfachheit. Und wie steht es mit doppeldeutigen Figuren, die sich bald so, bald so sehen lassen (Goldstein 1996)? Überlegen Sie, ob sich solche Beispiele als Beleg für die Kritik heranziehen lassen.
3. Die zumeist an einfachen zweidimensionalen Reizmustern gewonnenen Ergebnisse ließen sich kaum auf üblicherweise komplexe Realsituationen übertragen.

Würden Sie dem zustimmen? Warum beziehungsweise warum nicht?

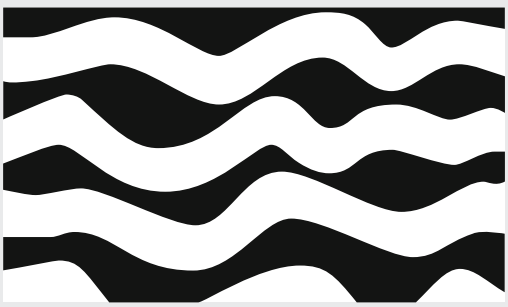
Perzept und Wahrnehmungserwartung

Wahrnehmungsphänomene, wie wir sie bereits bei der Betrachtung der verschiedenen Kippfiguren besprochen haben, regten einen weiteren Untersuchungsansatz an. Wie das Kippphänomen zeigt, lässt sich unsere Wahrnehmung offenbar nicht einfach als Widerspiegeln oder Abbilden der visuellen Außenreize verstehen. Das klassische Beispiel ist, neben Rubins Vase, der von dem Schweizer Naturforscher L. A. Necker (1832) in die Diskussion gebrachte **Necker-Würfel** (◘ Abb. 3.71). Er kann als dreidimensionaler durchsichtiger Würfel sowohl aus der Perspektive „von oben“ als auch „von unten“ betrachtet werden. Welche Ansicht ist die richtige? Oder hängt es von unserer Interpretation ab, wie wir den Würfel sehen? Dieses Beispiel macht deutlich, dass für unsere Wahrnehmung nicht zuletzt auch kognitive Verarbeitungsprozesse von Bedeutung sind (Mehr in: *Zusatztext online*).

Exkurs 3.19

Genauer betrachtet: Was wird zur Figur?

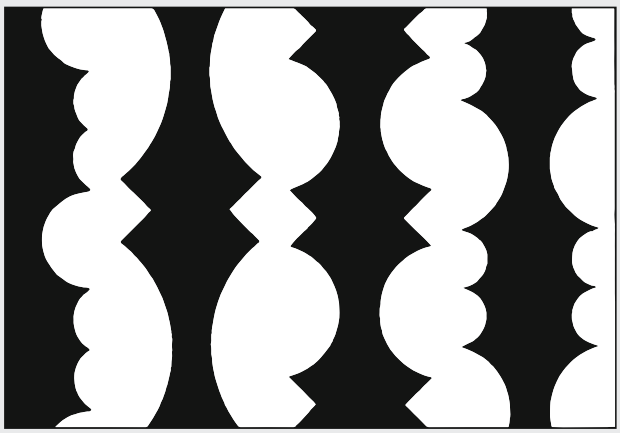
Betrachten Sie zur Demonstration der Figur-Grund-Wahrnehmung ◘ Abb. 3.62 und entscheiden Sie möglichst sofort, welche Anteile Ihnen als Figur, welche als Hintergrund erscheinen: die weißen Bereiche oder die dunklen Anteile? Führen Sie dies zunächst für alle Abbildungen durch, ehe Sie weiterlesen. Bei der Betrachtung von ◘ Abb. 3.62a tendieren wir dazu, wellige weiße Streifen auf einem dunklen Hintergrund zu sehen und nicht dunkle Streifen auf weißem Hintergrund, obgleich der Flächenanteil von weißen und dunklen Bereichen völlig gleich ist. Nach Metzgers *Gesetzen des Sehens* (1953/1975) liegt der Grund für diese Entscheidung darin, dass die weißen Streifen gleichmäßig breit, die dunklen Streifen dagegen unregelmäßig breit sind. ◘ Abb. 3.62b enthält einerseits konvexe Formen (weiß), die sich in der Regel gegenüber symmetrischen Formen (dunkel) durchsetzen. Die Determinanten der Symmetrie unterliegen hier zumeist denen der Konvexität, sodass Sie eher weiße als schwarze Säulen sehen werden. ◘ Abb. 3.62c enthält fünf kleine dunkle Teile, die wegen ihrer Geschlossenheit und Kleinheit zumeist zunächst als Figuren gesehen werden, die aber keinen Sinn ergeben. Wenn Sie auch bei längerer Betrachtung nicht sagen können, was dargestellt ist, blättern Sie um zur nächsten Seite (◘ Abb. 3.63). Nachdem Sie nun die Bedeutung kennen, wird es Ihnen umgekehrt schwerfallen, die dunklen Teile noch als Figur zu sehen.



a



c



b

◘ **Abb. 3.62** Drei Vorlagen zur Figur-Grund-Wahrnehmung. (**a** Nach Krech et al. 1969, p. 154, Fig. 10.8; **b** Kanizsa 1979, p. 110; **c** Brown und Gilhouse 1949)

Exkurs 3.19 (*Fortsetzung*)

Abb. 3.63 Auflösung zur Figur-Grund-Demonstration in ▶ Exkurs 3.18. (Krech et al. 1969)



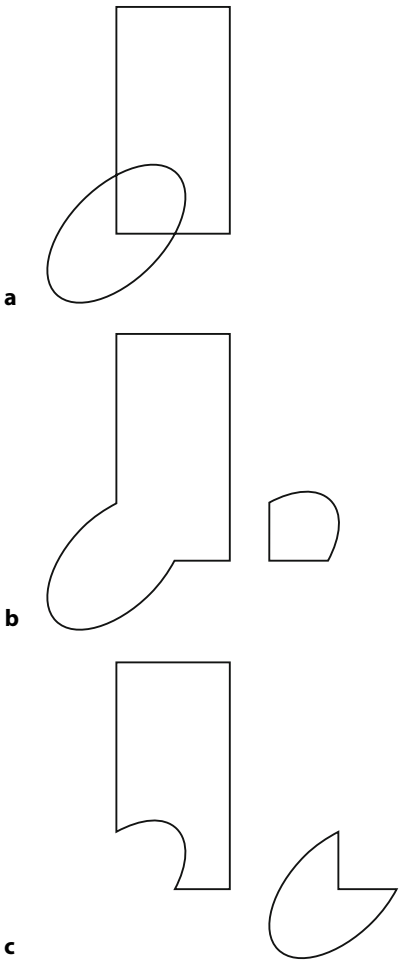


Abb. 3.64 Gesetz der Prägnanz oder der guten Gestalt. a wird so gesehen, dass die wahrgenommene Struktur (Quadrat, Kreis) so einfach wie möglich ist, auch wenn andere Strukturierungen (**b**, **c**) gleichwohl und gleich gut möglich sind

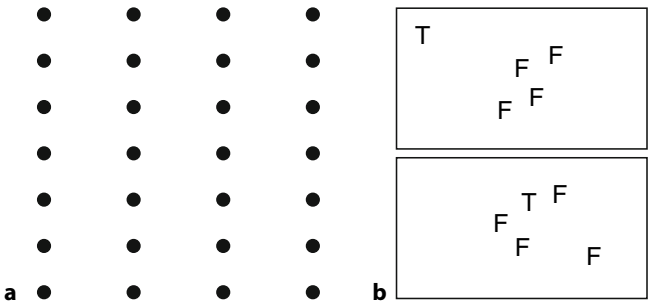


Abb. 3.65 Gesetz der Nähe. a Die Punkte werden als senkrechte Säulen wahrgenommen, **b** Das Zielelement *T* wird schwerer erkannt (längere Reaktionszeit), wenn es nicht isoliert, sondern in einer durch das Gesetz der Nähe verbundenen Gruppe steht

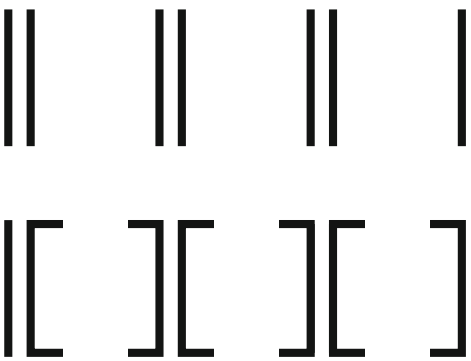


Abb. 3.66 Gruppierungseffekt nach dem Gesetz der Geschlossenheit. Es überwiegt die Wirkung der Nähe. **a** Die Linien erscheinen gemäß ihrer Nähe zu drei Paaren gruppiert mit einer isolierten Linie rechts, **b** Dieselben Linien mit gleichem Abstand, aber kleinen Erweiterungen, die die Wahrnehmung geschlossener Figuren nahe legen, führen zu einer entgegengesetzten Wahrnehmungsgruppierung: Die weiter voneinander entfernten „Klammern" werden als drei Quadrate gesehen, mit einer isolierten Linie links

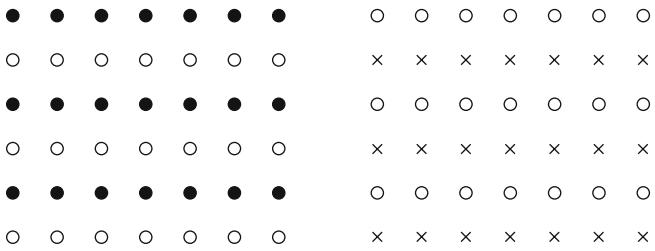


Abb. 3.67 Gruppierungseffekt nach dem Gesetz der Ähnlichkeit. Die in gleichen Abständen zueinander befindlichen Elemente werden nach ihrer farblichen Helligkeit oder ihrer Gestaltähnlichkeit als waagerechte Linien wahrgenommen. (Krech et al. 1969)

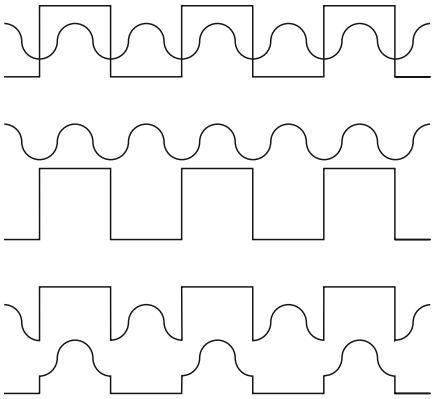


Abb. 3.68 Gesetz der guten Fortsetzung. a Wir sehen die Kombination von einer Welle und einer Rechtecklinie, wie in **b** herausgezeichnet, **c** auch diese (nicht gute) Fortsetzung wäre möglich

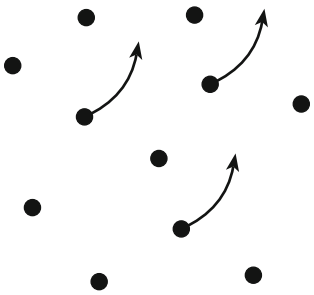


Abb. 3.69 Gesetz des gemeinsamen Schicksals. Bewegen sich in einer sonst ruhenden Punktwolke einige Punkte gleichzeitig und gleichartig in gleicher Richtung, erscheinen sie als gemeinsame Gruppe zusammengehörig („gemeinsames Schicksal"). (Krech et al. 1969)

Bereits in den 1950er-Jahren hatte eine Reihe von Forschern (Brunswik 1943; Bruner und Goodman 1947; Postman und Crutchfield 1952) die Grundrichtung einer Theorie formuliert, die als **Hypothesen-Erwartungs-Theorie** bezeichnet wurde. Nach ihr trägt der Wahrnehmende ständig Erwartungen als „Hypothesen" an die Umwelt heran, die er dann an den vorgefundenen Reizbedingungen bestätigt oder verwirft. Weil in dieser Theorie die Interpretation der gegebenen Sinnesdaten im Wesentlichen in Abhängigkeit von den subjektiven Wahrscheinlichkeiten des Wahrnehmenden für die verschiedenen Interpretationen erfolgt, wurde dieser Ansatz auch als **probabilistischer Funktionalismus** bezeichnet. Heute wird diese eher kognitiv orientierte Sichtweise als **konstruktivistischer Ansatz** bezeichnet.

Mit dem Ansatz des Hypothesentestens wird dem Wahrnehmungsprozess (im Gegensatz zu der Ansicht eines nur passiven Rezipierens) eine aktive Rolle zugewiesen. Das Wahrnehmungssystem bleibt nicht passiv, sondern sucht nach einem **akzeptablen Perzept**, einer *Wahrnehmungshypothese*, die möglichst konsistent und kompatibel mit den eingehenden Sinnesdaten ist. Unter normalen Umständen gibt es zumeist auch nur eine akzeptable Interpretation der Sinnesreize, und der Entscheidungsprozess läuft so schnell ab, dass er uns gar nicht erst als solcher zu Bewusstsein kommt. Nur in nicht eindeutigen Situationen, wie sie experimentell mit den zweideutigen Kippfiguren hergestellt werden können, tritt der Verarbeitungsprozess des Hypothesentestens in Erscheinung.

Wenn wir nun unter dem Gesichtspunkt des Hypothesentestens den in Abb. 3.72 dargestellten gabelförmigen Gegenstand betrachten, kann uns ein weiterer Schritt der Verarbeitungsprozesse deutlich werden: Auf den ersten Blick erhalten wir zumeist den Eindruck einer sinnvollen dreigliedrigen Figur, und erst bei genauerer Betrachtung erkennen wir, dass es sich um ein unmögliches Objekt handelt, das es in der dreidimensionalen Welt gar nicht geben kann.

Der Demonstrationsversuch in ▶ Exkurs 3.21 macht deutlich, dass es einen Unterschied macht, wohin wir blicken beziehungsweise wohin wir unsere **Aufmerksamkeit** lenken, um ein erstes Perzept zu entwerfen, das in weiteren Schritten auf seine Richtigkeit getestet wird. Unsere Wahrnehmung des Objektes wird dabei von der jeweils momentan beachteten Tiefeninformation bestimmt, und diese wird auch bei der normalen Betrachtung eines Gegenstandes schrittweise zu einem Gesamtbild, dem Perzept, zusammengefügt. Nach Peterson und Hochberg (1983) läuft dieser Prozess auch bei den einzelnen sakkadischen Augenbewegungen ab, mit denen wir das Wahrnehmungsobjekt durch kaum merkliches Vor- und Zurückspringen des Blickes abtasten, wobei durch einen Integrationsprozess schrittweise eine **kognitive Landkarte** gebildet wird (vgl. den gleichen Begriff bei Tolman in ▶ Kap. 10).

Wahrnehmung wird hier verstanden als aktiver Verarbeitungsprozess, bei dem unser Wahrnehmungssystem die durch einzelne Reizmerkmale nahegelegten Wahrnehmungshypothesen testet und letztlich Perzepte „wahrnimmt", das heißt als zutreffend akzeptiert. Nach Hochberg dagegen erfolgt eine Integration der punktartig bei Augenfixation aufgenommenen Informationen durch die abtastenden Augenbewegungen zu einer kognitiven Landkarte.

Für die Verifizierung oder Bildung eines Perzeptes eines bestimmten Gegenstandes werden von unserem Wahrnehmungssystem aber nicht nur die einzelnen Merkmale des Reizgegenstandes herangezogen, sondern ferner auch **Merkmale des Umfeldes**, des Kontextes, in welchem der Gegenstand gesehen wird. Zur Illustration dieses **Kontexteffektes** verwenden wir Abb. 3.73, in deren Mitte sich eine Figur befindet, die von un-

Exkurs 3.20

Genauer betrachtet: Perzeptwandel (Vertrautheit als Determinante)

Eine weitere schöne Illustration bietet das Felsen-Gesichter-Bild von Bev Doolittle (Abb. 3.70). Wenn Sie statt der Felsbrocken am Bach oder der Zweige im Wald auf einmal vielfältige Gesichter wahrnehmen, dann verändert sich auch Ihr Perzept und Ihre Wahrnehmungsorganisation des ganzen Bildes. Es bilden sich neue Figur-Grund-Trennungen, und das uns lange vertraute Grundraster „Gesicht" wird zum gruppierenden Faktor, der zum Beispiel ganz bestimmte, vorher getrennt erscheinende Felsbrocken miteinander als Nase, Mund und Gesicht miteinander verbindet. Ähnlich wie bei der Figurwahrnehmung des Schriftmusters „Fly" in Abb. 3.61, wo es nach der Auflösung schwerfällt, das englische Wort nicht mehr zu sehen, wird es Ihnen nun auch schwerfallen, bestimmte Felsgruppen, die Sie einmal als Gesicht wahrgenommen haben, nicht mehr so zu sehen. Die neue „vertraute" und einfachere Wahrnehmungsorganisation bleibt beständiger als die vorherige undifferenzierte, bei der die gleichen Steine eher wahllos am Bach zu liegen schienen – wir sehen, was wir wissen.



Abb. 3.70 Bev Doolittle: Der Wald hat Augen. (Doolittle © 1984)

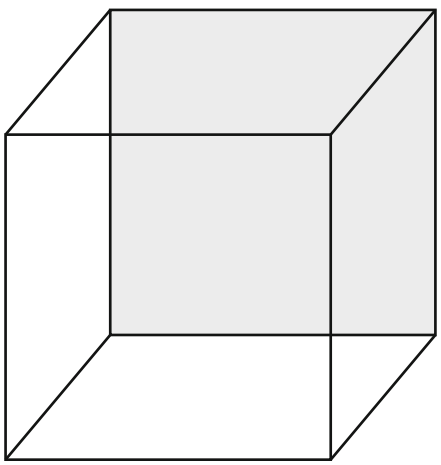


Abb. 3.71 Necker-Würfel. Das klassische Beispiel einer reversiblen Illusionsfigur wurde von dem Schweizer Naturalisten L. A. Necker entworfen. Die schattierte Fläche kann entweder als Vorder- oder Hinterseite eines durchsichtigen Würfels gesehen werden. (Hilgard et al. 1979, p. 136, Fig. 5-13)

serem Wahrnehmungssystem je nach dem Kontext interpretiert wird, in dem sie erscheint. In einer Reihe von Zahlen (von oben nach unten gelesen) erscheint die mittlere Figur als die Zahl 13. Blicken wir dagegen von links nach rechts, so erscheint uns die mittlere Figur in der Reihe von Buchstaben als Buchstabe B.

In ähnlicher Weise wird unser Wahrnehmungskonzept auch von früheren Erfahrungen beeinflusst, wie wir bereits in ▶ Exkurs 3.18 (Abb. 3.61c) demonstriert haben.

Späte Prozesse der Objekterkennung

Wir hatten bereits gesehen, dass bei der neuronalen Reizweiterverarbeitung unterschieden wird zwischen frühen und späten Stadien der Erkennungsprozesse (Absatz 3.3.2).

Wenden wir uns nun den **späteren Stadien** der neuronalen Objekterkennung zu, die dazu führen, dass die einzelnen extrahierten Merkmale (in den Hypersäulen; siehe „Organisation des visuellen Cortex in Säulen" in ▶ Abschn. 3.3.3) miteinander so kombiniert werden, dass wir schließlich bestimmte (uns bereits bekannte) Objekte, wie eine Kiste, einen Ball oder einen bestimmten Buchstaben, anhand von Übereinstimmungen (*matching*) erkennen, die wir auch verbal benennen kön-

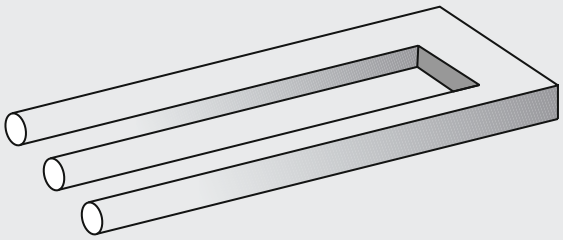
Exkurs 3.21

Experiment: Wahrnehmungskonstruktion

Nachdem Sie Abb. 3.72 als Ganzes betrachtet haben, decken Sie nun die Figur mit einem Blatt Papier von rechts kommend so weit ab, dass Sie fast nur noch die drei runden Enden der „Gabel" sehen. Ihr Wahrnehmungsperzept sagt Ihnen, dass es sich offensichtlich um drei runde, stabförmige Objekte handelt. Wenn Sie das Blatt nun ständig weiter nach rechts bewegen, können Sie dieses Perzept zunächst unverändert beibehalten, bis Teile der beiden unterschiedlichen Schattierungen sichtbar werden. Hier wird das Perzept zunehmend unsicherer, und es kann bereits vor Aufdeckung des Verbindungsstücks schon ab hier, allein durch die Schattierung, der Eindruck zweier kantiger (nicht mehr runder) Stäbe auftreten. Endgültig kippt die Wahrnehmungshypothese, wenn schließlich der Verbindungsteil der „Gabel" sichtbar wird. Ebenso können Sie das „Enthüllungsexperiment" von der anderen Seite beginnen, indem Sie den linken Teil der Figur abdecken und das Abdeckungsblatt zunehmend weiter nach links verschieben. Ihr Perzept ist jetzt das eines rechtwinkligen, viereckigen Gabelansatzes. Dieses Perzept lässt sich diesmal fast ungestört bis zu dem Punkt aufrechterhalten, an dem die erste ringförmige Verbindung der beiden unteren Linien sichtbar wird. Beide Betrachtungen zusammengenommen zeigen, dass wir den Mittelteil der Figur je nach der zu Beginn des Versuchs induzierten Wahrnehmungshypothese interpretieren, und zwar, solange, wie wir keine inkongruenten Reizhinweise erhalten. Derselbe Prozess läuft, wie man mithilfe von Blickbewegungsregistrierungen nachweisen kann, bei jeder Objektwahrnehmung ab, so auch beim unverdeckten Blick auf die Figur, die erst „bei genauerem Hinsehen" und Vergleichen als unmöglich erkannt wird.

Distanzcues werden in der englischsprachigen Literatur als Cues („Hinweise") bezeichnet, im Deutschen finden sich dagegen je nach Autor verschiedene Begriffe: Tiefenhinweise, Tiefenmerkmale, aber auch Tiefenkriterien, doch handelt es sich, wie wir sehen werden, zumeist nicht eigentlich um wirkliche Kriterien, anhand derer die genaue Tiefe bzw. Entfernung festgestellt werden kann, sondern vielmehr zumeist um Entfernungsschätzungen.

Abb. 3.72 „Teufelsgabel". (Goldstein 1997, S. 184, Abb. 5.40)



nen. Auch dieser Prozess scheint äußerst komplex und verläuft offenbar in mehreren Stufen. Ann Treisman (1987, 1993), die hierzu eine Vielzahl von Experimenten durchführte, geht in ihrer **Merkmalsintegrationstheorie** zur Beschreibung dieser Vorgänge von der in Abb. 3.74 dargestellten Folge von **Verarbeitungsstufen** aus:

1. Zunächst werden ohne besondere Aufmerksamkeitszentrierung schnell einfache Elementarmerkmale identifiziert (präattentive Stufe).
2. Mit gerichteter Aufmerksamkeit werden die Elementarmerkmale passend zusammengesetzt.
3. Wir nehmen ein (dreidimensionales) Objekt wahr.
4. Dies wird mit im Gedächtnis bereits vorhandenen Repräsentationen verglichen.
5. Bei einer Übereinstimmung (*matching*) identifizieren beziehungsweise erkennen wir das Objekt.

Ohne auf die hierzu im Einzelnen durchgeführten Untersuchungen und Überlegungen verschiedener Forscher genauer einzugehen, sollen hier nur die Grundzüge zweier wichtiger Ansätze zum Verständnis der möglichen komplexen Erkennungsprozesse dargestellt werden, die sich den von Treisman formulierten Stufen zuordnen lassen.

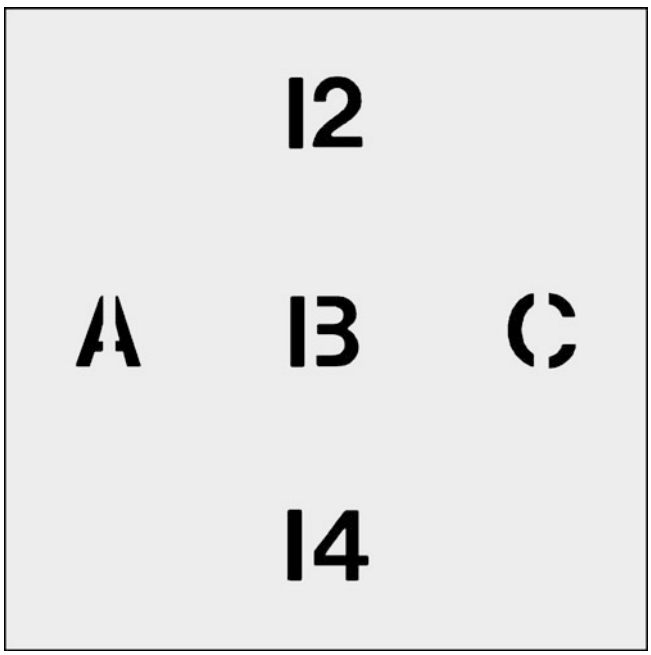


Abb. 3.73 Effekt des räumlichen Umfeldes auf die Wahrnehmung. Je nach Aufmerksamkeitskonzentration auf die Reihe oder die Säule der Zeichen wird die doppeldeutige Figur in der Mitte unterschiedlich wahrgenommen

Konnektionistische Netzwerke

Ein Großteil der neueren Untersuchungen, die sich mit diesem „Erkennungsprozess" befassen, gehen verständlicherweise von möglichst einfachen Vorlagen aus, nämlich von gedruckten Buch-

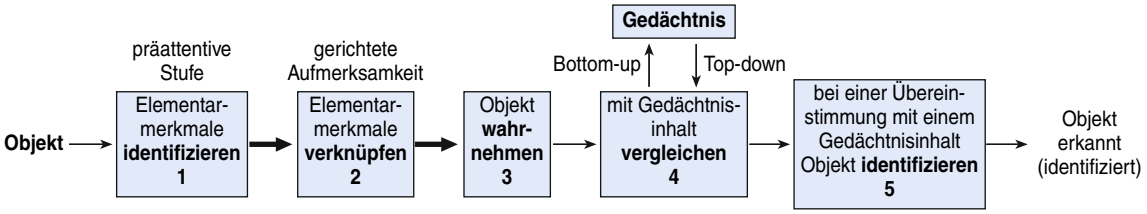


Abb. 3.74 Verarbeitungsstufen der Merkmalsintegrationstheorie. (Nach Treisman 1993)

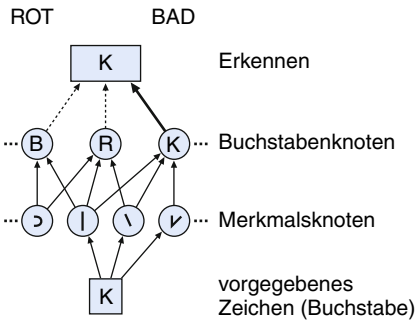


Abb. 3.75 Prinzipieller Aufbau eines einfachen konnektionistischen Netzwerkes zur Erkennung von Buchstaben. (Nach Anderson 1996)

staben und Worten. Wie Abb. 3.75 verdeutlicht, lassen sich einzelne Buchstaben mittels bereits bekannter einfacher Merkmale beschreiben beziehungsweise konstruieren. Die Grundannahme dieser Erklärungsmodelle ist nun, dass das Wissen darüber, welche Merkmale im Einzelnen einen bestimmten Buchstaben ausmachen, in einem Netz von Verbindungen (*connections*) enthalten ist. Daher werden diese Erklärungsansätze vielfach auch als **konnektionistische Modelle** bezeichnet. Im Englischen heißen sie **PDP-Modelle** (*parallel distributed processing*, „parallel verteilte Verarbeitung"). Das Beeindruckende an diesen Netzwerkmodellen ist, dass sie sowohl als kognitive Verbindungsnetze verstanden werden können, als auch als mögliche neuronale netzartige Verknüpfungen zwischen sich hemmenden beziehungsweise erregenden Neuronen. Daher kann der konnektionistische Ansatz auch als mögliche Brücke zwischen psychologischen und biologisch-neuronalen Modellen verstanden werden.

Obgleich **konnektionistische Netzwerke** selbst zur einfachen Buchstabenerkennung im Grunde äußerst komplex sind, wie Abb. 3.76 aus den Arbeiten von McClelland und Rumelhart (1981) illustrieren mag, wollen wir uns anhand des Modells in Abb. 3.74 die grundlegenden Gedanken dieses Erkennungsmechanismus klarmachen.

Auf der untersten Ebene enthält das Netzwerk die verschiedenen Bildmerkmale: einen Bogen, eine senkrechte Linie, eine nach links geneigte Diagonale und einen nach oben offenen Winkel. In einer Ebene darüber befinden sich die verschiedenen Buchstaben selbst. In der Kognitionspsychologie werden diese durch das Netzwerk verbundenen Elemente (hier Merkmale und Buchstaben) als **Knoten** (*nodes*) bezeichnet. Jede Verbindung zwischen einem Merkmalsknoten und einem Buchstabenknoten bedeutet, dass das jeweilige Merkmal ein **Teil des Buchstabens** ist. Die **Pfeilspitzen** bedeuten, dass es sich hier um erregende – **exzitatorische Verbindungen** handelt: Wenn das Merkmal durch einen äußeren Reiz aktiviert wird, werden von dem Merkmal all die Buchstaben

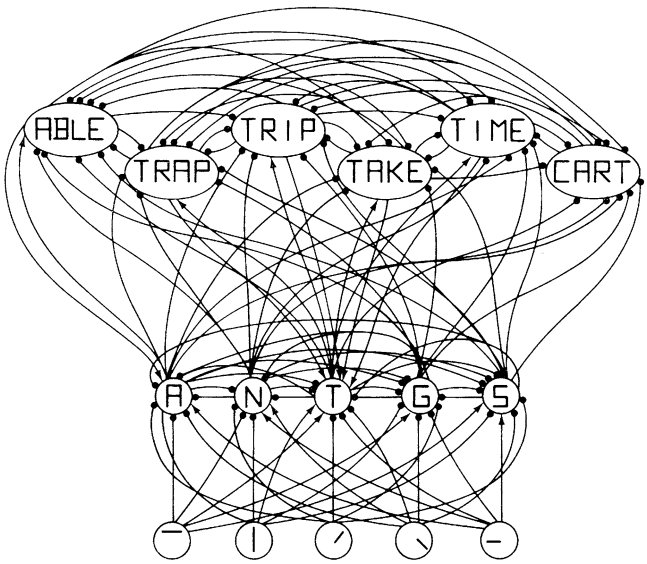


Abb. 3.76 Konnektionistisches Netzwerk (Ausschnitt) zur Worterkennung (von McClelland und Rumelhart 1981). Die Mustererkennung erfolgt über die Berechnung von Aktivationsverhältnissen. Exzitatorische Verbindungen enden mit einer Pfeilspitze, inhibitorische mit einem Punkt. (Nach Anderson 1996)

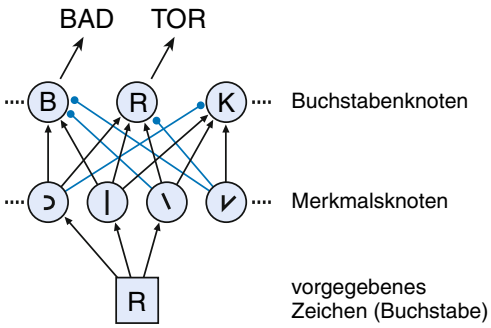


Abb. 3.77 Erweitertes konnektionistisches Netzwerk zwischen einigen Merkmalsknoten (*untere Ebene*) und Buchstabenknoten (*obere Ebene*)

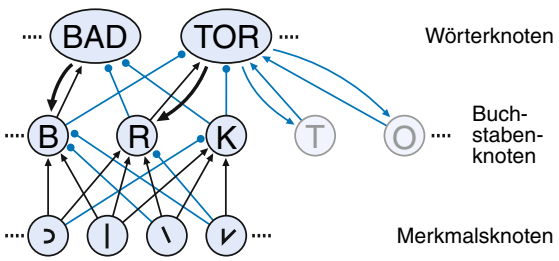


Abb. 3.78 Erweitertes konnektionistisches Netzwerk mit zusätzlichen Wörterknoten und Top-down-Verbindungen

Exkurs 3.22

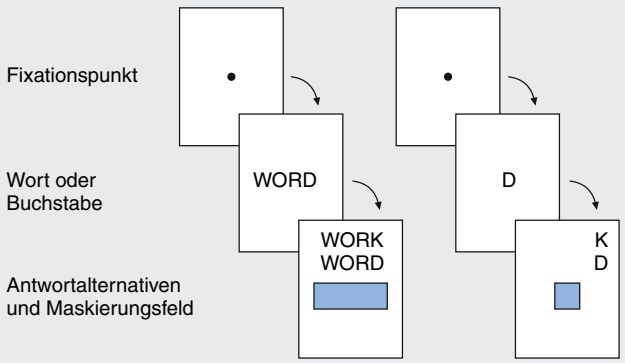
Experiment: Reichers Experiment zur Buchstabenerkennung

Werden Versuchspersonen aufgefordert anzugeben, welchen Buchstaben sie gesehen haben, wenn ihnen ein solcher für nur sehr kurze Zeit auf einem Bildschirm gezeigt wurde, so gelingt ihnen dies erstaunlicherweise besser, wenn der Buchstabe als Teil eines ganzen Wortes präsentiert wird, als wenn er nur allein dargeboten wird. In seinem Experiment präsentierte Reicher den Versuchspersonen zunächst einen Fixationspunkt, um ihre Blickrichtung festzulegen. Darauf folgte dann für wenige Millisekunden die Darbietung eines einzelnen Buchstabens oder eines Wortes, das den Buchstaben am Wortende enthielt (◘ Abb. 3.79). Darauf folgten an eben derselben Position die Darbietung eines maskierenden Musters, das das visuelle Nachbild unterdrückt, und dazu in anderer Position zwei Antwortalternativen. War zuvor das Wort WORD gezeigt worden, konnten die Antwortalternativen beispielsweise WORD (Wort) oder WORK (Arbeit) sein. Wesentlich ist, dass sich die Wortalternativen nur in einem Buchstaben unterschieden. War zuvor ein D gezeigt, sahen die Versuchspersonen anschließend entweder ein D oder ein K als Alternativen.

Die Versuchspersonen hatten dann unmittelbar zu entscheiden, um welche Alternative es sich bei dem vorher gezeigten Wort oder Buchstaben handelte. Dabei zeigte sich, dass der tatsächlich gezeigte Buchstabe besser erkannt wurde, wenn er im Kontext eines Wortes präsentiert wurde, was als Wortüberlegenheitseffekt bezeichnet wird (Reicher 1969; Wheeler 1970).

Eine alternative Erklärung zu dem in unserem Text dargestellten konnektionistischen Ansatz bietet Massaro (1979) mit seinem FLMP-Modell (*fuzzy logical model of perception*), das auf einer unscharfen Logik, der Fuzzy-Logik, beruht. Massaro geht dabei davon aus, dass der Kontext (das Wort) und der Stimulus (der Buchstabe) zwei unabhängige Informationsquellen zur Interpretation des Stimulusmusters darstellen. Nach seinen weiteren Untersuchungen lassen sich diese beiden Evidenzen als Wahrscheinlichkeiten darstellen, die additiv miteinander verrechnet die Gesamtwahrscheinlichkeit der Buchstabenerkennung ergeben. In unserem Beispiel lässt sich vorstellen, dass die Versuchspersonen gerade die ersten drei Buchstaben als WOR erfasst haben und vom letzten Buchstaben die obere Rundung. Wäre der Buchstabe allein dargeboten und ebenso wenig erkannt worden, bliebe ungewiss, ob es sich um ein B, D, C, O oder Q handelt. Im Kontextzusammenhang mit WOR dagegen würde dieses einzige Merkmal (oben rund) genügen, um den Buchstaben richtig wahrzunehmen (Rumelhart und Siple 1974).

◘ **Abb. 3.79** Versuchsverlauf zur Feststellung des Wortüberlegenheitseffekts. (Rumelhart und Siple 1974)



aktiviert, in denen sie als Teil vorkommen. Wird beispielsweise der Buchstabe K vorgegeben und werden damit die drei Knoten der unterschiedlich ausgerichteten Linien einschließlich des Winkels aktiviert, so werden nun in dem Netzwerk wiederum alle drei Merkmale den Knoten für K aktivieren. Die Senkrechte und die linksschräge Diagonale darüber hinaus auch den Knoten für R, während der Knoten für B nur von einem Merkmal (der Senkrechten) aktiviert wird. Das heißt, nur bei dem Knoten für K werden alle Merkmale aktiviert. Somit wird folglich als beste Passung (*best match*) dieser Buchstabe ausgewählt beziehungsweise erkannt.

Dieses vereinfachte Netzwerk funktioniert jedoch nicht, wenn es den Buchstaben R erkennen soll. Hierbei würden sowohl alle notwendigen Merkmale für den Knoten B (gebogene Linie und Senkrechte) aktiviert, als auch für den Knoten R (gebogene Linie, Senkrechte und linksschräge Diagonale). Das Netz muss also auch den Fall vorsehen, dass ein Buchstabe, der zum Beispiel eine linksschräge Diagonale aktiviert, nicht ein B sein kann. Daher umfassen die konnektionistischen Netzwerke, ähnlich wie die bereits besprochenen neuronalen Schaltpläne, auch die Möglichkeit **hemmender Verbindungen**. Diese hemmende Wirkung wird in konnektionistischen Netzwerken mit einem ausgefüllten Kreis am Verbindungsende angegeben, wie in ◘ Abb. 3.77 dargestellt. Dieses erweiterte Netzwerk enthält also zusätzlich hemmende Verbindungen zwischen den Merkmalsknoten und den Knoten der Buchstaben, die das jeweilige Merkmal nicht enthalten. Dies bedeutet für unseren Beispielfall, dass die linksschräge Diagonale den B-Knoten hemmt und damit die Gesamterregung dieses Knotens mindert, während für den R-Knoten keine Minderung auftritt. Damit erhält nur Knoten R die notwendige Aktivierung und wird folglich als beste Passung erkannt.

Aber auch dieses erweiterte Netzwerk ist noch unvollständig und bedarf einer weiteren Ergänzung. Es erklärt nämlich noch nicht, warum wir einen Buchstaben, zum Beispiel R, leichter und schneller erfassen, wenn er nicht allein, sondern als Teil eines Wortes dargeboten wird (siehe Reichers Experiment zur Buchstabenerkennung in ▶ Exkurs 3.22) oder ähnliche Inhalte im Gedächtnis bereits vorher aktiviert wurden. Betrachten wir hierzu das um eine Ebene mit „Wörterknoten" erweiterte Netzwerk in ◘ Abb. 3.78.

1. Die **Wörterknoten** erhalten ebenfalls hemmende und aktivierende Verbindungen von den kognitiv tiefer liegenden Buchstabenknoten (**Bottom-up-Prozesse**).
2. Von den Wörterknoten gehen aktivierende Verbindungen nach unten zu den Buchstabenknoten (**Top-down-Prozesse**).

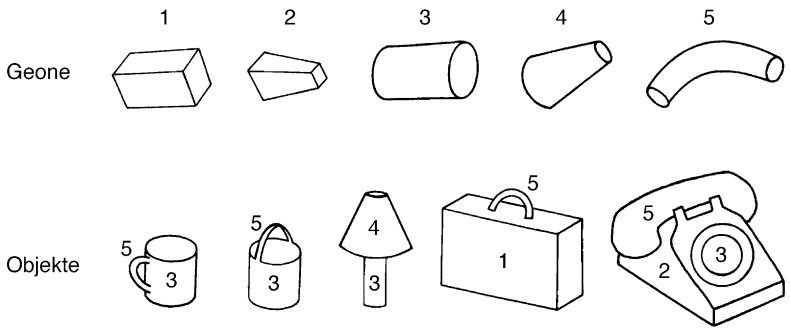


Abb. 3.80 Beispiele für Geone und aus ihnen zusammengesetzte Objekte. Die Zahlen auf den Objekten geben an, um welche Geone es sich handelt. Der Vergleich macht deutlich, dass die Grundformen nicht völlig starr zu denken und die Relationen zwischen den Geonen von hoher Bedeutung sind. Gleiche Geone können unterschiedliche Objekte bilden. (Biederman 1987, publisher: APA, reprinted with permission; APA is not responsible for the accuracy of this translation)

Mit diesen absteigenden Verbindungen, die von einer kognitiv höheren zu einer tieferen Ebene führen, lässt sich nun erklären, warum der in einem Wortzusammenhang kurzzeitig gezeigte Buchstabe besser erkannt wird als ohne diesen. Betrachten wir dazu nochmals unser letztes Beispiel. Wenn der Buchstabe R vorgegeben wird, aber diesmal nur sehr kurzfristig, sodass vielleicht nicht alle seine Merkmale vollständig aktiviert werden und damit die Erregung, die daraufhin am Knoten R ankommt, nicht ganz ausreicht, könnte der Buchstabe nicht erkannt werden. Wird aber dagegen der Buchstabe R zum Beispiel in dem Wort TOR vorgegeben, kommt es nicht nur zu einer Aktivierung der R-Merkmale und des R-Knotens, sondern parallel dazu auch über die Aktivierung der Merkmale von T und O zur Erregung der Knoten von T und O, die alle zusammen den übergeordneten Knoten für TOR aktivieren. Dieser kann nun seinerseits über **Top-down-Verbindungen** zur Aktivierung seiner Buchstabenknoten, also auch des R-Knotens, beitragen. Damit besteht für den Buchstaben, wenn er innerhalb eines Wortes präsentiert wird, eine zusätzliche Erregungsquelle, die dazu führt, dass er im Experiment leichter erkannt wird, als wenn er allein dargeboten wird.

In dieser Weise ist auch das komplexere Netzwerk von McClelland und Rumelhart in Abb. 3.76 zu verstehen. Hier kann zum Beispiel ein horizontaler Balken (in der unteren Ebene) vorzugsweise die Identifizierung eines A, nicht aber eines I unterstützen, was wiederum die Wahrnehmung zugunsten von TRAP und nicht von TRIP unterstützt. In dem Maße, wie nun der Knoten TRAP aktiviert ist, kann dieses Wort rückwirkend wiederum die Wahrnehmung der einzelnen Buchstaben T, R, A und P sowie der Wahrnehmung ihrer Merkmale unterstützen – man bezeichnet dies als **Wortüberlegenheitseffekt**. Wenngleich die Rechenvorgänge, die dieses **Modell interaktiver Aktivierung** postuliert, äußerst komplex sind, ist es in der Lage, viele Befunde zur Worterkennung zu simulieren sowie Handschriften und Sprache zu erkennen (Coren et al. 1999).

Unter den verschiedenen derzeit diskutierten Modellen zur Simulation der im Nervensystem tatsächlich ablaufenden Verarbeitungsprozesse gilt das hier in vereinfachender Form dargestellte Modell von McClelland und Rumelhart als eines der erfolgreichsten, und es wird im Zusammenhang mit Gedächtnisprozessen häufig verwendet.

Erkennung natürlicher Objekte

Der im vorangehenden Absatz besprochene konnektionistische Ansatz befasste sich speziell mit der Erkennung von Buchstaben und Wörtern, und damit im Grunde auch nur mit einem Teilbereich der von Treisman in Betracht gezogenen Verknüpfung einzelner Elementarmerkmale. Zu diesen zählte Treisman neben der Form auch die Farbe, Textur und Größe, die auf den verschiedenen, in Abb. 3.74 aufgeführten fünf Verarbeitungsstufen zu einem einzigen Objekt integriert werden

Wenden wir uns nun einem Ansatz zu, der die Erkennung natürlicher dreidimensionaler Objekte und Gegenstände zu erklären versucht. Die Gestaltmerkmale natürlicher Objekte sind zweifellos komplexer als Buchstabenmerkmale wie einfache Linien und Bögen. Dennoch müssten auch diese Merkmale so gestaltet sein, dass sich durch ihre Kombination die Vielfalt der möglichen erkennbaren Objekte erhalten lässt, ähnlich wie sich Buchstaben aus Linien und Bögen zusammensetzen lassen. Weiterhin müssen die Merkmale von Objekten auch so beschaffen sein, dass sie aus noch einfacheren Merkmalen wie Linien und Kurven zusammengesetzt und konstruiert werden können, denn, wie wir bereits gesehen haben, sind solche einfachen Gestaltmerkmale offenbar die einzige Information, die den frühen Stufen unserer Wahrnehmung überhaupt zugänglich ist.

Auf diesen Voraussetzungen aufbauend entwickelte Biederman (1987) einen Ansatz, der die Vielfalt der uns bekannten mehrdimensionalen Objekte und Gegenstände, also die **natürlichen Objekte**, umfasst, und der dabei ebenfalls von **elementaren Grundbausteinen** ausgeht, elementaren geometrischen Teilkörpern, die als **Geone** (von „geometrische Ione", nach Biederman) bezeichnet werden. Biederman führt aus, dass sich aus insgesamt 36 solcher Geone, wie Zylinder, Kegel oder Quader (Abb. 3.80), durch vielfältige Kombination Tausende von unterschiedlichen Objekten herstellen lassen, wie es beispielhaft für einige einfache Objekte illustriert wird. Ferner lassen sich diese Geone auch allein aus ihren Grundmerkmalen erkennen. So unterscheiden sich in Abb. 3.80 Geon 2 (Kubus) und Geon 3 (Zylinder) nur dadurch, dass der Zylinder runde Schnittlinien (Kanten) hat, der Kubus dagegen nur gerade Kanten. Eine bedeutsame Eigenschaft der postulierten Geone ist, dass sie sogenannte *nicht zufällige Merkmale* besitzen, die bei Betrachtung aus verschiedensten Perspektiven erkennbar bleiben.

Dass nun auch **Geone als Merkmale** fungieren, aus denen unser Erkennen die erkannten Objekte zusammensetzt, ähnlich wie bei der Buchstabenerkennung, machen Experimente wahr-

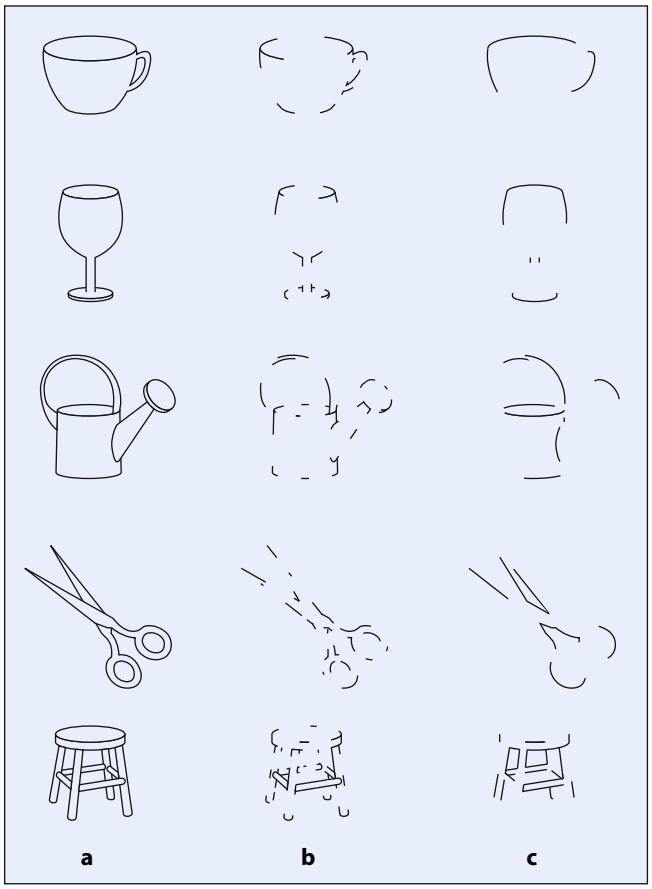


Abb. 3.81 Objekterkennung und Geon-Entdeckbarkeit. a Die Objekte sind vollständig und leicht zu erkennen, b Die Weglassungen bei den Darstellungen sind so gewählt, dass die Geone noch entdeckt werden können, c Die Objektdarstellungen sind so weit reduziert, dass die Geone nicht mehr kenntlich sind. Hier ist die Objekterkennung am schlechtesten. (Nach Biederman 1987, publisher: APA, reprinted with permission; APA is not responsible for the accuracy of this translation)

scheinlich, in denen den Teilnehmern Bilder von zum Teil abgedeckten bekannten Gegenständen zum Erkennen vorgegeben wurden (Abb. 3.81). Dabei wurden die Abdeckungen so gewählt, dass sie entweder die Geone weitgehend verbargen, indem ihre Schnittpunkte verdeckt wurden (Abb. 3.81c), oder aber die Geone erkennbar blieben (Abb. 3.81b). Selbst wenn mehr als die Hälfte der Konturen eines Objektes abgedeckt werden, seine Geone aber identifizierbar bleiben, können wir das Objekt noch erkennen. Sind jedoch die Geone nicht mehr wahrnehmbar, wird es auch unmöglich, den Gegenstand zu erkennen. Das Gleiche trifft zu, wenn wir einen Gegenstand aus einer ungewöhnlichen Perspektive sehen, aus der die zugrunde liegenden Geone schwer oder gar nicht erkennbar werden können, wie bei dem in Abb. 3.82a dargestellten Kerzenleuchter.

Außer der Identifikation der einzelnen Merkmale eines Objektes nach dem Prinzip der **Rückgewinnung der elementaren Teilkörper** (Biederman) ist für die Objektbeschreibung auch die räumliche Relation dieser Teile zueinander von Bedeutung. Beispielsweise bilden Bogen und Zylinder (in Abb. 3.79) einen Eimer. Wenn der Bogen dagegen seitlich mit dem Zylinder verbunden ist, bilden sie zusammen eine Tasse.



Abb. 3.82 a Was ist das? (Becker-Carus 2004, S. 179, Abb. 5.22A)

Die endgültige Erkennung dieser Objekte als Tasse oder als Eimer bedarf aber noch eines weiteren Schrittes. Wenn die Merkmale oder Eigenschaften verknüpft sind, nehmen wir nach Treisman ein Objekt wahr, das wir nun mit im Gedächtnis eingespeicherten Repräsentationen vergleichen, um hier wiederum die beste Passung zu finden und das Objekt als solches (als Haus, Tasse, Baum) zu identifizieren, ähnlich wie wir dies bereits bei der Buchstabenerkennung kennengelernt haben (Hummel und Biederman 1992).

So haben wir auch bei der Objekterkennung zu unterscheiden zwischen der **Bottom-up-Verarbeitung**, bei der das wahrgenommene Objekt auf seine einfachen Einzelmerkmale analysiert und seine Geon-Konfiguration bestimmt wird, und der anschließenden **Top-down-Verarbeitung**, bei welcher der durch seine Elemente bestimmte Gegenstand mit dem Wissen (Erwartung oder Vertrautheit) des Beobachters über die Bedeutung des Gegenstandes verknüpft wird. Hier gewinnen Vorkenntnisse, Vertrautheit sowie Erwartungen Einfluss darauf, was wir wahrnehmen. So erkennen wir zum Beispiel in Abb. 3.79 die (unten) dargestellten Objekte als Tasse, Telefon oder Lampe.

Von besonderer Wichtigkeit ist auf dieser Top-down-Verarbeitungsstufe der Einfluss von Kontexteffekten auf unsere Wahrnehmung. Biederman (1981) illustrierte in einem bekannt gewordenen Experiment mit diesem Effekt die Top-down-Verarbeitung, indem er seinen Teilnehmern Bilder darbot, auf denen ein Hydrant entweder an seinem normalen Platz auf einem Bürgersteig zu sehen war oder aber an einer unmöglichen und unerwarteten Stelle, wie etwa auf einem (amerikanischen) Briefkasten (Abb. 3.83). Wie Biederman feststellte, wurde der Hydrant hier weitaus schlechter identifiziert, und die Beobachter machten mehr Fehler. Ähnlich dürfte es Ihnen selbst ergehen, wenn Sie in einem weit entfernten Ferienort unerwartet einem Seminarpartner begegnen. Sie werden ihn möglicherweise nicht gleich erkennen. Treffen Sie ihn jedoch während des Semesters im Seminar, wo Sie ihn ohnehin erwarten, erkennen Sie sofort, wenn er in den Raum tritt, das ist Kai. In diesem Kontext haben Sie aufgrund Ihres gespeicherten Wissens die Erwartung, dass Sie hier Kai sehen werden.



Abb. 3.82b Lösung: Abb. 3.82 **a** zeigt das Objekt aus einer Perspektive, bei der die meisten Geone verdeckt sind. **b** Jetzt sind viele Geone erkennbar und damit auch der Leuchter. (Becker-Carus 2004, S. 180, Abb. 5.22B)

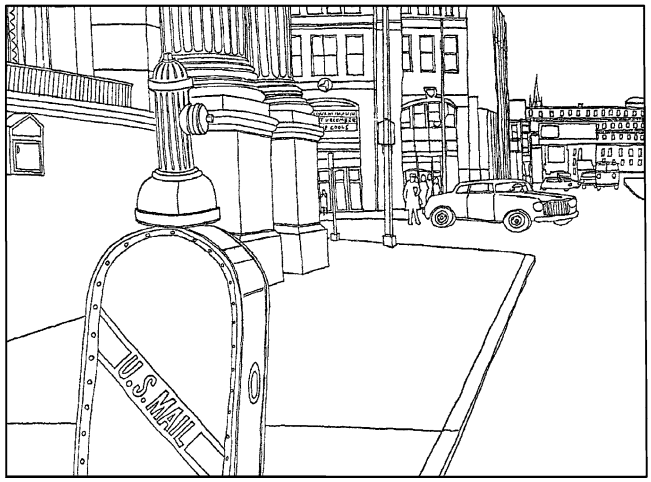


Abb. 3.83 Bekannte Bildvorlage von Biederman (1981), die er in seinen Experimenten verwendete, auf der die Versuchspersonen den hier an ungewöhnlicher Stelle positionierten Hydranten erkennen sollten, was bei dieser Darstellung weit länger dauert als in einer kohärenten Szene mit dem Hydranten am Straßenrand. (Biederman 1981)

Exkurs 3.23

Genauer betrachtet: Scheinbewegung

Das zugrunde liegende Phänomen wurde 1875 von F. M. R. Exner entdeckt: Werden dicht nebeneinander zwei elektrische Funken in unmittelbarer zeitlicher Folge erzeugt, erscheint zwischen beiden eine räumliche Bewegung. Diese Erzeugung einer Bewegungswahrnehmung wurde 1912 von Max Wertheimer, dem Begründer der Gestaltpsychologie, systematisch untersucht und von ihm als **Phi-Phänomen** bezeichnet (Wertheimer1912, Steinman et al. 2000). Sie lieferte ihm eines seiner entscheidenden Argumente gegen die Elementenpsychologie seiner Zeit. Den Grundaufbau seiner *Experimentellen Studie über das Sehen von Bewegung* zeigt Abb. 3.84a. Der Betrachter sieht in einem dunklen Raum auf einem Projektionsschirm zunächst auf der linken Seite einen Lichtbalken für kurze Zeit aufleuchten. Darauf folgt für circa 50 ms eine Dunkelphase, bevor dann auf der rechten Seite des Feldes ein gleich gestalteter Lichtbalken kurz aufleuchtet. Was der Beobachter aber sieht, unterscheidet sich deutlich von dieser Reizvorgabe: Er nimmt nämlich während der zwischengeschalteten Dunkelphase eindeutig eine **kontinuierliche Bewegung** des Lichtbalkens von links nach rechts wahr. Dieses Phänomen wird als Scheinbewegung (Phi-Phänomen) bezeichnet. Wir nehmen also mehr wahr, als an Sinnesreizung tatsächlich vorliegt, und dies widerspricht, so argumentierte Wertheimer, eindeutig der Vorstellung der damals vorherrschenden Elementenpsychologie, dass sich die Wahrnehmung als einfache Addition von Sinnesempfindungen ergibt. Da es zwischen beiden Lichtbalken keine Reize gibt, kann es auch keinerlei Sinnesempfindung geben, die das Wahrnehmen des sich bewegenden Lichtbalkens erklären könnte. Was wir ganzheitlich wahrnehmen, ist „mehr als die Summe seiner Teile".

Die Erzeugung einer Scheinbewegung lässt sich auch in einem einfachen Selbstversuch demonstrieren. Hierzu verwenden Sie ein Streichholz, das Sie auf zwei gegenüberliegenden Seiten mit jeweils einem Punkt markieren; die Punkte sollen dabei, wie in der Abb. 3.84b veranschaulicht, auf unterschiedlicher Höhe liegen. Wenn Sie nun das Streichholz zwischen Daumen und Zeigefinger zunächst langsam, dann schneller vor- und zurückdrehen, sollten Sie zunächst beide Punkte nacheinander sehen, dann aber bei zunehmender Geschwindigkeit und Erreichen eines genügend kurzen Reizzwischenintervalls das Hin- und Herspringen als zusammenhängende Bewegung wahrnehmen.

Das gleiche Prinzip liegt auch dem bekannten, sogenannten „Daumenkino" zugrunde, bei dem Sie ein kleines Notizbuch am Daumen entlang durchblättern, in welches Sie zuvor entsprechend versetzte Punkte oder Figuren gezeichnet haben, die sich dann beim schnellen Durchblättern zu bewegen scheinen.

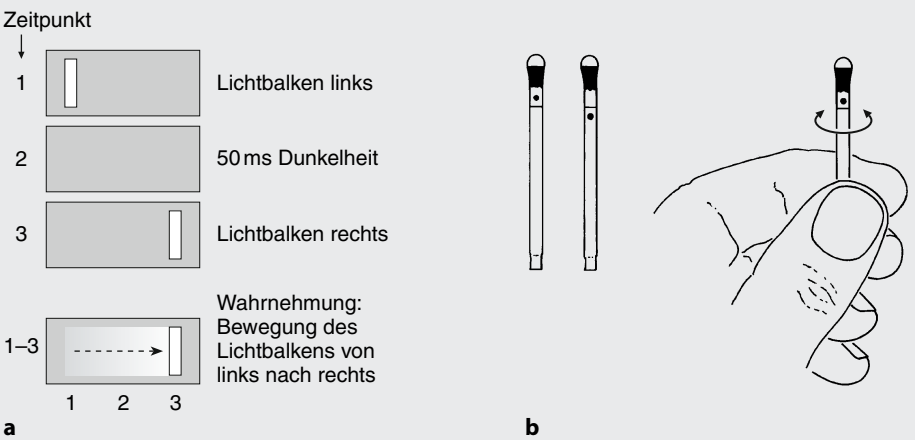


Abb. 3.84 Herstellung von Scheinbewegung (nach Goldstein 1997, S. 273, Abb. 7.10)

Um Top-down-Prozesse handelt es sich auch, wenn Wünsche oder Motive unsere Wahrnehmung beeinflussen. So könnte es sein, wenn wir hungrig (Motivation) den Kühlschrank öffnen, dort eine Tomate oder einen Apfel sehen, wo in Wirklichkeit (unerwartet) nur ein roter Ball liegt.

3.3.9 Bewegungswahrnehmung

Um uns in unserer alltäglichen Umwelt zurechtzufinden, reicht es nicht aus, dass wir statische Gegenstände als Objekte erkennen und lokalisieren können, sondern wir müssen auch ihre Bewegung, Bewegungsrichtung oder sogar ihre Flugbahn erfassen, und das können wir mit erstaunlicher Präzision. Sobald zum Beispiel beim Ball- oder Tennisspiel der Ball seine Flugbahn beginnt, erkennt das Gehirn der Gegenspieler sofort die Geschwindigkeit, die Richtung wie auch das Drehmoment (*spin*) des Balles, berechnet in Sekundenbruchteilen, wo er sich nur wenige Zehntel Sekunden später befinden wird, und dirigiert bereits, ehe nur 0,15 s verstrichen sind, Arme und Körper so, dass sie dem Ball ausweichen oder ihn genau mit dem Schläger treffen und ihm die neue beabsichtigte Zielrichtung geben. Solche im Einzelnen unbewusst in unserem Wahrnehmungssystem und Gehirn ablaufenden Berechnungsvorgänge sind erstaunlich.

Aber auch, wenn wir uns im täglichen Autoverkehr zurechtfinden, zum Beispiel beim Ausweichen oder Überholen auf der Autobahn, erkennt und berechnet unser Wahrnehmungssystem Bewegung und Bewegungsrichtung der anderen Fahrzeuge wie auch des eigenen. Da Wahrnehmung von Bewegung auch im Tierreich überlebenswichtig ist, entwickelte sich diese Fähigkeit schon früh in der Evolution, bei manchen Tieren auch, ohne dass sie über räumliche Tiefenwahrnehmung oder Farbdifferenzierung verfügen. Wie wir im Folgenden sehen werden, hat auch die Bewegungswahrnehmung verschiedene Aspekte und eine lange Untersuchungsgeschichte, an deren Anfang bereits die Frage stand: Was ist die Ursache dafür, dass wir Bewegung wahrnehmen können?

Stroboskopische oder Scheinbewegung

Wie bei anderen Wahrnehmungsphänomenen ist es auch hier so, dass wir „Bewegung“ ohne Mühe und anscheinend direkt wahrnehmen. Und die einfachste Erklärung wäre, dass wir die Bewegung eines Objektes dadurch wahrnehmen, dass sich das Abbild des Gegenstandes über die Retina bewegt und hier nacheinander verschiedene Rezeptoren erregt. Aber dieser Ansatz erwies sich als zu einfach, denn wir sehen auch dann Bewegung, wenn sich nichts über die Retina bewegt, sondern nur einzelne Lichtpunkte zeitlich und räumlich versetzt auf die Retina projiziert werden. Eine solche **Scheinbewegung** demonstriert ein klassisches Experiment von Max Wertheimer (▶ Exkurs 3.23), in dem er das bereits 1875 von F. M. R. Exner entdeckte Phänomen genauer untersuchte: die stroboskopische Scheinbewegung, die vom Daumenkino über Film und Fernsehen bis hin zu modernen Lightshows wahrgenommen wird.

Wie Wertheimer zeigen konnte, entsteht der Eindruck einer **natürlich gleitenden Bewegung**, wenn man in einem dunklen Raum nacheinander in einem bestimmten zeitlichen Abstand dicht nebeneinander liegende Lichtstreifen aufleuchten lässt.

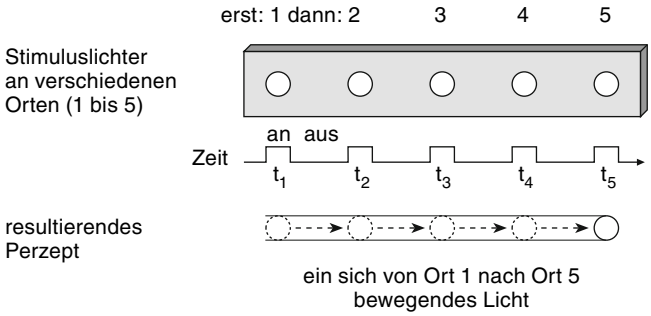


Abb. 3.85 Stroboskopische Bewegung. Drei nacheinander von links nach rechts aufleuchtende Lichter werden bei einem bestimmten zeitlichen Intervall des Aufleuchtens nicht mehr als einzelne Lichtpunkte, sondern als ein definitives, von links nach rechts sich bewegendes Licht wahrgenommen

Weitere Untersuchungen zeigten, dass die Art der Bewegung sowohl von der zeitlichen Abfolge des Aufleuchtens der Lichtstreifen als auch von deren räumlichem Abstand dazwischen abhängig ist. Bei kurzem Zeitintervall (<30 ms) werden gleichzeitig beide Lichtstreifen gesehen (keine Bewegung). Wird das Zeitintervall verlängert (30–60 ms), kommt es zunächst zur Wahrnehmung von Teilbewegungen. Bei weiterer Verlängerung des Zeitintervalls (je nach räumlichem Abstand), etwa beginnend bei 60 ms, kommt es zur Wahrnehmung der vollständigen Scheinbewegung (Abb. 3.85). Bei Reizzwischenintervallen von mehr als 200 ms erlischt die Bewegungswahrnehmung schließlich, und die Lichtbalken werden wieder als einzeln nacheinander aufleuchtend wahrgenommen. Bei größerer Entfernung zwischen beiden Lichtbalken muss entweder das Zeitzwischenintervall verlängert oder die Intensität der Lichtbalken erhöht werden, um die Wahrnehmung derselben Scheinbewegung zu erhalten (▶ Exkurs 3.24).

Stroboskopische Bewegung

Stroboskopische Bewegung (oder auch Scheinbewegung) bezeichnet die Wahrnehmung einer kontinuierlichen Bewegung infolge des Nacheinanderaufleuchtens nahe beieinander liegender einzelner unbewegter Lichtpunkte in bestimmtem kurzzeitigen Abstand.

Auch bei der Bewegung, die wir im Kino oder Fernsehen wahrnehmen, handelt es sich um stroboskopische, das heißt durch einzelne stehende Bilder erzeugte Scheinbewegung. Jedes der aufeinanderfolgenden Bilder unterscheidet sich nur minimal von dem vorhergehenden. Ihre Projektion auf dem Bildschirm erfolgt in entsprechend schneller Folge mit jeweils einer kurzen dazwischengeschalteten Dunkelphase. Bei der heute verwendeten Frequenz von 24 bis 30 Bildern pro Sekunde ist eine kontinuierliche Bewegungswahrnehmung gewährleistet, die der frühe Film mit 16 Bildern pro Sekunde nicht erreichen konnte, weshalb dessen Figuren sich noch so sprunghaft und ruckartig bewegen.

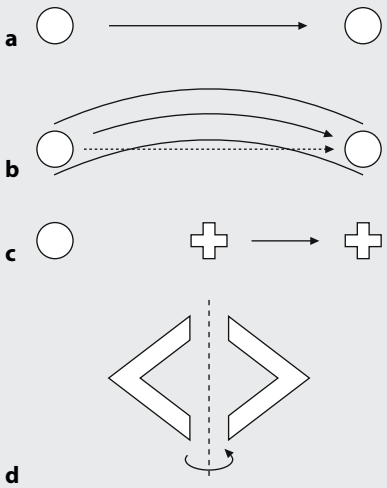
Aber auch bei einfachen Mustern konstruiert das visuelle System offenbar jeweils einen real sinnvollen Bewegungsablauf. Werden einem Beobachter auf einem Schirm kurz nacheinander zwei V-förmige Lichtbalken gezeigt, wie in Abb. 3.86d dargestellt, dann erfolgt die wahrgenommene Bewegung ebenfalls

Exkurs 3.24

Genauer betrachtet: Weitere Faktoren zur Scheinbewegung

Bei den bisher besprochenen einfachen Reizmustern von zwei Punkten oder zwei gleich ausgerichteten Lichtbalken erfolgt die Bewegung gewöhnlich auf dem kürzestmöglichen Weg zwischen beiden Positionen (Regel des kürzesten Weges, ◘ Abb. 3.86 Teil **a**). Interessanterweise werden von unserem Wahrnehmungssystem bei der Erzeugung der Scheinbewegung auch zusätzliche Reize mitberücksichtigt und sinnvolle „Interpretationen" gewählt, die dem kürzesten „sinnvollen" Weg entsprechen. Wird auf dem Schirm, auf dem die beiden Lichtpunkte nacheinander aufleuchten, eine Bogenkontur eingezeichnet (6b), dann nimmt die Scheinbewegung bevorzugt den längeren gekrümmten Weg und nicht die direkte Verbindung des kürzesten Abstands. Sie folgt damit dem **Prinzip der guten Fortsetzung**, also einem der **Gestaltgesetze** (Korte 1915).

Verwendet man nicht nur zwei, sondern drei Lichtpunkte (◘ Abb. 3.86c), von denen zunächst der mittlere, dann die beiden äußeren aufleuchten, und gibt nur einem von diesen dieselbe Gestalt wie dem ersten Lichtreiz, so erfolgt (bei gleichen Abständen!) die Scheinbewegung nur zwischen diesen gleich gestalteten Reizen, was nicht der Fall ist, wenn alle drei Lichtpunkte die gleiche Form haben – entsprechend dem **Prinzip der Ähnlichkeit**. Auch bei komplexen, bedeutungshaltigen Reizmustern erzeugt unser Wahrnehmungssystem offenbar die real mögliche Scheinbewegung und nicht die kürzestmögliche Verknüpfung, was auch eine entsprechend längere Zwischenzeit erfordert: Shiffrar und Freyd (1993) gaben ihren Versuchspersonen zwei Fotos von ein und derselben Personen mit unterschiedlichen Armpositionen vor, die sich durch eine Scheinbewegung nur über einen Umweg verbinden ließen. Die Faust der rechten Hand war im einen Bild vorne rechts, im anderen vorne links zu sehen. Die direkte Bewegungsrichtung von rechts nach links war aber in beiden Bildern durch den nach vorn ausgestreckten linken Arm blockiert. Nach der Regel des kürzesten Weges sollte die Scheinbewegung der rechten Faust also durch den linken Arm hindurch erfolgen müssen. Dies war jedoch tatsächlich nur dann der Fall, wenn das Bildfolgeintervall sehr kurz (unter 200 ms) war. Bei einem Bildfolgeintervall ab etwa 200 ms nahmen die Versuchspersonen dagegen eine Bewegung auf dem längeren, aber kürzest sinnvollen Weg um den ausgestreckten Arm herum wahr. Offenbar, so schlossen Shiffrar und Freyd, braucht das visuelle System einige Zeit, um die Wege für solche Scheinbewegungen zu konstruieren, die mit den Bewegungseinschränkungen übereinstimmen.



◘ **Abb. 3.86** Weitere Vorlagen zur Herstellung von Scheinbewegung

nicht direkt, sondern rotiert räumlich in der dritten Dimension um eine nicht vorhandene senkrechte Achse (Korte 1915).

Die Ergebnisse dieser psychophysischen Experimente können nach Shiffrar (1994) darauf hinweisen, dass die zwei notwendigen unterschiedlichen Informationen, nämlich (1) **wo** sich das Reizmuster befindet und (2) **was** es räumlich darstellt, auf den aus der Physiologie bereits bekannten getrennten Bahnen, dem parietalen **Wo- Pfad** und dem temporalen **Was-Pfad**, verarbeitet werden.

Induzierte Bewegung

Es gibt einen weiteren Fall, in welchem wir Bewegung wahrnehmen, ohne dass sich das als bewegt wahrgenommene Reizbild über die Retina bewegt: Sie sitzen im haltenden Zug und blicken aus dem Fenster auf den ebenfalls stehenden Nachbarzug und haben plötzlich den Eindruck, dass Ihr Zug sich in Bewegung setzt, und merken erst bei dem Blick durch das gegenüberliegende Fenster auf den Bahnsteig, dass nicht Ihr Zug, sondern der Nachbarzug angefahren ist.

Induzierte Bewegung

Das Phänomen, dass die Bewegung eines Sehfeldbereiches (in der Regel des größeren) die Wahrnehmung der Bewegung eines anderen (meist des kleineren) Objektes induziert, wird als induzierte Bewegung bezeichnet.

Experimentell wurde dieses Phänomen zuerst 1929 von dem Gestaltpsychologen Duncker untersucht, der seinen Versuchspersonen in einem verdunkelten Raum einen kleinen Lichtring innerhalb eines größeren beleuchteten rechteckigen Rahmens zeigt (Duncker 1929). Wird nun ausschließlich der Lichtrahmen bewegt, zum Beispiel nach links, so berichten die Versuchspersonen jedoch, dass sich der kleine Lichtring nach rechts bewegt, nicht aber der Rahmen. Das gleiche Phänomen werden Sie sicher schon selbst erlebt haben, wenn Sie in einer windigen Nacht beim Anblick des Mondes den Eindruck hatten, als raste der Mond durch die Wolken, während in Wirklichkeit nicht der Mond, sondern die Wolken (die den größeren Sehfeldbereich einnehmen) sich bewegten. Auf diese Weise wird auch im Film Bewegung eines stationären Objektes induziert, indem ein großflächiger Hintergrund vorbeigezogen oder vorbeibewegt wird, der als Großfeldreiz stationär erscheint und die Wahrnehmung induziert, als bewege sich das kleinere Objekt (ein Reiter auf einem Pferd, ein Mensch im Fall) im Vordergrund.

Besonders eindrucksvoll erleben wir eine induzierte Bewegung, wenn wir im Auto an einer roten Ampel plötzlich den Eindruck haben, wir rollen rückwärts, obgleich wir mit ganzer Kraft auf die Bremse treten. Induziert wird diese Bewegungswahrnehmung dann zumeist durch einen großen Laster oder das vor uns langsam anfahrende Fahrzeug, das einen wesentlichen Gesichtsfeldanteil einnimmt. Bemerkenswert ist, dass die induzierte Eigenbewegung in beiden geschilderten Fällen wahrgenommen wird, obgleich keine Signale von unserem Gleichgewichtssystem ausgehen, das uns sonst jede Eigenbewegung anzeigt.

Bewegungsnacheffekt

Diese Art von Scheinbewegung tritt auf, wenn wir längere Zeit (circa 1 min) intensiv auf ein sich kontinuierlich in einer Rich-

tung bewegendes Ganzfeld schauen, zum Beispiel einen Wasserfall oder einen schnell fließenden Fluss unter der Brücke. Blicken wir dann weg und woanders hin, scheint sich für kurze Zeit alles in der Gegenrichtung zu bewegen. In diesem Fall induziert also die Betrachtung eines vorangehenden, in einer bestimmten Richtung bewegten Reizmusters anschließend die Gegenbewegung – man bezeichnet dies als **Bewegungsnacheffekt** oder **Wasserfalltäuschung**. Dabei liegt nahe, dass es sich physiologisch um einen ähnlichen Ermüdungsmechanismus wie bei den komplementären farbigen Nachbildern handeln könnte. Tatsächlich fanden Barlow und Hill (1963) bei ihren elektrischen Ableitungen von richtungsempfindlichen Zellen in der Netzhaut von Kaninchen Indizien dafür, dass Bewegungsdetektoren nach einer Bewegungsreizung über das zugehörige rezeptive Feld ihre Entladungsrate für kurze Zeit unter das Niveau der Spontanrate senken, also die entgegengesetzte Reaktion zeigen.

Autokinetischer Effekt

Dieser Effekt besteht darin, dass wir als Beobachter einen Lichtpunkt sich bewegen sehen, der realiter seine Position unverändert beibehält. Diese Illusion oder Wahrnehmungstäuschung tritt auf, wenn wir in einem ansonsten völlig abgedunkelten Raum einen einzelnen, feststehenden Lichtpunkt, ein Lämpchen oder besser einen auf eine Wand projizierten Lichtpunkt, für längere Zeit betrachten. In einer solchen Situation, in der es für uns keine weiteren Raumkoordinaten oder sonstigen orientierenden Anhaltspunkte gibt, sehen wir nach einigen Minuten, wie der kontinuierlich betrachtete Lichtpunkt sich langsam aus seiner ursprünglichen Position wegbewegt, wobei er die verschiedensten Wegformen beschreiben mag.

Dieser autokinetische (etwa: selbstbewegte) Effekt lässt sich darauf zurückführen, dass unsere Augen auch bei strengster Fixierung eines Blickpunktes, physiologisch durch die Augenmuskulatur bedingt, in ständiger Mikrobewegung sind – die uns nur bei starker Vergrößerung (zum Beispiel beim Blick durch das Fernrohr) zu Bewusstsein kommt – und die Rückmeldung über die Augenstellung (vgl. Reafferenz, ◘ Abb. 3.47) nur unvollständig gelingt. Unter normalen Umständen wird diese Unschärfe durch gleichzeitig beobachtete feststehende Raumpunkte ausgeglichen, was aber im völlig dunklen Raum unterbunden ist. Interessanterweise ist aber unsere bewusste Wahrnehmung in solchen Situationen für andere orientierende Hinweise offen, zum Beispiel auch für verbale Hinweise anderer Versuchsteilnehmer. Sherif (1935) konnte in seinen Untersuchungen zeigen, dass die Berichte durch andere Versuchspersonen (in Wirklichkeit eingeweihte Helfer des Versuchsleiters) eindeutig gesteuert werden können. Berichteten die anderen Teilnehmer, dass sie das Licht nach links wandern sehen, so hatten auch die Versuchspersonen den Eindruck, dass das Licht nach links wandert. Die wirklichen Versuchspersonen berichteten diese Bewegungsrichtung nicht nur während der sozialen Beeinflussung; auch später, als sie wieder allein waren, beschrieben sie eine Lichtbewegung in der gleichen (vorher sozial intendierten) Richtung.

In der Sozialpsychologie ist das Phänomen des autokinetischen Effekts auch unter dem Namen **Sherif'sches Experiment** bekannt und wird zur Demonstration der Wirkung **sozialer Beeinflussung** auch der Wahrnehmung eines Individuums durch andere Personen genutzt.

Reale Bewegung

Aus den vorausgegangenen Darlegungen über die Wahrnehmung von Scheinbewegungen und induzierten Bewegungen, aber auch aus der Betrachtung von Größen- und Lokationskonstanz dürfte deutlich geworden sein, dass sich das Wahrnehmen und Erkennen von Bewegung äußerst komplex gestaltet. Wir haben bereits gesehen, dass es viele Ursachen gibt, die uns veranlassen, „Bewegung" wahrzunehmen. Wie aber findet unser Wahrnehmungssystem bei den vielfältigen Reizmöglichkeiten heraus, wann und wo es sich wirklich um reale Bewegung handelt und welches Objekt sich wirklich bewegt, zumal wenn unsere Augen sich oder wir uns selbst in Bewegung befinden?

1. Manche Bewegungsfolgen von Reizen, die über die Retina streifen, müssen von vornherein ausgesondert und den eigenen Blickbewegungen über ruhende Objekte zugeordnet werden, wie dies zum Beispiel beim Lesen der Fall ist. Hier handelt es sich um Eigenbewegung (siehe Reafferenz, ◘ Abb. 3.47).
2. Andere Bewegungsfolgen von Reizen auf der Retina müssen dagegen wirklich sich bewegenden Objekten zugeschrieben werden, zum Beispiel, wenn ein Ball durch unser Gesichtsfeld fliegt, also die Erkennung von realer Bewegung bei stationärem Blickfeld.
3. Manche Objekte, die ein stationäres Bild auf die Retina projizieren, müssen dennoch als bewegt erkannt werden, wie das der Fall ist, wenn wir dem fliegenden Ball genau mit dem Blick folgen, also die Erkennung von realer Bewegung bei bewegtem Blickfeld.
4. Manche Objekte, deren Abbilder sich über die Retina bewegen, müssen als stationär gesehen werden, wenn wir beispielsweise dem fliegenden Ball mit dem Blick folgen und der stationäre Hintergrund sich über die Retina bewegt. In diesem Fall muss nichtreale Bewegung eliminiert werden.

Dabei zeigt sich, dass wir weitaus besser in der Lage sind, **relative Bewegung**, das heißt die Bewegung eines Objektes gegen einen strukturierten Hintergrund, zu erkennen als die **absolute Bewegung** eines Objektes, wenn der Hintergrund diffus ist oder (im Dunklen) nur das bewegte Objekt gesehen wird (autokinetischer Effekt). Besondere Fähigkeiten scheint unser Wahrnehmungssystem für die Analyse relativer Bewegungen auch einzelner Punktemuster zu besitzen, insbesondere wenn sie menschlichen (auch tierischen) Bewegungsfolgen zugeordnet werden können. Diese Art von Bewegung wird in der Forschung heute als biologische Bewegung bezeichnet.

Biologische Bewegung

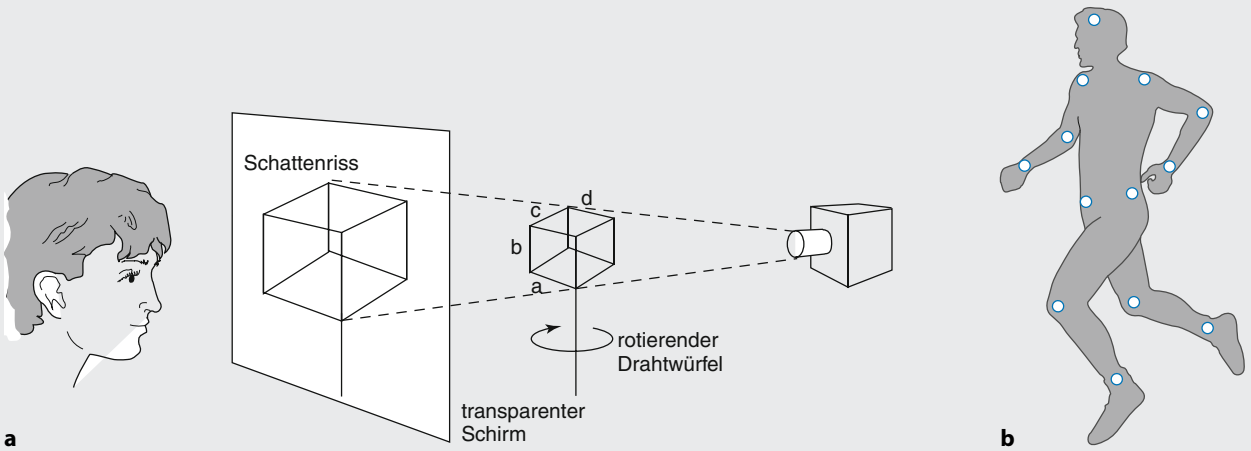
Bewegungen, die Menschen beim Laufen, Gehen, Aufstehen oder beim Heben eines Gewichtes vollziehen, sind komplex und setzen sich aus verschiedenen Bewegungskomponenten relativ zueinander zusammen. Werden im Experiment nur die entsprechenden Bewegungen von gefilmten Punktemustern gezeigt, nehmen wir diese sofort als räumliche Bewegungen von Personen oder auch Tieren wahr (▶ Exkurs 3.25).

Exkurs 3.25

Genauer betrachtet: Bewegungserzeugte räumliche Tiefe

Die Erzeugung eines dreidimensionalen Eindrucks aus den Bewegungen einer zweidimensionalen Figur wurde bereits von dem Gestaltpsychologen Wolfgang Metzger (1934) eingehend untersucht. Projiziert man zum Beispiel den Schatten eines Würfels auf eine flache Mattglasscheibe, wie in ◘ Abb. 3.87a dargestellt, wirkt er zunächst völlig flach. Wird der Würfel dann aber um eine feststehende Achse langsam rotiert, erzeugt der sich bewegend verändernde zweidimensionale Schatten auf der Mattglasscheibe einen eindeutig dreidimensionalen Eindruck.

Das gleiche Phänomen wurde bei den Untersuchungen zur **biologischen Bewegung** bei Menschen und Tieren beobachtet. In diesen Untersuchungen wird eine Untersuchungsperson mit einer Reihe von zehn bis zwölf Lämpchen versehen, wie in ◘ Abb. 3.87b dargestellt. In einem dunklen Raum, in welchem nur noch die Lämpchen zu sehen sind, werden nach einer anfänglichen Ruhestellung verschiedene Bewegungen dieser Person (gehen, laufen, hinsetzen oder tanzen) gefilmt. Der fertige, nur zweidimensionale Bilder enthaltende Film wird dann Beobachtern als Bewegungsvorlage dargeboten. Zunächst, solange die Lichtpunkte in Ruhe verharren, geben die Beobachter an, nur ein „zufälliges geometrisches Muster von Lichtpunkten ohne erkennbare Bedeutung" zu sehen. Sobald sich aber die Lichtpunkte in Bewegung setzen, erkennen die Beobachter sofort (200 ms nach Bewegungsbeginn), dass es sich um Bewegungen einer Person handelt, die geht, läuft oder tanzt. Diese Bedeutungswahrnehmung gelingt nicht, wenn es sich nur um die Spur eines einzelnen Lämpchens (zum Beispiel am Handgelenk) handelt. Erst die relative Bewegung der Lämpchen zueinander erzeugt die nun auch sofort dreidimensionale Personenwahrnehmung (Johansson 1975, 1986; dazu *Zusatztext online*).



◘ **Abb. 3.87** Bewegungserzeugte räumliche Tiefe. (**a** Goldstein 1997, S. 296, Abb. 7.43; **b** Hilgard et al. 2003, p. 159, Fig. 5.9)

Die gesteuerte Bewegung eines zunächst bei Ruhe als zufällig erscheinenden Punktemusters erzeugt also eine bedeutungshaltige, strukturierte Wahrnehmung. Dabei konnte von den Beobachtern sogar unterschieden werden, ob die Lichtpunkte von einer gehenden weiblichen oder männlichen Person stammten. Auch gelang es recht genau zu schätzen, wie schwer ein Gewicht war, das die Person anhob (Runeson und Frykholm 1981).

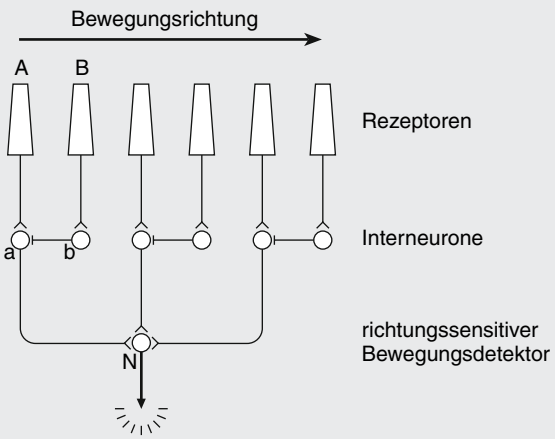
Unser visuelles Wahrnehmungssystem verfügt über verschiedene Mechanismen und Detektorsysteme, die es ermöglichen, diese unterschiedlichen Verursachungen von Bewegung zu analysieren und reale Bewegung für uns wahrnehmbar zu machen, nämlich:

- Zu 1.: Das Grundprinzip, nach dem es möglich ist, die durch Eigenbewegung verursachte Bewegung des Retinabildes abzufangen beziehungsweise durch Rückverrechnung zu eliminieren, haben wir bereits als Reafferenzprinzip im Zusammenhang mit Wahrnehmungskonstanzen (◘ Abb. 3.49 und ▶ Exkurs 3.16) kennengelernt.
- Zu 2.: Zur Erkennung bestimmter Muster realer Bewegung auf der Netzhaut verfügt das visuelle Nervensystem über spezifische Zellen im visuellen Cortex, die jeweils nur auf spezifische Formen oder Bewegungen ansprechen, nicht aber auf andere. Dabei reagiert jede Zelle optimal nur auf eine spezifische Richtung oder besondere Geschwindigkeit der Bewegung, sodass eine differenzierte Zuordnung der Einzelanteile möglich wird, die dann bei einfachen neuronalen Verschaltungen auch die passende zugehörige motorische Reaktion (reflexartig) auslösen können (zum Beispiel Schutzlidschlag bei plötzlicher Annäherung eines auch kleinen Gegenstandes an das Auge). Kenntnis von Existenz und Funktion solcher Zellen verdanken wir tierexperimentellen Untersuchungen, in denen man die elektrischen Reaktionsimpulse gezielt von einzelnen Zellen im visuellen Cortex ableitete, während dem Tier unterschiedliche Bewegungsreize dargeboten wurden. Mithilfe solcher Einzelzellableitungen hat man corticale Zellen gefunden, die zum Beispiel nur auf eine ganz bestimmte Richtung einer Bewegung mit elektrischen Entladungen antworten, bei allen anderen Bewegungen jedoch nicht feuern. Andere corticale Zellen antworten dagegen beispielsweise nur, wenn der sich über die Retina bewegende Reiz sehr klein ist (nicht größer als ein Winkelgrad); wieder andere reagieren nur, wenn sich ein Objekt direkt auf unseren Kopf zubewegt, was zweifellos einen hohen Überlebenswert hat (Regan und Cynader 1979). So gibt es eine Vielzahl verschiedener **Bewegungsdetektoren**, die das Retinabild analysieren (▶ Exkurs 3.26).

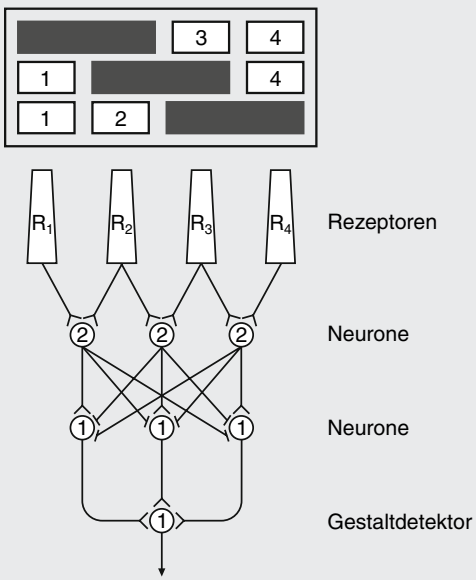
Exkurs 3.26

Genauer betrachtet: Schaltpläne neuronaler Detektoren

Wie schon erwähnt, verfügen wir im visuellen Cortex, und zwar im Areal V2 der Area striata, über Neurone, die differenziert auf bestimmte Bewegungsrichtungen ansprechen. Im einfachsten Fall geschieht dies, wenn ein Bild- oder Lichtpunkt in einer vorgegebenen Richtung über die feststehende Retina bewegt wird. ◘ Abb. 3.88 zeigt einen einfachen Schaltplan (nach Reichardt 1961) wie wir ähnliche bereits in ◘ Abb. 3.19 kennengelernt haben, der für das nachgeschaltete Neuron (N) eine solche Erkennung ermöglicht. Der Schaltplan besteht aus mehreren (hier drei) gleichartig organisierten Einheiten mit je zwei Rezeptoren, einem hemmenden (b) und einem die Erregung weiterleitenden (a) Neuron.
Betrachten wir zunächst den Fall, dass ein Lichtpunkt von rechts nach links über das Rezeptorenfeld bewegt wird. In jeder der Einheiten würde zunächst der Rezeptor B aktiviert, der über das hemmende Interneuron b zu einer (hier vollständig angenommenen) Hemmung von a führt. Gleich darauf würde der bewegte Lichtpunkt den Rezeptor A erreichen, der nun seinerseits ein erregendes Signal an Neuron a sendet, das aber bereits von b gehemmt („inhibiert") ist und folglich keine Erregung weiterleitet. In dieser Reihenfolge (von rechts nach links) gereizt, gelangen folglich die Signale der Rezeptoren A und B nie über a hinaus und erreichen niemals das nachgeschaltete Neuron N. Eine Bewegung von rechts nach links wird nicht erkannt. Dagegen wird aber sehr wohl eine Bewegung von links nach rechts erkannt. In diesem Fall wird in jeder Einheit zuerst der Rezeptor A aktiviert, der seinerseits das Neuron a erregt, ehe eine Hemmung von B über b erfolgen kann. Wenn der bewegte Lichtpunkt nun den Rezeptor B erreicht und dieser das hemmende Interneuron b erregt, kommt seine Hemmung in a erst an, nachdem dieses seine Erregung bereits an das nachgeschaltete Neuron N weitergegeben hat. In gleicher Weise reagieren auch die anderen parallelen Einheiten, sodass Neuron N kontinuierlich aktiviert wird, solange sich ein Bildpunkt über das Feld der zugehörigen Rezeptoren bewegt. Es „erkennt" eindeutig eine Bewegung von links nach rechts.
Diese Art von **Bewegungsdetektoren** dürfte auch für das Phänomen des **Bewegungsnacheffektes** („Wasserfalltäuschung") verantwortlich sein, der, wie dargestellt, nur dann auftritt, wenn wir längere Zeit unverwandt in gleicher Blickrichtung auf das bewegte Feld des Wasserfalls (oder im Experiment: eines vorbeigezogenen Streifenmusters) blicken, nicht aber, wenn wir der Wasserfall- oder Streifenbewegung mit dem Auge folgen (Anstis und Gregory 1964).
Außer in der Area striata wurden in jüngster Zeit auch in extrastriären Regionen (bei Affen), speziell im mediotemporalen Areal (MT) des Cortex (und hier zu 90 %), richtungsempfindliche Neurone gefunden. Auch hier konnte durch Verhaltenstests nachgewiesen werden, dass eine hohe Korrelation besteht zwischen der Leistung, eine bestimmte vorgegebene Bewegungsrichtung richtig zu beurteilen, und der gleichzeitig abgeleiteten Aktivität einzelner MT-Neurone (Newsome et al. 1989).
Schon früh entwickelten McCulloch und Pitts (1943) in ihrer *Theorie der Nervennetze* theoretische Vorstellungen über Prinzipien und Funktionen der Informationsverarbeitung in neuronalen Systemen. Die von ihnen entwickelten Grundannahmen zur Darstellung neuronaler Schaltpläne, die bereits kurz umrissen wurden, liegen auch dem in ◘ Abb. 3.89 dargestellten Schaltplan zugrunde, der das informationstheoretische Grundprinzip eines einfachen Gestaltdetektors zeigt.
Er ermöglicht eine einfache, leicht nachvollziehbare Form des Gestalterkennens eines gerade zwei Rezeptoreinheiten großen Reizes (schwarzer Balken), unabhängig von der Lage auf dem Rezeptorfeld. Die hier auf nur vier Rezeptoren beschränkte „Retina" wird infolge lateraler Inhibition zwischen den ersten und zweiten Interneuronen das letztlich nachgeschaltete Endneuron immer nur dann aktivieren, wenn zwei unmittelbar benachbarte Rezeptoren gleichzeitig erregt werden, gleichgültig auf welcher Stelle der Retina dies erfolgt. Sie wird jedoch keine Erregung erhalten, wenn mehr als zwei Rezeptoren (andere Gestalt oder Größe) oder zwei durch ein unerregtes Element getrennte Rezeptoren aktiviert werden. Ein solcher Schaltplan würde in erster Näherung dem nahekommen, was ein **Käferdetektor** (siehe *Zusatztext online* sowie Absatz 5.6.5, Auslösemechanismen) leistet.



◘ **Abb. 3.88 Schaltplan für das Verschaltungsprinzip eines Bewegungsdetektors,** der auf eine Reizbewegung von links nach rechts, nicht aber auf eine solche in umgekehrter Richtung reagiert

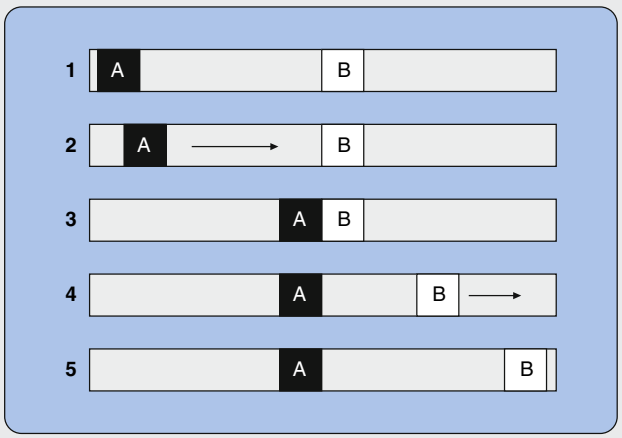


◘ **Abb. 3.89 Grundprinzip eines einfachen Gestaltdetektors.** Er erkennt einen gerade zwei Rezeptoren abdeckenden Lichtbalken unabhängig von dessen Lage auf dem gesamten (hier) vier Rezeptoren umfassenden Rezeptorfeld

Exkurs 3.27

Experiment: Kausalitätswahrnehmung

In seinem Demonstrationsexperiment ließ Michotte (1954 / 1963) seine Versuchspersonen die Bewegung von zwei gleich großen Quadraten beschreiben, die sich (in einer ausgetüftelten Apparatur) mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten in einem Sichtspalt auf einer weißen Fläche bewegten. Die fünf Phasen des Experimentes verdeutlicht die ◘ Abb. 3.90. In Phase 1 befinden sich beide Quadrate (A und B) in einem gewissen Abstand zueinander zunächst im Ruhezustand. In Phase 2 wird dann Quadrat A in Richtung auf Quadrat B bewegt. Für einen Sekundenbruchteil bleiben beide in Kontakt miteinander, ohne sich zu bewegen (Phase 3). Dann (Phase 4) startet B in der gleichen Richtung nach rechts, während A stehen bleibt. Schließlich (Phase 5) kommt Quadrat B in einiger Entfernung zum Stillstand. Je nach den gewählten Geschwindigkeiten hat der Beobachter bei diesem Experiment den unmittelbaren Eindruck unterschiedlicher Verursachung. Wenn die Kontaktzeit zwischen beiden (Zusammentreffen von beiden bis zum Starten von Quadrat B) sehr kurz (nicht mehr als eine Fünftel Sekunde) und die Geschwindigkeit von Quadrat A beim Auftreffen wesentlich höher ist als die, mit der sich Quadrat B bewegt, entsteht der überzeugende direkte Eindruck, dass Quadrat A die nachfolgende Bewegung von B verursacht und seine Energie direkt überträgt (Phase 1 bis 4). Diese wahrgenommene Verursachung ist im Sinne von Gibson (1982) in derselben Weise direkt wie die Wahrnehmung von räumlicher Tiefe. Dagegen kommt es nach Phase 2 zu der ebenso unmittelbaren Wahrnehmung des Auslösens (Releasing), wenn Quadrat B sich mit deutlich größerer Geschwindigkeit davonbewegt, als Quadrat A ankommt. Hier scheint sich Quadrat B nach Auslösung (Triggering) mit eigener Kraft wegzubewegen.



◘ **Abb. 3.90** Reizdarbietung im Experiment von Michotte (1954 / 1963)

Zu 3. und 4.: Anders dagegen muss das Erkennen von Bewegung erfolgen, wenn wir die Bewegung mit dem Auge verfolgen und das bewegte Objekt daher nur ein nahezu stationäres Abbild auf der Retina erzeugt (zum Beispiel die langsame Bewegung eines beleuchteten Flugzeugs am Nachthimmel). In solchen Fällen wird offenbar vom visuellen System die Information über die Nachfolgebewegung der Augen verrechnet, die der visuelle Cortex von den motorischen Arealen erhält, die die Augenbewegung gemäß den Informationen von der Lage des Retinabildes steuern (siehe dazu Informationsverrechnung im Vestibularapparat zur Kopfhaltung; Invariantenbildung ▶ Exkurs 3.15).

Kausalitätswahrnehmung

Die Wahrnehmung von Bewegung informiert uns nicht nur über die Richtung und Geschwindigkeit eines bewegten Objektes, sondern impliziert auch etwas über seine kausale (verursachende) Wirkung. Eine rollende Billardkugel, die auf eine andere auftrifft, scheint diese in Bewegung zu setzen. Dabei scheint die Bewegung der ersten irgendwie auf die zweite überzugehen, was, wie wir aus der Physik wissen, hier auch real der Fall ist. Doch wir haben es dabei nicht mit der physikalischen Kausalität zu tun, sondern mit wahrgenommener Kausalität, die der physikalischen nicht entsprechen muss. Hierzu führte der belgische Psychologe Michotte (1954 / 1963) eine Reihe von Experimenten durch, in denen er seinen Versuchspersonen in einem Sichtspalt zwei gleich große, sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit bewegende Quadrate zeigte (▶ Exkurs 3.27). Je nach Geschwindigkeit und Kontaktzeit beider Quadrate nahmen die Beobachter unmittelbar wahr, dass die Bewegung des zweiten Quadrats durch den Anstoß des ersten Quadrats kausal verursacht wurde oder dass das Starten des zweiten Quadrats durch die Ankunft des ersten ausgelöst wurde (◘ Abb. 3.90).

Weitere Information aus der Wahrnehmung von optischer Bewegung

Das Beispiel der Kausalitätswahrnehmung zeigt uns, dass die Wahrnehmung von Bewegung mehr für uns beinhaltet als nur die Wahrnehmung eines sich bewegenden Objekts.

1. Außer der Wahrnehmung möglicher Kausalitätszusammenhänge ermöglicht Bewegungswahrnehmung in vielen Fällen die Trennung von Objekten von ihrem Hintergrund (Auflösung von Tarnungen in der Natur, bewegte Objekte werden leichter zur Figur).
2. Bewegungswahrnehmung ermöglicht bewegungserzeugte räumliche Tiefe (Parallaxenverschiebung durch Eigenbewegung; zunehmendes Verdecken und Aufdecken; ◘ Abb. 3.32).

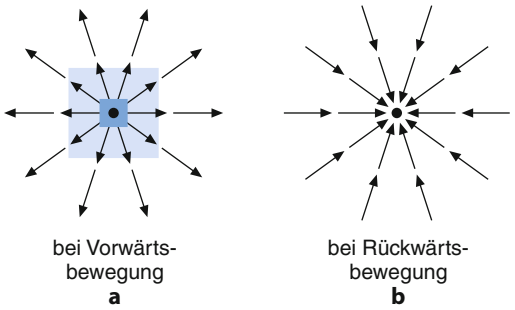


Abb. 3.91 Muster optischen Fließens a Bei jeder eigenen Vorwärtsbewegung fließen die Raumpunkte der Umwelt zentrifugal auseinander, wie im Auto oder in simulierten Computerspielen erlebbar, **b** Bei Rückwärtsbewegungen, zum Beispiel beim Blick aus dem letzten Wagen des Zuges, fließen die Raumpunkte zentripetal zusammen. (Goldstein 1997, S. 298, Abb. 7.48.)

3. Ferner kann sie unsere Augenbewegungen kontrollieren (eine Bewegung im peripheren Gesichtsfeld kann unseren Blick in diese Richtung lenken).
4. Sie liefert uns Information über unsere eigene Bewegung im Raum (Nakayama 1985, 1994; Gibson 1979 / 1986).
5. Sie ermöglicht das Erkennen dreidimensionaler Körper aus ihrer Bewegung (► Exkurs 3.25).

Muster optischen Fließens

Wenn wir uns in der Umwelt fortbewegen, erzeugen wir durch unsere Bewegung ein sich ständig und fließend veränderndes Bild dieser Umwelt auf unserer Retina (vergleiche hierzu den wahrnehmungsökologischen Ansatz, ► Exkurs 3.17). Nach Gibson (1979 / 1986) gewinnt unser visuelles System allein aus diesem **optischen Fließen** wesentliche Information sowohl über unsere eigene Bewegung als auch über Geschwindigkeit und Richtung der Umwelt. Bei jeder Vorwärtsbewegung entsteht ein sich ausdehnendes, bei jeder Rückwärtsbewegung ein sich zusammenziehendes Muster optischen Fließens (Abb. 3.91).

Dabei werden die sonst starren Texturgradienten zu **Bewegungsgradienten** (Abb. 3.92 und 3.93; die Pfeile unterschiedlicher Länge entsprechen den jeweiligen Fließgeschwindigkeiten). Alle Elemente einer Textur werden in systematischer Weise verschoben. Das Expansionszentrum des Auseinanderfließens der optischen Elemente kennzeichnet dabei immer den Zielort der momentanen Bewegung (vor uns) und das Konzentrationszentrum (hinter uns) die Richtung, aus der wir kommen. Fließmuster stellen somit ebenfalls Invarianten dar, aus denen sowohl Informationen über die Bewegungsrichtung als auch über die Geschwindigkeit der (Eigen-)Bewegung entnommen werden können. So liefert der Brennpunkt des **optischen Auseinanderfließens**, der mit dem Zielpunkt des Beobachters identisch ist, die invariante Information darüber, welchem Zielpunkt im Gelände er gerade zustrebt. Gibson (1982), der diese Beobachtungen als Pilot in einem Flugzeug machte, verdeutlichte diese Zusammenhänge unter anderem anhand des Anfluges einer Landebahn (Abb. 3.92). Das Auseinanderfließen der optischen Anordnung erfolgt hier vom Brennpunkt der Expansion am Horizont, wenn der Pilot nach vorn blickt. Wie die Länge der Pfeilspitzen symbolisiert, nimmt der Gradient des

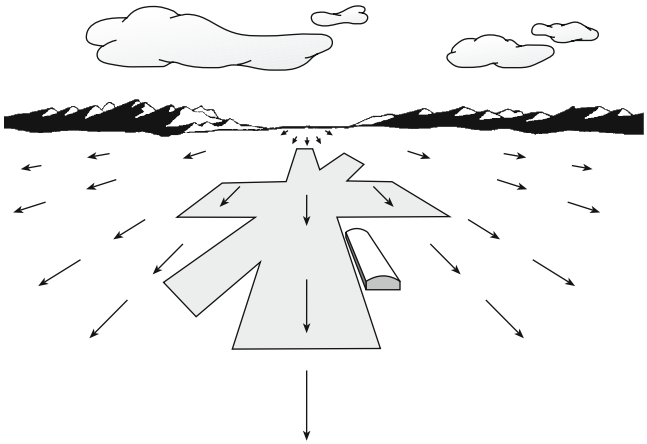


Abb. 3.92 Optisches Fließen der räumlichen Anordnung von einem Brennpunkt am Horizont aus, wie es der Pilot beim Anflug auf eine Landebahn nach vorn blickend erlebt. Vom Horizont her nimmt der Gradient des Fließens (zum Betrachter hin) zu. (Nach Gibson 1982)

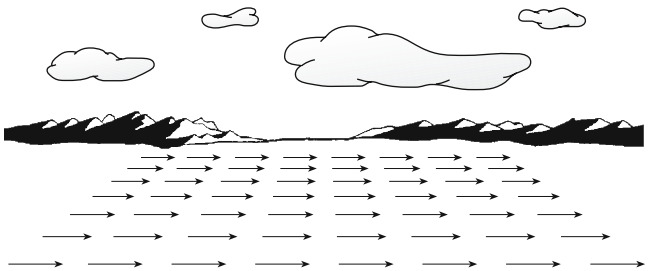


Abb. 3.93 Optisches Fließen der räumlichen Anordnung, wie es der Pilot beim Landeflug erlebt, wenn er nach rechts blickt. (Nach Gibson 1982)

Fließens (die Fließgeschwindigkeit) vom Horizont her zu. Beim Blick aus dem seitlichen Fenster nach rechts von der Flug- oder Fahrtrichtung erhalten wir das in Abb. 3.93 dargestellte Fließmuster, wobei die vorderen Elemente die hinteren zu überholen scheinen.

Das Besondere ist nach Gibson, dass mit dem Zentrum des optischen Auseinanderfließens, in dem es keine Bewegung mehr gibt, immer ein Zentrum des zentripetalen Zusammenfließens am entgegengesetzten Pol der kugelförmigen umgebenden Anordnung des Raumes einhergeht. Die Achse, die die beiden Brennpunkte miteinander verbindet, ist mit der Bahn unserer Fortbewegung identisch.

Sehwinkelveränderungen und optisches Fließen

Wie man sich anhand von Abb. 3.92 und 3.93 leicht vergegenwärtigen kann, ist das Näherkommen des optischen Auseinanderfließens immer mit einer **Sehwinkelvergrößerung** der einzelnen Objekte verbunden (Ausdehnung eines näher kommenden Quadrats). Diese ist für alle ruhenden Objekte stets gleich groß. Sie ändert sich aber für Objekte, die eine Eigenbewegung haben. Objekte, die auf uns zukommen, wie beispielsweise ein entgegenkommendes Auto, führen zu einer größeren Sehwinkelvergrößerung als die Objekte der umgebenden Landschaft. Aus diesem Unterschied kann unser visuelles System Information über die **Bewegungsgeschwindigkeit** des entgegenkommenden Objektes entnehmen. Das Gleiche trifft

Exkurs 3.28

Genauer betrachtet: Eine grundsätzliche Frage

Die Frage, ob wir das Wahrnehmen ganz oder teilweise erst lernen müssen, spaltete bereits die frühen Philosophen des 17. und 18. Jahrhunderts in zwei gegensätzliche Lager. Die **Nativisten** (unter anderem Descartes, Kant, Hering) argumentierten, dass uns die Art, wie wir die Welt wahrnehmen, von Geburt an mitgegeben ist, während die **Empiristen** (unter anderem Berkeley, Locke, Helmholtz) die Auffassung vertraten, dass wir dies erst durch die Erfahrung und den Umgang mit den Objekten um uns lernen.

So antwortete John Locke (1690) als Empirist, aber ohne empirische Erfahrung, einem seiner Kollegen, der ihm in einem Brief diese historische Frage stellte: Nein, er könne nicht. Der Kollege hatte angefragt: „Stellen Sie sich einen blind geborenen und nun erwachsenen Menschen vor, der bisher mit dem Tastsinn gelernt hat, zwischen einem Kubus und einer Kugel zu unterscheiden. Stellen Sie sich vor, ein Kubus und eine Kugel liegen vor ihm auf einem Tisch und der blinde Mann könnte plötzlich sehend gemacht werden. Könnte er jetzt unterscheiden und sagen, welches die Kugel und welches der Kubus ist?"

zu, wenn wir einem anderen Auto zunächst in immer gleichem Abstand folgen (das Auto folglich einen gleich bleibenden Sehwinkel einnimmt), dann aber näher heranfahren, wobei sich der Sehwinkel entsprechend vergrößert. Die Geschwindigkeit dieser Sehwinkelvergrößerung eines Objektes bei der Annäherung, die der Fließgeschwindigkeit der Texturelemente entspricht, liefert unserem Wahrnehmungssystem die notwendige Information, mit deren Hilfe uns eine erstaunlich exakte Abschätzung gelingt, wann bei gleicher Geschwindigkeit der Auffahrunfall einträfe, wenn wir nicht abbremsen würden (Lee 1976; McLeod und Ross 1983).

Wie diese in verschiedenen psychologischen Experimenten genauer untersuchten Phänomene vermuten lassen, muss unser Wahrnehmungssystem über entsprechende physiologische Mechanismen verfügen, die eine solche Informationsanalyse ermöglichen. Tatsächlich ließen sich in physiologischen Studien der letzten Jahre zum Beispiel Neurone in einem extrastriären Areal des Cortex nachweisen, die optimal auf sich zentrifugal nach außen ausdehnende Punktemuster ansprechen, nicht aber auf andere Bewegungen im optischen Feld (Graziano et al. 1994). Solche Neurone können als Detektorneurone verstanden werden, die dem Organismus durch ihre spezifische Reaktion die Annäherung anderer Objekte, unabhängig von deren sonstigem Aussehen, signalisieren.

3.3.10 Wahrnehmungslernen

Die Frage nach der **Rolle des Lernens** in der Wahrnehmung hat nicht erst den Philosophieprofessor Immanuel Kant (1724–1804) beschäftigt, der in seiner *Kritik der reinen Vernunft* (Kant 1781) seine Auffassung darlegte, dass Raum, Zeit und Kausalität *a priori* (vor jeder Erfahrung) Kategorien unserer Anschauung sind (Nativisten), sondern schon der zu den Empiristen zählende Philosoph John Locke (1632–1704) hatte sich Gedanken darüber gemacht, ob wir das Wahrnehmen ganz oder teilweise erst lernen müssen (▶ Exkurs 3.28).

Heute wissen wir, dass es sich nicht um ein Entweder-oder handelt, vielmehr spielen genetische Faktoren und Lernprozesse in der frühen Entwicklung des Nervensystems eng ineinander, und das Ziel der Forschung ist vielmehr, dieses Zusammenspiel genauer zu analysieren und zu verstehen.

Die ersten interessanten empirischen Antworten auf diese historische Frage verdanken wir Fällen wiederhergestellten Sehens, in denen von Geburt (durch grauen Star) blinde Personen durch Augenoperation (Ersatz der undurchsichtig trüben Augenlinsen) ihre Sehfähigkeit als Erwachsene wiedererlangten (Senden 1960). Als ihnen der Augenverband zum ersten Mal abgenommen wurde, waren diese Menschen zunächst verwirrt von der Vielfältigkeit der visuellen Reize. Sie konnten jedoch sogleich zwischen **Figur und Grund** (in gleichem Ausmaß wie Normalsichtige) unterscheiden. Sie konnten Objekte fixieren und deren **Bewegung** mit den Augen verfolgen. Diese Fähigkeiten waren offenbar angeboren. Sie konnten jedoch nicht die Dinge, die ihnen vom Tasten her vertraut waren, wie Löffel, Messer oder Gesichter, nach dem Seheindruck identifizieren. Auch konnten sie nicht ein Dreieck von einem Viereck unterscheiden, ohne die Ecken zu zählen oder die Figur mit dem Finger abzutasten. John Locke hatte also in gewissem Sinne recht mit seiner damals rein theoretisch gefundenen Antwort.

Die augenoperierten Starpatienten konnten merkwürdigerweise weiter auch nicht sagen, welcher von zwei ungleich langen Stäben der längere ist (ohne zu tasten), wohl aber, dass die Stäbe irgendwie unterschiedlich aussehen. Sie konnten aber zwischen Farben unterscheiden, ohne jedoch gleich die richtigen Namen zuordnen zu können. Dagegen brauchte es einige Wochen Übung, bis sie einfache Objekte nach ihrem Aussehen zu identifizieren lernten.

All diese Ergebnisse sind jedoch insofern nicht eindeutig, als sie bei längst erwachsenen Personen festgestellt wurden, die bereits eine lange Erfahrungsgeschichte ihres gesamten Wahrnehmungssystems hinter sich hatten. Daher fragt die neuere Forschung differenzierter: Welche Wahrnehmungs- und Unterscheidungsfähigkeiten haben Kinder (vor aller Erfahrung) bei ihrer Geburt, und wie ändern sich diese unter normalen und wie unter kontrollierten Entwicklungsbedingungen mit dem Älterwerden? Empirische Untersuchungen zu dieser Fragestellung stoßen naturgemäß insofern auf erhebliche (methodische) Schwierigkeiten, als Kleinkinder und insbesondere Neugeborene weder sprechen noch Instruktionen befolgen können und nur über recht begrenzte Verhaltensmöglichkeiten verfügen. Ein mögliches und vielfach angewandtes Verfahren ist das der **bevorzugten Aufmerksamkeitszuwendung** (vergleiche ▶ Exkurs 3.29). Heute stehen dafür auch Auswerteverfahren des EEGs (**evozierte Potenziale**) zur Verfügung, mit deren Hilfe nachweisbar wurde, dass sich das Sehvermögen des Objekterkennens beim Menschen erst in den ersten Lebensmonaten herausbildet (siehe ▶ Exkurs 3.32).

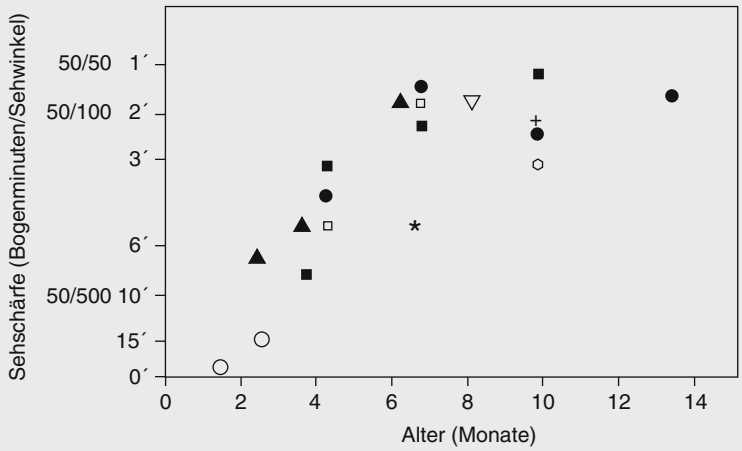
Exkurs 3.29

Genauer betrachtet: Bevorzugte Aufmerksamkeitszuwendung (*preferential looking method*)

Um das Aufmerksamkeitsverhalten zu untersuchen, zeigt man einem Kleinkind nebeneinander zwei unterschiedliche Reize und lässt von einem verborgenen Beobachter (oder per Video) protokollieren, wie lange der Blick auf dem einen oder anderen Reizmuster verbleibt. Die Reizmuster werden während des Experimentes nach dem Zufall gewechselt. Blickt ein Kind unter diesen Bedingungen konsistent länger auf eines der beiden Muster, lässt sich folgern, dass es zwischen beiden Mustern unterscheiden kann.

Nach diesem Verfahren lässt sich beispielsweise die **Formwahrnehmung** oder die **Sehschärfe** bei Kleinkindern sehr früh bestimmen. Hierbei besteht die eine Reizvorlage aus einem einfachen schwarz-weißen Streifenmuster, das andere aus einem uniformgrauen Feld. Sind anfangs die Streifen recht breit, blickt das Kind bevorzugt auf diese und nicht auf das graue Feld. Dann werden schrittweise schmalere Streifenmuster vorgegeben, bis das Kind keine Präferenz mehr zeigt. Vermutlich kann das Kind nun nicht mehr zwischen beiden unterscheiden, und auch das Streifenmuster erscheint wie eine einheitlich graue Fläche. Wie diese Untersuchungen zeigten, nimmt unter normalen Umweltbedingungen die Schärfe des Sehens in den ersten sechs Lebensmonaten schnell zu (wobei die Sehschärfe erst ab einem Alter von etwa einem Monat messbar ist), verlangsamt sich dann und erreicht nach ein bis zwei Jahren die Werte (Güte) von Erwachsenen (Courage und Adams 1990).

Außer mit diesem Verfahren zur Erfassung der visuellen Präferenz lässt sich heute die Schärfe des Sehens mit der physiologischen Methode des **visuellen evozierten Potenzials** objektiv messen. Hierbei wird über kleine, am Hinterkopf des Kindes aufgesetzte Elektroden die elektrische Aktivität über der Sehrinde aufgezeichnet, ähnlich wie beim EEG. Währenddessen blickt der Säugling auf ein graues Feld, das für kurze Zeit zwischendurch durch ein Muster aus schwarzen und weißen Streifen oder ein Schachbrettmuster ersetzt wird. Solange die Streifen oder Quadrate so groß sind, dass das visuelle System sie auflösen kann, wird in der Sehrinde ein visuelles evoziertes Potential (VEP) ausgelöst. Dagegen erfolgt keine Reaktion mehr, wenn das visuelle System die Muster nicht mehr auflösen kann. Die Ergebnisse solcher Sehschärfenmessungen im Laufe des ersten Lebensjahres nach dem VEP-Verfahren zeigt die Abbildung, aus der ebenfalls die schnelle Entwicklung bis zum sechsten Lebensmonat deutlich wird. Wie der ▶ Exkurs 3.32 zeigt, geht diese Entwicklung mit der neuronalen Entwicklung des visuellen Cortex und der Ausdifferenzierung seiner Neurone und Neuronenverknüpfungen in den ersten sechs Lebensmonaten einher.



Exkurs 3.30

Genauer betrachtet: Frühe sensorischen Deprivation

Einen Sonderfall stellen die **Kaspar-Hauser-Experimente** dar, in denen speziell soziale Erfahrung entzogen und das Tier sozial isoliert aufgezogen wird. Dies ist bei wirbellosen Tieren und niederen Wirbeltieren meist unproblematisch und führt zu klaren Ergebnissen dergestalt, dass der weitaus größte Teil der Wahrnehmungs- und Verhaltensinteraktion mit der Umwelt ungestört bleibt, was bedeutet, dass er bereits genetisch mitgegeben und weitgehend festgelegt ist (vgl. die Ausführungen zu den angeborenen Auslösemechanismen). Bei höheren Tieren, wie Vögeln und insbesondere Säugetieren, kann isolierte Aufzucht aber zu tief greifenden Störungen des gesamten Verhaltens führen, was dafür spricht, dass hier, wie wohl auch beim Menschen, eine normale Entwicklung der mitgebrachten Anlagen nur in einem besonderen Wechselspiel mit einer Aktivierung durch die Umwelt erfolgt. Dies trifft insbesondere auch für die Ausbildung der Wahrnehmungsorganisation zu.

Sensible Phasen der Wahrnehmungsentwicklung

Der wohl wichtigste Teil unserer Erkenntnisse über das Verhältnis von angeborenen und durch Lernen erworbenen Wahrnehmungsfähigkeiten geht auf den Untersuchungsansatz der **sensorischen Deprivation** im frühen Kindesalter (möglichst von Geburt an) zurück. Man hat die Entwicklung von Kindern mit Wahrnehmungsstörungen untersucht und vor allem vielfältige Deprivationsexperimente mit verschiedenen Tierarten durchgeführt, die unter Erfahrungsentzug (*sensory deprevation experiments*) aufgezogen wurden (▶ Exkurs 3.30).

So hat man junge Schimpansenbabys bis zum 16. Lebensmonat in völliger Dunkelheit aufgezogen – mit dem zunächst nicht erwarteten Ergebnis, dass die Tiere schwerwiegende Wahrnehmungsmängel aufwiesen, wenn sie nach den 16 Monaten erstmals

Exkurs 3.31

Kontrollierte visuelle Stimulation in kritischer Periode

In diesem Experiment wurden die Kätzchen in einer Umgebung aufgezogen, in welcher sie entweder nur senkrechte Streifen oder nur waagerechte Streifen zu sehen bekamen (Abb. 3.94), und zwar jeweils für fünf Stunden am Tag, während sie die restliche Zeit des Tages im Dunklen verbrachten. Wurden die Tiere im fünften Lebensmonat auf ihr Verhalten getestet, wurde deutlich, dass sie blind geworden waren für die Linienorientierung, mit der sie nicht stimuliert worden waren. Hatten sie während der **kritischen Periode** keine senkrechten Streifen zu sehen bekommen, konnten sie sich wohl auf eine waagerechte Stuhlfläche setzen, sie liefen aber blindlings gegen die senkrechten Stuhlbeine, die sie nicht wahrnehmen konnten. Umgekehrt war es bei den anderen Katzen, die keine Waagerechten gesehen hatten. Sie konnten die Sitzfläche des Stuhles nicht sehen und waren nicht bereit, auf die Stuhlfläche zu springen (Blakemore und Cooper 1970).

Einzelzellableitungen zeigten, dass die richtungsempfindlichen Neurone des visuellen Cortex entsprechende Veränderungen aufwiesen. Bei den mit horizontalen Streifen aufgezogenen Tieren reagierten diese Neurone ausschließlich auf horizontale Stimuli und keine Neurone auf vertikale Reize. Die Tiere, die hingegen mit vertikalen Streifen aufgezogen waren, hatten nur noch auf vertikale Streifen reagierende Neurone (Movshon und Van Sluyters 1981).



Abb. 3.94 Streifenzylinder, in welchem die jungen Katzen, auf einer Glasplatte stehend und mit einer Halskrause versehen, ständig und bei jeder Körperbewegung nur das Streifenmuster zu sehen bekommen. Die in völliger Dunkelheit aufgezogenen Katzen wurden von der zweiten bis fünften Lebenswoche täglich fünf Stunden in diese kontrollierte visuelle Umgebung gesetzt und anschließend unter normalen Umweltbedingungen gehalten. Untersucht wurden die Veränderungen im visuellen Cortex. (Goldstein 2014, S. 67, Abb. 3.34)

ins Helle kamen und untersucht wurden. Insbesondere kam es unter diesen Bedingungen zu weit reichenden **Atrophien** (Rückbildungen) sowohl von Zellen in der Retina als auch von neuralen Strukturen bis hin zum visuellen Cortex (Binns und Salt 1997). Offenbar ist von Anfang an eine bestimmte Menge von Lichtstimulation für die Erhaltung der visuellen Neurone unabdingbar. Derart starke Rückbildungen treten jedoch nicht auf, wenn die Tiere bereits älter sind. Erwachsene Katzen können für längere Zeit eine Augenklappe tragen, ohne dass es zu dergleichen Schäden kommt. Weitere derartige Untersuchungen führten zu der Erkenntnis, dass es offenbar eine **sensible Phase** oder **kritische Periode** auch für das visuelle System gibt, innerhalb welcher der Organismus für seine normale Entwicklung besonderer Reize bedarf. So konnten Cynader et al. (1980) nachweisen, dass das visuelle System dauerhaft geschädigt bleibt, wenn es innerhalb seiner kritischen Periode keine ausreichende Lichtstimulation erhält.

In späteren Studien verwendete man daher halbtransparente Brillen oder Augenklappen, die zwar diffuses Licht passieren, aber keine Musterung oder Strukturierung erkennen ließen. Tiere (Affen, Schimpansen, Katzen), die unter diesen Bedingungen von der Geburt bis zum ersten, zweiten oder dritten Lebensmonat aufgezogen wurden, zeigten nun zwar keine Störungen der einfacheren Wahrnehmungsfähigkeiten. Sie konnten fast unvermindert gut Unterschiede zwischen Helligkeiten, Größen und Farben wahrnehmen, aber komplexere Prozesse, wie das Nachverfolgen von bewegten Objekten mit den Augen oder die besagte Unterscheidung zwischen einem Kreis und einem Dreieck, waren nicht möglich (Riesen 1960).

Veränderte Raumwahrnehmung

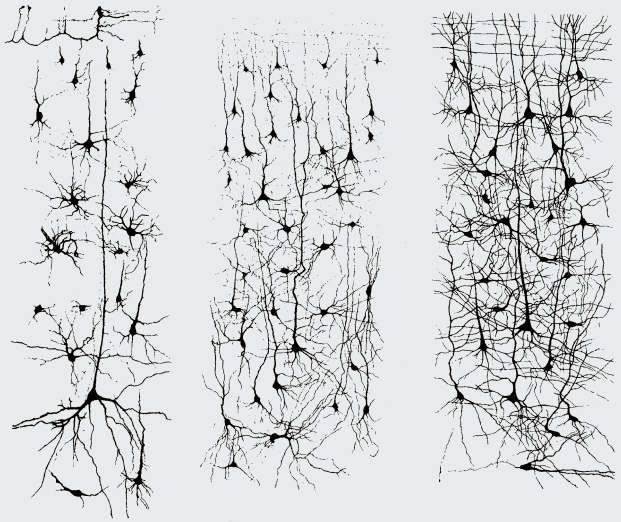
Einen wesentlichen Schritt weiter in der Beantwortung unserer Frage nach der Rolle der Erfahrung für unsere Wahrnehmung führten die Untersuchungen, in denen die aufwachsenden Tiere kontrolliert nur ganz bestimmten Lichtreizen ausgesetzt wurden. In einem solchen Experiment wurden junge Kätzchen in einer Umgebung aufgezogen, in welcher es nur helle runde Flecken zu sehen gab, aber niemals gerade Linien, Konturen oder Winkel. Wurden diese Tiere anschließend einer Untersuchung unterzo-

Exkurs 3.32

Genauer betrachtet: Kritische Periode beim Menschen

Vom menschlichen Auge ist bekannt, dass es in seiner Entwicklung bis zum dritten Lebensjahr noch anpassungsfähig bleibt. Dies ist von besonderer Bedeutung beim **Schielen** (Strabismus) im frühen Kindesalter. Hier erzeugt zwar das in Schielstellung befindliche Auge auch ein Bild, das aber nicht als Doppelbild wahrgenommen, sondern einfach durch Nichtbenutzung unterdrückt wird. Es kann dadurch nicht nur zu einer **Sehschwäche** des nicht benutzten Auges kommen, sondern vor dem dritten Lebensjahr auch zur Rückbildung des räumlichen binokularen Sehvermögens, da der nötige Empfang ähnlicher Reize aus beiden Augen für die Entwicklung der binokularen Neurone der Sehrinde erforderlich ist. Nur durch rechtzeitige Korrektur oder zeitweise Abdeckung des bessersichtigen Auges vor dem Ende des dritten Lebensjahres kann diese Fehlentwicklung verhindert werden. Auch beim Menschen ist bei der Geburt im Gehirn erst etwa 1 % der künftigen Zellverbindungen hergestellt, die in den ersten Lebensjahren rasch vervollständigt werden (◘ Abb. 3.95). In dieser Zeit dürften sicher, und zwar nicht nur im hier besprochenen visuellen Bereich, die persönlichen Wahrnehmungserfahrungen für die erst später in Erscheinung tretende Ausdifferenzierung von Fähigkeiten von großer Bedeutung sein. Wie weit hier Möglichkeiten zur Förderung von **Frühbegabungen** oder Frühförderung von Begabungen liegen, ist noch recht unbekannt, auch, wie weit es möglicherweise kritische Perioden für die Ausbildung des Lernens und des Gedächtnisses gibt.

◘ **Abb. 3.95** Darstellung von Schnitten durch den Cortex des Menschen zu verschiedenen Zeitpunkten nach der Geburt. Während des Reifungsprozesses wird das neuronale Netzwerk durch Bildung neuer Zellverbindungen immer komplexer. **a** Bei der Geburt, **b** 3 Monate alt, **c** 6 Monate alt



gen, in der Einzelzellableitungen an einzelnen Neuronen durchgeführt wurden (► Exkurs 3.2 und ◘ Abb. 3.26), dann zeigte sich, dass der visuelle Cortex kaum noch **richtungsorientierte Neurone** enthält, die auf Linien oder Winkel reagieren, sondern abnormale Neurone, die optimal auf runde Lichtpunkte antworten (Barlow 1975). Diese Ergebnisse machen deutlich, dass die Entwicklung des Cortex und damit auch die Wahrnehmungsfähigkeit von frühen Reizerfahrungen abhängig sind, beziehungsweise durch diese verändert werden. Dies zeigt ► Exkurs 3.31.

Betroffen ist aber nicht nur die Ausbildung der räumlichen Ausrichtung der rezeptiven Felder, sondern auch die der neuronalen Verbindungen von der Retina zum Gehirn, die ja großenteils bereits bei der Geburt vorliegen. Das machen auch Untersuchungen deutlich, bei denen vier Wochen alten Katzen für nur sechs Tage ein Auge verschlossen wurde. Nach dieser Zeit waren nur noch etwa 10 % der zu beiden Augen führenden binokularen Hirnzellen in ihrer ursprünglichen Form vorhanden, während die übrigen 90 % nur noch ihre Verbindung zu dem nicht verschlossenen Auge besaßen. Die Verbindung zum anderen Auge war infolge von Nichtgebrauch atrophiert.

Es lässt sich sicher darüber streiten, ob wir es hier mit eigentlichen Lernerfahrungen zu tun haben, denn nach den üblichen Definitionen ist Lernen immer mit einem (motivationalen) Bekräftigungsgewinn verbunden, oder ob es sich eher um den Effekt von Gebrauch (*training*) oder Nichtgebrauch von angelegten Strukturen (Fähigkeiten) handelt. Wichtig scheint vielmehr, dass frühe Erfahrungen den Cortex verändern können und dass selbst genetisch weitgehend vorprogrammierte Entwicklungen sich nur unter den von der biologisch-phylogenetischen Entwicklung als „natürlich" vorgesehenen Umweltbedingungen sinnvoll und funktionsgerecht entfalten und ausdifferenzieren und darin möglicherweise sogar durch geeignete Reizvorgaben gesteigert werden können.

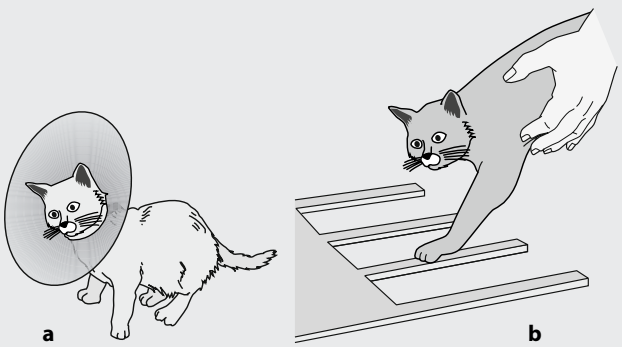
Wenngleich solche Untersuchungen nur an Tieren durchgeführt wurden, bei denen die **kritische Sehperiode** etwa bis zur neunten Lebenswoche anhält, gibt es Hinweise aus Augenoperationsfolgen, dass auch das visuelle System des Menschen eine frühe sensible kritische Periode durchläuft. Sie scheint jedoch wesentlich länger anzuhalten, insgesamt bis zum achten Lebensjahr, mit der höchsten Empfindlichkeit in den ersten beiden Lebensjahren (Aslin und Banks 1978; ► Exkurs 3.32).

Für die normale Ausbildung der (genetisch vorgegebenen) richtungsorientierten rezeptiven Felder (richtungsempfindliche Neurone) ist eine adäquate gleichsinnige visuelle Stimulation während einer frühen kritischen Periode notwendig.

Exkurs 3.33

Genauer betrachtet: Visumotorische Koordination aktiver Eigenbewegungen

Jungkatzen wurden zunächst bis zur vierten Lebenswoche im Dunkeln aufgezogen. Danach kamen sie jeden Tag für sechs Stunden in eine helle, mit Mustern (z. B. nur senkrechte Streifen) ausgestaltete Umgebung, in der sie sich zwar frei bewegen konnten (◘ Abb. 3.94), aber durch einen trichterförmigen Halskragen daran gehindert waren, dabei ihren eigenen Körper oder ihre Pfoten zu sehen (◘ Abb. 3.96a). Nach zwölf Tagen mit diesen Wahrnehmungserfahrungen wurden die Katzen auf ihre visumotorische Koordinationsfähigkeit getestet: Mit einer ausgestreckten Pfote wurden sie mit der Hand auf eine mit vorstehenden Brettchen versehene Tischplatte (◘ Abb. 3.96b) herunterbewegt. Normalerweise strecken die Katzen bei dieser Bewegung ihre Pfote so aus, dass sie das gesehene Ziel, eines der vorstehenden Brettchen, sicher treffen. Die Experimentaltiere jedoch verfehlten das Ziel in 50 % der Fälle, was zeigt, dass sie nicht gelernt hatten, ihre Pfotenbewegung mit dem wahrgenommenen Ziel zu koordinieren. Ließ man die Katzen danach nochmals einige Stunden ohne den blickabschirmenden Kragen im Raum frei umherlaufen, so genügte dies, um die eigentlich angeborene Bewegung des Pfotenausstreckens (AAM, angeborener Auslösemechanismus. Siehe Absatz: Wahrnehmungs-Reaktionskopplungen) erfolgreich zu machen. Das heißt, beim Test trafen nun auch sie sicher das Zielbrettchen.



◘ **Abb. 3.96 Visumotorische Koordination und visuelle Restriktion.** **a** Während der Aufzucht wurden die Katzen mit einem trichterförmigen Kragen versehen, der sie nicht wesentlich störte, sie aber daran hinderte, ihren eigenen Körper oder ihre Tatzen zu sehen. Mit diesem Kragen konnten sie sich sechs Stunden frei bewegen. Die restliche Zeit verbrachten sie ohne Kragen in völliger Dunkelheit, **b** Vorrichtung zum Testen des visuell gesteuerten Pfotenaufsetzens auf die vorstehenden Zinken. Die Katzen wurden, wie zu sehen, mit der Hand von oben auf die Zinken zubewegt. Gezählt wurde das Treffen oder Nichttreffen der Zinken. (Hein und Held 1967)

Eigenbewegung als Bedingung der Tiefenwahrnehmung

Wahrnehmungslernen spielt schließlich eine wichtige Rolle bei der Koordination von Wahrnehmung und motorischen Reaktionen einschließlich der Entfernungseinschätzung (vgl. die Wahrnehmungskonstanz bei Kindern und Erwachsenen in ▶ Exkurs 3.13). Auch hier waren es Deprivationsexperimente, die zu der Erkenntnis führten, dass sich die normale **Raum-** und **Tiefenwahrnehmung** nur unter Mitwirkung der **aktiven Eigenbewegung** entwickelt. In solchen Untersuchungen erhielten die Teilnehmer zwar keine eigentliche Deprivation der visuellen Stimulation, aber sie wurden darin gehindert, eigene motorische Reaktionen in Bezug auf die Wahrnehmung auszuführen, was dazu führt, dass sich die normale **visumotorische Koordination** *(perceptual motor coordination)* nicht ausbilden kann, wie in ▶ Exkurs 3.33 dargestellt.

Ein weiterer klassischer Untersuchungsansatz, der die Notwendigkeit der aktiven Eigenbewegung beim Wahrnehmungslernen für die sensomotorische Koordination sowie für die Ausbildung des räumlichen Tiefensehens beim Menschen deutlich macht, ist in ▶ Exkurs 3.34 dargestellt.

Die Untersuchungsergebnisse zur Bedeutung der **Eigenbewegung** zeigen zugleich, dass die Anpassungsleistungen höherer Wirbeltiere, insbesondere auch der Menschen an ihre wahrgenommene Umgebung nicht, wie früher vermutet, allein durch Lernen im Sinne der Fehlererkennung oder Konditionierung zustande kommt, sondern in entscheidenden Bereichen wesentlich durch die enge Verschränkung von Sensorik und Motorik. Dieses Prinzip, zuerst von Viktor von Weizsäcker (1947) als „Gestaltkreis“ erkannt, wurde durch von Holst und Mittelstaedt (1950) als **Reafferenzprinzip** beschrieben (Vgl. ◘ Abb. 3.48), das später auch für komplexes sensomotorisches Verhalten für nachgewiesen wurde (Becker-Carus 1968, 1969; Held und Freedman 1963). Der Reafferenzmechanismus, der während des Wachstums für eine gleitende Anpassung zwischen den sich ändernden Beziehungen der afferenten und efferenten neuronalen Signale sorgt, gewährleistet beim ausgewachsenen Organismus die Aufrechterhaltung der normalen Koordination sowie die Adaptation an sich verändernde Wahrnehmungsbedingungen, wie in ▶ Exkurs 3.32 gezeigt wurde.

Sowohl für die Ausbildung der normalen sensorisch-motorischen Koordination als auch für die Ausbildung der exakten dreidimensionalen Tiefenwahrnehmung ist die sensorische (visuelle) Stimulation bei selbsterzeugter Eigenbewegung notwendig.

Wahrnehmungs-Reaktions-Kopplungen (Auslösemechanismen)

Auf verschiedenen Stufen des afferenten Wahrnehmungsprozesses gibt es unterschiedlich fest „verdrahtete“ (neuronal gekoppelte), aber durch Erfahrung veränderbare Verbindungen zum efferenten motorischen System, angefangen von einfachen Schutzreflexen (Lidschlag) bis hin zu spontanen Angstreaktionen an steilen Abgründen (Klippen). Dieser Bereich **sensomotorischer Kopplungen** ist auch ein Forschungsgebiet der Tierverhaltensforschung (Ethologie). Sie hat nachweisen können, dass es zumindest im Tierreich angeborene Auslösemechanismen gibt (Tinbergen 1942, 1956). Von **Auslösemechanismen** spricht man, wenn bestimmte, meist sehr einfache äußere Reize ganz

Exkurs 3.34

Genauer betrachtet: Visuelle Klippe und aktive Eigenbewegung

Einen besonders interessanten und lehrreichen Fall des Ineinanderwirkens von angeborenen und erworbenen Anteilen stellt die ebenfalls **präformierte Reaktionsweise** der perspektivischen Tiefenwahrnehmung mit ihrer Folgeerscheinung, der Angst vor einem Abgrund, dar. Wie wir bereits anhand der Größenkonstanzwahrnehmung gesehen hatten, entwickelt sich diese erst im Laufe der ersten Lebensjahre.

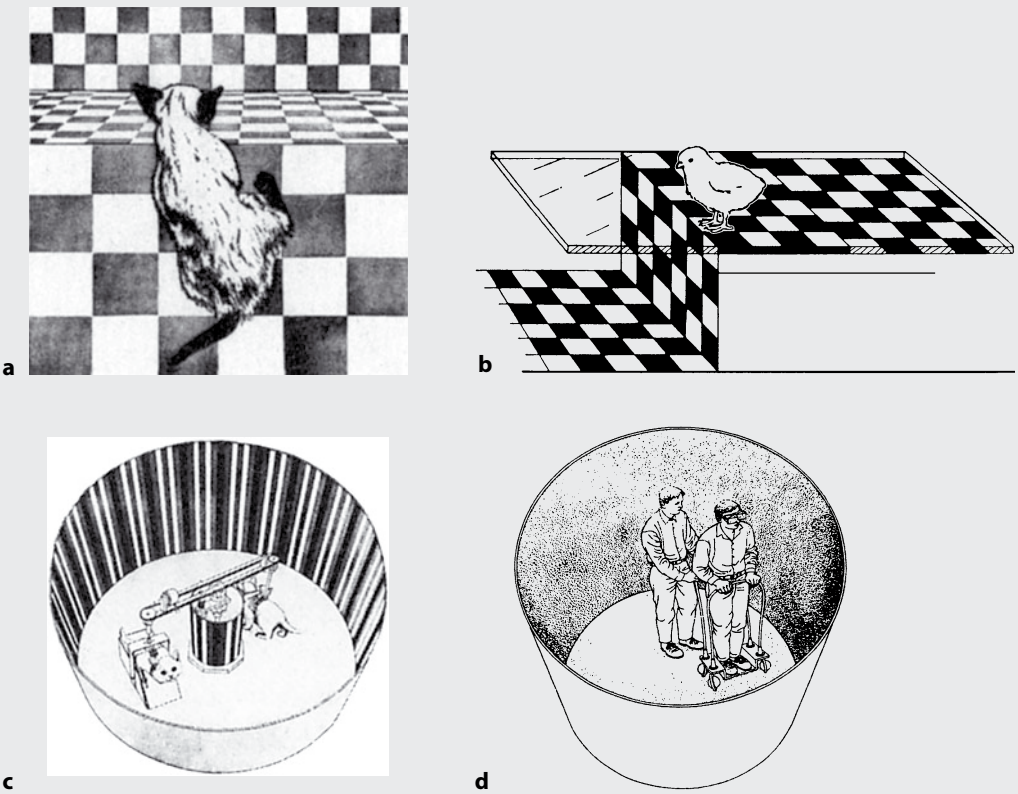
Kleine Kinder wie auch viele Jungtiere zeigen bereits sehr früh nach der Geburt eine eindeutige Angst vor einem steilen Abgrund, den sie am Seheindruck erkennen, ohne dass sie je zuvor irgendwelche Erfahrungen mit Abstürzen gemacht haben. Gibson und Walk (1960) untersuchten diese Reaktionen unter anderem bei Kleinkindern im Alter von sechs bis 14 Monaten, sobald sie sich krabbelnd fortbewegen konnten, mit der **visuellen Klippe** (*visual cliff*), wie sie auch für Tierexperimente verwendet wurde (◘ Abb. 3.97**a** und **b**). Wenn die Kinder oder Jungtiere auf die zentrale Plattform gesetzt werden, und die Mutter sie abwechselnd von der visuell steilen und von der flachen Seite lockte, krabbelten fast alle Kinder nur zur flachen Seite und weigerten sich, zur tiefen Seite zu krabbeln.

Da Kinder aber nicht gleich nach der Geburt krabbeln können, reichen die Experimente so nicht, um das Vorhandensein der Tiefenwahrnehmung direkt nach der Geburt zu prüfen. Die Ergebnisse gleichartiger Experimente mit verschiedenen Tieren (Hühner, Küken, Schafe, Ziegen, Katzen) zeigen, dass die Tiefenwahrnehmung auch hier nachweisbar ist, sobald die Tiere in der Lage sind, sich umherzubewegen (einige bereits nach 24 h). So ist verständlich, dass man diese Ergebnisse vielfach in Lehrbüchern als Beleg dafür wertet, dass es sich um eine von Geburt an vorhandene, angeborene Fähigkeit handle. Weitere Untersuchungen zeigten jedoch bald, dass offenbar eine ganz andere wichtige Vorerfahrung nötig ist. Held und Hein (1963) fanden bei ihren Untersuchungen an Katzen, dass die Tiere zuvor eine eigene **Hand-Auge-Koordination** durch *selbstverursachte Eigenbewegung* erwerben müssen, was normalerweise der Fall ist, wenn sich ein Tier (oder der Mensch) aktiv mit offenen Augen bewegen kann.

Werden Katzen von der Geburt an unter visuellem Erfahrungsentzug aufgezogen, aber stundenweise in eine gemusterte Umgebung gesetzt, in der sie sich frei und aktiv bewegen können, so reagieren sie normal auf den visuellen Abgrund. Aber sie versagen in dem Test, wenn sie nur passiv in einer Gondel bewegt werden (◘ Abb. 3.96**c**), obgleich in beiden Fällen die visuellen Eindrücke die gleichen sind. Entsprechende Untersuchungen sind, wie ◘ Abb. 3.96**d** zeigt, auch beim Menschen durchgeführt worden – mit dem gleichen Ergebnis, dass eine Adaptation an eine durch Prismenbrillen verschobene Umgebung nur bei eigener und nicht bei passiver Bewegung erfolgt.

Um den angeborenen Auslösemechanismus für die Verhaltensweise „Scheu vor dem Abgrund" wirksam werden zu lassen, ist es erforderlich, dass der zugehörige **präformierte Schlüsselreiz**, die Parallaxenverschiebung durch Eigenbewegung (gleiche Raumerfahrung), erst durch die Erfahrung gebildet wird (Becker-Carus 1981; Held 1965).

Einen besonderen Eindruck von der Plastizität des visuomotorischen Wahrnehmungssystems, das auch die Grundlage für die exakte Handhabe von Körperprothesen ist, geben die Spiegelkastenexperimente zur visumotorischen Reorganisation (siehe *Zusatztext online*).



◘ **Abb. 3.97** Versuchsanordnungen zu: **a** und **b** visuelle Klippe, **c** aktive und passive Eigenbewegung in einer „Gondel", **d** entsprechendes mit Menschen. (**a** und **b** Gibson und Walk 1960, **c** und **d** nach Held und Hein 1963, publisher: APA, reprinted with permission; APA is not responsible for the accuracy of this translation)

bestimmte, meist eng festgelegte Verhaltensweisen mehr oder weniger auslösen, ohne dass es sich dabei um einfache Reflexe handelt. Solche Mechanismen werden als angeborene auslösende Mechanismen (**AAM** oder **IRM** für *innate releasing mechanism*) bezeichnet, wenn bei Tieren, die isoliert gehalten wurden, vor jeder Erfahrung durch bestimmte Reize selektiv bestimmte Verhaltensweisen ausgelöst werden können. Die spezifischen Auslöser werden als **Schlüsselreize** bezeichnet.

Solche Schlüsselreize können offenbar so einfach sein, dass sie durch neuronale Verschaltungen schließlich von einem einzigen nachgeschalteten Neuron erkannt werden können, wie dies für die **Käferdetektoren** (Konvexitätsdetektoren) beim Leopardenfrosch nachgewiesen werden konnte (Maturana et al. 1960; siehe dazu *Zusatztext online*). Die rezeptiven Felder dieser Neurone reagieren, wenn für den Frosch ein dunkler Punkt einer bestimmten Größe (1–3° Durchmesser) vor einem hellen Hintergrund zentripetal durch das Gesichtsfeld bewegt wird und anhält. Sie lösen dadurch eine zielgerichtete Fangbewegung der Zunge (Zuschnappen und Schlucken) aus, eben den angeborenen Auslösemechanismus.

Hier besteht der **Auslöser** aus einem dunklen Punkt bestimmter Ausdehnung in Winkelgrad und bestimmter Bewegung, wie er „normalerweise" von einem Insekt, einer Fliege, realisiert wird. Ist der Punkt zu groß oder zu hell oder zu langsam und so weiter, funktioniert der Wahrnehmungs- oder Auslösemechanismus nicht. Er ist in dieser Weise auf einen recht engen Bereich beschränkt, in welchem er anspricht, sodass man sich bei Tieren oft darüber wundern kann, dass sie in manchen Situationen nicht so reagieren, wie wir es erwarten würden. So zeigt der Frosch beispielsweise in etwas veränderter Situation (ruhende Fliege oder helles Insekt) keine Reaktion, selbst wenn er eben noch gejagt hat und hungrig ist. Das Objekt wird nicht mehr oder nicht mehr in diesem Funktionskreis mit dieser Bedeutung (als Fangobjekt) wahrgenommen.

Schlüsselreize können aber durchaus auch komplizierter sein, wie zum Beispiel im Fall des Futtersperrens (Bettelbewegung) junger Amselnestlinge. Bietet man den Nestjungen verschieden gestaltete, dunkle Elternattrappen, so wird das Schnabelaufreißen und Halsausstrecken zugleich räumlich orientiert (◘ Abb. 11.3). Und zwar werden Ausbuchtungen einer bestimmten relativen Größe, die der Größe des Kopfes beziehungsweise Schnabels des Altvogels entsprechen könnten, besonders bevorzugt angezielt. Entscheidend ist allein die relative Größe von etwa 1:3, alles andere, wie spezielle Ausformungen, bleibt uninteressant. Ferner funktioniert dieser Mechanismus nur während einer bestimmten Entwicklungszeit. Ehe die Jungvögel im Nest die Augen öffnen, wird die Auslösefunktion durch einen anderen Schlüsselreiz vollbracht. Hier genügt das Berühren des Nestrandes (normalerweise durch den ankommenden Altvogel), um das Sperren der Jungen auszulösen.

Schlüsselreiz

Ein Einzelreiz oder ein Reizmuster, das bei Wahrnehmung eine bestimmte, meist angeborene Verhaltensweise auslöst.

Besonders interessant ist weiter das Phänomen so genannter **übernormaler Auslöser**. Es lassen sich künstlich auslösende Reizkonfigurationen herstellen, die das natürlich auslösende Objekt an Wirksamkeit übertreffen. Der Halsbandregenpfeifer rollt zum Beispiel weiße, dunkel gesprenkelte Eier lieber ins Nest ein als die eigenen, braun-dunkel gesprenkelten (größerer Kontrast). Legt man dem Austernfischer ein linear viermal so großes künstliches Ei neben das eigene außerhalb des Nestes hin, so versucht er, das Riesenei einzurollen, das er seinem eigenen Gelege vorzieht (Tinbergen 1966), obgleich er auf dem Riesenei gar nicht mehr sitzen und brüten kann. Vergleichbare Phänomene sind auch für Menschen bekannt – allein schon, was die Vorliebe beispielsweise von Kindern für eventuell übergroße Tortenstücke beim Verteilen anbelangt. Zu den höchstwahrscheinlich angeborenen Auslösern gehört auch das aus der Ethologie bekannte Kindchenschema (◘ Abb. 3.98), das bereits bei Kleinkindern typisch affektives Zuwendungsverhalten auslöst und sich durch Übertreibung als übernormaler Auslöser nutzen lässt (▶ Exkurs 3.35).

Nach ethologischen Befunden kommen einem **Auslösemechanismus** folgende Merkmale zu (Buchholtz 1982):

1. Selektivität für bestimmte Reize, „Signalreize".
2. Verrechnung verschiedener Signalreize in ihrer Wirkung, einschließlich relationaler Auslöser (Reizsummenphänomen).
3. Abhängigkeit von endogenen Faktoren (Funktionskreis, Reaktionsspezifität).
4. Ankopplung von Lernvorgängen.

Wie das letzte Beispiel schon ahnen lässt, sind die Auslösemechanismen höherer Wirbeltiere im Allgemeinen komplexer, sie sprechen vielfach in zunehmendem Maße auch nicht auf einfache Attrappen an. Verhaltensanalysen haben deutlich gemacht, dass die Tiere im Laufe ihrer Entwicklung in die AAMs „hineinlernen" können, womit diese an Selektivität gewinnen. Man bezeichnet sie dann als **EAAM** (durch Erfahrung erweiterte angeborene Auslösemechanismen). Die Jungtiere von Hühnervögeln etwa reagieren zunächst auf die verschiedenen Flug-Feind-Attrappen mit Warnlauten, wenn sie in einer bestimmten Geschwindigkeit (gemessen an der Eigenlänge) über ihren Köpfen bewegt werden. Nach einiger Zeit haben sie sich an die häufig erscheinenden Objekte *gewöhnt*, nicht jedoch an selten erscheinende, wie dies in der Natur für Greifvögel zutrifft, die ihnen auch tatsächlich gefährlich werden könnten (Schleidt 1961). Dieser Vorgang der **Habituation** wird in ▶ Abschn. 7.2 ausführlich besprochen.

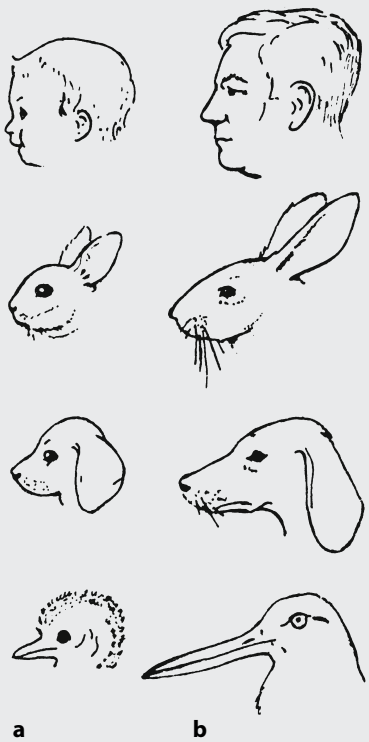
Erdkröten, die zunächst unselektiv auf „kleine, bewegte Objekte" schnappen, lernen dabei durch Abdressur, Ungenießbares zu vermeiden, und schnappen dann beispielsweise nur noch auf bewegte Objekte bestimmter Farbe (Eibl-Eibesfeld 1951). In vielen Fällen werden die Auslöser auch durch **Prägung** in einer sensiblen (kritischen) Phase der Entwicklung festgelegt (Schutz 1970). So folgt das unerfahrene Grauganskücken zunächst allen möglichen bewegten Objekten, wenn sie nur rhythmische Rufe von sich geben. Später jedoch wird eindeutig das Prägeobjekt bevorzugt, das in den ersten Lebensstunden anwesend war.

Durch **Lernerfahrung** können auch völlig neue Reiz-Reaktions-Verknüpfungen entstehen. Wird eine Reizkombination

Exkurs 3.35

Genauer betrachtet: übernormale Auslöser

Hückstedt (1965) führte mit Profilzeichnungen von Kinderköpfen (wie sie heute in der Puppenindustrie Verwendung finden) Wahlversuche durch (◘ Abb. 3.98).
Bei den paarweise dargebotenen Abbildungen wies eine der beiden jeweils normale Proportionen auf, während bei der anderen der Hirnschädelanteil überdimensional verändert wurde. Die Versuchspersonen, Mädchen und Jungen, mussten die Adjektive süß, lieb oder niedlich jeweils einer der beiden Zeichnungen zuordnen. Die Ergebnisse zeigten, dass die übernormale Attrappe bevorzugt wurde, wobei dies bei Mädchen bereits im Alter von zehn bis 13 Jahren nachweisbar war, während bei Jungen diese Präferenz erst mit 18 bis 21 Jahren auftritt. Andere übernormale Auslösereize z.B. bei „Barbypuppen".



◘ **Abb. 3.98 Kindchenschema. a** Gesichtsproportionen des jugendlichen Individuums, die als „herzig" empfunden werden und fürsorgliches Verhalten auslösen, **b** Proportionen erwachsener Individuen. (Nach Lorenz aus Eibl-Eibesfeld 1967)

also erst aufgrund von Lernerfahrungen beantwortet, so liegt ein erlernter Auslösemechanismus (**EAM**) vor. Lachmöwen beispielsweise lernen im Winterquartier sehr rasch, mit charakteristischem Ruf zu einem sich öffnenden Fenster aufzufliegen, wenn sie mehrfach die Erfahrung gemacht haben, dass sie dort gefüttert werden. In seenahen Gegenden werden langsam über das Feld fahrende Traktoren zum auslösenden Signalreiz für die Möwen, die in Scharen kommen, denn hier gibt es Futter, wenn umgepflügt wurde (Vgl. ► Abschn. 9.3, Konditionierung). Unter diesem Aspekt der durch Erfahrung veränderbaren präformierten Reaktionsweisen haben wir es auch bei der bereits dargestellten Scheu vor der visuellen Klippe mit präformierten und durch Erfahrung erst wirksam werdenden Schlüsselreizen zu tun.

3.4 Schlussbetrachtung

Bei Betrachtung der dargestellten Forschungsergebnisse der letzten Jahre, sowohl im Tier- als auch im Humanexperiment, kann deutlich werden, dass die Herausbildung unserer „normalen" Wahrnehmungsfähigkeiten einem äußerst differenzierten Prozess der Entwicklung unterworfen ist. Bereits bei der Geburt verfügen wir über ein weitgehend funktionsfähiges Wahrnehmungssystem mit automatisch beziehungsweise instinktiv auflaufenden Regelmechanismen, die aber in weiten Teilen für längere Zeit adaptiv und plastisch bleiben. Darüber hinaus bedarf die normale Entwicklung etlicher Wahrnehmungsfähigkeiten der üblicherweise selbstverständlichen Stimulation durch die Außenwelt. In manchen Fällen zeigen sich besondere sensible Phasen, in denen bestimmte Außenreize für die Weiterentwicklung unabdingbar sind oder auch „prägend" sein können, für die weitere Wahrnehmungsentwicklung. Der Aspekt der Wahrnehmungsentwicklung wird im Zusammenhang mit dem Thema Lernen wieder aufgegriffen.

Kritisch hinterfragt

Die Forscher, die aufgrund ihrer Farbmischexperimente die Dreifarbentheorie entwarfen und die darin postulierten Rezeptormechanismen nachweisen wollten, standen vor der Frage: Gibt es diese drei Mechanismen, wie lassen sie sich nachweisen und welche physiologischen Eigenschaften haben sie? Dann gelang es erstmals in den 60er, genauer erst in den 90er-Jahren des 20. Jahrhunderts, die Absorptionsspektren der Zapfenpigmente zu messen. Hier können wir kritisch fragen, wie und wieweit ließ sich dadurch die Richtigkeit der Dreifarbentheorie belegen? Welche Fakten der Farbwahrnehmung lassen sich dadurch erklären und welche nicht? Wie werden gegenwärtig diese weiteren Beobachtungen erklärt, und wie weit sind die dafür weiter postulierten neuronalen Verschaltungen experimentell belegt? Die Erörterungen dazu finden Sie in ► Abschn. 3.3.4, *darin: Physiologische Basis der Farbwahrnehmung und die Zweistufentheorie*. Ferner *Zusatztext online* zu der Seite.

Zusammenfassung

Wahrnehmung basiert auf der Verarbeitung von an den Rezeptororganen aufgenommenen Reizenergien. Die verschieden Sinnesmodalitäten werden in spezialisierten Hirnarealen verarbeitet.

Die (äußere) Psychophysik stellt Zusammenhänge zwischen dem Wahrnehmungsinhalt und dem zugehörigen distalen Reiz her. Verschiedenartige Messverfahren der Empfindungsstärke haben zur Formulierung unterschiedlicher Funktionen geführt. In der Signalentdeckungstheorie werden zusätzlich Antwortkriterien der wahrnehmenden Personen berücksichtigt.

Über die Netzhäute aufgenommene visuelle Informationen werden entlang der Sehbahn in den visuellen Cortex fortgeleitet. Bereits in der Netzhaut kommt es zum Phänomen der Kontrastverstärkung durch laterale Hemmung. Neurone des visuellen Systems weisen rezeptive Felder auf, die mit zunehmendem Abstand zum Rezeptororgan auf immer kompliziertere Reizereignisse reagieren. Im visuellen Cortex herrscht eine retinotope und merkmalsspezifische Repräsentation vor.

Farbwahrnehmung beruht auf den Aktivierungsmustern der drei für unterschiedliche Wellenlängen sensitiven Zapfen der Netzhaut. Auf nachgelagerter Ebene herrscht eine antagonistische Verschaltung vor, welche zum Phänomen der Gegenfarb-Komplexe Rot-Grün und Blau-Gelb führt.

Zur Abschätzung der Entfernung von Gegenständen greift das visuelle System auf diverse Tiefenhinweise zurück, die teils der Netzhaut eines einzelnen Auges entnommen werden können und teils auf dem Vergleich der Netzhautbilder beider Augen (Querdisparation) beruhen. Die wahrgenommene Größe von Objekten wird unter anderem durch die wahrgenommene Entfernung bestimmt.

Reizmerkmale wie Größe, Form oder Helligkeit werden trotz deutlicher Veränderungen des zugehörigen proximalen Reizes oftmals als stabil wahrgenommen (Wahrnehmungskonstanz).

Die Strukturierung sensorischer Information erfolgt anhand verschiedener Prinzipien der Gestaltbildung. Das Erkennen von dreidimensionalen Objekten basiert möglicherweise auf der Identifikation elementarer Teilkörper und wird durch Faktoren des situativen Kontexts beeinflusst.

Die Wahrnehmung von Bewegung geht mit negativen Nacheffekten einher. Scheinbewegungen ergeben sich bei Darbietung leicht veränderter Bilder in rascher Abfolge. Bei der Konstituierung eines spezifischen Bewegungseindrucks bei den ambigen Reizvorlagen spielen Heuristiken eine bedeutende Rolle.

Antworten auf die Einführungsfragen

1. Zwei mögliche Verfahren sind die Feststellung von Unterschiedsschwellen und die direkte Zuordnung eines Intensitätswertes zu verschiedenen Reizausprägungen.
2. Die neuronalen Entladungen an sich unterscheiden sich nicht zwischen verschiedenen Sinnesmodalitäten. Allerdings finden die für die verschiedenen Modalitäten wesentlichen Verarbeitungen in unterschiedlichen Hirnarealen statt.
3. Im Gegensatz zum farbempfindlichen Zapfensystem, besitzt das lichtempfindlichere Stäbchensystem nur einen einzigen Sehfarbstoff. Deswegen kann bei lichtschwachen Umgebungen keine Farbdiskrimination vorgenommen werden. Da sich in der Fovea keine Stäbchen befinden, können diese bei Ausrichtung des Blicks auf eine punktförmige Lichtquelle nicht zur Wahrnehmung beitragen.
4. Der durch die Betrachtung einer Fläche hervorgerufene Helligkeitseindruck bestimmt sich vornehmlich aus dem Verhältnis der von dieser Fläche abgestrahlten (bzw. reflektierten) Lichtmenge zu der von ihrer Umgebung abgestrahlten Lichtmenge.
5. Plastische Tiefeneffekte bei binokularer Betrachtung ergeben sich, wenn dem linken und dem rechten Auge unterschiedliche Bilder dargeboten werden, die eine Szenerie aus leicht versetzten Perspektiven darstellen. Die sich aus der Versetzung ergebende Querdisparation wird vom visuellen System in einen räumlichen Eindruck umgewandelt. Beim Autostereogramm wird zu diesem Zweck ein einziges Bild dargeboten, das so betrachtet werden muss, dass sich für einige Objekte scheinbar unterschiedliche Querdisparationswerte ergeben.
6. Durch Konstruktion einer Reizumgebung, die die Zusammengehörigkeit verschiedener Teile des Objekts mit verschiedenen Umgebungsreizen nahelegt – beispielsweise ist in der folgenden Reizvorlage: # eine Ziffer versteckt.
7. Bei der stroboskopischen Darstellung von Drehbewegungen rotationssymmetrischer Reize muss das visuelle System zum Aufbau einer Bewegungsrepräsentation das Korrespondenzproblem lösen, d. h. feststellen, welche Bildpunkte sukzessiv dargebotener Bilder demselben Objektpunkt entsprechen. Eine starke Heuristik hierfür ist die Regel des kürzesten Weges. Die Anwendung dieser Heuristik kann zur Fehlinterpretation der Drehrichtung führen, wenn in aufeinanderfolgenden Bildern eine größere räumliche Nähe zwischen zwei unterschiedlichen, aber gleich aussehenden Bildaspekten (beispielsweise Radspeichen) als zwischen demselben Aspekt kommt.
8. Die verzögerte Darbietung in einem Auge sollte zur Querdisparation führen, die mit einer wahrgenommenen Bewegungskomponente in der Raumtiefe einhergeht. Das Phänomen wird als Pulfrich-Effekt bezeichnet.

Fragen zur Wiederholung und Denkanstöße

1. Erklären Sie den Unterschied zwischen Sensation und Perzeption.
2. Was versteht man unter adäquaten Reizen?
3. Welche Haupttypen von Sinnesrezeptoren kennen Sie?
4. Was versteht man unter Rezeptoren, Sensoren und Sinnesorganen? Wie unterscheiden sie sich?
5. Was ist eine psychophysische Funktion?
6. Gibt es eine „Erlebniseinheit" in der Wahrnehmung und was ist das?
7. Welche Verfahren gibt es zur Messung absoluter und relativer Wahrnehmungsschwellen?
8. Diskutieren Sie das Weber'sche und das Fechner'sche Gesetz sowie den Bereich ihrer Gültigkeit.
9. Was besagt die Stevens'sche Potenzfunktion?
10. Erklären Sie den Ansatz der Signalentdeckungstheorie zur Schwellenbestimmung.
11. Was sind falsch positive, was falsch negative Antworten?
12. Was wird unter dem Begriff „Bezugssystem" verstanden?
13. Woraus resultiert das Adaptationsniveau in der Adaptationslevel-Theorie?
14. Wie und mit Hilfe welcher chemischen Stoffe erfolgt die Transduktion des Reizes in neuronale Impulse?
15. Was besagt die Duplizitätstheorie des Sehens?
16. Erläutern Sie den Kohlrausch-Knick.
17. Wann kommt es zur Dunkeladaptation, wie verläuft sie und wie wird sie gemessen?
18. Wie sind Farbkreis und Farbraum aufgebaut?
19. Wie und wann erfolgt additive, wann subtraktive Farbmischung?
20. Was besagt die Dreifarbentheorie von Helmholtz und was die Gegenfarbentheorie von Hering?
21. Wie entstehen komplementärfarbene Nachbilder und wie farbige Schatten?
22. Diskutieren Sie die Zweistufentheorie der visuellen Reizverarbeitung mittels Schaltdiagramm.
23. Was versteht man unter Objektwahrnehmung?
24. Beschreiben Sie den Figur-Grund-Effekt und einige „Gestaltgesetze".
25. Was ist ein Perzept? Welche Faktoren tragen dazu bei?
26. Was besagt die Hypothesen-Erwartungstheorie der Wahrnehmung?
27. Welche monokularen, welche binokularen Tiefencues kennen Sie?
28. Was ist Querdisparation und worin liegt ihre Bedeutung?
29. Wie kommt es zu stereoskopischem Sehen? Was ist das genau?
30. Worin unterscheiden sich Zufalls- und Autostereogramm?
31. Was versteht man unter Helligkeitskonstanz und wie lässt sie sich erklären?
32. Was versteht man unter Größenkonstanz und wie wird sie erreicht?
33. Was besagen das Emmert'sche Gesetz und die Größen-Distanz-Invarianz?
34. Erklären Sie das Modell des Reafferenzprinzips.
35. Wie kommt es zu geometrisch-optischen Täuschungen (zum Beispiel „Ames'scher Raum")?
36. Was beinhaltet der wahrnehmungsökologische Ansatz von Gibson?
37. Was ist eine Scheinbewegung und welche Faktoren spielen eine Rolle bei ihrer Wahrnehmung?
38. Erklären Sie die (so einfach scheinende) Wahrnehmung einer realen Bewegung.
39. Welche Faktoren führen zur Kausalitätswahrnehmung?
40. Was ist optisches Fließen? Wie führt es zur Wahrnehmung von Raumtiefe?
41. Was sind Top-down-Prozesse der Mustererkennung und wann kommen sie vor?
42. Erklären Sie das Prinzip der lateralen Hemmung und ihre Funktion anhand eines Beispiels mit Zeichnung.
43. Wie kommt es zur Entstehung der Mach'schen Bänder?
44. Wie lässt sich die Entstehung des Simultankontrasts am Hering-Gitter erklären (a) nach dem Verschaltungsprinzip der lateralen Hemmung, (b) nach dem Prinzip der rezeptiven Felder?
45. Was versteht man unter einem rezeptiven Feld, durch welche anatomischen Elemente wird es gebildet und wie funktioniert es?
46. Was ist ein ON-Zentrum-Neuron?
47. Wie lässt sich die relative Helligkeitskonstanz mit dem Verschaltungsprinzip der rezeptiven Felder erklären?
48. Was wird durch eine Konvergenzschaltung bewirkt?
49. Wie sieht zum Beispiel die neuronale Verschaltung für einen Bewegungsdetektor aus?
50. Welche Stationen durchläuft die Sehbahn und wohin führt sie?
51. Was versteht man unter retinotoper Organisation im ZNS und wo findet sie sich?
52. Was sind M-Bahn und P-Bahn der visuellen Verarbeitung und worin unterscheiden sie sich?
53. Welche drei Haupttypen visueller Neurone in der Area striata werden unterschieden und was bewirken sie?
54. Wie ist der visuelle Cortex in verschiedenen Arten von Merkmalssäulen organisiert?
55. Wie lässt sich ein einfacher Gestaltdetektor (Schaltplan) konstruieren?
56. Was versteht man unter späteren Stadien der neuronalen Objekterkennung?
57. Wie erfolgt die Erkennung natürlicher Objekte?
58. Was sind Geone?
59. Wie wurde versucht festzustellen, was in unserer Wahrnehmung angeboren und was erworben ist?
60. Was ist eine „kritische Periode" und welche Rolle spielt sie bei der Entwicklung des Sehens?
61. Was ließ und was lässt sich mit der Methode der visuellen Klippe untersuchen und was nicht?
62. Was sind präformierte Wahrnehmungs-Reaktions-Koppelungen?

63. Was versteht man unter Schlüsselreizen und Auslösemechanismen und welche neurophysiologischen Mechanismen liegen ihnen zu Grunde?

Literatur

Anderson, J. R. (1996). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Spektrum.

Anderson, J. R. (2013). *Kognitive Psychologie* (7. Aufl.). Berlin: Springer.

Anstis, S. M., & Gregory, R. L. (1964). The afteraffect of the seen motion: The role of retinal stimulation and eye movements. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *17*, 173–174.

Aslin, R. N., & Banks, M. S. (1978). Early visual experience in humans: Evidence for a critical period in the development of binocular vision. In S. Schneider, H. Liebowitz, H. Pick & H. Stevenson (Hrsg.), *Psychology: From basic research to practise* Bd. 5 New York: Plenum.

Baird, J. C., Wagner, M., & Fuld, K. (1990). A simple but powerful theory of the moon illusion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *16*, 675–677.

Barlow, H. B. (1975). Visual experiences and cortical development. *Nature*, *258*, 199–204.

Barlow, H. B., & Hill, R. M. (1963). Evidence for a physiological explanation of the waterfall illusion and figural after-affect. *Nature*, *200*, 1345–1347.

Barlow, H. B., & Mollon, J. D. (Hrsg.). (1982). *The senses*. Cambridge: Cambridge University Press.

Becker-Carus, C. (1968). Visomotorische Adaptation bei gestörter visueller Rückkopplung eigener Körperbewegungen. *Psychologische Forschung*, *32*, 219–243.

Becker-Carus, C. (1969). Verändertes Greifen nach visueller und nach taktiler Adaptation. *Psychologische Forschung*, *33*, 21–26.

Becker-Carus, C. (1981). *Grundriß der Physiologischen Psychologie*. Heidelberg: Quelle und Meyer.

Biederman, I. (1981). On the semantics of a glance at a scene. In M. Kubovy & J. Pomerantz (Hrsg.), *Perceptual organization*. Hilsdale: Erlbaum.

Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: A theory of human image understanding. *Psychological Review*, *94*, 115–147. Binns, K. E. & Salt, T. E. (1997). Post eye-opening maturation of visual receptive field diameters in the superior colliculus of normal- and dark-reared rats. *Brain Research: Developmental Brain Research*, *99*, 263–266.

Blakemore, C., & Cooper, G. F. (1970). Development of the brain depends on the visual environment. *Nature*, *228*, 477–478.

Brown & Gilhouse, College Psychology; Copyright 1949, 1950 by Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs

Bruner, J. S., & Goodman, C. C. (1947). Value and need as organizing factors in perception. *Journal of Abnormal and social Psychology*, *42*, 33–44.

Brunswik, E. (1943). Organismic achievement and environmental probability. *Psychological Review*, *50*, 255–272.

Buchholtz, C. (1982). *Grundlagen der Verhaltensphysiologie*. Braunschweig: Vieweg.

Coren, S., Ward, L. M., & Enns, J. T. (1999). *Sensation and perception*. Fort Worth: Harcourt Brace.

Courage, M. L., & Adams, R. J. (1990). Visual acuity assessment from birth to three years using the acuity card procedures: Cross-sectional and longitudinal samples. *Optometry and vision Science*, *67*, 713–718.

Cyander, M., Timney, B. N., & Mitchel, D. E. (1980). Period of susceptibility of kitten visual cortex to the effects of monocular deprivation extends beyond 6 month of age. *Brain research*, *191*, 545–550.

Dartnall, H. J. A., Bowmaker, J. K., & Mollon, J. D. (1983). Human visual pigments: Microspectrophometric results: from the eyes of seven persons. *Proceedings of the Royal Society of London*, *220 B*, 115–130.

Doolittle, B. (1985). *The Forest has Eyes*. Trumbull, CT.: The Greenwich Workshop.

Dowling, J. E., & Boycott, B. B. (1966). Organization of the primate retina. *Proceedings of the Royal Society of London*, *166*(1002), 80–111.

Duncker, D. K. (1929). Über induzierte Bewegung (Ein Beitrag zur Theorie optisch wahrgenommener Bewegung). *Psychologische Forschung*, *12*, 180–259.

Eibl-Eibesfeldt, I. (1951). Nahrungserwerb und Beuteschema der Erdkröte (Bufo bufo L.). *Behaviour*, *4*, 1–35.

Eibl-Eibesfeldt, I. (1967). *Grundriß der vergleichenden Verhaltensforschung.*, München: Piper.

Gelb, A. (1929). Die „Farbenkonstanz" der Sehdinge. *Handbook norm. path. Phys.*, *12*, 594–678.

de Gelder, B., Tamietto, M., van Boxtel, G., Goebel, R., Sahraie, A., van den Stock, J., Stienen, B. M. C., Weiskrantz, L., & Pegna, A. (2008). Intact navigation skills after bilateral loss of striate cortex. *Current Biology*, *18*, R1128–R1129.

Gibson, J. J. (1950). *The perception of the visual world*. Boston, New York: Houghton Mifflin. deutsch 1973, *Die Wahrnehmung der visuellen Welt.* Weinheim: Beltz

Gibson, J. J. (1979/1986). The Ecological Approach to Visual Perception. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum

Gibson, J. J. (1982). *Wahrnehmung und Umwelt*. München: Urban & Schwarzenberg. Orig. 1979, *Ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin

Gibson, E. J., & Walk, R. D. (1960). The visual cliff. *Scientific American*, *202*, 64–71.

Goldstein, E. B. (1996). *Sensation and perception*. Pacific Grove: Brooks/Cole Publishing Company. deutsch 1997, *Wahrnehmungspsychologie.* Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag

Goldstein, E. B. (1997, 2008). Wahrnehmungspsychologie – eine Einführung. Heidelberg:.Spektrum

Goldstein, E. B. (2014). *Sensation and perception*. Pacific Grove: Brooks/Cole Publishing Company, Wadsworth Cengage Learning Verlag.

Graziano, M. S. A., Andersen, R. A., & Snowden, R. J. (1994). Tuning of MST neurons to spiral motions. *Journal of Neuroscience*, *14*, 54–76.

Gregory, R. L. (1966). *Eye and brain*. New York: McGraw Hill. deutsch 1966, Auge und Gehirn. München: Kindler

Hankins, M. W., Peirson, S. N., & Foster, R. G. (2008). Melanopsin: an exciting photopigment. *Trends Neurosci.*, *31*, 27–36.

Hansen, T., Olkkonen, M., Walter, S., & Gegenfurtner, K. R. (2006). Memory modultaes color appearance. *Nature Neuroscience*, *9*, 1367–1368.

Hartline, H. K., & Ratliff, F. (1957). Inhibitory interaction of receptor units in the eye of Limulus. *Journal of General Physiology*, *40*, 357–376.

Hein, A., & Held, R. (1967). Dissociation of the visual placing response into elicited and guided components. *Science*, *158*, 390–391.

Held, R. (1965). Placticity in sensory motor systems. *Scientific American*, *11*, 200.

Held, R., & Freedman, S. J. (1963). Plasticity in human sensorimotor control. *Science*, *142*, 455–462.

Held, R., & Hein, A. (1963). Movement-produced stimulation in the development of visually guided behavior. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *56*, 872–876.

von Helmholtz, H. (1852).Über die Theorie der zusammengesetzten Farben. Habilitationsschrift, Berlin

Helson, H. (1933). The fundamental propositions of gestaltpsychology. *Psychological Review*, *40*, 13–32.

Helson, H. (1947). Adaptation level as frame of reference for prediction of psychophysical data. *American Journal of Psychology*, *60*, 1–29.

Helson, H. (1964). *Adaptation-level theory*. New York: Harper & Row.

Hershenson, M. (1989). *The moon illusion*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Hilgard, E. R., Atkinson, R. L., & Atkinson, R. C. (1979). *Introduction to Psychology*. New York: Harcourt Brace Jovanovich.

Hochberg, J. E. (1971). Perception. In J. W. Kling & L. A. Riggs (Hrsg.), *Experimental Psycholog* (3. Aufl. S. 396–550). New York: Holt, Rinehart & Winston. Hilgard, E. R., Atkinson, R. L., Atkinson, R. C. (2003). Introduction to Psychology. 14th ed. USA, CA: Wadsworth/Thomson Learning.

von Holst, E., & Mittelstaedt, H. (1950). Das Reafferenzprinzip. *Naturwissenschaften*, *37*, 464–476.

Holway, A. A., & Boring, E. G. (1941). Determinants of apparent visual size with distance variant. *American Journal of Psychology*, *54*, 21–37.

Hubel, D. H. (1982). Exploration of the primary visual cortex, 1955–1978. *Nature*, *299*, 515–524.

Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1959). Receptive fields of single neurons in the cat's striate cortex. *Journal of Physiology*, *148*, 574–591.

Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1961). Integrative action in the cat's lateral geniculate body. *J Physiol*, *155*, 385–398.

Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interaction, and functional architecture in the cat's visual cortex. *Journal of Physiology*, *160*, 106–154.

Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1965). Receptive fields and functional architecture in the non-triate visual areas (18 and 19) of the cat. *Journal of Neurophysiology*, *28*, 229–289.

Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1970). Cells sensitive to binocular depth in area 18 of the macaque monkey cortex. *Nature*, *225*, 41–42.

Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1979). Brain mechanisms of vision. *Scientific American*, *241*, 150–162.

Hückstedt, B. (1965). Experimentelle Untersuchungen zum „Kindchenschema". *Zeitung für angewandte Psychologie*, *12*, 421–450.

Hummel, M. E., & Biederman, I. (1992). Dynamic binding in a neutral network for shape recognition. *Psychological Review*, *99*, 480–517.

Jameson, D. (1985). Opponent-colors theory in the light of physiological findings. In D. Ottoson & S. Zeki (Hrsg.), *Central and Peripheral mechanisms of color vision*. New York: Mac Millan.

Johanson, G. (1975). Visual motion perception. *Scientific American*, *232*, 67–89.

Johanson, G. (1986). Visuelle Bewegungswahrnehmung. In *Wahrnehmung und visuelles System*. Heidelberg: Spektrum.

Julesz, B. (1971). *Foundations of cyclopean perception*. Chicago: University of Chicago Press.

Kanizsa, G. (1979). *Organization in vision: Essays on Gestalt Perception*. New York: Praeger Publishers, Greenwoog Publishing Group.

Kant, I. (1781, 1998). Kritik der reinen Vernunft. Hamburg: Meiner Verlag.

Kaplan, G. (1969). Kinetic disruption of optical texture. The perception of depth at an edge. *Perception and Psychophysics*, *6*, 193–198.

Kaufman, L., & Rock, I. (1962). The moon illusion. *Science*, *136*, 953–961.

Korte, A. (1915). Kinematroskopische Untersuchungen. *Zeitschrift Psychologie*, *72*, 194–296.

Krech, D., Crutchfield, R. S., & Livson, N. (1969). *Elements of psychology*. New York: Knopf.

Kunz, D., & Mahlberg, R. (2004). Melatonin: A Chronobiotic that not only Shifts Rhythms. In S. R. Pandi-Perumal & D. P. Cardinali (Hrsg.), *Melatonin: Biological Basis of its Function in Health and Dieases* (S. 1–11). Austin: Landes Biosciences. Krech, D., Crutchfield, R. S., & Livson, N. (1969). Elements of psychology. New York: Knopf.

Land, E. H. (1983). Recent advances in retinex theory in some implications for cortical computations: Color vision in the natural image. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, *80*, 5163–5169.

Land, E. H. (1986). Recent advances in retinex theory. *Vision Research*, *26*, 7–21.

Lee, D. N. (1976). A theory of visual control of braking based on information about time to collision. *Perception*, *5*, 437–459.

Leibowitz, H. W., Shina, K., & Hennesey, H. R. (1972). Oculomotor adjudgements and size constancy. *Perception and Psychophysics*, *12*, 497–500.

Locke, J. (1690/1970). *An essay concerning human understanding*. Menston, Yorkshire: Solar Press.

Marr, D. (1982). *Vision*. San Francisco: Freeman.

Massaro, D. W. (1979). Letter information and orthographic context in word perception. *Journal of Experimental Psychology: human perception and performance*, *5*, 595–609.

Maturana, H. R., Lettwin, J. Y., McCulloch, W. S., & Pittis, W. H. (1960). Anatomy and physiology of vision in the frog (Rana pipiens). *Journal of General Physiology*, *43*(Suppl. 6), 129–175.

McBurney, D. H., & Collings, V. B. (1984). *Introduction to sensation and perception*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive model of context effects in letter perception: an account of basic findings. *Psychophysiological Review*, *88*, 375–407.

McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bull. Math. Biophysiol.*, *5*, 115–133.

McLeod, R. W., & Ross, H. E. (1983). Optic-flow and cognitive factors in time-to-collision estimates. *Perception*, *12*, 417–423.

Metzger, W. (1934). Tiefenerscheinungen in optischen Bewegungsfeldern. *Psychologische Forschung*, *20*, 195–260.

Metzger, W. (1953/1975). *Gesetze des Sehens*. Frankfurt, Mainz: Kramer.

Metzger, W. (1966). *Wahrnehmung und Bewusstsein. In*. Handbuch der Psychologie (1. Halbband): Allgemeine Psychologie. Göttingen: Hogrefe.

Michotte, A. (1963). *The perception of causality*. New York: Basic Books. Orig. 1954, *La perception de la causalité*

Movshon, J. A., & Van Sluyters, R. C. (1981). Visual neural development. *Annual Review of psychology*, *32*, 477–522.

Nakayama, K. (1985). Biological image motion-processing. *Vision Research*, *25*, 625–660.

Nakayama, K. (1994). J. Gibson – An appreciation. *Psychology Review*, *101*, 329–335.

Newsome, W. T., Britten, K. H., & Movshon, J. A. (1989). Neuronal correlates of a perceptual decision. *Nature*, *341*, 52–54.

Newton (1931). *Optics or a treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of light*. Oxford: England Whittlesey Houde, McGraw-Hill.

Ohzawa, I., DeAngelis, G. C., & Freeman, R. D. (1990). Stereoscopic depth discrimination in the visual cortex: Neurons idally suited as disparity detectors. *Science*, *249*, 1037–1040.

Palmer, S. E. (1982). Symmetry transformations, and the structure of perceptual systems. In F. Beck (Hrsg.), *Organization and representation in perception*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Peterson, M. A., & Hochberg, J. (1983). Opposed-set measurement procedure: A quantitative analysis of the role of local cues and intention in form perception. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, *9*, 183–193.

Pinel, P. J. (1997). *Biopsychologie – eine Einführung*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. Plug, C. & Ross, H. E. (1994). The natural moon illusion: A multifactor angular account. *Perception 23*, 321–333

Plug, C., & Ross, H. E. (1994). The natural moon illusion: A multifactor angular account. *Perception*, *23*, 321–333.

Postman, L., & Crutchfield, R. S. (1952). The interaction of need set, and stimulus structure in a cognitive task. *American Journal of Psychology*, *65*, 196–217.

Ramachandran, V. S. (1992). *Kompensation des blinden Flecks*. Spektrum der Wissenschaft, *Juli 1992*, 52–58.

Ramachandran, V. S., & Gregory, R. L. (1991). Perceptual filling in of artificially induced scotomas in human vision. *Nature*, *350*, 699–702.

Ranganathan, R., Harris, W. A., & Zucker, C. S. (1991). The molocular genetics of invertebrate phototransduction. *Trends in Neuroscience*, *14*, 486–493.

Regan, D., & Cynader, M. (1979). Neurons in area 18 of cat visual cortex selectively sensitive to changing size: Nonlinear interactions between responses to two edges. *Vision Research*, *19*, 699–711.

Reichardt, W. (1961). Autocorrelation, a principle for the evaluation of sensory information by the central nervous system. In W. A. Rosenblith (Hrsg.), *Sensory communication* (S. 303–318). New York: Wiley.

Reicher, E. (1969). Perceptual recognition as a function of meaningfullness of stimulus material. *Journal of Experimental Psychology*, *81*, 275–280.

Riesen, A. H. (1960). Effects of Stimulus Deprivation on the Development and Atrophy of the Visual Sensory System. *J. Orthopsychiatr.*, *30*, 23–26. Riesen, 1965.

Rumelhart, D. E., & Siple, P. (1974). Process of Recognizing Tachistoscopically Presented Words. *Psychological Review*, *81*, 88–118.

Runeson, S., & Frykholm, G. (1981). Visual perception of liftet wights. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *7*, 733–740.

Sarris, V. (1971). *Wahrnehmung und Urteil, Bezugssystemeffekte in der Psychophysik*. Göttingen: Hogrefe.

Schleidt, W. M. (1961). Über die Auslösung der Flucht von Raubvögeln bei Truthühnern. *Die Naturwissenschaften*, *48*, 141–142.

Schmidt, R. F., Thews, G. (Hrsg.). (1997[27]/2000[28]). *Physiologie des Menschen*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Schutz, F. (1970). Objektfixierung geschlechtlicher Reaktionen bei Anatiden und Hühnern. *Die Naturwissenschaften*, *50*, 624–625.

Segall, M. H., Dasen, P. R., Berry, J. W., & Poortinga, Y. H. (1990). *Human behavior in global perspective: an introduction to cross-cultural psychology*. New York: Pergamon.

Senden, M. V. (1960). *Space and sight*. New York: Free Press.

Shapley, R., & Lennie, P. (1985). Spartial frequency analysis in the visual system. *Annual review of Neurosciences*, *8*, 547–583.

Sherif, M. (1935). A study of some social factors in perception. *Archives of Psychology*, *27*, 187.

Shiffrar, M. (1994). When what meets where. *Current Directions in Psychological Science*, *3*, 96–100.
Shiffrar, M., & Freyd, J. J. (1990). Apparent motion of the human body. *Psychological science*, *1*, 257–264.
Shiffrar, M., & Freyd, J. J. (1993). Timing and apparent motion path choice with human body photographs. *Psychological Science*, *4*, 379–384.
Singer, W. (1994). Putative functions of temporal correlations in neocortical processing. In C. Koch & J. L. Davis (Hrsg.), *Large-scale neuronal theories of the brain*. Cambridge, MA: MIT Press Cambridge.
Sperling, G. (1960). Afterimage without prior image. *Science*, *131*, 1613–1614.
Steinman, R. M., Pizlo, Z. & Pizlo, F. (2000). Phi is not Beta, and why Wertheimer´s dicovery launched the Gestalt revolution. *Vision Research*, *40*, 2257–2264
Stevens, S. S. (1975). *Psychophysics. Introduction to its perceptual, neural, and social prospects*. New York: Wiley.
Stevens, S. S., & Galanter, E. H. (1957). Ratio scales and category scales for a dozen perceptual continua. *Journal of Experimental Psychology*, *54*, 377–411.
Thimbleby, H. W., Inglis, S., & Witten, I. H. (1994). *Displaying 3DImages: Algorithms for Single-Image Random-Dot Stereograms. In Computer: Innovative technology for computer professionals* (S. 38–48). New York: IEEE Computer Society.
Tinbergen, N. (1942). An objective study of the innate behaviour of animals. *Biblioth. Biotheor.*, *1*, 39–98.
Tinbergen, N. (1956). *Instiktlehre*. Berlin, Hamburg: Parey.
Tinbergen, N. (1966). *Tiere und ihr Verhalten*. Life, Wunder der Natur. Time-Life International (Nederland) N. V.
Treisman, A. (1987). Properties, parts, and objects. In K. R. Boff, L. Kaufman & F. P. Thomas (Hrsg.), *Handbook of Perception and human Performance (Kap. 35)*. New York: Wiley.
Treisman, A. (1993). The perception of features and objects. In A. Beaddley & L. Weiskrantz (Hrsg.), *Attention: selection awareness and controlling* (S. 5–34). Oxford: Clarendon.
Turnbull, C. (1961). *The forest people*. New York: Simon & Schuster.
Tyler, C. W. (1983). Sensory processing of binocular disparity. In C. M. Schor & K. J. Cinffreda (Hrsg.), *Vergence eye movements: Basic and clinical aspects*. London: Butterworths.
Tyler, C. W., & Clarke, M. B. (1990). The autostereogram. In J. O. Merrit & S. S. Fischer (Hrsg.), *Stereoscopic displays and applications* (S. 182–197). Bellingham: International society for optical engineering.
Wahnschaffe, A., Haedel, S., Rodenbeck, A., Stoll, C., Rudolph, H., Kozakov, R., Schoepp, H., & Kunz, D. (2013). Out of the Lab and into the Bathroom: Evening Short-Term Exposure to Conventional Light Suppresses Melatonin and Increases Alertness Perception. *International Journal of Molecular Sciences*, *14*, 2573–2589. www.mdpi.com/journal/ijms.
Weiskrantz, L. (1986). *Blindsight: A case study and implications*. Oxford: Oxford University Press.
Weiskrantz, L., Sanders, M. D., & Marshall, J. (1974). Visual capacity in the hemianopic field following a restricted cortical ablation. *Brain*, *97*, 709–728.
Velden, M. (1982). *Die Signalentdeckungstheorie in der Psychologie*. Stuttgart: Kohlhammer.
v. Weizsäcker, V. (1947). *Der Gestaltkreis*. Stuttgart: Thieme.
Wertheimer, M. (1912). Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung. *Zeitschrift für Psychologie*, *61*, 161–256.
Witte, W. (1960). Experimentelle Untersuchungen von Bezugssystemen. I. Struktur, Dynamik & Genese von Bezugssystemen. *Psychologische Beiträge*, *4*, 218–252.Wheeler, D. D. (1970). Processes in word recognition. *Cognitive Psychology*, *1*, 59–85.
Wohlschläger, A., & Prinz, W. (2006). Wahrnehmung. In H. Spada (Hrsg.), *Lehrbuch Allgemeine Psychologie*. Bern: Hans Huber.
Wundt, W. (1874/1893). *Grundzüge einer physiologischen Psychologie*. Leipzig: Engelmann.
Young, T. (1802). On the theory of Light and colours. *Transactions of the Royal Society of London*, *92*, 12–48.
Zeki, S. (1983). Colour coding in the cerebral cortex: The reaction of cells in monkey visual cortex to wavelength and colours. *Neuroscience*, *9*, 741–765.
Zeki, S. (1984). The construction of colours by the cerebral cortex. *Proceedings of the Royal Institute of Great Britain*, *56*, 231–257.
Ziegler, H. P., & Leibowitz, H. (1957). Apparent visual size as a function of distance for children and adults. *American Journal of Psychology*, *70*, 106–109.

Auditorisches System und weitere Wahrnehmungssysteme

Christian Becker-Carus, Mike Wendt

4.1 Gehör – das auditive System – 158
4.1.1 Psychophysische Grundlagen – 159
4.1.2 Aufbau und Funktion des Ohres – 160
4.1.3 Hörbahn und auditorischer Cortex – 166
4.1.4 Hörtheorien – 168
4.1.5 Auditive Raumwahrnehmung – 169
4.1.6 Auditive Wahrnehmungsorganisation – 170

4.2 Geruch und Geschmack – 170
4.2.1 Geruchswahrnehmung: Aufbau und Funktion des olfaktorischen Systems – 172
4.2.2 Geschmackswahrnehmung: Aufbau und Funktion des gustatorischen Systems – 179

4.3 Somatosensorisches System – 181
4.3.1 Oberflächensensibilität (Exterozeption) – 183
4.3.2 Tiefensensibilität (Propriozeption) – 191

4.4 Multimodale Wahrnehmung – 191

Literatur – 194

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Becker-Carus, M. Wendt, *Allgemeine Psychologie,* DOI 10.1007/978-3-662-53006-1_4

Das Gehör informiert uns über Ereignisse in unserer Umwelt, von denen wir viele nicht bemerken würden, wenn wir nur auf den Gesichtssinn angewiesen wären.

Es spricht einiges für die Ansicht, dass die Wahrnehmungen des somatosensorischen Systems genauso lebenswichtig sind, wie die visuellen und auditiven Wahrnehmungen. (Goldstein 1997, S. 432 u. S. 347)

? 1. Was sind die wesentlichsten Übereinstimmungen, was die wesentlichsten Unterschiede zwischen auditiver und visueller Wahrnehmung?
2. Inwiefern stellt die Behauptung, die wahrgenommene Höhe eines Klangs sei durch seine Schallfrequenz bestimmt, eine unzureichende Verkürzung dar?
3. Welche Kette von Prozessen liegt zwischen dem Eintreffen von Schall am Ohr und den zugehörigen Entladungsimpulsen im Hörnerv?
4. Mithilfe welcher Informationen ortet das auditive System Schallquellen im Raum?
5. In welchen Regionen der Körperoberfläche ist das räumliche Auflösungsvermögen für Berührungsreize am größten? Wodurch sind diese Regionen gekennzeichnet, wodurch die zugehörigen corticalen Projektionsgebiete?
6. Welche Besonderheit tritt bei der Wahrnehmung selbstverursachter Berührungen auf?

Neben der visuellen Wahrnehmung ist die auditive (auditorische) Wahrnehmung für uns die wichtigste Quelle der Informationsaufnahme und Orientierung im Raum. Wie wir in unserem Eingangsbeispiel zu ► Kap. 3 anhand der Vorstellung des Kahns auf einem See bereits deutlich gemacht haben, verschmelzen normalerweise die Informationseingänge der verschiedenen Sinnesmodalitäten zu einem einheitlichen **Perzept**, das uns zu Bewusstsein kommt, ohne dass wir die einzelnen Komponenten klar trennen. Wir nehmen den Kahn realiter auch mit all seinen akustischen Komponenten mit dem Gehör wahr, und je nach unserer Aufmerksamkeitsorientierung oder Sinnesleistung erhalten wir, jeder Einzelne von uns für sich, ein individuelles Erlebnis zum Beispiel der im Kahn-Beispiel geschilderten Situation.

Wie groß der auditive Anteil ist, kann uns bewusst werden, wenn wir in irgendeiner bestimmten Situation, zum Beispiel auf einer Bank im Stadtpark oder auf einem Stuhl an unserem Arbeitstisch sitzend, die Augen schließen und uns darauf konzentrieren, was uns unsere Ohren über die Umgebung mitteilen. Wir nehmen die Schritte oder die Stimmen anderer Menschen wahr, die vorübergehen. Wir hören zum Beispiel in einem Gebäude den Fahrstuhl kommen oder gehen. Aus der Erfahrung, die sich auch hier in unser Wahrnehmen automatisch einmischt, können wir „hören", ob er auf unserem oder einem anderen Stockwerk anhält und ob jemand aussteigt. Wir hören vielleicht die Leute von der Müllabfuhr oder können am fernen Motorengeräusch bereits wahrnehmen, dass der Müllwagen oder dass ein bestimmter Freund mit seinem Wagen vorfährt. Oder wir hören, dass der Nachbar X seinen Rasen mäht oder Gäste hat oder dass im entfernten Wald Bäume gefällt werden. Ornithologen (Vogelkundler) können sich versteckt haltende Vögel (Eulen in der Nacht) an ihrem eindeutigen Rufen allein über das Ohr erkennen. All dies ist möglich, weil wir gelernt haben, was die bestimmten Geräusche bedeuten, und die zugehörigen Zusammenhänge im Gedächtnis gespeichert haben.

Neben den ausführlicher dargestellten Sinneswahrnehmungen von Auge und Ohr verfügen wir noch über eine Reihe weiterer Sinneseindrücke, die unser Bild von der Welt formen und unser Verhalten beeinflussen, und das bisweilen gravierend, wie zum Beispiel beim Schmerz.

Da diese anderen Sinneswahrnehmungen jedoch nicht so vielfältig strukturiert und organisiert sind wie Sehen und Hören, die daher den übrigen Sinnen auch als *höhere Sinne* gegenübergestellt werden, werden sie in der einführenden Literatur zumeist weniger gründlich abgehandelt. Dazu mag beitragen, dass diese Wahrnehmungen wegen ihrer Komplexität und Interaktion untereinander und mit anderen Sinnessystemen noch weniger gründlich erforscht sind. Zu diesen weiteren Sinneswahrnehmungen gehören vor allem **Geruch** und **Geschmack**, der Bereich der **Somatosensorik** mit **Druck**- und **Tastwahrnehmung** sowie **Temperatur**- und **Schmerzwahrnehmung**. Hinzu kommt die körpereigene **Tiefensensibilität**, die auch als **Propriozeption** bezeichnet wird. Daneben hat in neuerer Zeit auch die **Sprachwahrnehmung** zunehmendes Interesse erhalten, die in ► Kap. 9 behandelt wird. Weniger wissen wir heute noch über die **Ich-Wahrnehmung** oder die **Personwahrnehmung** (*Zusatztext online*). Wir werden uns zunächst mit den zumeist als nächstwichtig bezeichneten einfachen und vital bedeutsamen Sinnen des Riechens und des Schmeckens sowie der Somatosensorik befassen.

4.1 Gehör – das auditive System

Wir können mit dem auditiven Sinn Dinge und Ereignisse wahrnehmen, von denen wir nichts erfahren würden, wenn wir allein auf das Sehen angewiesen wären. Wir hören vielfach Dinge, die sich weit entfernt, hinter Sichthindernissen (Wänden) oder im Dunkeln ereignen. Insofern wird das Gehör auch als Fernsinnesorgan bezeichnet – im Gegensatz zum Sehen, das immer einen direkten, geradlinigen Kontakt zu seinem Objekt benötigt (auch über Spiegel).

Auf der anderen Seite erschließt uns das Gehör erst die Welt der gesprochenen **Sprache** und die ganze Welt der **Musik**, die uns ohne ein funktionstüchtiges Ohr verschlossen bliebe. Für die meisten von uns stellt das auditive System wohl das wichtigste Mittel **interpersonaler Kommunikation** dar, über das wir Kontakte aufnehmen und am direktesten vom Erleben anderer Menschen erfahren. Helen Keller, die blind und taub war und dank ihrer unermüdlichen Lehrerin eine Taubstummensprache erlernte, hielt Taubheit sogar für schlimmer als Blindheit, weil Taubheit nicht nur wie Blindheit den Kontakt zu den Dingen, sondern den zum anderen Menschen verhindert und ohne das rechtzeitige Lernen anderer Kommunikationsmöglichkeiten (Taubstummensprache) zu innerer Isolation führt.

Auch in der Tierwelt werden Töne und Geräusche als Informationsquelle über Ereignisse in ihrer Umwelt benutzt. Die Lautäußerungen von Tieren dienen vielfach der Signalisierung

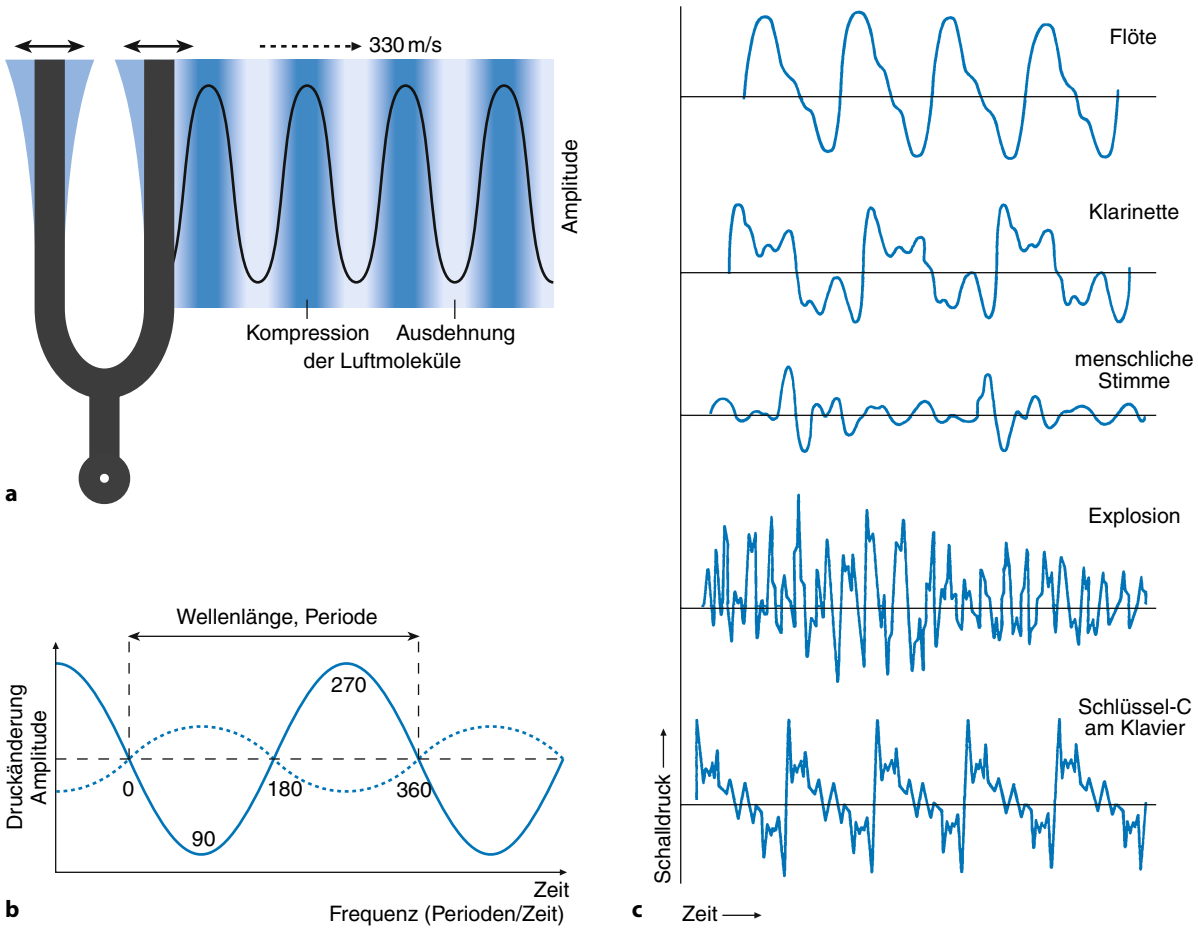


Abb. 4.1 Charakteristika von Schallwellen. Die Geräuschquelle, zum Beispiel eine Stimmgabel (**a**), verursacht Zusammenstöße von Molekülen, die sich als Druckwellen ausbreiten, das heißt Longitudinalwellen, deren Eigenschaften sich aber als Sinuswellen beschreiben lassen (**b**). Lautere Töne haben eine höhere Amplitude, höhere Töne eine höhere Frequenz. Komplexe Wellenformen (**c**) werden als musikalischer Ton empfunden, wenn sie sich regelmäßig wiederholen, als Lärm, wenn sie unregelmäßig sind. Wellenformen vertrauter Geräusche (zum Beispiel bei einer Explosion). Gezeigt sind: Flöte, Klarinette, menschliche Stimme, der Ton c1 am Klavier. Bei letzterem wird die grundlegende Wellenlänge durch den Grundton hervorgebracht. Die mitschwingenden Saiten vibrieren jedoch auch auf einigen höheren Frequenzen, die die Auszackungen des Wellenmusters bedingen. Diese zusätzlichen Frequenzen werden im Klangspektrum identifiziert

von Gefahr oder aber von Beute. Manche Gesänge von Vögeln dienen der Revierbegrenzung, andere zur Signalisierung der Balzbereitschaft. Wie Fledermäuse in der Luft stoßen Tümmler unter Wasser Laute aus, die von Gegenständen, auch Beuteobjekten, zu ihren Ohren reflektiert werden und so zur **Lokalisation** derselben dienen. Die meisten der von Tieren geäußerten Laute, Töne und Schreie dienen der **innerartlichen Kommunikation**. Die komplexeste Form sozialer Kommunikation findet sich freilich in der **menschlichen Sprache**. Die Vielfalt wird hier mit einer erstaunlich kleinen Anzahl von Grundlauten durch mannigfache Kombination erzeugt, und unsere zentrale Frage zielt darauf ab zu erfahren, wie die auf das Ohr auftreffende Ton- und Geräuschfülle analysiert und letztlich decodiert wird.

4.1.1 Psychophysische Grundlagen

Ähnlich wie bei der visuellen Wahrnehmung wollen wir zunächst wieder die grundlegenden Transformationsprozesse betrachten, durch die aus komplexen Druckschwankungen der Luft, die unser Ohr erreichen, die uns schließlich zu Bewusstsein kommende Information über unsere Umwelt extrahiert wird. Wie entstehen aus den Druckschwankungen elektrophysiologische Signale, wie werden sie weitergeleitet, und wie werden sie schließlich im Cortex in Erlebnisse der vielfältigen Ton- und Klangfarben oder in die Lokalisierung von Schallquellen umgesetzt?

Wir beginnen zunächst mit einer kurzen Betrachtung der physikalischen Voraussetzungen (und der Anatomie des auditiven Systems). Danach werden wir uns der Funktionsweise und den einzelnen Verarbeitungsprozessen zuwenden, die bereits im inneren Ohr beginnen.

Physikalische Merkmale von Schall

Töne oder Schallsignale entstehen durch die Bewegung oder Vibration eines Objektes. Wenn wir ein Glas oder eine Stimmgabel anstoßen, wird sein (ihr) oberer Randbereich in Schwingung versetzt, die sich auf die umgebenden Luftmoleküle überträgt, die wiederum durch ihre Bewegung die Nachbarmoleküle ebenfalls in Schwingung versetzen. So schwingen die einzelnen Moleküle jeweils nur geringfügig hin und her, verbleiben also am Ort (es gibt keinen Wind!), während die Druck- oder **Schallwellen** in alle Richtungen des Raumes weitergeleitet werden (Abb. 4.1).

Wir können Schallwellen nicht nur mit dem Ohr, sondern, wenn sie kräftig genug sind, auch mit anderen druckempfindlichen Rezeptoren der Haut oder der Eingeweide wahrnehmen. Dies wird deutlich, wenn wir uns der Lautsprecherbox einer „voll aufgedrehten" HiFi-Anlage nähern oder gar unsere Hand auf die Box legen.

Physikalisch gesehen sind Töne also Druckwellen, die sich longitudinal schwingend durch dichte Medien wie Luft oder Wasser fortpflanzen. Ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit beträgt in der Luft 330 m/s (◘ Abb. 4.1). Charakterisiert sind diese Wellen vornehmlich durch ihre Schwingungsfrequenz, gemessen in Hertz (Hz = Schwingungen/Sekunde), sowie durch ihre Schwingungsamplitude.

Schall

Schall bezeichnet hörbare Druckschwankungen eines elastischen Mediums, zumeist Luft oder Wasser.

Psychische Dimensionen akustischer Reize

Die beschriebenen physikalischen Merkmale führen in der Wahrnehmung zu Empfindungen, die vornehmlich anhand der Dimensionen Lautstärke, Tonhöhe und Klangfarbe beschrieben werden können.

Lautstärke

Die empfundene Lautstärke eines Tones (oder Geräusches) wird vor allem durch die Amplitudenhöhe der Schalldruckwelle bestimmt. Zunehmende Amplitudenausschläge entsprechen einer zunehmenden Lautstärke. Gemessen wird die Lautstärke gewöhnlich in Form ihres Schalldruckes, mit dem die Schallwelle auf dem Empfänger, zum Beispiel das Trommelfell oder ein Messinstrument, auftrifft. Die Einzelheiten der komplexen Zusammenhänge werden in ► Exkurs 4.1 erörtert. Hier können wir festhalten:

Schalldruck wird frequenzabhängig als Lautstärke empfunden. Der minimale Schalldruckpegel, der zur Wahrnehmung eines Tones nötig ist, bezeichnet seine Hörschwelle. Die Hörschwelle ist frequenzabhängig.

Tonhöhe

Schalldruckwellen mit einer Frequenz zwischen 20 und 16.000–20.000 Hz und einer gewissen Mindestdruckstärke (► Exkurs 4.1) führen, wenn sie auf unser Ohr treffen, zu Erregungen der im inneren Ohr befindlichen Rezeptoren und lösen im Gehirn Tonempfindungen aus, die im Wesentlichen mit der Schwingungsfrequenz korrespondieren. Für Veränderungen der wahrgenommenen Tonhöhe sind primär Änderungen der Frequenz verantwortlich. Niedrige Frequenzen werden als tiefe Töne und hohe Frequenzen als hohe Töne wahrgenommen.

Klangfarbe

Reine Töne, das heißt Druckwellen einer einzigen Frequenz, wie sie vielfach zu Untersuchungszwecken als Sinuston im Labor verwendet werden, kommen außerhalb derselben kaum vor. Klänge, wie sie von vielen Musikinstrumenten erzeugt werden, setzen sich aus verschiedenen Frequenzen zusammen (Grundfrequenz und harmonische Obertöne). Lautäußerungen, die zur Übertragung von Informationen zwischen verschiedenen Individuen verwendet werden, bestehen aus recht komplexen Wellen, die wiederum diverse Frequenzen unterschiedlicher Intensität beinhalten. Beispiele komplexer Klänge oder Geräusche zeigt ◘ Abb. 4.3.

Derartige Geräusche lassen sich nicht durch irgendeine bestimmte Frequenz und Stärke bestimmen, sondern vielmehr durch das Anteilsverhältnis verschiedener Frequenzen und ihr zeitliches Muster. In der Musik spielen hier die Obertöne, die mit jedem Ton bei einem Instrument mitklingen, eine wichtige Rolle. Die **Klangfarbe** zum Beispiel verschiedener Musikinstrumente beim Hervorbringen des gleichen Tones beruht auf den spezifischen aus verschiedenen Obertönen oder Frequenzkomponenten zusammengesetzten Druckschwankungsmustern.

Was wir aus einem das Ohr treffenden Frequenzgemisch dann tatsächlich als erlebten Ton heraushören, wird außerdem von **Maskierungseffekten** und **Störgeräuschen** beeinflusst, die umso stärker sind, je ähnlicher ihre Frequenzen zueinander sind (Genaueres in *Zusatztext online*).

Maskierung (*masking*)

Unter Maskierung versteht man die Unterdrückung der Wahrnehmung eines Reizes (z. B. visuell, auditorisch) durch einen kurz danach oder gleichzeitig dargebotenen Reiz (den Maskierungsreiz).

Reine Töne bestehen aus Schallwellen einer einzigen Frequenz. Klänge beziehungsweise Töne unterschiedlicher Klangfarbe enthalten Schallwellen mehrerer Frequenzen; Geräusche dagegen enthalten praktisch alle Frequenzen des Hörbereichs.

Störgeräusche beeinträchtigen besonders die Wahrnehmung von Tönen ähnlicher Frequenz.

4.1.2 Aufbau und Funktion des Ohres

Ähnlich wie beim Auge erfolgt auch beim Ohr die Umsetzung der physikalischen Reize, hier der Schallschwingungen, in nervöse Impulse des Hörnervs über zwei unterscheidbare, hintereinander geschaltete Systeme. Zunächst wird der ankommende Schall über ein mechanisch arbeitendes System verstärkt und den Rezeptorzellen zugeführt, was als **Transmission** bezeichnet wird. In einem zweiten Schritt folgt die **Transduktion** genannte Umwandlung in neuronale Impulse, die über fünf bis sechs synaptische Verschaltungen zum Gehirn weitergeleitet werden. Wir wollen die wichtigsten dabei auftretenden Schritte anhand von ◘ Abb. 4.4 verfolgen.

Außen- und Mittelohr

Die Schwingungen der Luftsäule durchlaufen zunächst das äußere Ohr, das aus Ohrmuschel und dem etwa 3 cm langen äußeren Gehörgang besteht, und treffen auf das Trommelfell, das das

Exkurs 4.1

Genauer betrachtet: Lautstärke- und Schalldruckmessung

Unser Gehörsystem ist für einen enorm weiten Bereich physikalischer Intensitäten von Schallreizen empfänglich. An der Grenze zur **absoluten Wahrnehmungsschwelle** sind wir noch in der Lage, das Ticken einer Armbanduhr aus etwa 6 m Entfernung zu hören, während wir am anderen Ende der Wahrnehmungsskala auch noch den „ohrenbetäubenden" Lärm eines startenden Düsenflugzeugs aus nächster Nähe (allerdings mit Schmerzempfindungen verbunden) hören können (▫ Abb. 4.2a). Diese Schwellen haben, gemessen in physikalischen Einheiten des Schalldrucks, etwa eine Milliarde Mal so viel Energie wie die tickende Uhr. Die physikalischen Intensitäten werden wegen der Weite des Bereichs gewöhnlich in logarithmischen Einheiten im Pegelmaß Bel oder Dezibel gemessen. Das **Dezibel**, abgekürzt dB SPL (1/10 Bel, mit dem Zusatz SPL, *sound pressure level*, zur Abgrenzung von anderen gebräuchlichen dB-Maßsystemen), gibt den Schalldruckpegel eines gegebenen Tons an. Ein Bel SPL ist definiert über den Logarithmus des Quotienten aus Schalldruck und dem Schalldruck an der absoluten Schwelle des Hörens, wobei der Schalldruckpegel an der Hörschwelle als Referenzpegel 0 dB beträgt. Jede Erhöhung des Schalldrucks um das Zehnfache wird im Pegelmaß in 20-dB-Einheiten aufgeteilt. Eine Erhöhung des Schalldrucks um 20 dB SPL entspricht also einer zehnfachen Erhöhung. Somit ist eine normale Unterhaltung (60 dB SPL) etwa 10.000fach lauter als ein leises Flüstern, und ein gerade noch schmerzfrei erträglicher Lärm von 90 dB SPL ist eine Trillion Mal lauter als das gerade noch wahrnehmbare Ticken der Armbanduhr. Die physikalische Lautstärke eines Rockfestivals beträgt meist bis zu 120 dB SPL, und ein startendes Düsenflugzeug erzeugt noch in circa 25 m Entfernung einen Lärm von über 140 dB SPL. Länger dauernde konstante Einwirkung von Schallstärken über 100 dB SPL ist nach Atkinson et al. (2000) mit einem permanenten Hörverlust verbunden.

Das Dezibel ist ein physikalisches Maß für die relative Stärke eines Schalls. Dagegen wird die Stärke einer subjektiven **Schallempfindung**, der **Lautstärkepegel**, in der Einheit **Phon** gemessen. Hier wird berücksichtigt, dass die Empfindlichkeit des Gehörs von der Schwingungszahl abhängig ist. Tiefe Töne mit niedriger Frequenz (Schwingungszahl) benötigen einen höheren Schalldruck, um von uns wahrgenommen zu werden, als hohe Töne. Bei einer Frequenz von 100 Hz sind dB- und Phon-Skala identisch.

Um sich die Zusammenhänge der verschiedenen Parameter zu vergegenwärtigen, bedient man sich der Darstellung der sogenannten **Hörfläche**. Hierzu werden in einem Koordinatensystem mit der Tonfrequenz (Hz) als Abszisse und dem Schalldruck als Ordinate (▫ Abb. 4.2b) ferner die **Hörschwelle** sowie die **Schmerzschwelle** (Übergang zur Schmerzempfindung) eingetragen. Zwischen diesen beiden Kurven liegt die Hörfläche, die den gesamten Bereich des normalen menschlichen Hörens veranschaulicht. Im höheren Alter nimmt das Hören der hochfrequenten Töne allerdings merklich ab (▫ Abb. 4.2c). Die Kurven gleicher Lautstärkepegel, **Isophone** genannt (Phonskala rechts), kennzeichnen jeweils alle Töne, die gleich laut empfunden werden. Sie machen deutlich, dass tiefe Töne einen höheren Schalldruck haben müssen, um gleich laut wahrgenommen zu werden, als hohe Töne. Wie ersichtlich, gilt das auch für den Verlauf der Hörschwelle. Die Hörschwelle beträgt bei einer Normfrequenz von 1 Kilohertz 0 Phon; die Schmerzschwelle für diese Frequenz liegt bei 130 Phon (ausführlicher in Gerthsen 2002, S. 191–194).

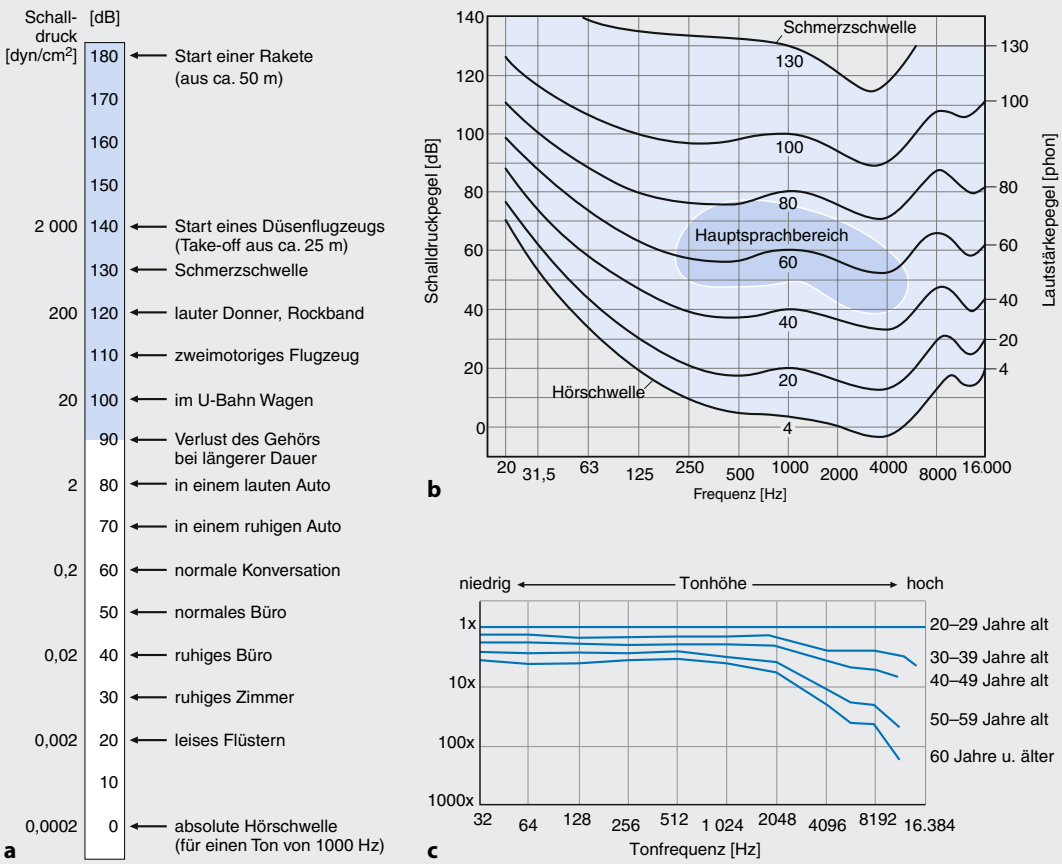


Abb. 4.2 **a** akustische Wahrnehmungsskala in Schalldruck und Dezibel (s. Text), **b** Hörfläche mit Hörschwelle und Schmerzschwelle, **c** Abnahme der Hörfähigkeit mit dem Alter

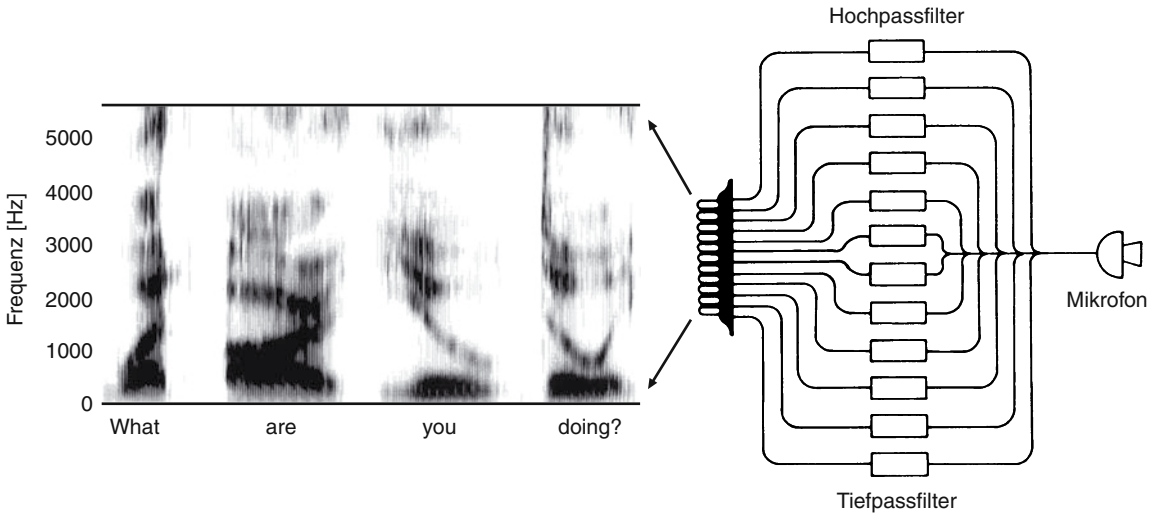


Abb. 4.3 Spektrogramme (visuelle Darstellung) der menschlichen Sprache für die angegebene englische Frage. Dazu *rechts* die schematische Darstellung eines Tonspektrografen, der die Aufzeichnung hervorbringt. Über ein Mikrofon (*ganz rechts*) und eine Reihe von spezifischen Frequenzfiltern wird der gesamte Ton in entsprechend viele Frequenzanteile zerlegt, die dann bildlich aufgezeichnet werden können. Die *Graustufen* drücken die Lautstärke aus

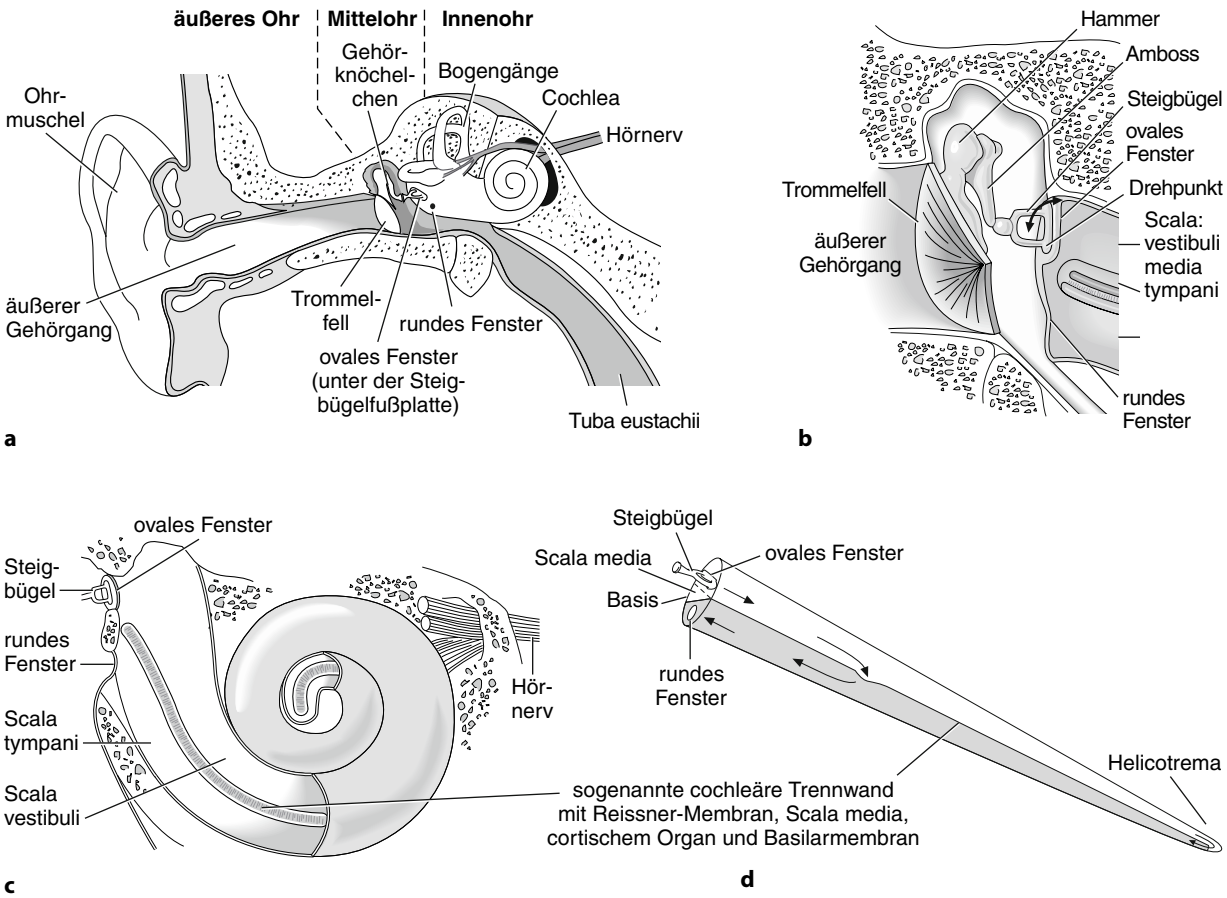


Abb. 4.4 Aufbau des Ohres und Verlauf der Schallaufnahme. a Das von einer Schallquelle (zum Beispiel Stimmgabel) ausgehende Schallfeld erreicht über den äußeren Gehörgang das Trommelfell, **b** Schnitt durch das Mittelohr und Anschnitt der menschlichen Hörschnecke (Cochlea), **c** und **d** Weg des Schalldrucks durch die Cochlea; schematisierte Darstellung mit ausgerollter Schnecke. (Goldstein 1997, S. 322, Abb. 8.10, © Adrienne Lehmann)

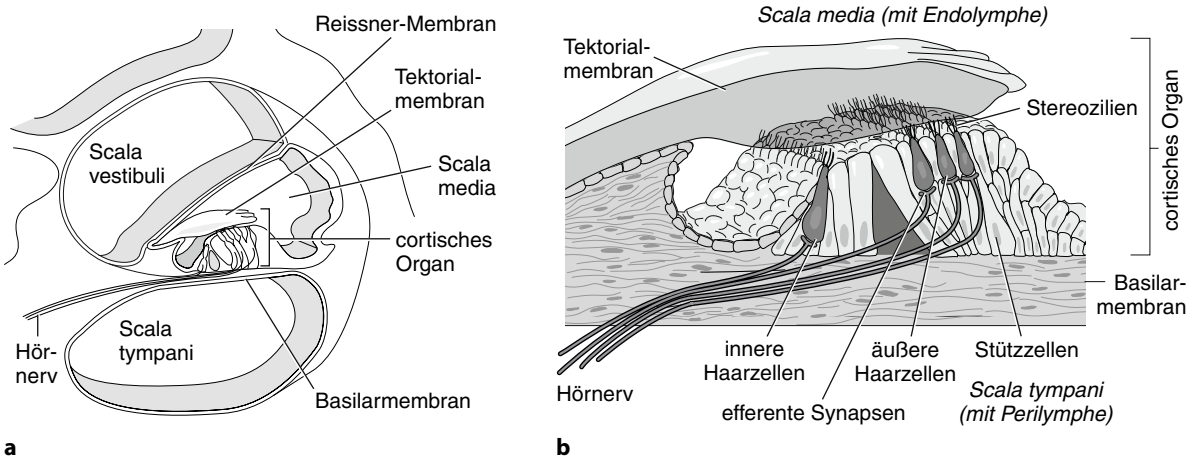


Abb. 4.5 Querschnitt durch das cortische Organ. a Schnitt durch eine Windung der Cochlea. Sie besteht aus drei Etagen: der oberen, der Scala vestibuli, die dem Gleichgewichts- oder Vestibularorgan am nächsten liegt; der unteren, der Scala tympani, die an der Spitze der Schnecke, dem Helicotrema, offen ineinanderübergeht; und der mittleren, der Scala media, in der die Hörsinneszellen auf der Basilarmembran liegen, darüber die sie abdeckende Tektorialmembran, **b** Die äußeren Haarzellen haben mit ihren Stereozilien Kontakt zur Tektorialmembran, deren Schwingung sie übernehmen. Die inneren Haarzellen endigen innerhalb der Endolymphe, von denen sie entsprechend mitbewegt werden. Über efferente Synapsen wird die Information auf die afferenten Hörnerven übertragen

Ohr nach außen abschließt und den Übergang zum geschlossenen Mittelohr bildet. Dieses besteht aus der luftgefüllten Paukenhöhle mit der darin befindlichen **Gehörknöchelchenkette**: **Hammer** (*maleus*), **Amboss** (*incus*) und **Steigbügel** (*stapes*). Die Paukenhöhle steht über eine dünne Röhre, die Tuba eustachii, mit dem Rachen hinter der Mundhöhle in zumeist geschlossener Verbindung und dient zum Druckausgleich (zum Beispiel durch Öffnen beim Schlucken), um das empfindliche Trommelfell vor (zum Beispiel auch schmerzhaften) Spannungen zu schützen.

Die am Trommelfell ankommenden Schallwellen werden über das am Trommelfell angewachsene erste Gehörknöchelchen (Hammer) auf die Gehörknöchelchenkette übertragen, wobei die Gehörknöchelchen über eine exzentrisch gelegene Kippachse mitschwingen und die Schwingung über die Fußplatte des dritten Knöchelchens (Steigbügel) auf die Membran (ovales Fenster) des mit Flüssigkeit gefüllten Innenohres übertragen. Die besondere Wirkung der Gehörknöchelchenkette zur Erhöhung des Schwingungsdruckes beim Übergang zu dem dichteren Flüssigkeitsmedium ist eine dreifache:

1. Der über die relativ große **Fläche** des Trommelfells aufgenommene Druck wird auf die kleine Fläche der Steigbügelplatte **gebündelt** (im Verhältnis 17:1), wodurch der Druck pro Flächeneinheit entsprechend stark ansteigt.
2. Die Gehörknöchelchenkette funktioniert nach dem **Kraft-Hebel-Prinzip**, wonach am langen Kraftarm nur eine kleinere Kraft nötig ist, um am kurzen Hebelarm (Lastarm) eine große Last zu bewegen (Prinzip wie bei Sackkarre, Brecheisen). Dies führt zu einer weiteren Druckerhöhung.
3. Auch bei der **exzentrischen Bewegung** des Steigbügels (Abb. 4.4b) wird über Hebelwirkung eine zusätzliche Druckerhöhung erzielt. Zusammengenommen bewirken diese Mechanismen eine Erhöhung des Schwingungsdruckes um mindestens das 22fache (Durrant und Lovrinic 1977; nach Schubert (1980) sogar um das 100fache).

Innenohr und die Codierung der Schallfrequenz

Das Innenohr besteht aus dem knöchernen Labyrinth des Felsenbeins, in welchem das **Gleichgewichtsorgan** und das **Hörorgan** in einer bindegewebigen Höhle (häutiges Labyrinth) eingebettet liegen. Das Hörorgan, wegen seiner spiraligen Form auch als **Schnecke** (**Cochlea**) bezeichnet, umfasst beim Menschen etwa 2 1/2 Windungen mit einer (im ausgerollten Zustand) Länge von circa 3,5 cm. Jede Windung besteht aus drei „Etagen" oder Skalen, die alle mit Flüssigkeit (Lymphe) gefüllt sind.

Die oberste, die **Scala vestibuli**, und die unterste, die **Scala tympani**, stehen an der Spitze der Schnecke, dem **Helicotrema**, miteinander in offener Verbindung und enthalten **Perilymphe**. Durch die Verbindung können sich die über die Steigbügelplatte und das **ovale Fenster** auf die Perilymphe übertragenen Schwingungen bis zum **runden Fenster** ausbreiten (wo der Druckausgleich erfolgt) und das ganze System einschließlich der mittleren Skala, der **Scala media**, die mit **Endolymphe** gefüllt ist, in Schwingung versetzen. Auf dem Boden der mittleren Skala, der als **Basilarmembran** bezeichnet wird, befindet sich der eigentliche sensorische Apparat, das **cortische Organ** (Abb. 4.5). Es enthält, eingebettet in Stützzellen, die akustischen Sinneszellen (Rezeptoren), die als **Haarzellen** bezeichnet werden. Sie tragen mikroskopisch kleine, haarförmige Fortsätze, die **Stereozilien** oder Sinneshärchen.

Angeordnet sind die Haarzellen in drei Reihen von **äußeren Haarzellen**, die einen engeren Kontakt zu der darüberliegenden gallertartigen Masse, der **Tektorialmembran**, haben, und einer Reihe von **inneren Haarzellen**, deren Sinneshärchen die Tektorialmembran nicht berühren. Bei der durch die Schallwellen verursachten Auslenkung der Basilarmembran durch die Wanderwelle (Abb. 4.5b) einschließlich der Haarzellen nach oben, kommt es zu einer Deflexion (Verbiegung) der Stereozilien. Dabei werden die Stereozilien der äußeren Haarzellen durch die Tektorialmembran, die der inneren Haarzellen durch den Sog der Endolymphströmung deflektiert. Diese adäquate Reizung der Haarzellen führt zu ihrer Erregung.

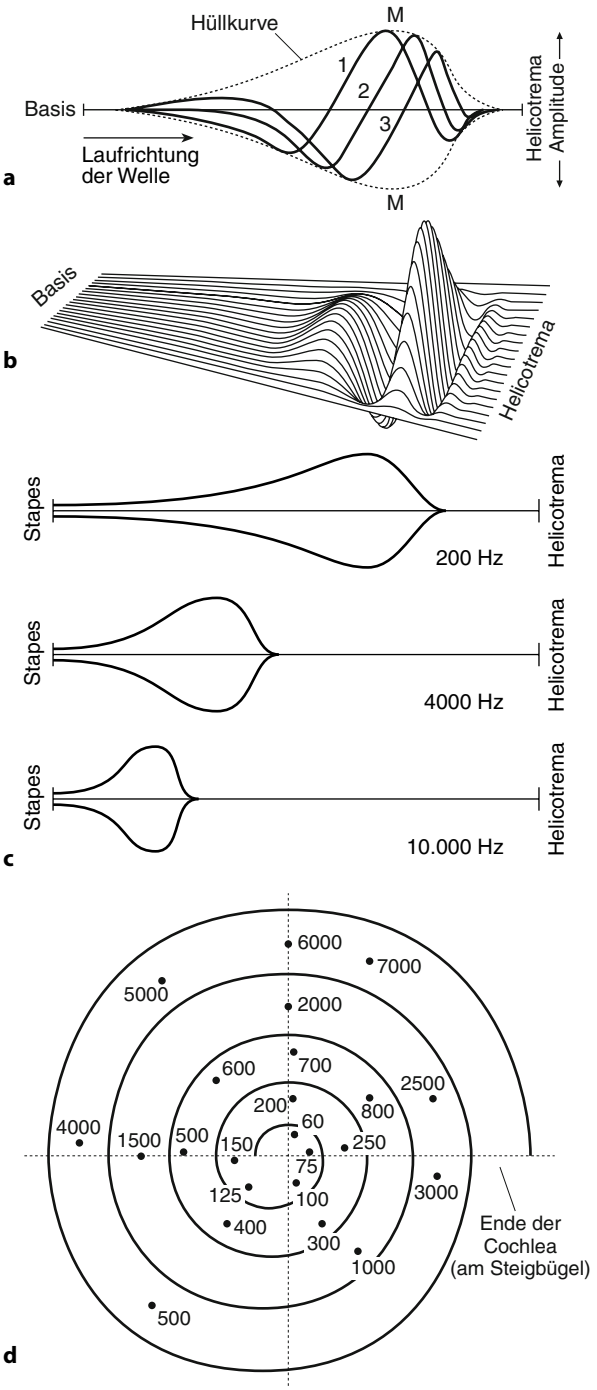


Abb. 4.6 Schallübertragung im Innenohr an der Basilarmembran. **a** Schwingungszustände der Basilarmembran zu verschiedenen Zeitpunkten mit deren Hüllkurve (*gestrichelt*) und dem variierenden Schwingungsmaximum (*M*), **b** Perspektivische Darstellung der Wanderwelle in den cochleären Membranen. Ausgehend von dem ovalen Fenster verläuft die Welle entlang der Basilarmembran zur Schneckenspitze. Je nach Frequenz des Schallsignals bildet sich das Amplitudenmaximum an einem bestimmten und jeweils eng begrenzten Ort aus, wo die Haarzellen entsprechend maximal stimuliert werden, **c** Auslenkungsmaxima der schwingenden Basilarmembran. Bei Tönen zunehmend hoher Frequenzen bilden sich die Schwingungsmaxima zunehmend näher am ovalen Fenster des Steigbügels (Stapes), **d** Tonotope Karte der Cochlea. Die Zahlen bezeichnen die Frequenz und den Ort ihrer maximalen elektrophysiologischen Antwort. Auch hier rufen hohe Frequenzen die stärkste Reaktion an der Basis, am ovalen Fenster, hervor

Wenn die Stereozilien einer Haarzelle in einer Richtung ausgelenkt werden, führt dies zur Depolarisation der Zelle. Eine Auslenkung in die Gegenrichtung führt dagegen zur Hyperpolarisierung. Dieser Wechsel von Potenzialzunahme und -abnahme bei jeder Schwingung der Basilarmembran bewirkt eine schwingungsabhängige Ausschüttung eines Neurotransmitters, der dann in den anschließenden Fasern des Hörnervs entsprechend zur Auslösung von Aktionspotenzialen führt (Kelly 1991).

Betrachten wir den ganzen Prozess nun nochmals unter dem Aspekt der Codierung, das heißt der Umsetzung der Frequenzcharakteristika in die über den Hörnerv weitergeleiteten neuronalen Signale. Wie signalisieren diese neuronalen Impulsmuster die unterschiedlichen Tonhöhen?

Die vom ovalen Fenster ausgehenden Druckwellen laufen, wie dargestellt, die Scala vestibuli entlang zum Helicotrema (auch Apex genannt) und bringen dabei auch gleichzeitig die zwischen Scala vestibuli (oben) und Scala tympani (unten) liegende Scala media mitsamt der Basilarmembran zum Mitschwingen, die gemeinsam einen natürlichen Frequenzanalysator bilden. Wie wir heute aus den eingehenden und einfallsreichen Untersuchungen von Georg von Békésy (1947) wissen (▶ Exkurs 4.2), bilden sich dabei in Abhängigkeit von der Schallfrequenz entlang der Scala media sogenannte **Wanderwellen**, ähnlich wie wir auf einem horizontal gehaltenen gespannten Seil durch Schlagen des einen Endes eine Welle über das Seil laufen lassen können. In Abb. 4.6a ist diese Wanderwelle der Basilarmembran in drei zeitlich aufeinanderfolgenden Positionen dargestellt (ausgezogene Linien). Die gestrichelte Linie kennzeichnet die Hüllkurve mit ihrem Maximum (M). An dieser Stelle der Membran werden die Haarzellen maximal stimuliert. Bedingt durch die nahezu raffiniert gestalteten mechanischen Eigenschaften der Basilarmembran – die Basilarmembran ist an ihrer Basis 100-mal steifer und etwa dreimal breiter und fungiert wie eine biegungssteife Platte –, bilden sich für jede Schallfrequenz charakteristische, feststehende Schwingungsmaxima und -minima entlang der Basilarmembran aus.

Eine plastisch-perspektivische Darstellung hiervon gibt Abb. 4.6b. Wie Békésy nachweisen konnte (▶ Exkurs 4.2), bilden sich diese Schwingungsmaxima bei Beschallung mit hohen Frequenzen zunehmend weiter in der Nähe des ovalen Fensters (schmales, steifes Ende der Basilarmembran), bei Beschallung mit Tiefenfrequenzen dagegen zunehmend mehr in der Nähe des Helicotremas aus (Abb. 4.6c).

Werden bei einer Untersuchung an verschiedenen Stellen der Cochlea Elektroden platziert, um die elektrophysiologische Antwort der Haarzellen auf verschiedene Frequenzen zu registrieren, so erhält man eine **frequenzbezogene**, **tonotope Karte**, auf der die maximalen Erregungen der Frequenzen entlang der Gesamtlänge der Basilarmembran regelmäßig angeordnet sind (Abb. 4.6d; Culler et al. 1943). Somit werden die Haarzellen in erster Linie an den Orten des jeweiligen Schwingungsmaximums erregt (Dallos 1992). Damit ist also jeder Frequenz, aufsteigend vom Helicotrema aus, ein ganz bestimmter Ort auf der Basilarmembran zugeordnet, was als **Ortsprinzip** der Wanderwelle bezeichnet wird. Diese von Békésy (1957) in Zusammenarbeit mit Ranke entwickelte **Einortstheorie**, nach der die einkommenden komplexen Schallwellen gemäß ihrer Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der zunehmend dichteren Basilarmembran nach ihren

Exkurs 4.2

Genauer betrachtet: Békésys Modellexperiment zur Hörfunktion

Bei seinem Experiment ging Békésy (1971) von folgenden Überlegungen aus: Die Basilarmembran leitet sich ontogenetisch von der Haut (dem Ektoderm) her und stellt biologisch nur eine spezielle Differenzierung ihrer grundsätzlichen Struktur dar. Unsere äußere Haut, die durchaus auch vibrationsempfindlich ist, ist freilich nicht sensitiv genug, um so feine Vibrationen aufzunehmen, wie es für den Schallbereich nötig wäre. Sollte es aber nicht möglich sein, ein überdimensionales Gehör für unsere Haut zum Hören zu bauen? Und zwar so, dass das Gehirn auch weiterhin die Transformation der Eingangssignale durchführt und wir den Beobachter fragen, was er fühlt, gerade wie wir ihn sonst fragen, was er hört. In diesem Sinne einer Dimensionsanalyse baute Békésy ein vereinfachtes, vergrößertes Modell der Cochlea, das aber alle wesentlichen Dimensionen in korrekter Relation zueinander aufwies (Abb. 4.7a). Hier können über einen Balg (ovales Fenster) die mechanisch erzeugten Vibrationen (40–320 Hz = 3 Oktaven) auf einen wassergefüllten Metallzylinder (Tympanalkanal) übertragen werden. Dieser ist der Länge nach mit einem Spalt versehen, der durch ein Plastikblatt (Basilarmembran) abgedeckt ist, welches entsprechend am Balgende schmal und steif, zum anderen Ende (Helicotrema) hin breiter und flexibel ist. Die Schwingungsfrequenz und Auslenkung der Basilarmembran ließen sich dann unter Verwendung stroboskopischer Beleuchtung genau ermitteln. Dabei sendet ein Lichtblitzstroboskop mit hoher, messbar veränderlicher Frequenz Lichtblitze aus. Mit einem solchen intermittierenden Licht ausgeleuchtete, schnell verlaufende periodische Vorgänge erscheinen dann je nach Stroboskopfrequenz im Ablauf verlangsamt oder scheinen stillzustehen und werden so leichter beobachtbar.

In Abb. 4.7b ist dargestellt, was die Versuchsperson empfindet, die ihren Unterarm auf die Basilarmembran des Modells gelegt hat. Es zeigte sich, dass sie die Vibrationsempfindung in einem sehr engen Bereich der Haut lokalisiert, obgleich die gesamte Länge des Unterarms von der breiten Wanderwelle gereizt wird. Eine Erhöhung der Vibrationsfrequenz führt zu einer Verschiebung der Sensation in Richtung auf den Balg (ovales Fenster), genau wie es am Ohr beobachtet wurde. Auf diese Weise war es möglich, bereits Töne zu diskriminieren, die sich nur um 20 Hz voneinander unterschieden, obgleich die flachen Gipfel ihrer Wanderwellen nur geringfügig voneinander abweichen. Wir könnten also tatsächlich mit unserer Haut „hören".

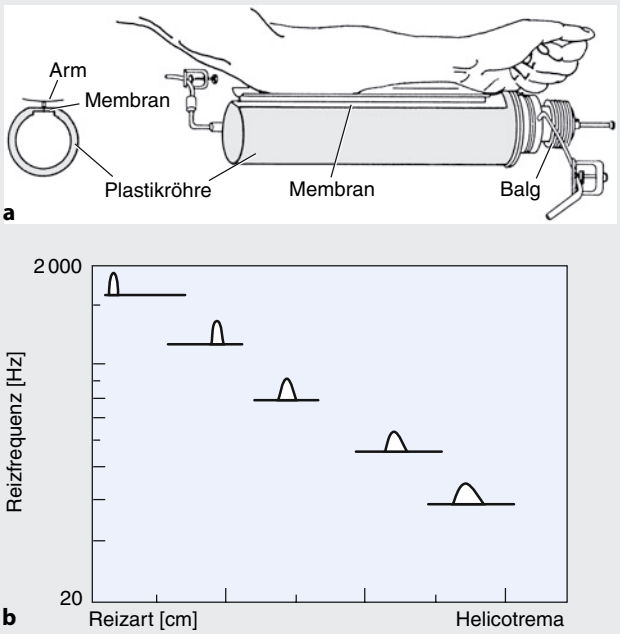
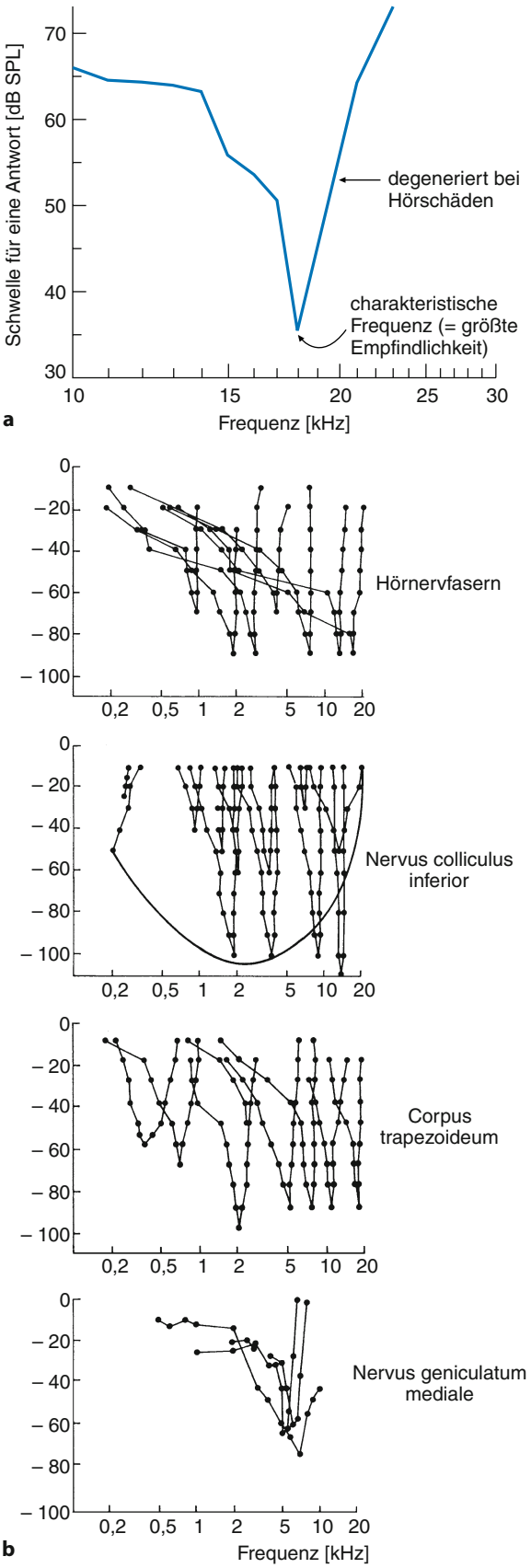


Abb. 4.7 **a** Békésys Modell der Cochlea, **b** lokalisierte Vibrationsempfindungen bei unterschiedlicher Vibrationsfrequenz (s. Text). (**a** nach Békésy 1956; **b** Békésy 1955)

Frequenzanteilen aufgespreizt werden (Frequenzdispersion), ist unter dem Namen **Dispersionstheorie** der akustischen Wahrnehmung bekannt geworden (Genaueres in *Zusatztext online*).

Zu der oben beschriebenen ortsbezogenen (also tonotopen) Codierung der Frequenz gibt es seit den Untersuchungen von Russell und Sellick (1977) einen weiteren Beleg. Sie konnten zeigen, dass einzelne Haarzellen nur auf einen ganz schmalen Frequenzbereich optimal ansprechen, wie es die Tuning-Kurve in Abb. 4.8 für die Frequenz von 18.000 Hz zeigt. Daraus ließ sich ableiten, dass zum Beispiel die Haarzellen nahe dem Helicotrema nicht nur deshalb tiefe Frequenzen signalisieren, weil diese hier stärkere Schwingungen hervorrufen, sondern zusätzlich deshalb, weil die Haarzellen dieses Bereichs auch spezifisch auf tiefe Frequenzen abgestimmt sind (Kelly 1991). Nach dem Ortsprinzip wird die Wanderwelle also an einem frequenzspezifischen Ort entlang der Cochlea plötzlich bis zu 1000fach verstärkt bei gleichzeitiger Entwicklung einer scharfen Reaktionsspitze, die eine sehr feine Frequenzunterscheidung ermöglicht (*best frequency* der Hörnervenfaser).

Durch die über den Steigbügel und das ovale Fenster in die Scala vestibuli des cortischen Organs eintretenden Schallwellen kommt es zu frequenzbezogenen Wanderwellen der Basilarmembran. Diese erzeugen über eine minimale Relativbewegung der Basilar- gegen die Tektorialmembran eine Deflexion der Haarzellenzilien, was zur Auslösung von Rezeptorpotenzialen führt.



4.1.3 Hörbahn und auditorischer Cortex

Die Frequenzanalyse ist nur der erste Schritt auf dem Wege der neuronalen Verarbeitung akustischer Signale. Hinzu kommt die Erkennung von Intensität und Dauer der Reize. Auf den verschiedenen Stufen der Hörbahn bis hin zum zentralen Verarbeitungsort, dem primären sowie dem sekundären auditorischen Cortex, werden ferner offenbar auch spezifische Klang- und Sprachmuster selektiv erfasst.

Die bereits im cortischen Organ erfolgende Aufspreizung der **Schallfrequenzen** auf bestimmte, räumlich verteilte Rezeptoren setzt sich in den Nervenfasern des Nervus acusticus weitgehend fort. Die einzelnen Nervenfasern versorgen alle jeweils nur einen sehr kleinen Bereich des cortischen Organs. Die meisten (90 %) innervieren sogar nur eine einzige innere Haarzelle. Da, wie wir bereits gesehen haben, jedem Ort der Basilarmembran eine bestimmte Schallfrequenz zugeordnet ist, werden auch die Hörnervenfasern jeweils durch nur eine dem Innervationsort entsprechende Schallfrequenz optimal erregt. Diese Frequenz wird als ihre **charakteristische Frequenz** (*best frequency*) bezeichnet.

Ähnlich wie wir es bereits bei der visuellen Wahrnehmung kennengelernt haben, werden auch hier Intensität und Dauer des Schallreizes in der Frequenz der fortgeleiteten evozierten Aktionspotenziale der Nervenfasern codiert. Werden die zugehörigen Rezeptoren (Haarzellen) mit der charakteristischen Frequenz stimuliert, so führt dies zu einer über die normal vorhandene Spontanaktivität hinausgehende Aktionspotenzialfrequenz, die (mit geringer Adaptation) so lange anhält, wie der Reiz dauert.

Bemerkenswert bei der Innervation der Haarzellen ist, dass auch eine beachtliche Anzahl *efferenter* Nervenfasern in das cortische Organ eintritt und hier zu 90 % die äußeren Haarzellen innerviert. Über sie können wir offenbar sowohl die Erregbarkeit der Haarzelle als auch die synaptische Übertragung auf die afferenten Nervenfasern modulieren (vgl. hierzu die Diskussion der selektiven Aufmerksamkeit).

Ferner kann das Gehör im Gegensatz zum visuellen System, dessen Rezeptoren zu jedem Zeitpunkt nur für Lichtreize aus einem bestimmten Ausschnitt der Umgebung (dem Gesichtsfeld) empfänglich sind, ständig Reize aus dem gesamten Umraum aufnehmen. Daher kommt dem auditiven System eine besondere Bedeutung für diverse Überwachungsfunktionen zu, wozu es ausführliche elektrophysiologische Untersuchungen gibt (siehe *Zusatztext online*)

Die **primären afferenten Hörnervenfasern** vereinigen sich schon im Innenohr mit den primären Nervenfasern des Gleichgewichtsorgans zum **Nervus statoacusticus** (VIII. Hirnnerv) und enden nach ihrem Eintritt in den Hirnstamm im **Nucleus coch-**

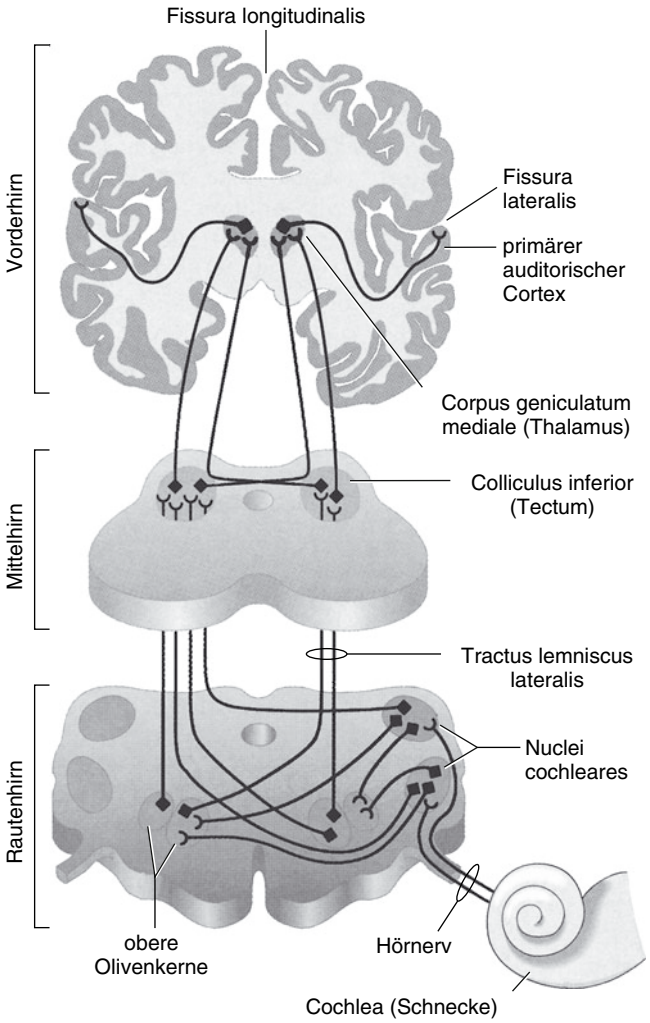
Abb. 4.8 Ansprechfelder (Tuningkurven) einzelner Zellen. a Tuningkurve einer einzelnen inneren Haarzelle beim Meerschweinchen. Diese Haarzelle spricht mit hoher Spezifität am empfindlichsten auf eine Frequenz von 18.000 Hz an. Ober- und unterhalb dieser Frequenz nimmt die Empfindlichkeit schnell ab (Daten von Russell und Sellick 1977), **b** Tuningkurven einzelner Neurone in verschiedenen Abschnitten der Hörbahn bei der Katze. Die Reaktionsfelder der einzelnen Neurone werden bis hin zum Corpus geniculatum mediale zunehmend komplexer für einen umfassenderen Frequenzbereich. (Russell und Sellick 1977)

learis, wo die erste synaptische Umschaltung stattfindet. Weitere Verschaltungen finden sich dann, nach teilweisem Überkreuzen auf die andere Körperseite, in der **oberen Olive** (beide Körperseiten) und schließlich im **Colliculus inferior**, von wo aus die Bahnen über das **Corpus geniculatum mediale** (im Thalamus) als **Hörstrahlung** (Radiatio acustica) zum **primären auditorischen Cortex** (Hörrinde, Area 41 und 42 im Schläfenlappen) ziehen (◘ Abb. 4.9 und 4.10). Ähnlich wie im visuellen System nimmt die Anzahl an der Verarbeitung beteiligten Zellen auf den höheren Verarbeitungsstufen beträchtlich zu. So stehen den etwa 90.000 Neuronen des Nucleus cochlearis ungefähr 500.000 Neurone im Nucleus geniculatis mediale gegenüber, was dafür spricht, dass aufsteigend immer kompliziertere Merkmalsanalysen ablaufen. Zudem bestehen – wiederum vergleichbar dem visuellen System – absteigende Bahnen, bis hinab zur Cochlea, die frühzeitige Top-down-Wirkungen ermöglichen (Rasmussen 1953).

Bei Untersuchungen zum Antwortverhalten der Neurone auf diese verschiedenen Stationen der Hörbahn zeigte sich, dass die Neurone mit zunehmender Entfernung von der Cochlea immer weniger auf einfache Töne ansprechen, dagegen aber zunehmend besser auf kompliziertere Schallereignisse reagieren. Dies lässt vermuten, dass auch die **auditive Mustererkennung** ähnlich abläuft, wie wir sie bei Betrachtung des visuellen Systems und seiner rezeptiven Felder kennengelernt haben. So gibt es auch hier ON-OFF-Neurone und Fasern, die bei einer bestimmten Schallfrequenz aktiviert, durch höhere oder tiefere Frequenzen jedoch gehemmt werden. Wenngleich hierüber noch wenig bekannt ist, deuten doch Befunde an Affen in diese Richtung, bei denen im auditorischen Cortex Neurone gefunden wurden, die (vergleichbar den visuellen Käferdetektoren; vergleiche ▶ Exkurs 5.4) vorwiegend auf **arteigene Kommunikationslaute** ansprechen, nicht aber auf die im Labor üblicherweise verwendeten einfachen akustischen Reize (Manley und Müller-Preuss 1978). Man nimmt daher an, dass diese bis zur Hörrinde **zunehmende Spezialisierung der Neurone** auf bestimmte Eigenschaften der Schallreize auch hier die Basis der Klang- und **Sprachmustererkennung** bietet für die anschließende corticale erkennende Beurteilung von gesprochenem Wort oder Musik (Schmidt et al. 2000). Sie bildet damit die Grundlage für unser *Sprachverstehen*. Von besonderem Interesse hinsichtlich der neuralen Repräsentation des Wahrnehmungsempfindens ist, dass sich Zellen finden, deren Reaktion weniger mit der physikalischen Beschaffenheit des Reizes als mit dem subjektiven Höreindruck korrespondieren, beispielsweise beim Phänomen der fehlenden Grundfrequenz (Bendor und Wang 2005; siehe dazu (*Zusatztext online*)). Analog zu Zellen im visuellen Cortex, die auf Scheinkonturen reagieren.

Der **primäre auditorische Cortex** ist, ähnlich wie der visuelle, aus Kolumnen von unterschiedlichen Neuronen aufgebaut, wobei auch hier die in der Cochlea bereits getroffene Ortsselektivität erhalten bleibt. Die primäre Hörrinde ist also **tonotop** organisiert. Tonotopie bedeutet, dass jede Schwingungsfrequenz hörbarer Töne einen spezifischen Repräsentationsort hat. Hohe Töne werden in einem anderen Bereich repräsentiert als tiefe Töne. Hinzu kommt eine vergrößerte Repräsentanz mittlerer Frequenzen (▶ Exkurs 4.3).

Die Analyse der Tonhöhe erfolgt relativ spät (70–100 ms) nach Reizdarbietung im auditorischen Cortex. Im akustisch



◘ **Abb. 4.9 Verlauf der Hörbahn und deren wichtigste Anteile.** Der stark vereinfachte und schematische Überblick zeigt die afferenten Bahnen eines (des linken) Ohres. Nicht eingetragen sind die zentrifugalen (absteigenden) Bahnen des Hörsystems. In den verschiedenen Kernen der Hörbahn erfolgt eine beträchtliche Konvergenz ipsilateraler und kontralateraler Afferenzen, sodass, wie dargestellt, die aus einem Ohr stammende Information zum primären auditorischen Cortex (primäre Hörrinde) beider Hemisphären gelangt, wobei jedoch die Projektion (über die Hörstrahlung) zur kontralateralen Seite deutlich stärker ist (nicht gesondert hervorgehoben). (Pinel 1997, S. 199, Abb. 8.14, Copyright © 2000 by Pearson Education. Reprinted by permission of the publisher)

evozierten elektrischen Hirnpotenzial finden sich daher auch die stärksten Antworten in einer starken N100-Komponente (▶ Kap. 10 und *Zusatztext online*, Automatische Überwachung).

Der anschließende posteriore **sekundäre auditorische Cortex** ist beim Menschen (wie auch schon bei Affen) auf die Wahrnehmung von **Sprachlauten** und **Phonemen** der menschlichen Sprache spezialisiert. So werden zum Beispiel nach Läsionen in dieser Region Phoneme (Sprachlaute) nicht mehr erkannt. Bei Affen kommt es zu Störungen des Erkennens von Lautäußerungen der Artgenossen.

Ähnlich wie im visuellen lässt sich auch im sekundären auditorischen System ein **ventrales Was-System** und ein **dorsales Wo-System** unterscheiden. Lokalisiert sind diese Systeme rechts parietal (Wo) und in der superioren Temporalwindung (Was).

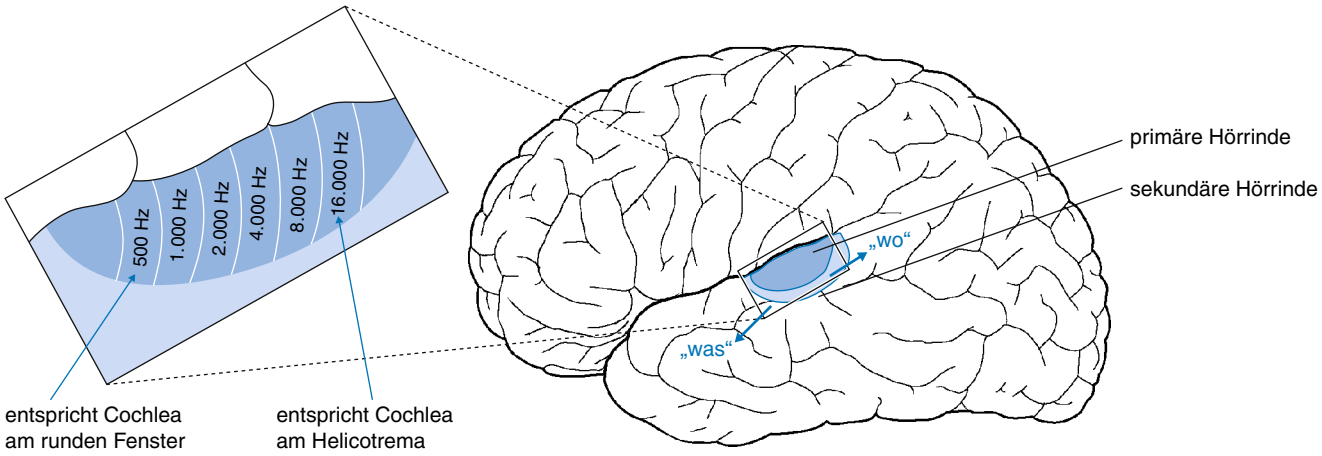


Abb. 4.10 Tonotope Organisation des primären auditorischen Cortex

Exkurs 4.3

Genauer betrachtet: Vergrößerungsfaktor und Spezialisierung im auditorischen Cortex

Ähnlich der überproportionalen Repräsentation foveal aufgenommener Reizinformationen im visuellen System existiert auch im auditiven System eine Art Vergrößerungsfaktor. Hier nehmen Regionen, in denen auditive Informationen mittlerer Frequenzen – für welche die Hörschwelle besonders niedrig liegt (▶ Exkurs 4.1) – repräsentiert werden, übermäßig großen Raum ein. Neurone des auditorischen Cortex können diverse Spezialisierungen aufweisen, z. B. eine besondere Sensitivität für bestimmte Reizintensitäten oder für Informationen von einem der beiden Ohren. Der primäre auditorische Cortex wird von sekundären auditorischen Regionen umgeben, die auch als Belt (Gürtel) und Parabelt bezeichnet werden. Zellen in diesen Arealen reagieren eher auf Klanggemische, die natürlichen Geräuschen oder Lauten ähneln, als auf reine Töne (Rauschecker et al. 1995).

Prosodische Merkmale der Sprache, die auch am Erkennen von Sprachbedeutung beteiligt sind, werden rechts im homologen, ventralen Was-System analysiert.

Die höheren Neurone des auditiven Systems sind hoch spezialisiert und reagieren selektiv nur auf jeweils spezifische Schallmuster. Diese Mustererkennung bildet wohl die Basis für unser Sprachverstehen.

4.1.4 Hörtheorien

Bereits der französische Anatom Josef Toverney hatte 1683 vermutet, dass Tonfrequenzen durch einfache mechanische Resonanz codiert werden können. Resonanz tritt zum Beispiel auf, wenn wir eine Stimmgabel nahe den Saiten eines Klaviers anschlagen. Dann wird nämlich die auf den gleichen Ton gestimmte Saite des Klaviers ebenfalls in Schwingung geraten. Auf diesem grundlegenden Ansatz der frühen **Resonanztheorie** des Hörens entwickelte Hermann von Helmholtz im 19. Jahrhundert die bereits ausführlich dargestellte **Einortstheorie** der Tonhöhenwahrnehmung. Sie wurde insbesondere von Békésy (1957) experimentell untersucht, revidiert und erweitert. Bei seinen Untersuchungen, bei denen er Löcher in die Cochlea von Meerschweinchen, aber auch von menschlichen Leichenohren bohrte und das Innere mit dem Mikroskop betrachtete, entdeckte er, wie dargestellt, dass hochfrequente Schallwellen nur den Anfangsteil der Basilarmembran in Schwingung versetzen, tieferfrequente dagegen zunehmend den Endabschnitt, was ihm neben anderen Entdeckungen 1961 den Nobelpreis eintrug. Diese Entdeckungen führten dann zu der von Békésy und Ranke formulierten **Dispersionstheorie** der akustischen Wahrnehmung, wonach Schallwellen gemäß ihrer Fortpflanzungsgeschwindigkeit in einem zunehmend dichteren Medium nach ihren Frequenzanteilen eine örtliche Aufspreizung (Dispersion) längs der Basilarmembran erfahren.

Auf der anderen Seite hatte Lord Rutherford, ein britischer Physiologe, bereits 1886 die Grundzüge einer **Periodizitätstheorie** der Tonhöhenwahrnehmung entworfen, die Mitte des 20. Jahrhunderts ebenfalls experimentell untersucht und weiterentwickelt wurde (zum Beispiel Weaver 1949). Diese Periodizitätstheorie, auch **Frequenztheorie** genannt, geht davon aus, dass die Basilarmembran insgesamt im Gleichklang mit der Frequenz der ankommenden Schallreize vibriert und dass diese Schwingungsfrequenz dann auch die Impulsfrequenz der Nervenfasern bestimmt, die somit auch der Tonfrequenz entspricht. So würde also eine Schallwelle von 100 Schwingungen pro Sekunde auch eine Impulsfolge von 100 Hz auf dem Hörnerv auslösen, die dann vom Gehirn als bestimmte Tonhöhe erkannt würde. Das Problem bei diesem Ansatz aber besteht darin, dass ein einzelnes Neuron nicht öfter als 1000-mal in der Sekunde feuern kann. Damit bliebe unerklärlich, wie wir auch Töne mit einer Frequenz von mehr als 1000 Hz wahrnehmen können. Zur Lösung dieses Problems wurde zunächst von Weaver (1949) argumentiert, dass Frequenzen über 1000 Hz dadurch codiert werden könnten, dass jeweils nur eine Gruppe von Neuronen bei jeder Schwingung sofort reagiert und eine weitere Gruppe kurz danach mit einer zeitlich etwas verschobenen Phase. Die kombinierte Feuerungsrate mehrerer Gruppen von Neuronen sollte dann in der Lage sein, Reize bis zu 4000 Hz abzubilden (Murch und Woodworth 1978). Diese Erweiterung der Periodizitätstheorie wurde als **Salventheorie** bezeichnet.

Tatsächlich zeigten physiologische Untersuchungen eine Phasenkopplung der Entladungen auditiver Neurone an akustische Signale bis zu Frequenzen von 4000–5000 Hz, wobei bei Frequenzen oberhalb von 1000 Hz eine jeweilige Zelle nicht mehr bei jeder Einzelschwingung feuert.

Nun aber sind wir bekanntlich in der Lage, auch Tonfrequenzen weit über 4000 Hz wahrzunehmen, sodass hierfür zumindest ein weiterer, anderer Codierungsmechanismus angenommen werden müsste.

Nicht diskutiert haben wir bisher, dass auch die Ortstheorien Erklärungsprobleme haben, und zwar gerade im Bereich tiefer Frequenzen, wo die Periodizitätstheorien ihre Stärke haben. Bei tiefen Tönen mit Frequenzen unter 50 Hz schwingen nämlich alle Anteile der Basilarmembran mehr oder weniger gleich stark, sodass auch alle Rezeptoren etwa gleich stark erregt werden und damit eine Frequenzunterscheidung unter 50 Hz hiernach nicht mehr möglich ist. Dennoch können wir Frequenzunterschiede bis etwa 20 Hz unterscheiden. Diese Erkenntnis führte in den letzten Jahren zu der Vorstellung, dass beide Theorien (ähnlich wie bei der Dreifarben- und der Gegenfarbentheorie) sich gegenseitig ergänzen könnten, jede jedoch nur für einen Teilbereich des gesamten Hörspektrums gültig ist.

Danach ließe sich die Frequenzcodierung bei Frequenzen unter etwa 500 Hz nach der Periodizitätstheorie durch Mechanismen der Reaktionshäufigkeit einzelner Neurone erklären. Darüber hinaus, aber insbesondere bei Tonhöhen über 1000 Hz, liefert die Einortstheorie die beste Erklärung für unsere Wahrnehmung von Tonhöhen. Im Bereich zwischen 1000 und 5000 Hz scheint die Erklärung nach beiden Wirkmechanismen möglich (Coren et al. 1999).

Nach der Einortstheorie erfolgt unsere Wahrnehmung der Tonhöhe aufgrund der Stimulierung jeweils eines bestimmten Ortes auf der Basilarmembran der Cochlea, wo jeweils auch die Haarzellen für diese Frequenz besonders empfindlich sind. Nach der Periodizitätstheorie wird die Tonfrequenz vielmehr durch die gleich hohe Frequenz der Nervenimpulse codiert und ermöglicht so die Tonhöhenwahrnehmung.

4.1.5 Auditive Raumwahrnehmung

Woher wissen wir, aus welcher Richtung ein Ton oder ein Geräusch kommt? Die Lokalisation von Schallquellen um uns geht, ähnlich wie das räumliche, binokulare Sehen, auf minimale, aber vom Wahrnehmungssystem erfassbare Unterschiede zwischen den beiden Reizen zurück, die von ein und derselben Schallquelle ausgehend an beiden Ohren ankommen. So wie uns die unterschiedliche Lage zweier Augen das binokulare, räumliche Sehen oder Stereosehen ermöglicht, so beruht auch das **binaurale**, dreidimensionale oder **stereophone Hören** auf der unterschiedlichen räumlichen Position unserer beiden Ohren.

Beim Hören ist der Unterschied zwischen beiden Ohren dann am größten, wenn der Schall von der Seite kommt; er verschwindet vollständig, wenn der Schall direkt von vorn, von oben oder von hinten kommt (Abb. 4.11), und das aus zwei Grün-

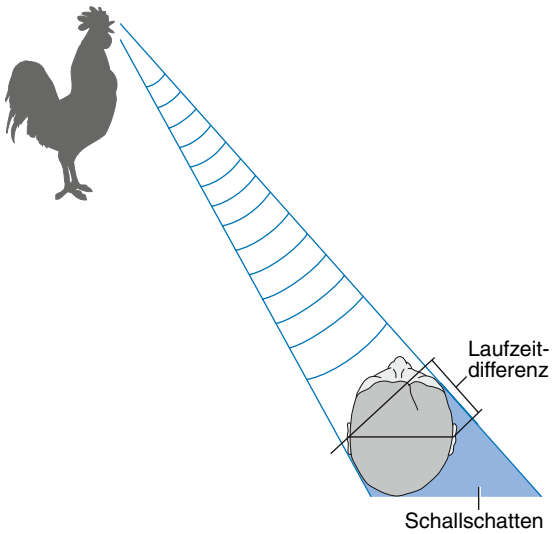


Abb. 4.11 Schallquellenlokalisation. Sie erfolgt vornehmlich über die Ermittlung der Laufzeitdifferenz eines Tones zwischen beiden Ohren. Kommt der Ton von links vorn, erreicht er das linke Ohr früher als das rechte. Dieses Lokalisationsmerkmal ist besonders wirksam bei niedrigen Frequenzen. Bei hohen Frequenzen ist die unterschiedliche Schallintensität von Bedeutung. Sie ist infolge des Schallschattens am abgewandten Ohr niedriger

den. Stellen Sie sich vor, links von Ihnen kräht ein Hahn, dann wird der Schall Ihr linkes Ohr erstens etwas früher erreichen, und er wird zweitens etwas lauter sein. Wie Abb. 4.11 zeigt, müssen die Schallwellen zum rechten Ohr eine längere Strecke zurücklegen als zum linken. Folglich ist auch ihre Laufzeit länger. Dieser Unterschied wird als **interaurale Laufzeitdifferenz** bezeichnet. Die unterschiedliche Intensität, mit der die Schallwellen die beiden Ohren erreichen, wird als **interaurale Intensitätsdifferenz** bezeichnet. Sie tritt auf, weil der Kopf gewissermaßen einen Schatten wirft und das jeweils abgewandte Ohr in diesem Schallwellenschatten liegt. Da sich dieser Schatten vornehmlich auf hochfrequente Töne auswirkt, weil diese im Verhältnis zur Kopfgröße relativ kurze Wellenlängen haben, kommt es nur bei hohen Tönen zu einer wirksamen Pegeldifferenz, während tiefe Töne kaum beeinträchtigt werden.

Obgleich beiderlei Differenzen recht minimal sind, ist unser Hörsystem sensitiv genug, um sie zu erkennen. Ein gerade noch wahrnehmbarer Unterschied der Richtung, aus welcher der Schall kommt, entspricht einer Differenz von nur 0,000027 s (Middlebrooks und Green 1991). Intensitätsunterschiede können bis 1 dB SPL wahrgenommen werden.

Laufzeit- und Intensitätsdifferenzen zwischen beiden Ohren erlauben zwar die Bestimmung des Raumwinkels, sie versagen aber bei der Entscheidung, ob sich die Schallquelle oben, unten, vorne oder hinten befindet. Hier aber kommt beim Menschen die Form der Ohrmuschel ins Spiel (viele Tiere können ihre äußeren Ohren auf die Schallquelle ausrichten). Unsere Ohrmuschel besitzt eine **Richtcharakteristik**, wodurch Schallsignale je nachdem, in welchem Winkel sie auftreffen, minimal verformt werden. Diese modulierten, „verzerrten" Schallmuster können offenbar zentral erkannt und zur Ortung verwendet werden (▶ Exkurs 4.4). Da die genaue Art der Verzerrung durch die spezifische Orientierung des Kopfes im Raum bestimmt wird,

Exkurs 4.4

Genauer betrachtet: Ortung von Schallwellen

Ein augenfälliges Problem bei der Ortung von Schallquellen ergibt sich, wenn wir uns innerhalb von Räumen befinden, in denen der von einer Schallquelle ausgehende Schall unsere Ohren nicht nur auf direktem Wege, sondern auch über Reflexionen an den Raumwänden erreicht. Trotz der sich unter derartigen Bedingungen ergebenden Beschallung aus multiplen Richtungen wird die Fähigkeit der korrekten Lokalisierung der Schallquelle nicht wesentlich beeinträchtigt, das auditive System lässt sich nicht durch die Schallreflexionen in die Irre führen. In einer klassischen Untersuchung zeigten Wallach et al. (1949), dass der maßgebliche Faktor für diese Wirkungslosigkeit der reflektierten Wellen in ihrem kurzzeitig verspäteten Eintreffen gegenüber dem Originalschall liegt. Wallach et al. verwendeten hierfür zwei Lautsprecher, die kontinuierlich dasselbe Geräusch (mit derselben Intensität) darboten. Befand sich die Versuchsperson in gleicher Entfernung zu beiden Schallquellen, nahm sie das Geräusch als von einer Position zwischen den Lautsprechern stammend wahr. Befand sich einer der Lautsprecher jedoch in größerer Nähe zur Versuchsperson als der andere, so schien das Geräusch einzig aus seiner Richtung zu kommen. Dass dies am schnelleren Eintreffen des Signals und nicht an einer höheren Laustärke lag, konnte dadurch gezeigt werden, dass der Effekt auch dann auftrat, wenn die beiden Lautsprecher so justiert wurden, dass sich die Schallstärken am Ort der Versuchsperson nicht voneinander unterschieden. Die Dominanz eines zuerst eintreffenden akustischen Signals gegenüber etwas später (ca. 50 bis 100 ms) eintreffenden „identischen" Schallreizen hinsichtlich der Schallquellenlokalisierung wird als **Präzedenzeffekt** bezeichnet.

gehen Eigenbewegungen – ähnlich wie im visuellen Bereich – mit charakteristischen Veränderungen des anliegenden Schalls in Abhängigkeit von der Position der Schallquelle einher: Besser gelingt uns die Ortung in der Regel, wenn wir den Kopf in der einen oder anderen Richtung so weit bewegen, dass unsere beiden Ohren einen gerade wieder wahrnehmbaren Reizunterschied erhalten. Eigenbewegungen des Kopfes stellen dementsprechend ebenfalls ein wirksames Mittel zur Lokalisierung dar.

Dass bei uns normal Hörenden und Sehenden die Schallwellenreflexionen offenbar unberücksichtigt bleiben, beruht allerdings darauf, dass diese minimal später ankommenden Echos normalerweise unterdrückt werden. Blinde Personen sind dagegen in der Lage, diese **Echounterdrückung** durch Training aufzuheben und die reflektierten Schallwellen, ähnlich wie es von Fledermäusen bekannt ist, zur **Echoortung** zu verwenden. Dabei wird, wie MRT-Untersuchungen zeigten, auch der visuelle Cortex zunehmend mit aktiviert (genauer in *Zusatztext online*).

Räumliches Hören wird insbesondere durch die zwischen beiden Ohreingängen bestehende Laufzeit- und Intensitätsdifferenz sowie charakteristische, durch die spezifische Form der Ohrmuscheln bewirkte Verzerrungen der ankommenden Schallreize ermöglicht. Während die ersten beiden Faktoren bei aufrechter Kopfhaltung lediglich eine Ortung der Schallquelle in der Ebene ermöglichen, erlaubt die durch die Form der Ohrmuscheln bedingte Richtcharakteristik zudem auch eine Ortung in der Senkrechten.

Neuronale Signalverarbeitung

Auf neuronaler Ebene erfolgt die auditorische Raumorientierung durch das zentrale Hörsystem. Dort finden sich bereits in der oberen Olive, wo die Informationen von beiden Ohren zusammenkommen, sowie in dem **Colliculus inferior** und auch im Cortex auf die Raumorientierung hoch spezialisierte Neurone, welche die von beiden Ohren ankommenden Aktionspotenzialfolgen miteinander vergleichen und auf kleinste interaurale Zeitdifferenzen ganz bestimmter Länge ansprechen (Hall 1965). Bei neueren Untersuchungen konnten bei Tieren (Schleiereulen) auch Neurone mit spezifischen **rezeptiven Feldern** nachgewiesen werden, die auf ganz bestimmte Raumabschnitte relativ zum Kopf des Tieres reagieren (▶ Exkurs 4.5; dazu: LINK: Hören – mehr als nur Schall und Schwingung in *Zusatztext online*).

4.1.6 Auditive Wahrnehmungsorganisation

Ähnlich wie in der visuellen Modalität (▶ Abschn. 3.3.8) erschöpft sich auch die auditive Wahrnehmung bei Weitem nicht im Feststellen elementarer Reizmerkmale wie Lautheit, Tonhöhe oder Richtung der Schallquelle. Vielmehr zeichnet sich auch die auditive Wahrnehmung durch Prozesse der Strukturierung der jeweiligen Reizumgebung in zusammenhängende **Gestalten** aus. (Tatsächlich wurde der Begriff der Gestalt zunächst am Beispiel einer Melodie erörtert, welche trotz einer mit einer Veränderung aller einzelnen Töne einher gehenden Transposition erkennbar bleibt (von Ehrenfels 1890; ▶ Exkurs 4.6)).

Das auditive System nutzt diverse Cues, um die vorliegende Stimulation in zusammenhängende akustische Ereignisströme zu gliedern.

4.2 Geruch und Geschmack

Ähnlich wie beim Hören verhält es sich mit unserem *Geruchssinn*. Auch hier nehmen wir etwas über die Welt um uns wahr, was bei uns Erwachsenen Assoziationen oder Erinnerungen wach werden lässt, die plastischer Natur sind. Wir riechen nicht nur den Geruch einer Grillparty oder den Duft eines Parfüms, sondern die Grillparty oder die Person, die das Parfüm trug, kommt uns ins Bewusstsein. Während der Geruchssinn uns Informationen über Dinge vermittelt, die durchaus weiter entfernt sein können, müssen die Objekte, von denen uns der *Geschmackssinn* Kunde bringt, unseren Körper direkt berühren beziehungsweise in diesen aufgenommen werden.

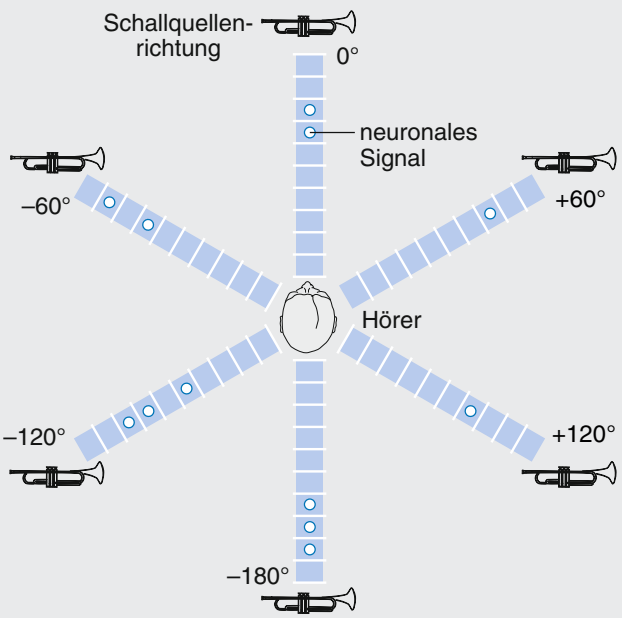
Die Geruchswahrnehmung, das **olfaktorische System**, und die Geschmackswahrnehmung, das **gustatorische System**, werden zusammen auch als **chemische Sinne** bezeichnet, da sie direkt auf die Eigenschaften chemischer Stoffe reagieren, die nicht vermittelt von außen, sondern zur Wahrnehmung direkt in das Körperinnere, durch Einatmen oder In-den-Mund-Nehmen,

Exkurs 4.5

Genauer betrachtet: Auditiv erfasste Raumrepräsentanz

Offenbar gibt es in der Wahrnehmung der Umwelt nicht nur eine visuelle, sondern auch eine auditorische Raumrepräsentanz. Knudsen und Konishi (1978a, 1978b) untersuchten bei Schleiereulen die neuronalen Antworten auf verschieden lokalisierte Schallreize einzelner Neurone in einem Hirngebiet, das etwa dem des Colliculus inferior der Säugetiere entspricht: dem Nucleus mesensephalicus lateralis dorsalis (MLD). In einer besonderen Apparatur setzten sie die Eule einer um sie herum beweglichen Schallquelle aus und kartierten die jeweiligen Positionen der Schallquelle (Lautsprecher), während sie dabei die neuronalen Antworten einzelner Neurone ableiteten. Dabei fanden sie Zellen, die nur dann reagieren, wenn das Schallsignal aus einem kleinen, bestimmten Bereich im Raum kommt. Dieser Bereich ist das rezeptive Feld des Neurons. Einige dieser rezeptiven Felder besaßen (ähnlich wie im visuellen System) ein exzitatorisches Zentrum und ein inhibitorisches Umfeld. Schallsignale, die neben oder über dem auslösenden Zentrum ertönten, führten also zu einer Hemmung der Erregung eines Signals im Zentrum, was offenbar eine äußerst genaue **Raumlokalisation** der Schallquellen ermöglicht. Weiter konnten Knudsen und Konishi feststellen, dass diese Zellen im MLD zu einer Karte des **auditiven Raumes** angeordnet sind, dass also jeweils benachbarte Zellen im MLD auch für benachbarte Raumabschnitte zuständig sind, auf deren Schallreize sie ansprechen. Eine solche Punkt-für-Punkt-Kartierung im MLD der Eule entspricht der uns bereits bekannten Punkt-für-Punkt-Kartierung der Kolumnen in unserem visuellen Cortex. Nach neueren Untersuchungen scheint der bei den gut auditiv lokalisierenden Eulen gefundene Mechanismus nicht ohne Weiteres auf Säugetiere und damit den Menschen übertragbar zu sein. Zwar hat man auch bei Katzen im Colliculus superior (der hier für die visuelle Orientierung auf Schallquellen wichtig ist) Neurone gefunden, die zwar optimal auf Schallquellen an bestimmten Orten des Raumes ansprechen, doch sind ihre rezeptiven Felder recht groß und offenbar nicht zu einer regelmäßigen Karte angeordnet (Middlebrooks und Pettegrew 1981). Middlebrooks et al. (1994) entdeckten jedoch bei ihren Untersuchungen in einem anderen Bereich des auditorischen Cortex der Katze Neurone, die die Lokalisation einer Schallquelle offenbar durch die zeitliche Abfolge ihrer Entladungen codieren. Das Antwortprinzip dieser Neurone verdeutlicht ◘ Abb. 4.12. Ein solches Neuron spricht auf Schallsignale aller Richtungen an, doch die Impulsmuster unterscheiden sich je nach der Richtung, aus der das Tonsignal kommt. Befindet sich die Schallquelle zum Beispiel genau frontal vor dem Kopf (bei 0°), erzeugt das Neuron zwei Impulse in Folge, wie die Punkte auf dem Richtungsbalken andeuten. Dagegen rufen andere Richtungen, wie dargestellt, andere Entladungsmuster hervor. Diese Ergebnisse sprechen dafür, dass es sich um ein „Panorama"-Neuron handelt, das auf Reize aller Richtungen antwortet, aber auf unterschiedliche Richtungen mit unterschiedlichen Impulsmustern (nach Goldstein 1997).

◘ **Abb. 4.12** Verdeutlichung des Antwortprinzips spezieller Neurone im auditorischen Cortex (s. Text). (Goldstein 1996)



aufgenommen werden (Scott und Giza 1995). Der Geruchssinn liefert uns Wahrnehmungen, wenn Moleküle gasförmiger Substanzen an den Rezeptoren der Riechschleimhaut binden; Geschmacksempfindungen treten auf, wenn Moleküle gelöster Substanzen an Geschmacksrezeptoren im Mund binden. Entwicklungsgeschichtlich gehören sie zu unseren ältesten Sinnen. Bereits einfachste (und einzellige) Lebewesen (zum Beispiel das Pantoffeltierchen *Paramecium*) verfügen über **Chemorezeptoren**, mit denen sie sich in ihrer unmittelbaren Umwelt orientieren. Geruchs- und Geschmackssinn gelten weiterhin auch als **Torwächter**, da sie – im Tierreich noch mehr als beim Menschen – die Aufgabe übernommen haben, für den Körper abträgliche oder gefahrvolle Substanzen zurückzuweisen oder für den Organismus lebenswichtige oder verträgliche Dinge zuzulassen oder sogar durch Appetitaktivierung ihre Aufnahme anzuregen.

Diese Funktionen des aversiven oder sympathischen Verhaltens werden durch die stark affektive oder *emotionale Komponente* von Geruch und Geschmack weiter verstärkt. Zum Beispiel reagieren Neugeborene bereits auf sauren Geschmack aversiv. Und bei Speisen wird der Geschmack assoziativ mit dem Befinden

Exkurs 4.6

Genauer betrachtet: Auditive Strukturierungen

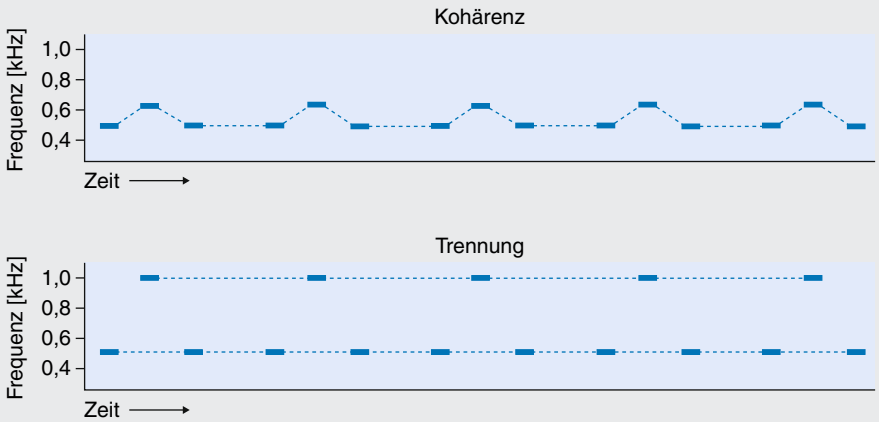
Das am Trommelfell ankommende Klanggemisch muss in gewisser Weise zergliedert und die hierbei entstehenden Komponenten des Gesamtsignals müssen in sinnvoller Weise gruppiert werden. Will man beispielsweise die Aussagen eines Gesprächspartners in einer Umgebung voller weiterer Lautäußerungen verfolgen (vgl. „Cocktailparty-Effekt" in ▶ Kap. 5), so gilt es, die von diesem Sprecher abgesonderten Sprachlaute von allen anderen Geräuschen zu trennen und als zusammengehörig zu erfassen.

Ähnlich wie in der visuellen Modalität nutzt das auditive System diverse Faktoren zur Gruppierung zusammengehörender Reizereignisse. Hierbei spielt die im vorangehenden Abschnitt besprochene Lokalisierung von Schallquellen eine wichtige Rolle: Zwei ähnliche Schallereignisse lassen sich leichter in der Wahrnehmung trennen, wenn sich die Schallquellen an unterschiedlichen Positionen im Raum befinden.

Weitere Gruppierungsfaktoren ergeben sich durch die zeitliche Nähe (Töne werden bevorzugt als zusammengehörig wahrgenommen, wenn sie gleichzeitig beginnen und enden) sowie durch die Ähnlichkeit in Tonhöhe oder Klangfarbe. Beispielsweise führt die repetitive abwechselnde Darbietung eines höheren und eines tieferen Tons zur Wahrnehmung einer einzelnen zusammenhängenden Melodie, wenn der Unterschied der Tonhöhen nur gering ist, während eine ausreichende Vergrößerung des Tonhöhenunterschieds mit der Wahrnehmung zweier getrennter Melodien einhergeht (van Noorden 1975). Hierzu passend lässt sich eine Melodie unkenntlich machen, indem zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Tönen ein weiterer jeweils zufällig aus dem Frequenzspektrum der Melodie gewählter Ton eingefügt wird, während sie erkennbar bleibt, wenn die eingefügten Töne allesamt um eine Oktave erhöht werden (Bregman 1990; ◘ Abb. 4.13).

Demaskierung durch „Rauschverdopplung"

Die Wirkmächtigkeit auditiver Gruppierungsprozesse zeigt sich eindrücklich daran, dass sich eine durch ein Störgeräusch verursachte Maskierung aufheben lässt, wenn das Störgeräusch mit einem weiteren Geräusch zusammengruppiert werden kann. So kann ein einseitig über Kopfhörer vorgegebener Ton, der durch ein auf derselben Seite dargebotenes Störgeräusch maskiert wird, hörbar gemacht werden, indem dasselbe Störgeräusch zusätzlich auch auf der anderen Seite dargeboten wird (*binaural unmasking*). Durch die Korrespondenz eines Teils der auditiven Stimulation (des Störgeräuschs) zwischen den beiden Ohren lässt sich das Gesamtsignal in diesen Teil und den nur einseitig dargebotenen Ton gliedern.



◘ **Abb. 4.13** Auditive Gruppierung

verknüpft, sodass wir Speisen, auf die Unwohlsein oder Übelkeit erfolgte, nicht mehr mögen (Logue 1998). Hiermit hängt zusammen, dass eine Verhaltenskonditionierung auf Geschmacksreize besonders intensiv erfolgt, wovon in ▶ Exkurs 7.14 (Geschmacksaversionskonditionierung) noch ausführlich die Rede sein wird.

In vielen Fällen, wie zum Beispiel bei der Wahrnehmung des „Geschmacks" einer Nahrung, arbeiten beide Wahrnehmungssysteme eng zusammen. Die Moleküle des Essens erregen dabei sowohl die Geruchs- als auch die Geschmacksrezeptoren und erzeugen für uns einen integrierten Wahrnehmungseindruck. Diese kombinierte Wahrnehmung wird als **Aroma** bezeichnet.

Der Beitrag des Geruchssinnes zu dieser integrierten Wahrnehmung wird oft unterschätzt. Er kann uns aber deutlich werden, wenn uns bei starkem Schnupfen die Speisen fade oder ohne rechten Geschmack erscheinen. Dann nämlich versperren die reichlich fließenden Sekrete den Riechstoffen den Zugang zum Riechepithel, womit der wesentliche Beitrag der Geruchswahrnehmung am Aroma unterbunden ist (▶ Exkurs 4.7).

Im Folgenden werden wir nun zunächst beide Systeme getrennt darstellen, da es sich in weiten Bereichen um eigenständige Leistungen handelt und die Wahrnehmungsanalyse auch nach unterschiedlichen Prinzipien und bekanntermaßen auch an unterschiedlichen Orten beginnend (Nase beziehungsweise Zunge) verläuft.

4.2.1 Geruchswahrnehmung: Aufbau und Funktion des olfaktorischen Systems

Die menschliche Geruchswahrnehmung oder **Olfaktion** kann Tausende von verschiedenen Gerüchen unterscheiden. Man geht heute von etwa 10.000 bis zu 40.000 unterscheidbaren Düften aus, die sich allerdings verbal nur schwer differenzieren lassen. Offenbar lässt sich jedoch das Unterscheidungsvermögen durch Training wesentlich verbessern, denn professionelle Parfümeure oder Whiskeyblender können wohl an die 100.000 Düfte unterscheiden (Dobb 1989). Auch sind die Geruchsschwellen für viele Geruchsstoffe äußerst niedrig. Bereits die Anwesenheit von 10^8 Molekülen eines Geruchsstoffes im Raum können von uns bemerkt werden. Wie de Vries und Stuiver (1961) belegen

Exkurs 4.7

Experiment und Genauer betrachtet: Wahrnehmung des Aromas

Das, was wir als Aroma wahrnehmen, ist eine **kombinierte Wahrnehmung** des **Geruchs-** und des **Geschmackssinnes**. Viele Empfindungen, die wir landläufig als Geschmack bezeichnen (zum Beispiel wie Kaffee oder wie Schokolade „schmeckt") und von denen wir den Eindruck haben, dass sie nur aufgrund der Stimulation unserer Zunge zustande kommen, sind jedoch tatsächlich wesentlich von der Erregung der Geruchsrezeptoren abhängig. Falls Sie dies nicht schon selbst zum Beispiel bei Schnupfen erlebt haben, können Sie sich das Phänomen mit folgendem Selbstexperiment veranschaulichen: Trinken Sie ein paar Schlucke eines charakteristisch „schmeckenden" Getränks wie Kaffee oder Fruchtsaft und halten Sie sich dabei die Nase zu, sodass keine Luft im Rachen-Nasen-Raum zirkulieren kann. Achten Sie beim Trinken sowohl auf die Geschmacksqualität als auch auf die Geschmacksintensität. Lassen Sie dann nach einem Schluck Ihre Nase los und achten Sie erneut auf Ihre Wahrnehmung. Trinken Sie schließlich wieder mit normal geöffneten Nasenlöchern. Was Sie nun mit Mund beziehungsweise Zunge und Nase zusammen wahrnehmen, wird als **Aroma** bezeichnet.

Die Bedeutung des Riechens für die Wahrnehmung des Aromas wurde in verschiedenen Arbeiten (Mozell et al. 1969; Hettinger et al. 1990) sowohl für gelöste chemische Substanzen als auch für verschiedene gängige Nahrungsmittel experimentell nachgewiesen. Dabei erhielten die Probanden jeweils die Aufgabe, die in den Mund aufgenommenen Substanzen beziehungsweise Nahrungsmittel mit offener und mit geschlossener Nase zu identifizieren. Wie ◘ Abb. 4.14a zeigt, konnten die Versuchspersonen jede getestete Substanz mit offener Nase weitaus leichter erkennen.

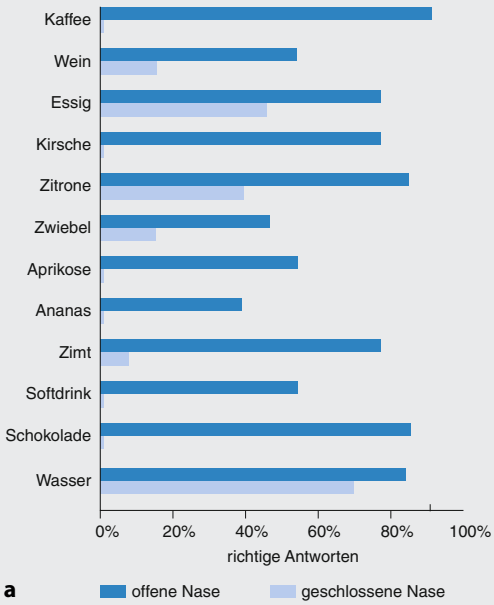
In den Untersuchungen von Hettinger et al. erhielten die Probanden verschiedene chemische Lösungen auf die Zunge geträufelt, die sie mit offener und geschlossener Nase nach ihren Aromaqualitäten anhand einer vorgegebenen Skala beurteilen sollten. Hierbei zeigte sich, dass selbst Substanzen wie Natriumoleat, die normalerweise (mit offener Nase) als „seifig" schmeckend beurteilt werden, bei geschlossener Nase zumeist als „geschmacklos" eingestuft werden (◘ Abb. 4.14b).

Offenbar lokalisieren wir den Herkunftsort unserer Aromaempfindungen fälschlicherweise in den Mund. Sicher erfolgt dies schon deshalb, weil wir die Substanzen physisch durch den Mund aufnehmen, aber wohl auch aufgrund der taktilen Empfindungen, die mit dem Kauen und Schlucken verbunden sind (Murphy und Cain 1980).

Bezogen auf unsere Geruchswahrnehmung haben wir es offensichtlich mit zwei verschiedenen Formen der Informationsextraktion zu tun (Bartoshuk und Beauchamp 1994):

1. Werden die Geruchsmoleküle beim Riechen mit dem Luftstrom durch die Nase eingesogen, so nehmen wir sie als **Gerüche** (*distance smell*) von außer uns befindlichen Substanzen wahr.
2. Erreichen die Geruchsmoleküle die Nasenschleimhaut auf dem Weg durch die retronasale Öffnung des oberen Rachens (den Epipharynx) während des Kauens und Schluckens, so haben wir den Eindruck des **Schmeckens** (*food smell*).

In bestimmten Situationen können sich diese beiden Informationsextraktionen auch widersprechen, wie bei der Wahrnehmung von Limburger oder Harzer Käse: Während sein Geruch (*distance smell*) für die meisten Personen eher streng und aversiv ist, trägt der Geruch von „innen" (*food smell*), wenn der Käse im Munde ist, zu seinem angenehmen Wohlgeschmack bei (Coren et al. 1999).



Natriumoleat

	verschlossen	offen
süß	×	
salzig	×	
sauer		
bitter		×
seifig	××	×××××××××
metallisch		××
schwefelig		
geschmacklos	×××××××	
anderer Geschmack	×	×

b

◘ **Abb. 4.14** **a** Substanzerkennung mit offener oder geschlossener Nase, **b** Beurteilungen der Aromaqualitäten mit offener oder geschlossener Nase. (Goldstein 1996)

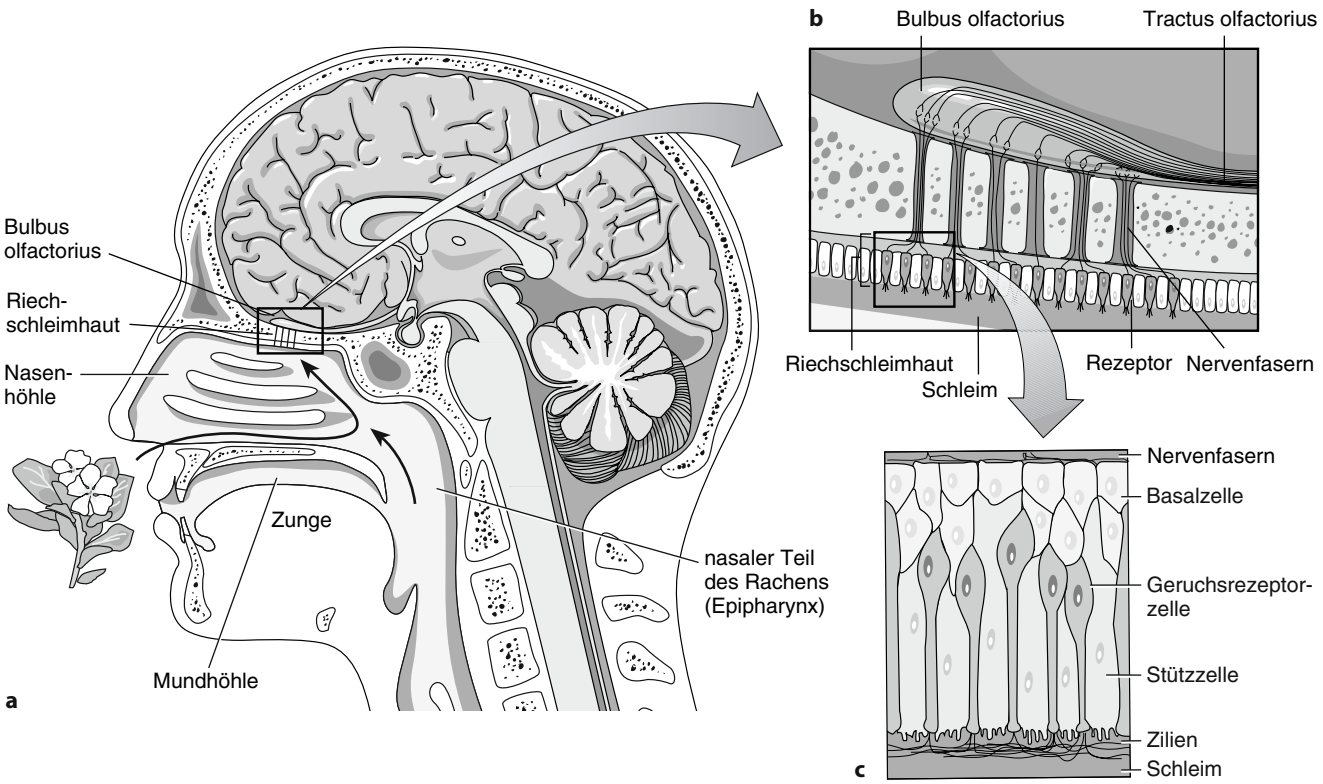


Abb. 4.15 Das Geruchssystem. a und **b** Die Lage des Geruchssystems zwischen Nasenhöhle und Riechhirn (Bulbus olfactorius) sowie der Weg der Geruchsstoffmoleküle durch die retronasale Öffnung, **c** Die Geruchsrezeptorzellen in der Riechschleimhaut. Die Geruchsmoleküle werden von der Schleimhaut aufgenommen und erregen hier die Zilien der Geruchsrezeptoren. (Goldstein 1997, S. 474, Abb. 12.2, © Goldstein)

konnten, können auch menschliche Riechsinneszellen durch die Einwirkung nur eines einzelnen Moleküls eines Duftstoffes erregt werden. Dennoch ist die menschliche Geruchswahrnehmung im Vergleich zu vielen Tieren weitaus eingeschränkter und weniger scharf, was dazu führte, dass man den Menschen als **Mikrosmat** (Wenigriecher) den Tieren als **Makrosmaten** gegenüberstellte, bei denen die Geruchswahrnehmung im Gesamtverhalten eine herausragende Rolle spielt.

So sind Ratten je nach Geruchsstoff bis zu 50-mal empfindlicher für Gerüche als Menschen, Hunde sogar 300- bis 10.000-mal (Laing et al. 1991), was vermutlich an der beim Menschen wesentlich geringeren Zahl der Rezeptoren liegt. Hunde zum Beispiel besitzen etwa 1 Mrd. Riechrezeptoren, während der Mensch nur über etwa 10 Mio. verfügt (Dodd und Squirrell 1980). Aber auch die für die Verarbeitung der Geruchsinformation zur Verfügung stehenden Hirnareale korrespondieren zu den Geruchsunterscheidungsleistungen. Bei Fischen umfasst der **olfaktorische Cortex** fast die gesamten cerebralen Hemisphären, bei Hunden immerhin noch 1/3, während er beim Menschen nur etwa 1/20 ausmacht.

Das vergleichsweise zum Menschen wesentlich leistungsfähigere Geruchswahrnehmungsvermögen der Hunde hat sich der Mensch in verschiedenen Aufgabenbereichen zunutze gemacht und durch Training von Spürhunden weiter ausgebildet (Zoll, Polizei, Jagd, Lebensrettung zum Beispiel bei Verschüttungs- oder Lawinenunglücken).

Aber auch beim Menschen spielt die Geruchswahrnehmung, auch wenn sie nicht lebensnotwendig ist und häufig unterschätzt wird, eine nicht unbedeutende Rolle. Man bedenke nur, dass heute Jahresumsätze in Milliardenhöhe erzielt werden mit der Herstellung und dem Verkauf von Parfüms, Deodorants, Duftstoffen und ätherischen Ölen für therapeutische und ästhetische Anwendungen (Owens 1994).

Ausgangspunkt der Geruchswahrnehmung sind die **Geruchsrezeptorzellen**. Sie befinden sich im oberen Teil der Nasenhöhle (Abb. 4.15), wo sie in die Riechschleimhaut eingebettet sind. Die mit der Atemluft eingesogenen Geruchsmoleküle diffundieren durch den Schleim der Riechschleimhaut und binden in den Zilien der Rezeptorzelle an **Rezeptorproteine**, welche die Duftmoleküle weiter zu den Rezeptorzellen transportieren (Pevsner et al. 1990). In ihrer Zellmembran befinden sich die eigentlichen Rezeptoren, Proteine, deren Erregung durch die Duftmoleküle schließlich zur Auslösung elektrophysiologischer Impulse in der Rezeptorzelle führt. Die hier ablaufende intrazelluläre Botenstoffkette hat einen großen Verstärkungsfaktor. Ein einfacher Duftreiz löst dabei Antworten in vielen Riechzellen aus. Die Riechzellen besitzen eine nur **unvollkommene Spezifität** für bestimmte Klassen von Duftstoffen, sodass sie zusammengenommen auf Reizung mit entsprechendem **Geruchsprofilen** antworten. Die Rezeptorzellen besitzen eigene Axone, die den hier porösen Teil des Schädels (die Siebplatte) durchdringen und in den Bulbus olfactorius (den Riechkolben) des Gehirns eintreten, wo die erste synaptische Umschaltung erfolgt. Von hier ziehen die Bahnen über den Tractus olfactorius (Riechbahn) zum **olfaktorischen Cortex** (direkt unter dem Schläfenlappen

Tab. 4.1 Kennzeichnung und Einteilung der Gerüche in Duftklassen mit Angabe repräsentativer chemischer Stoffe und einer Duftcharakterisierung. (Nach Schmidt et al. 2000)

Duftklasse	Bekannte, repräsentative Verbindungen	Riecht nach	„Standard“
Blumig	Geraniol	Rosen	d-1-ß-Phenyläthylmethylcarbinol
Ätherisch	Benzylacetat	Birnen	1,2-Dichloräthan
Moschusartig	Moschus	Moschus	1,5-Hydroxypentadecansäurelacton
Campherartig	Cineol, Campher	Eukalyptus	1,8-Cineol
Faulig	Schwefelwasserstoff	Faulen Eiern	Dimethylsulfid
Stechend	Ameisensäure, Essigsäure	Essig	Ameisensäure

gelegen) und zum **orbitofrontalen Cortex** (Stirnlappen, direkt hinter den Augenhöhlen), wo vermutlich die bewusste Geruchswahrnehmung vermittelt wird. Eine zweite Bahn projiziert diffus auf das **limbische System** und vermittelt hier vermutlich die **emotionalen Reaktionen**, die mit **erinnerten Geruchsreizen** verbunden sind.

Bei der Geruchswahrnehmung gibt es eine Diskrepanz zwischen der **Wahrnehmungsschwelle** und der **Erkennungsschwelle**. Sehr geringe Konzentrationen eines Duftstoffes lösen nur eine unspezifische Geruchsempfindung aus. Wir nehmen zwar wahr, dass es riecht, wir können den Geruch aber nicht identifizieren. Dies gelingt uns oft erst bei Erhöhung der Duftstoffkonzentration. Die Wahrnehmungsschwelle des Geruchssinnes liegt unterhalb seiner Erkennungsschwelle.

Auch besitzt die menschliche Geruchswahrnehmung eine beachtlich niedrige **Unterschiedsschwelle**, was aber erst durch die Untersuchungen von Cain (1977) nachgewiesen werden konnte, der mithilfe eines Olfaktometers Duftstoffe weitaus präziser als zuvor mischen und im Luftstrom darbieten konnte. Er fand eine durchschnittliche Unterschiedsschwelle von bis zu 5 %, was der Unterschiedsschwelle von Sehen und Hören recht nahe kommt.

Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass die individuelle Wahrnehmungsschwelle für ein und dieselbe Substanz von Moment zu Moment drastisch variieren kann (Stevens et al. 1988), was die Bestimmung der Wahrnehmungsschwelle erschwert. Auch differiert die Geruchssensitivität zwischen einzelnen Individuen beträchtlich, und es gibt Personen, die für bestimmte Substanzen **duftblind** sind, was als **Anosmie** bezeichnet wird.

Bemerkenswert ist ferner, dass jede einzelne primäre Rezeptorzelle nur etwa vier bis acht Wochen funktionstüchtig bleibt; sie wird dann von neuen Zellen ersetzt, die kontinuierlich von den Basiszellen hervorgebracht werden (Costanzo und Graziadei 1987).

Geruchsqualitäten

Die beiden entscheidenden Fragen zur Geruchswahrnehmung betreffen die Geruchsqualitäten: Wie lässt sich eine Ordnung in die Tausende von uns wahrnehmbaren Gerüchen und Duftstoffen bringen? Wie werden diese Tausende von Gerüchen (beziehungsweise Geruchsmolekülen) in unserem Wahrnehmungssystem in elektrophysiologische Signale verschlüsselt und codiert?

Beginnen wir mit der ersten Frage.

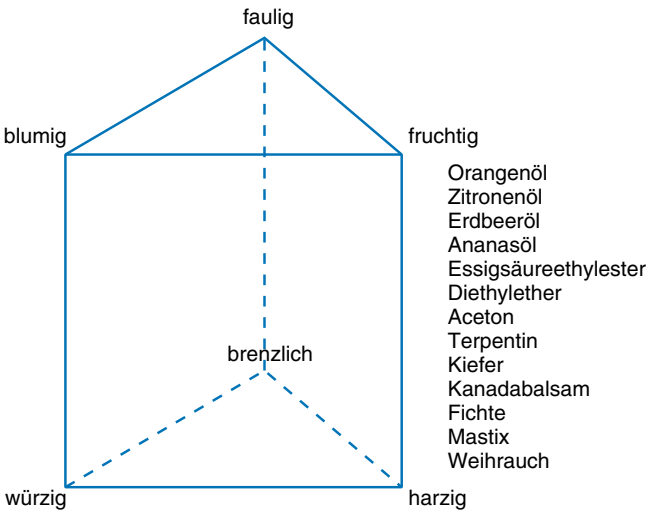


Abb. 4.16 Das Geruchsprisma von Henning zur Klassifikation der möglichen Geruchsqualitäten. (Nach Woodworth 1938)

Klassifikation der Geruchsqualitäten

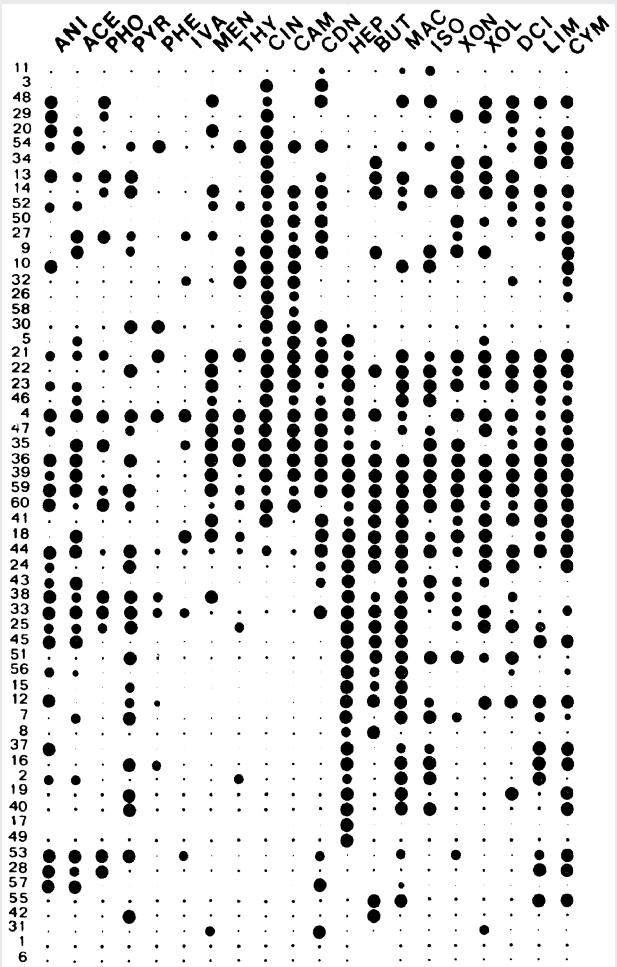
Im Unterschied zu den anderen Wahrnehmungssystemen ist es der Geruchspsychologie bisher noch nicht gelungen, Geruchsqualitäten scharf gegeneinander abzugrenzen, zu definieren und zu klassifizieren, wie wir dies zum Beispiel für den Farbraum der visuellen Wahrnehmung kennengelernt haben (vgl. die Ausführungen zur Farbwahrnehmung). Allerdings gibt es etliche Versuche, Gerüche zu klassifizieren und Ordnungssysteme zu konstruieren, doch haftet all diesen Versuchen etwas Willkürliches an. So wird von den verschiedenen Autoren bereits die Anzahl der **Primärgerüche** oder Duftklassen unterschiedlich angegeben. Vielfach wird heute davon ausgegangen, dass es mindestens **sieben Primärgerüche** gibt, die durch Standarddüfte gekennzeichnet werden können. Eine solche **Klassifikation** zeigt Tab. 4.1. Einen anderen bekannten Klassifikationsvorschlag zeigt Abb. 4.16, wobei hier die Grundgeruchsqualitäten zu einem **Geruchsprisma** nach Hering angeordnet sind. Die Gerüche entlang einer Kante des Prismas zum Beispiel zwischen „fruchtig“ und „harzig“ sind zwischen diesen Polen gemäß ihrer Duftähnlichkeit zu diesen angeordnet. Doch erwiesen sich solche Modelle als wenig nützlich zur Erklärung der Geruchswahrnehmung. Geruchsreize sind nicht nur schwerer zu benennen als zum Beispiel Geschmacksreize, sondern sie **adaptieren** auch

4

Exkurs 4.8

Genauer betrachtet: Geruchscodierung auf Rezeptorebene

Bereits bei der Aufnahme der Geruchsreize durch die Rezeptorzellen in der Geruchsschleimhaut der Nase findet bei der Umwandlung in neuronale Impulse (Transduktion) eine Codierung der **Geruchsqualität** statt. Aus den Untersuchungen verschiedener Autoren, die elektrische Ableitungen von Riechsinneszellen bei verschiedenen Tieren durchführten, wissen wir, dass die meisten Rezeptoren auf mehrere verschiedene Geruchsstoffe antworten. Ein bestimmter Geruchsstoff veranlasst also verschiedene, über die Riechschleimhaut verteilte Rezeptorzellen zum Feuern. Andererseits sprechen die einzelnen Rezeptorzellen (in ◘ Abb. 4.17 mit Zahlen gekennzeichnet) nicht nur auf einen, sondern auch auf andere Duftstoffe (Buchstaben in der Kopfzeile) an. Dies verdeutlicht ◘ Abb. 4.17 an Rezeptorzellen (Zahlen) in der Riechschleimhaut des Frosches (Sicard und Holley 1984). Wie zu ersehen, wird durch einen einzelnen Duftstoff eine ganze Gruppe unterschiedlicher Rezeptoren erregt, zum Beispiel auch in unterschiedlichem Ausmaß (angedeutet durch die jeweilige Punktgröße). Manche Duftstoffe wie Cineol (CIN) und Kampfer (CAM) erregen über weite Strecken die gleichen Rezeptoren und differieren nur in wenigen, zum Beispiel bei den Rezeptoren 29, 30 und 34, die von CAM (fast) nicht erregt werden, während andere Duftstoffe auch nur weit weniger Geruchsrezeptoren gemeinsam erregen. Hiernach gibt es kein **selektives Ansprechen** nur eines Rezeptors auf nur einen Duftstoff. Die Geruchsqualität dürfte daher auf der Ebene der Rezeptorzellen durch das jeweilige Gesamtmuster der aktivierten Rezeptorzellen als **Geruchsprofil** codiert werden (Cinelli 1993).



◘ **Abb. 4.17** Reaktionen von einzelnen Rezeptorzellen (Zahlen) auf verschiedene Geruchsstoffe (Buchstaben). S. Text

sehr viel schneller als diese, wie es uns aus der alltäglichen Erfahrung gut bekannt ist. In vielen Fällen ist die Adaptation so vollständig, dass wir den Duftstoff schon nach kurzer Zeit überhaupt nicht mehr erkennen können.

Codierung der Geruchsqualitäten

Wie schon die Ausführungen zur Klassifikation von Gerüchen deutlich machen, lassen sich Gerüche oder Düfte nicht – so wie das Licht in Spektralfarben – in einige wenige Grundelemente aufspalten. Daher ist auch das olfaktorische System nicht in der Weise aufgebaut wie die Farbwahrnehmung, wo es nur drei verschiedene Rezeptortypen für Rot, Grün oder Blau gibt, die in ihrem Zusammenspiel Tausende von Farben codieren können. Das olfaktorische Erkennungssystem ist, soweit wir heute sehen, eher wie das Immunsystem aufgebaut, das heißt, es gibt wie dort eine Vielzahl von Rezeptortypen, von denen jeder für eine bestimmte Substanz spezifisch ist. Dafür spricht vor allem die kürzlich erfolgte Entdeckung einer Genfamilie, die für die Bildung vieler Tausender von

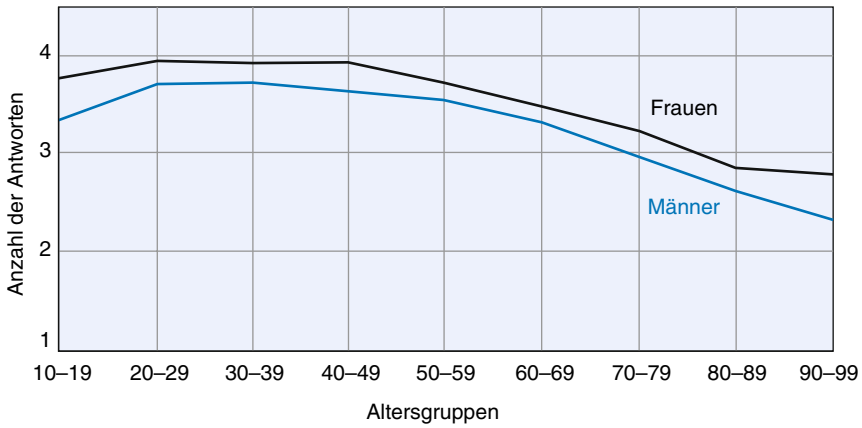


Abb. 4.18 Geruchsleistung und Alter. Die Kurven zeigen die mittlere Abnahme der Geruchsleistung mit zunehmendem Alter, getrennt für beide Geschlechter. Ergebnisse aus dem *National Geographic Scratch and Sniff Survey* an 1,2 Mio. Personen, die sechs Geruchsstoffproben richtig zu identifizieren hatten. Die besten Geruchsleistungen finden sich bei Frauen und jungen Erwachsenen. (Nach Wysocki und Gilbert 1989)

olfaktorischen Rezeptorproteinen (die, wie wir sahen, als individuelle Rezeptoren fungieren) verantwortlich sind (Axel 1995). Aus anderen Untersuchungen (▶ Exkurs 4.8) geht aber hervor, dass die Riechzellen jedoch nur eine **unvollkommene Spezifität** für bestimmte Klassen von Duftstoffen besitzen. Aus dieser abgestuften Selektivität resultieren sodann **individuelle Reaktionsspektren** (Abb. 4.17). Danach dürfte die Geruchsqualität auf der Ebene der Rezeptoren wohl durch das jeweilige Gesamtmuster der Reaktionen vieler Rezeptorzellen codiert werden (Cinelli 1993).

Die auch beim Menschen enorme Unterscheidungsfähigkeit bei Gerüchen beruht mit großer Wahrscheinlichkeit auf den Unterscheidungsprozessen in den dem Bulbus olfactorius nachgeschalteten und übergeordneten Zentren. Während im Bulbus olfactorius die meisten Zellen noch auf verschiedene Gerüche ansprechen, antworten im orbitofrontalen Cortex etwa die Hälfte der Neurone spezifisch auf nur einen Geruch (Tanabe et al. 1975). Aus diesen Ergebnissen wird derzeit der Schluss gezogen, dass die neuronale Weiterverarbeitung des olfaktorischen Systems der des visuellen Systems im extrastriären Cortex vergleichbar verläuft. In beiden Fällen sprechen die Neurone der Eingangsstufen des Systems auf ein recht breites Reizspektrum an, während die Neurone der höheren Ebenen schließlich auf ganz spezifische Reize optimal antworten (dazu LINK: Videofilm, Riechen und Schmecken und Anatomie des Duftes in (*Zusatztext online*)).

Geruchserkennung erfolgt über eine große Zahl unterschiedlicher Rezeptoren (Rezeptorproteine), die jeweils eine Passung zum Geruchsmolekül aufweisen. Dennoch verfügen wir nicht für alle 10.000 Gerüche, die wir unterscheiden können, über distinkte, nur einem Geruch zugeordnete Rezeptoren. Vielmehr reagieren die Rezeptoren mit abgestufter Selektivität. Es wird daher angenommen, dass ein bestimmter Geruch jeweils eine bestimmte Kombination von Rezeptoren aktiviert und dass dieses Geruchsprofil vom olfaktorischen Cortex interpretiert wird.

Leistungsvermögen der Geruchswahrnehmung

Das **Leistungsvermögen** der menschlichen Geruchswahrnehmung wurde lange unterschätzt, doch in den letzten Jahren mehren sich die Befunde, dass auch wir (1) im Grunde Gerüche recht ausgezeichnet erkennen können und (2) Gerüche auch unterhalb unseres bewussten Erkennens unser übriges Wahrnehmen und Verhalten beeinflussen.

Bei Untersuchungen zur **Geruchsidentifikation** hat sich gezeigt, dass viel davon abhängt, ob und wie viel wir von den Geruchserlebnissen kognitiv im **Gedächtnis** verarbeiten. Desor und Beauchamp (1974) gaben ihren Probanden zunächst eine Reihe vertrauter Stoffe vor, wie Kaffee, Früchte oder Motoröl, die sie mit verbundenen Augen nur an ihrem Geruch erkennen sollten. Unter diesen Bedingungen gelang es den Probanden jedoch nur, etwa die Hälfte der Gerüche zu identifizieren. Doch als die Versuchsleiter die Substanzen bei der ersten Darbietung jeweils benannten und in den nachfolgenden Versuchsdurchgängen, wenn nötig, an die richtige Bezeichnung erinnerten, waren die Probanden nach einiger Übung in der Lage, 98 % der Gerüche der bekannten Substanzen richtig zu erkennen. Dies dürfte im Prinzip nicht anders sein als beim Erkennen (beziehungsweise Nichterkennen) von Vogelstimmen, Pflanzenarten oder auch Automarken: Nur wer sich damit befasst und ein **Wahrnehmungsraster** im Gedächtnis gebildet hat, ist in der Lage, die unterschiedlichen Typen (auch von Geräuschen) zu erkennen (Cain und Stevens 1995).

Interessant ist auch, dass wir offenbar – ähnlich wie in der visuellen – auch in der olfaktorischen Wahrnehmung über **Perzepte** verfügen, durch die die Geruchswahrnehmung beeinflusst wird. Cain (1979) bringt in seinen Untersuchungen das Beispiel eines Geruchs, den die Versuchsperson zunächst als „fischig-ziegenartig-ölig" bezeichnet hatte. Als der Versuchsperson dann aber gesagt wurde, dass es sich um den Geruch von Leder handelte, wurde der Geruch auch tatsächlich als „Ledergeruch" wahrgenommen, ähnlich wie wir das im visuellen Bereich bei den Vexierbildern kennengelernt haben. In seinen Geruchsexperimenten konnte Cain auch zeigen, dass Versuchspersonen einen Geruch dann richtig erkennen, wenn sie dem Geruch beim ersten Versuchsdurchgang den richtigen Namen gewissermaßen als **Etikett** zuordnen konnten. Wenn sie dem Geruch beim ersten Riechen ein falsches Etikett (zum Beispiel Käse für Maschinenölgeruch) zugewiesen hatten, war ihre Zuordnung beim nächsten Durchgang meist falsch.

Die Geruchswahrnehmung ist schließlich auch *altersabhängig*. Die Fähigkeit, Düfte zu unterscheiden, steigt zunächst mit dem Älterwerden an, bis zum frühen Erwachsenenstadium, und nimmt dann mit zunehmendem Alter, allerdings mit merklichen individuellen Unterschieden, wieder ab (Abb. 4.18).

Exkurs 4.9

Genauer betrachtet: Sexualpheromone beim Goldhamster

Ein Beispiel für weit reichende **Verhaltenssteuerung** durch Pheromone haben Murphy und Schneider (1970) in ihren Untersuchungen an Goldhamstern nachweisen können, bei denen sie die Auslösung sexuellen und aggressiven Verhaltens durch Anwesenheit des „Geruchs" von verschiedenen Artgenossen untersuchten. Zu einer gut etablierten Kolonie von Goldhamstern setzten sie zum Beispiel fremde Hamster. Dies führt dazu, dass die heimischen Männchen die Neuankömmlinge angriffen und, wenn sie nicht fliehen konnten, sogar töteten. Setzten sie dagegen fremde, paarungsbereite Weibchen in die Kolonie, so wurden diese von den heimischen Männchen bestiegen und befruchtet. Als Ursache für diese unterschiedlichen Verhaltensweisen kommen natürlich zunächst verschiedenste, auch visuelle Faktoren in Betracht. Doch konnten die Untersucher beobachten, dass einheimische Männchen, die nicht riechen konnten, diese aggressiven beziehungsweise sexuellen Verhaltensweisen den Neuankömmlingen gegenüber nicht zeigten. Um zu belegen, dass der verhaltensauslösende Faktor olfaktorischer Natur ist, bestrichen die Autoren ein fremdes Männchen zunächst mit dem Vaginalsekret eines paarungsbereiten Weibchens und setzten es dann in die Kolonie – mit dem Resultat, dass dieses fremde Männchen von den heimischen Männchen nicht angegriffen, sondern freudig als Sexualpartner begrüßt, behandelt und bestiegen wurde (Trojanisches-Pferd-Effekt). Bekannt ist in ähnlicher Weise bei Vögeln, dass Jungtiere, die durch menschliche Zuwendung ihren **Nestgeruch** verloren haben, von den Altvögeln nicht mehr angenommen werden. Die bekannte Aussage, dass wir manche Personen „nicht riechen können", deutet auch bei Menschen auf das Vorhandensein von verhaltenssteuernden Geruchsstoffen hin.

Pheromone

Einige Gerüche und Duftstoffe haben sowohl bei Tieren als auch beim Menschen eine wichtige Funktion als **Orientierungsgeber** in den wechselseitigen Beziehungen von Gruppen und Individuen übernommen, deren Tragweite die Forschung erst in den letzten Jahrzehnten zu erkennen begonnen hat. Diese Duftstoffe, die der innerartlichen Kommunikation dienen und das Verhalten der Artgenossen beeinflussen, werden als **Pheromone** bezeichnet.

Pheromone

Pheromone sind körpereigene Duftstoffe, die der innerartlichen Kommunikation dienen.

Verantwortlich für die Wahrnehmung insbesondere der Pheromone scheint ein besonderes, erst in den 1960er-Jahren genauer erfasstes Riechsystem der Nase, das **Vomeronasalorgan** (Jacobsonsches Organ, *organum vomeronasale*) zu sein, das beim Menschen zwar rückgebildet ist, aber trotzdem bei über 95 % der Bevölkerung als zusätzliche schlauchförmige, etwa 1 cm lange Einstülpung neben dem Septum gefunden wird. Es besitzt zwei unterschiedlich gestaltete Riechepithelien. Seine Rezeptorproteine weisen eine starke Homologie zu den Rezeptoren im übrigen Riechepithel auf. Sie sind aber auf die Erkennung der recht großen Pheromonmoleküle spezialisiert (Wysocki und Meredith 1987).

Pheromone wurden zuerst bei Insekten wie Ameisen, Bienen und Termiten entdeckt und untersucht, wo sie als **Pheromonkommunikation** die wichtigste Form der sozialen Kommunikation darstellen (Wilson 1971). Man unterscheidet **Auslöser** (*releaser*), deren Anwesenheit automatisch ein bestimmtes Verhalten auslöst (► Exkurs 4.9), und **Primer** (Zünder, Vorbereiter), die beim Empfangen physiologische Veränderungen (Drüsenaktivität) bewirken. So locken Insekten ihre Sexualpartner (oft über weite Entfernungen) durch Duftstoffe an, stimulieren Artgenossen zum Nahrungssammeln oder zum Kämpfen und erkennen sich gegenseitig. Bienen, Termiten- und Ameisenköniginnen kontrollieren über Primer-Pheromone, die von bestimmten Drüsen ausgeschieden werden und beim Empfänger durch spezifische Rezeptoren perzipiert werden, das Ausschwärmen oder den Anteil verschiedener Arbeitertypen an der Gesamtpopulation des Stockes. Die moderne selektive Insektenbekämpfung nutzt die Tatsache, dass das Verhalten der Insekten unter der direkten Kontrolle von Pheromonen steht, indem sie Pheromonfallen aufstellt, die sehr spezifisch bestimmte Insekten anlocken.

Bei Säugetieren ist die Wirkung von Pheromonen allerdings komplexer und subtiler. Aber auch hier locken Duftstoffe, zum Beispiel eines paarungsbereiten Weibchens (zum Beispiel Rehwild, Hunde), die Böcke oder Rüden über etliche Kilometer weit an (Goodwin et al. 1979).

Beim Menschen dürfte die verhaltenssteuernde Wirkung von Pheromonen eher indirekt sein, da unser Verhalten im Vergleich zu Tieren weit mehr durch verbale und gesellschaftlich-soziale Faktoren bestimmt wird. Dennoch können auch wir unseren eigenen Körpergeruch verlässlich von dem anderer Personen unterscheiden, wenn uns in einem Blindversuch eine Reihe von Körpergerüchen (getragene Wäscheproben) vorgegeben wird (Lord und Kasprzak 1989; Schleidt et al. 1981).

Verhaltensbestimmend können Düfte bereits bei Neugeborenen sein. Sie erkennen die Mutterbrust mithilfe eines Duftes, der von den Drüsen um die Brustwarzen abgegeben wird, und sie können den Duft der eigenen Mutter von dem einer Fremden unterscheiden (MacFarlane 1975). Bei jedem Menschen ist sein Eigengeruch sogar genetisch determiniert. Er basiert auf der immunologischen Selbst-/Fremderkennung und ist mit dem hier wichtigen Haupthistokompatibilitätskomplex (Major Histocompatibility Complex, MHC) gekoppelt. Je näher verwandt, desto ähnlicher ist auch der Eigengeruch. Dies ist auch die Basis für das Phänomen des Familiengeruchs. Belegt ist diese genetische Festlegung durch die experimentelle Beobachtung, dass eineiige Zwillinge auch von speziell trainierten Tieren nicht mehr am Eigengeruch unterschieden werden können (außer nach einer Knochenmarkstransplantation) (Sobottka et al. 1989). MHC-assoziierte Gerüche sind in der Lage, Mutter-Kind-Bindung, Partnerwahl, Inzestschranke oder auch die Fehlgeburtenrate zu beeinflussen (Hatt 1990; Köster et al. 1986).

Darüber hinaus gibt es eine Reihe weiterer Belege für die **sozial-kommunikativen Wirkungen** von Pheromonen bei Menschen. So konnte die zunächst von McClintock (1971) bei Rettungsschwimmerinnen, Zimmergenossinnen oder „engen Freundinnen" gemachte Beobachtung, dass die Menstruationszyklen von Frauen, die zusammenleben, dazu neigen, sich zu synchronisieren, auf das Wahrnehmen eines Duftstoffes aus dem

Achselschweiß (Isovaleriansäure) der Frauen zurückgeführt werden (Preti et al. 1986).

Androstenon, ein Duftstoff aus dem Achselschweiß des Mannes, wirkt sich auf die Regularität des Zyklus der Frauen aus und wird nur während der Zeit des Eisprunges signifikant positiv beurteilt (Cutler et al. 1986). Lässt man Ganzkörperfotos des anderen Geschlechts auf einer Rating-Skala einschätzen und appliziert den Versuchspersonen vor Versuchsbeginn die (möglichen) menschlichen Pheromone Estradienol oder Methoxyestratetraene auf der Oberlippe, so beurteilen weibliche Personen unter Estradienol die Männer als „besser", „härter" und „nonchalanter" als unter Kontrollbedingungen. Männer dagegen beurteilen unter Methoxyestratetraene-Einfluss die Bilder von Frauen als „besser", „freundlicher" und „lieber gemocht" als unter Kontrollbedingungen (Maiworm et al. 2000). Auch können Menschen (besonders Frauen) das Geschlecht eines Individuums am Atem (Doty et al. 1982) oder Achselhöhlengeruch (Schleidt et al. 1981) erkennen, auch wenn diese Gerüche zumeist nicht gerade als anziehend bezeichnet werden.

Diese Erkenntnisse zeigen, dass das menschliche Geruchssystem zu beeindruckenden Leistungen befähigt ist, die lange unterschätzt wurden und deren Auswirkungen (zum Beispiel auch bei Kinderwunschpatientinnen) für ein normales Funktionieren der Fruchtbarkeit von Bedeutung sein können.

4.2.2 Geschmackswahrnehmung: Aufbau und Funktion des gustatorischen Systems

Im Gegensatz zur Geruchswahrnehmung, bei der Tausende verschiedener Geruchsstoffe unterschieden werden können, werden klassischerweise nur vier **Grundgeschmacksqualitäten** unterschieden: **süß**, **salzig**, **bitter** und **sauer** (Bujas et al. 1989). Jede dieser Grundqualitäten ist bevorzugt mit einer bestimmten Struktur chemischer Moleküle verbunden, durch die sie ausgelöst wird. Eine eindeutige Zuordnung der chemischen Eigenschaften eines Stoffes zu seiner Geschmacksqualität ist jedoch nicht möglich. Süß schmecken hauptsächlich natürlich vorkommende Zucker. Salzig schmeckt vor allem Kochsalz (NaCl). Andere Salze, wie zum Beispiel Kaliumchlorid (KCl), schmecken daneben zugleich auch bitter. Reine Bitterempfindung wird durch Chinin (in Tonic Water) und viele pflanzliche Alkaloide (zum Beispiel Nikotin) ausgelöst. Sauer-Empfindungen werden durch Säuren (zum Beispiel Essigsäure, Salzsäure) ausgelöst, die in wässriger Lösung aufspalten und ein positiv geladenes Wasserstoffion (H^+) bilden. Die meisten Geschmacksreize lösen jedoch **Mischempfindungen** aus.

Als weitere eigenständige Geschmacksqualität ist inzwischen die Geschmacksempfindung für Glutamat (Salz der Glutaminsäure, auch Aminoglutarsäure), der sogenannte **Umami**-Geschmack anerkannt, der sich ebenfalls nicht durch Mischung herstellen lässt. Er wurde ursprünglich in Fernost zusätzlich postuliert, wo er in der asiatischen Küche verbreitet als *Geschmacksverstärker* genutzt wird. Der Begriff „umami" bedeutet in etwa „Wohlgeschmack" und stammt aus dem Japanischen (Chaudhari et al. 2000; Scott 1987, Ikeda 1909, 2002) (Genaueres zu Umami in *Zusatztext online*).

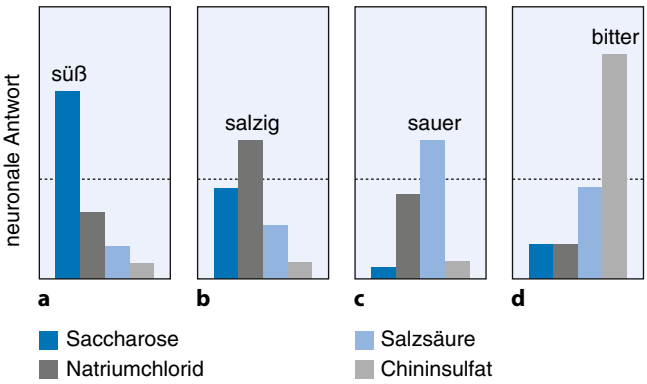


Abb. 4.19 Codierung der Geschmacksqualitäten. Verschiedene neuronale Geschmacksfasern haben unterschiedliche reizspezifische Reaktionsraten, durch deren Gesamtmuster ein Geruchsreiz codiert wird, was als *across fiber pattern* der neuronalen Aktivität bezeichnet wird (Erikson 1982). Jeder Fasertyp (**a**–**d**) reagiert in einem gewissen Ausmaß bei jedem der verschiedenen Geschmacksreize, aber das Reaktionsmuster der vier dargestellten Fasertypen ist charakteristisch unterschiedlich (vgl. Geruchswahrnehmung in ▶ Exkurs 4.8). (Coren et al. 1998)

Werden Personen im psychophysischen Experiment gebeten, Geschmacksstofflösungen, die ihnen in den Mund gegeben werden, zu beschreiben, so zeigt sich, dass sich die meisten Stoffe mit den genannten Grundqualitäten beschreiben lassen. McBurney (1969) forderte bei solchen Versuchen seine Versuchspersonen auch auf, für jede Lösung direkte Größenschätzungen der Intensität jeder der vier Geschmacksqualitäten anzugeben. So konnte er bei Mischempfindungen auch die Anteile der vier Grundqualitäten erfassen. Während zum Beispiel Chinin nur bitter schmeckt, weist KCl neben der Hauptkomponente „salzig" auch Anteile der anderen Geschmackskomponenten auf (◘ Abb. 4.19).

Neben den vier Grundqualitäten werden jedoch vielfach auch noch **Nebenqualitäten** des Schmeckens angeführt. Als solche gelten alkalisch (oder auch seifig) und metallisch. Die Empfindung „seifig" wird durch Pottasche (Kaliumkarbonat) hervorgerufen, die Empfindung „metallisch" rufen Metalle und einige Metallsalze hervor. Abgesehen davon, dass, wie wir bei den Aromen gesehen haben, die Geschmackswahrnehmung von der Geruchswahrnehmung beeinflusst wird, gibt es bei der Geschmackssensitivität sowohl bemerkenswerte genetische wie auch Gewöhnungsunterschiede. So werden zum Beispiel die Unterschiede in der Sensitivität für den Bittergeschmack bei Koffein und Sacharin auf genetische Anlagen zurückgeführt (Bartoshuk 1979).

Ausgangspunkt der Geschmackswahrnehmung sind die Geschmacksrezeptoren. Sie befinden sich im Wesentlichen auf der Zunge, aber auch in Teilen der Mundhöhle (Pinel 1997). Sie sind gewöhnlich in Gruppen zu etwa 50 in **Geschmacksknospen** lokalisiert. Diese liegen häufig in der Umgebung kleiner, warzenförmiger Erhebungen, den *Zungenpapillen* (◘ Abb. 4.20). Die Sensitivität für die verschiedenen Geschmacksqualitäten – bitter, sauer, süß, salzig – ist mit gewissen Unterschieden über die ganze Zunge (außer der Zungenmitte) verteilt, sodass jede Qualität an jeder Stelle erkannt werden kann. Wenngleich die bis vor Kurzem in der Lehre vertretene Auffassung, dass eine feste Zuordnung spezifischer sensitiver Zonen zu den einzelnen Geschmacksqualitäten (wie in ◘ Abb. 4.21 dargestellt) möglich sei, nicht aufrechterhalten wird, bleiben diese schwerpunktmä-

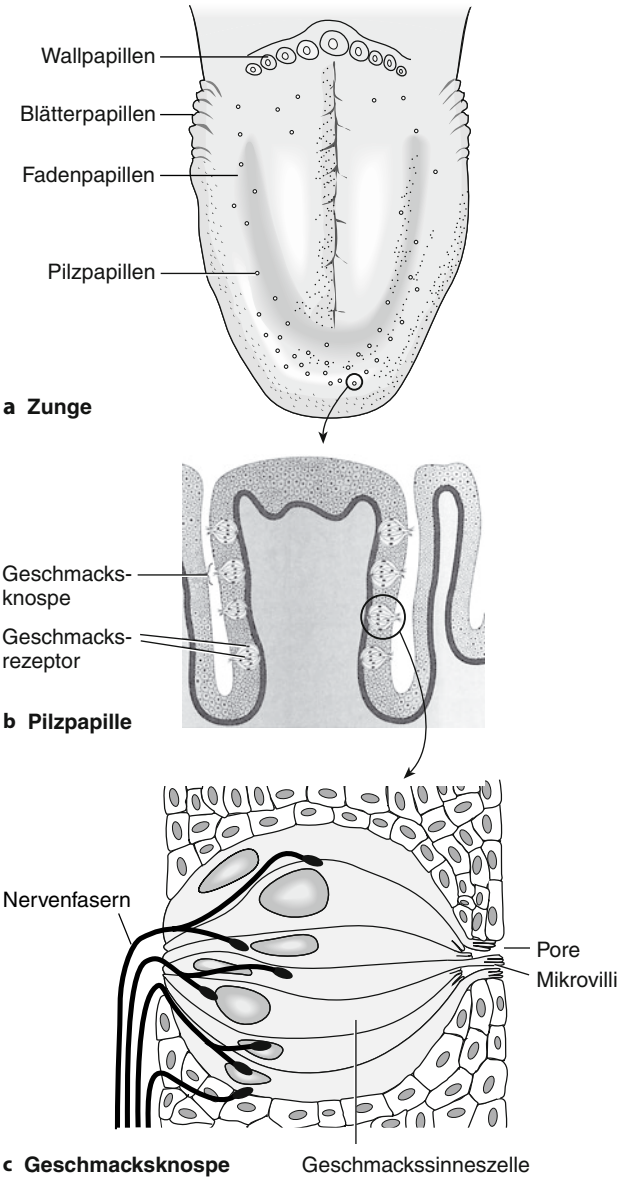


Abb. 4.20 Zungenpapillen. a Anordnung der vier Arten von Papillen auf der Zunge, **b** Pilzpapille auf der Zunge. Jede Papille enthält – in unterschiedlicher Anordnung – mehrere Geschmacksknospen, **c** Querschnitt durch eine Geschmacksknospe mit mehreren Geschmackssinneszellen, auf deren Mikrovilli die eigentlichen Rezeptoren sitzen (▶ Exkurs 4.10)

ßigen Zuordnungen (wenn auch recht geringer Sensitivitätsunterschiede) bestehen, mit Ausnahme des Bittergeschmacks, der bevorzugt am Zungenhintergrund wahrgenommen wird. In der Zungenmitte befindet sich ein völlig geschmacksunempfindlicher Bereich (geeignet zur Einnahme unangenehmer Pillen).

Die Zungenpapillen sind über die ganze Zungenoberfläche verteilt und machen ihre raue Oberfläche aus. Man unterscheidet nach ihrer Form vier Arten: (1) **Pilzpapillen**, (2) **Blätterpapillen** und (3) **Wallpapillen**, die an ihren Rändern die Geschmacksknospen tragen, und (4) die keine Geschmacksknospen enthaltenden **Fadenpapillen**, die wie Zapfen geformt und über die ganze Zungenoberfläche verteilt sind. Die Geschmacksknospen (Abb. 4.22), deren Anzahl bei etwa 10.000 liegt und die nur eine Lebensdauer von circa zehn Tagen besitzen, enthalten die eigentlichen **Geschmackssinneszellen**. Wasserlösliche Geschmacksstoffe, die auf die Zungenoberfläche gelangen, können durch den Porus zu den Mikrovilli (Zellfortsätzen) der Geschmackssinneszelle diffundieren und hier an den molekularen Rezeptoren oder Kanälen binden. Hierdurch werden äußerst komplexe biochemische Prozesse ausgelöst (Ye et al. 1991), die vereinfacht gesagt darin bestehen, dass der Ionenfluss in den Membrankanälen verändert wird, was schließlich zur Auslösung elektrischer Impulse führt. Etwas ausführlicher wird dieser **Transduktionsprozess** in ▶ Exkurs 4.10 dargestellt.

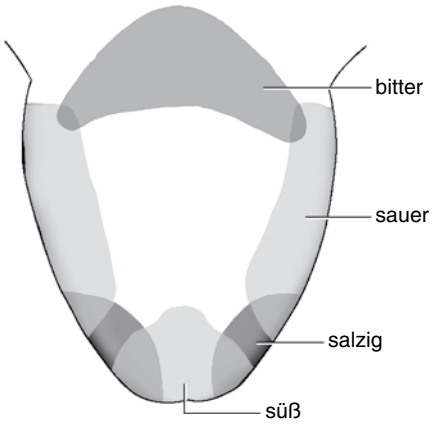


Abb. 4.21 Geschmacksareale. Gekennzeichnet sind die Bereiche der menschlichen Zunge, die insbesondere sensitiv sind für die Geschmacksqualitäten „bitter", „sauer", „salzig" und „süß". Der Mittelbereich ist dagegen relativ geschmacksunempfindlich

Von den Geschmackssinneszellen der Zunge und des Mundes werden die gustatorischen Signale über die drei wichtigsten Bahnen zum Cortex weitergeleitet: über die Chorda tympani des Nervus facialis von Zungenspitze und -rand, den Nervus glossopharyngeus von der Zungenwurzel und den Nervus vagus (Abb. 4.23) von den Geschmacksrezeptoren des Mundes. Eine erste Umschaltung erfolgt im Nucleus solitarius und eine weitere (wie bei anderen sensorischen Informationen auch) im Thalamus, von wo sie dann zum **primären gustatorischen Cortex** ziehen.

Absolute Wahrnehmungsschwellen

Die absoluten Wahrnehmungsschwellen für unsere Geschmackempfindungen sind sehr niedrig. Insbesondere bitter schmeckende Substanzen werden schon bei sehr niedrigen Konzentrationen wahrgenommen. Wie Tab. 4.2 zeigt, liegt der Schwellenwert für Chininsulfat bei 0,000008 mol/l = 6 mg/l. Dagegen sind die gerade wahrnehmbaren Unterschiede (jnd) für Intensitätsunterschiede, das heißt die **relativen Wahrnehmungsschwellen**, recht hoch. Ihr Weber-Quotient liegt bei etwa K = 0,2 (▶ Abschn. 3.2.2, Unterschiedsschwelle). Doch handelt es sich bei diesen Angaben um mittlere Werte, und die beobachteten individuellen Unterschiede sind recht groß. Hinzu kommt, dass die Empfindungsqualität einer Substanz auch von ihrer Konzentration abhängig ist. Kochsalz schmeckt erst bei höherer Konzentration (0,04 mol/l) rein salzig, dagegen bei sehr geringer Konzentration (0,02–0,03 mol/l) eher süß, was als **Qualitätsumschlag** bezeichnet wird. Bei länger dauernden Reizen nimmt die Empfindungsstärke deutlich ab (Adaptation).

Exkurs 4.10

Genauer betrachtet: Transduktionsprozess der Geschmackswahrnehmung

Der Transduktionsprozess an den Mikrovilli der Geschmackssinneszellen läuft je nach Art des Geschmacksstoffes in unterschiedlicher Weise ab. Das Prinzip dieser molekularen intrazellulären Mechanismen ist für die Rezeptoren der vier Grundgeschmacksqualitäten in Abb. 4.22 schematisch und vereinfacht dargestellt. Moleküle bitterer und süßer Substanzen binden an zu ihnen passenden Rezeptorproteinen an und lösen damit unterschiedliche intrazelluläre Mechanismen aus, die zu einer Depolarisation der Sinneszelle führen. Saure Substanzen enthalten in wässriger Lösung H^+-Ionen, die die Ionenkanäle für den Austritt von K^+-Ionen blockieren, was ebenfalls zur Depolarisation und damit zur Ausbildung eines Rezeptorpotenzials führt. Salzige Substanzen, wie Kochsalz (NaCl), enthalten in wässriger Lösung positive Na^+-Ionen, welche durch die Ionenkanäle direkt in die Zelle einströmen und damit ebenfalls zur Depolarisation führen. In allen Fällen kommt es durch die Depolarisation zur **Transmitterfreisetzung** an den chemischen Synapsen mit der afferenten Nervenfaser und damit zur Auslösung des Aktionspotenzials.

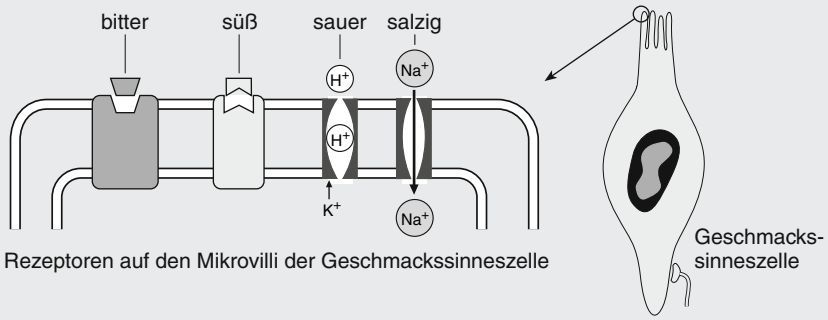


Abb. 4.22 Prinzip der molekularen intrazellulären Mechanismen an den Mikrovilli der Geschmackssinneszellen (s. Text)

Auch bei den Geschmacksqualitäten, deren Anzahl offenbar bei den meisten Menschen geringer ist als die der Geruchsqualitäten, wurde bisher noch keine spezielle wissenschaftliche **Klassifikation** aufgestellt. Mehr wissen wir dagegen zur Frage der Geschmackserkennung und C**odierung** im nachgeschalteten Nervensystem.

Geschmackscodierung

Jede Geschmackssinneszelle ist für mehrere, zumeist sogar für alle Geschmacksqualitäten sensibel. Im Gegensatz zu den Geruchsrezeptoren besitzen die Geschmacksrezeptoren keine eigenen Axone. Jedes Neuron, das Signale von den Geschmacksknospen weiterleitet, enthält Eingangssignale von vielen Rezeptoren. Daher wird angenommen, dass der Geschmack aus einer Kombination der relativen Erregungsniveaus aller vier Rezeptortypen entsteht (**Komponententheorie**) und dass das resultierende Impulsmuster ein *Geschmacksprofil* enthält.

Das gustatorische System codiert offenbar sowohl in Form spezifischer Nervenfasern (für jede Grundqualität), die erregt werden (Einzelneuronencodierung), als auch in Form des Aktivationsmusters über mehrere verschiedene Neuronenfasern (Neuronenensemble-Codierung). Die Nervenfasern weisen also auch hier (wie beim Geruchssinn) wieder eine unvollkommene oder **relative Spezifität** auf. Das heißt, jede der vier Nervenfasertypen, die mit einer Geschmacksqualität korrespondieren, reagiert in gewissem Ausmaß auf alle vier Basisqualitäten, aber in besonders hohem Maße auf nur eine Basisqualität, sodass man bis zu einem gewissem Grad davon sprechen kann, dass jede der vier Grundqualitäten vornehmlich über einen Fasertyp (zum Beispiel salzig) zum Gehirn weitergeleitet wird und dort mit ihrer Aktivierung diese Empfindung (salzig) signalisiert.

4.3 Somatosensorisches System

Im Gegensatz zum visuellen oder akustischen Wahrnehmungssystem verfügt das somatosensorische System nicht über ein speziell ausgebildetes, die einzelnen Rezeptoren umschließendes Sinnesorgan, sondern hier sind die einzelnen Rezeptoren in der Regel weit über den gesamten Körper verstreut, wobei vielfach die verschiedenen Einzelreize einzelner Rezeptoren zu einer einzigen Gesamtwahrnehmung integriert werden. Wir unterscheiden im Folgenden die exterorezeptiven **Hautsinne** – die Tast-, Temperatur- und Schmerzwahrnehmung äußerer Reize – von der Wahrnehmung des eigenen Körpers, der **Tiefensensitivität** (**Propriozeption**).

Die Einteilung der somatosensorischen Sinne wird in der Literatur nicht einheitlich gehandhabt. Vielfach ist es üblich, die somatosensorischen Sinne nach ihren Funktionen in drei Gruppen zu unterteilen:

1. Als **exterozeptiv** (Pinel 1997) werden die Wahrnehmungen bezeichnet, die uns mit Information über die externen Ereignisse versorgen, die auf unsere Hautoberfläche auftreffen. Hierher gehören die Sinnesmodalitäten der Haut, die **Hautsinne** (die auch als „Somatosensorik" im engeren Sinne bezeichnet werden). Sie umfassen die (1) Druck- und Tastwahrnehmung, auch taktile Wahrnehmung genannt (**Mechanorezeption**), (2) die Temperaturwahrnehmung (**Thermorezeption**), und (3) die äußere Schmerzempfindung oder **Nozizeption**. Alle drei Hautsinne gehen auf die verschiedenen Rezeptorsysteme der Haut zurück.
2. Als **propriozeptiv** werden die somatosensorischen Wahrnehmungen bezeichnet, die uns über Lage und Haltung unseres Körpers unterrichten. Sie erhalten ihre Information aus Sinnesrezeptoren in den Skelettmuskeln, den Sehnen und Gelenken – was als **Tiefensensibilität** bezeichnet wird (im Gegensatz zu der **Oberflächensensibilität** der Hautsinne) – sowie den

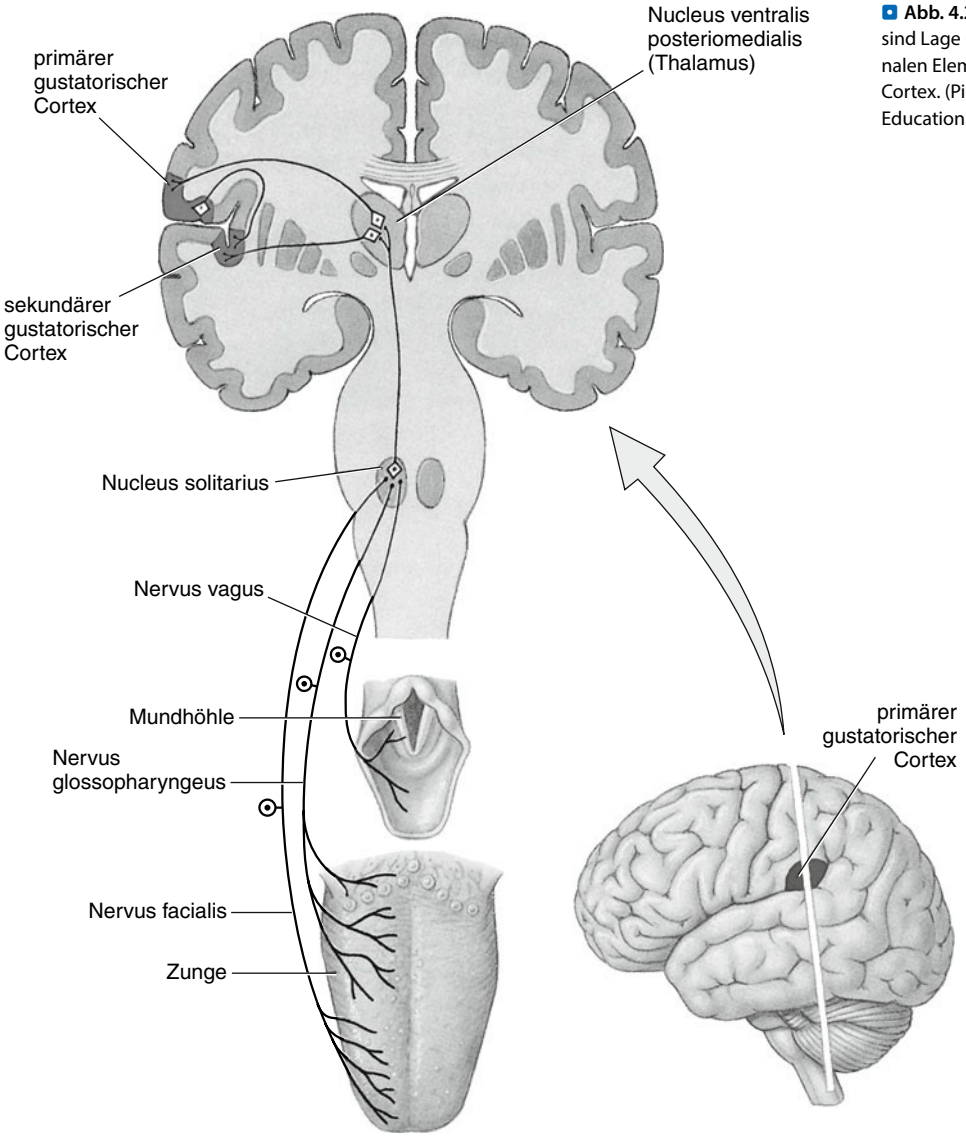


Abb. 4.23 Das gustatorische System. Dargestellt sind Lage und Verknüpfung der wichtigsten neuronalen Elemente bis hin zum primären gustatorischen Cortex. (Pinel 2000, Copyright © 2000 by Pearson Education. Reprinted by permission of the publisher)

Tab. 4.2 Einteilung charakteristischer Geschmacksstoffe und ihre Wirksamkeit beim Menschen

Qualität	Substanz	Schwelle (mol/l)
Bitter	Chininsulfat Nikotin	0,000008 0,000016
Sauer	Salzsäure Zitronensäure	0,0009 0,0023
Süß	Saccharose Glucose Saccharin	0,01 0,08 0,000023
Salzig	NaCl $CaCl_2$	0,01 0,01

Gleichgewichtsorganen. Hierher gehören die **Haltungssinne**, der **Gleichgewichtssinn** und der **Kraftsinn**, die uns Information über die Lage und Bewegung des Körpers oder einzelner Körperteile (Arm, Kopf) sowie über das Körperschema und die Kraftaufwendung bei Bewegungen (Kraftsinn) liefern.

3. Als **enterozeptiv** werden schließlich die Wahrnehmungen bezeichnet, die uns Information über Zustände innerhalb unseres Körpers vermitteln, wie zum Beispiel über die Körpertemperatur oder den Blutdruck. Dieser insgesamt auch **somatosensorische Sensibilität** genannten Wahrnehmung wird in der physiologischen Psychologie als gesondert gern die **viszerale Sensibilität** (auch Teil der Enterozeption) gegenübergestellt (Birbaumer und Schmidt 1999). Sie umfasst die verschiedenen Wahrnehmungsinformationen einschließlich Schmerz aus dem Bereich der Eingeweide (*viscera*).

In Abb. 4.24 sind diese Zusammenhänge (versuchsweise) grafisch strukturiert. Andere Autoren fassen Hautsinne und Haltungssinne (einschließlich des vestibulären Gleichgewichtssystems) zusammen als **haptisch-somatisches System** (Goldstein 1997). Wir werden uns im Folgenden auf die Darstellung nur weniger wichtiger Punkte des exterozeptiven und des propriozeptiven Wahrnehmungssystems beschränken. Dabei beginnen wir zunächst mit den **Hautsinnen** der Oberflächensensibilität: Tastwahrnehmung, Temperaturwahrnehmung und Schmerzwahrnehmung.

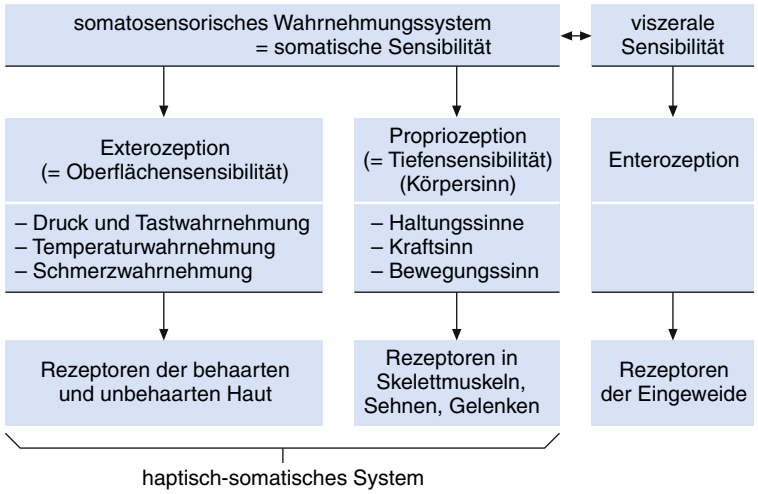


Abb. 4.24 Somatosensorische Wahrnehmungsbereiche. Gliederung und Bezeichnung der somatosensorischen Systeme im Überblick

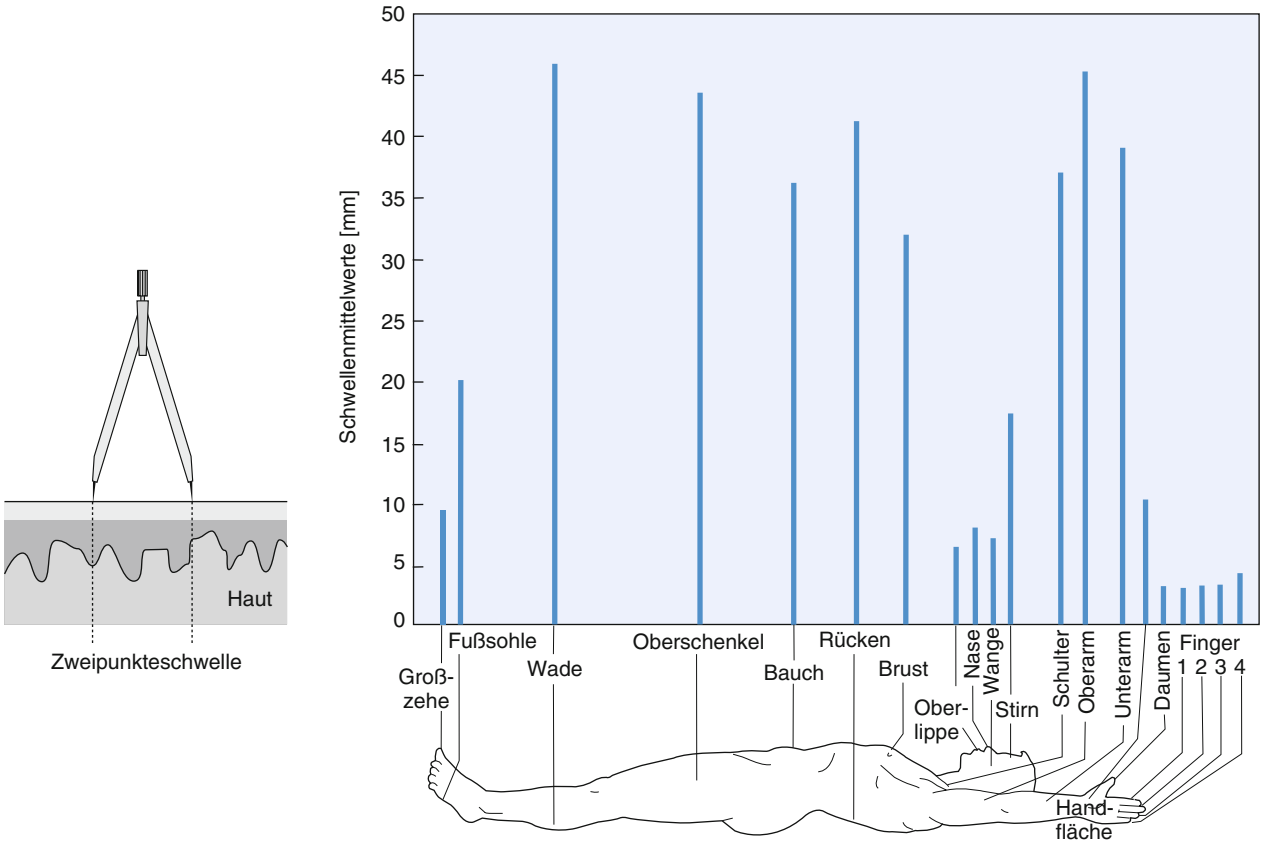


Abb. 4.25 Zweipunktschwellen der Haut. Mittelwerte der absoluten Schwellen (simultanen Raumschwellen) für verschiedene Regionen des (männlichen) menschlichen Körpers. Gemessen wird der minimale Abstand zweier mehrmals simultan auf der Haut aufgesetzter abgestumpfter Spitzen eines Stechzirkels, bei dem die beiden Reizpunkte gerade noch als getrennt wahrgenommen werden. (Weinstein 1968)

4.3.1 Oberflächensensibilität (Exterozeption)

Taktile Wahrnehmung

Druck- und **Tastwahrnehmung** unterscheiden sich an unterschiedlichen Stellen der Haut. Tastet man die Haut mit einem dünnen Stift oder einer Borste ab, so zeigt sich, dass wir nur an bestimmten Punkten der Haut Druck- oder Berührungsempfindungen wahrnehmen. Diese Punkte werden als **Tastpunkte** bezeichnet, deren Verteilung über den Körper sowie ihre psychophysischen Unterschiedsschwellen schon Ende des 19. Jahrhunderts ausführlich untersucht wurden. Am sensibelsten sind unsere Lippen, die Nase und die Wangen, aber auch die Fingerspitzen. Am unempfindlichsten auf Druck ist dagegen die große Zehe. Diese Unterschiede in der **Wahrnehmungsschwelle** korrespondieren mit der Anzahl der Rezeptorzellen, die auf den Reiz antworten. An den empfindlichsten Bereichen sind wir in der Lage, einen Druck von 5 mg wahrzunehmen.

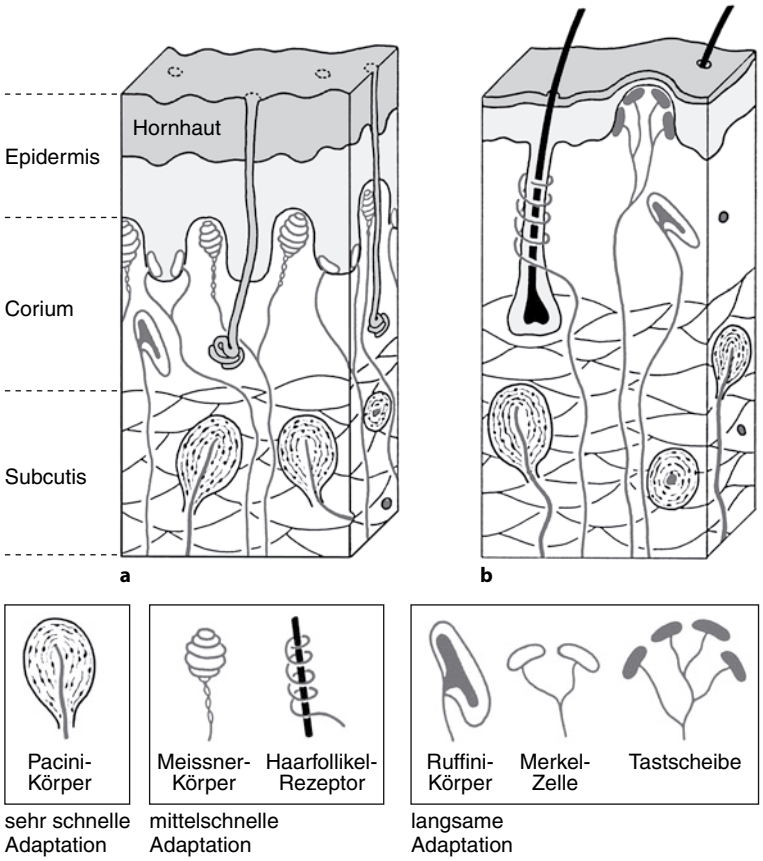


Abb. 4.26 Mechanorezeptoren. Schematische Darstellung ihrer Struktur und Lage (**a**) in der unbehaarten Haut und (**b**) der behaarten Haut des Menschen. (**c**) Die verschiedenen Rezeptortypen gegliedert nach ihrem Adaptationsverhalten. Alle diese Rezeptoren werden von schnell leitenden markhaltigen Nervenfasern der Gruppe II versorgt

Außer der Wahrnehmung des Druckes an einem bestimmten Punkt der Haut sind wir auch in der Lage, verschiedene Druckpunkte voneinander zu unterschieden. Dieses **räumliche Auflösungsvermögen** der Haut für taktile Reize (und damit die Erkennung von Druckmustern) wird als Zweipunktschwelle zur Bestimmung der **räumlichen Unterschiedsschwelle** verwendet, das heißt der Messung des kleinsten Abstandes von zwei Druckpunkten auf der Haut, die gerade noch als getrennt wahrgenommen werden. Dieses räumliche Auflösungsvermögen, das auch als **simultane Raumschwelle** bezeichnet wird, ist an der Zungenspitze, den Lippen und den Fingerkuppen besonders gut (Abb. 4.25).

Hier sind auch die **rezeptiven Felder** der nachgeschalteten Neurone am kleinsten und ermöglichen so die schärfsten Unterscheidungen. Ihre Funktionsweise ist die gleiche, wie wir sie bei der Betrachtung des visuellen Systems besprochen haben, nur beziehen sie sich hier natürlich auf Reizpunkte der Haut (Gardner 1983). Die von den Rezeptoren aufgenommene Information wird über verschiedene Typen von schnell beziehungsweise langsam adaptierenden Nervenfasern zum Hirnstamm weitergeleitet, wo sie zur kontralateralen Seite kreuzend über Umschaltungen im Thalamus zum **somatosensorischen Cortex** gelangen, dessen **somatotope Organisation** wir bereits bei den biologischen Grundlagen besprochen haben (Abb. 2.22 Homunculus).

Besonders empfindlich ist unsere Haut auch gegenüber **Druckvibrationen,** und zwar am stärksten bei Vibrationsfrequenzen zwischen 150 und 300 Hz. Die Unterschiedsschwelle für Änderungen der Vibrationsfrequenz ist dagegen am besten im Bereich niedriger Frequenzen und steigt bei Frequenzen über 100 Hz steil an. Wie Einzelzellableitungen in höheren Zentren der Verarbeitung zeigten, verfügen wir auch hier, ähnlich wie im Hörsystem, über Zellen, die spezifisch auf bestimmte Vibrationsfrequenzen ansprechen (Loomis und Lederman 1986), was von Békésy für sein Hörmodell genutzt wurde (▶ Exkurs 4.2).

Das taktile Wahrnehmungssystem zeigt **starke Adaptionseffekte** bei länger dauernder, gleichartiger Reizeinwirkung. So spüren wir schon nach kurzer Zeit weder einen Ring am Finger oder Ohr noch den Druck unserer Kleidung, solange keine Bewegung erfolgt.

Die **Rezeptoren**, die uns Druck, Berührung, Vibrations- und Kitzelempfindungen vermitteln, werden als **Mechanorezeptoren** bezeichnet. Nach Schmidt und Thews (1997) wurden sowohl in der behaarten als auch in der unbehaarten Haut von Menschen wie auch anderen Primaten vier Typen unterschiedlich empfindlicher Mechanorezeptoren gefunden, die sich im Wesentlichen durch sehr schnelle, mittelschnelle und langsame Adaptation unterscheiden:

1. Die **Druckrezeptoren** (**Intensitätsdetektoren**) reagieren ausschließlich oder vorwiegend auf Druckreize, auf die sie auch nur langsam adaptieren. Sie werden heute physiologisch als **SA-Rezeptoren** (*slowly adapting*) bezeichnet (wobei noch zwischen SA-I- und SA-II-Typen unterschieden wird), die bei einem lang dauernden Hautreiz (zum Beispiel das Körpergewicht auf der Fußsohle) ständig Aktionspotenziale in afferenten Fasern erzeugen. Anatomisch handelt es sich hierbei um die schon früh bekannten **Merkel-Zellen**, die in kleinen Gruppen in den untersten Schichten der Epidermis, der unbehaarten Haut, liegen (Abb. 4.26). In der behaarten Haut sind die Merkel-Zellen als punktförmig herausragende **Tastscheiben** ausgebildet.

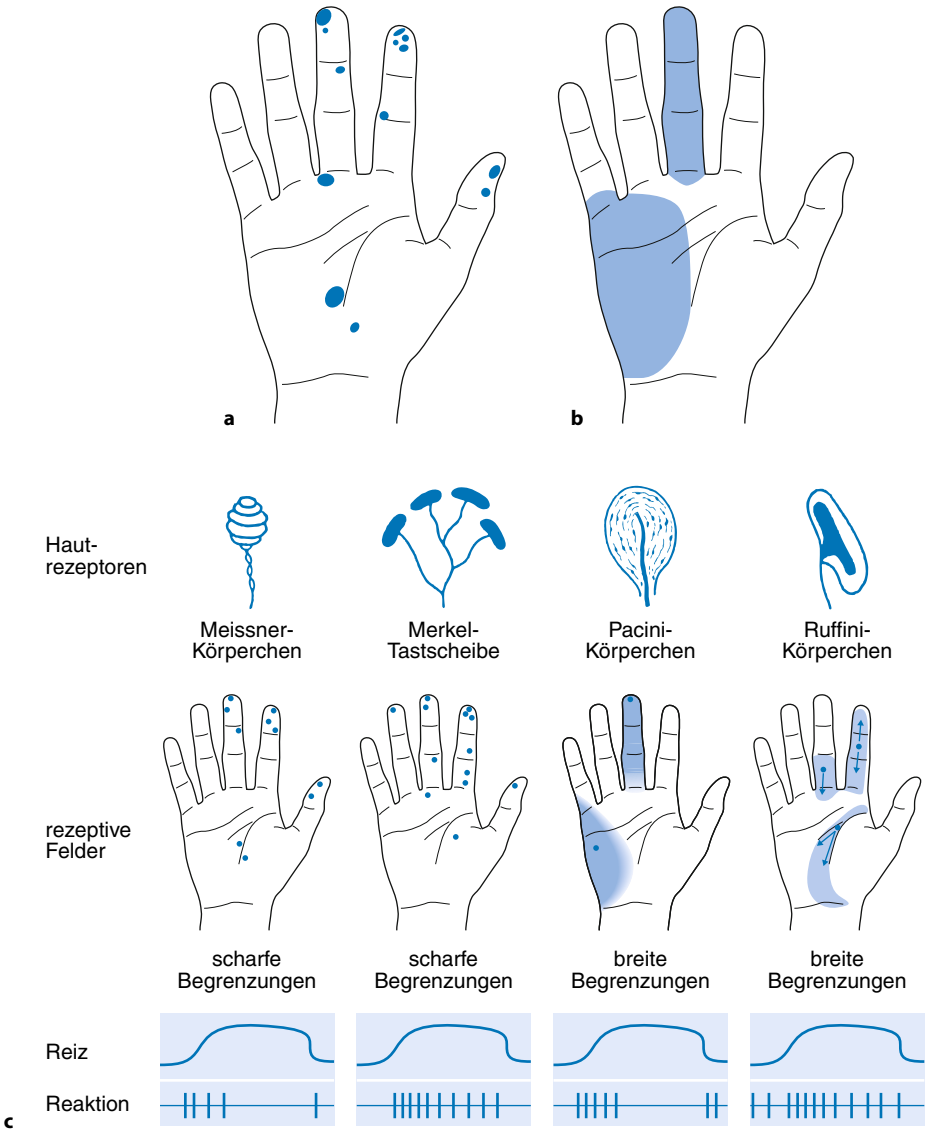


Abb. 4.27 Rezeptive Felder einzelner berührungsempfindlicher Neurone der Hand. **a** Rezeptive Felder von15 RA-I-Fasern sind klein, **b** Rezeptive Felder von PC-Fasern sind typischerweise groß, **c** Rezeptive Felder und Reizantworten von Mechanorezeptoren. (Schandry 2006, S. 232)

2. Die **SA-II-Rezeptoren** (**Ruffini-Körperchen**) reagieren vor allem auf Dehnung der Haut in einer bestimmten Richtung.
3. Die **Berührungsrezeptoren** (**Geschwindigkeitsdetektoren**) sind anatomisch in behaarter und unbehaarter Haut sehr unterschiedlich gestaltet. Die **Haarfollikelrezeptoren** (Abb. 4.26), die bei der Berührung von Haaren zum Beispiel auf dem Handrücken gereizt werden, vermitteln nur während der Bewegung der Haare eine Empfindung, wobei die Intensität der Empfindung von der Geschwindigkeit der Haarbewegung, nicht aber von ihrem Ausmaß abhängt. Elektrophysiologisch gleichartig reagieren in der unbehaarten Haut die in den Papillen des Coriums liegenden **Meissner-Körperchen**. Sie wurden als schnell adaptierende **RA-Rezeptoren** (*rapidly adapting*) identifiziert.
4. Die **Vibrationsrezeptoren** (**Beschleunigungsdetektoren**) antworten sowohl auf einfache als auch auf mehrfache überschwellige Reize jeweils nur mit einem einzigen Impuls. Diese sehr schnell adaptierenden Rezeptoren werden, da es sich hierbei um die bekannten **Pacini-Körperchen** handelt, heute als **PC-Rezeptoren** bezeichnet. Diese relativ großen neuronalen Endstrukturen mit zwiebelschalenartigen Bindegewebsumhüllungen finden sich im Fettgewebe der Unterhaut (Subcutis) wie auch in wechselnder Anzahl an den Sehnen und Faszien der Muskeln sowie der Knochenhaut und den Gelenkkapseln.

Es wird zwischen vier verschiedenen Rezeptortypen unterschieden, die sich hinsichtlich ihres Vorkommens in verschiedenen Körperregionen und Hautschichten sowie hinsichtlich der Größe ihrer rezeptiven Felder und ihrer Adaptationscharakteristika unterscheiden.

Die rezeptiven Felder der taktilen Afferenzen weisen – ähnlich denen der Ganglienzellen im visuellen System – antagonistische Zentrum-Umfeld-Gliederungen auf. Sie unterscheiden sich jedoch deutlich hinsichtlich ihrer Größe und Struktur. Die Aussprossungen der Rezeptorzellen verteilen sich mit ihren Endigungen über jeweils einen begrenzten Hautbereich. Dieser Bereich stellt das rezeptive Feld der Rezeptorzelle dar. Merkel-Zellen wie auch die schnell adaptierenden Meissner-Körperchen haben sehr kleine rezeptive Felder von weniger als 1 mm Durchmesser. Wesentlich größer sind dagegen die rezeptiven Felder der Intensitätsrezeptoren (Typ II). Sie können sich wie bei den Pacini-Körperchen über ein ganzes Fingerglied erstrecken (Schandry 2006; Abb. 4.27).

Exkurs 4.11

Experiment: Vergleich von aktivem und passivem Berühren

Schließen Sie die Augen und lassen Sie sich von einer anderen Person jeweils einen von einer Reihe von kleinen Gegenständen (sechs bis acht), die Sie vorher ausgewählt haben, in die Hand legen. Sie sollen nun den Gegenstand allein durch Tasten erkennen. Versuchen Sie dabei genau darauf zu achten, was Sie im Einzelnen wahrnehmen: Ihre Tastempfindungen, Ihre Finger- und Handbewegungen, aber auch Ihre Gedanken bis zum Erkennen des Objektes. Nachdem Sie dies etwa dreimal gemacht haben, lassen Sie sich nun (ebenfalls bei geschlossenen Augen) jeweils einen der restlichen Gegenstände auf der flachen Hand, die Sie stillhalten, so umherbewegen, dass Sie ihre Oberflächen, Kanten und Kontouren zu spüren bekommen. Auch hier haben Sie dieselbe Aufgabe, die Objekte zu erkennen und zugleich zu beachten, was Sie dabei erleben, wenn der Gegenstand über Ihre passive Hand bewegt wird.

4

Corticale Zellen können wiederum in diverser Weise spezialisiert sein, beispielsweise maximale Feuerungsraten bei der Berührung ihres rezeptiven Feldes durch eine Kante in einer spezifischen Orientierung oder der Bewegung eines Reizes über ihr rezeptives Feld in einer bestimmten Richtung (Besonderheiten der lateralen Hemmung und Wahrnehmungsdoppelung in *Zusatztext online*).

Haptische Wahrnehmung

Sie bezeichnet die Fähigkeit, dreidimensionale Objektformen durch Abtasten zu erkennen. Bei der Behandlung des visuellen und auditorischen Systems haben wir die besondere Bedeutung der Eigenbewegung – dort insbesondere in Bezug auf die Raumwahrnehmung – kennengelernt. Auch in der taktilen Wahrnehmung stellt der passive Kontakt mit einem Objekt nur einen speziellen Fall dar; vielfach führen wir eigene Bewegungen aus, die sich auf die Wahrnehmung des berührten Objekts auswirken. Zentrales Anliegen der psychophysischen Forschung war es, die offensichtlichen Unterschiede zu analysieren, die sich einerseits im subjektiven Empfinden zeigen und andererseits bei der Fähigkeit, Objekte mittels aktivem beziehungsweise passivem Berühren zu erkennen (▶ Exkurs 4.11).

Wie sich zeigt, unterscheidet sich in beiden Fällen das, was wir wahrnehmen, wie auch die Information, die wir erhalten. Ein wichtiger Unterschied liegt nach Gibson (vgl. visuelle Wahrnehmung) darin, dass das aktive Berühren meist mit dem berührten *Gegenstand* verbunden ist, während das passive Berühren eher als *Empfindung* auf der Haut erlebt und interpretiert wird, was nach Gibson auch von der bewussten Absicht gesteuert wird, die beim aktivem Abtasten auf den Gegenstand gerichtet ist.

Die aktive Exploration mittels Tastsinn, wird als **Haptik** bezeichnet. Von besonderer Bedeutung sind hierbei Hand- und Fingerbewegungen (◘ Abb. 4.28) Von Lederman und Klatzky (1987) stammt eine Klassifikation von zu diesem Zweck typischer Handbewegungen, die in unterschiedlichem Maße zur Feststellung spezifischer Merkmale wie Textur (über die Oberfläche streichen), Härte (auf das Objekt drücken), Gewicht (halten) oder Form (mit den Fingern der Kontur folgen) beitragen. Das spezifische Muster von eingesetzten Handbewegungen hängt dementsprechend von der jeweiligen Erkennensaufgabe ab.

Haptische Wahrnehmung

Unter haptischer Wahrnehmung versteht man die Verarbeitung von durch aktives Abtasten vermittelten Reizinformationen bzw. die Objektidentifizierung durch haptische Exploration (Goldstein 2008).

Haptische Explorationsbewegungen

Unter haptischen Explorationsbewegungen (*exploratory procedures*, EPs) versteht man die Bewegung der Hände und Finger, um dreidimensionale Objekte durch Berührung zu identifizieren (Goldstein 2008).

Wenn wir mit der Hand oder mit den Fingern über die Oberfläche eines Gegenstandes streichen, um ihn (zum Beispiel bei geschlossenen Augen) tastend zu erfassen, entsteht ein äußerst komplexes und kontinuierlich variierendes Reaktionsmuster von Entladungen in diesem System, welches auf die wechselnde Erregung der verschiedenen Rezeptoren in der Haut wie auch in den sich bewegenden Gelenken und Muskeln zurückgeht, wie schon die einfache eigene Erfahrung zeigen kann, wenn wir statt des „Betastens" die Finger nur auf dem (z. B. weichen, rauen oder harten) Gegenstand ruhen lassen. Das räumliche und zeitliche Muster der einzelnen Signale aus verschiedenen Rezeptoren, das dem ZNS auf verschiedenen Bahnen übermittelt wird, muss zunächst in irgendeiner Weise so integriert werden, dass wir schließlich am Ausgang dieses Systems in der Lage sind, verschiedenartigste Objekte und Qualitäten wie Form, Oberfläche oder Zusammensetzung (z. B. flüssig, fest, klebrig, elastisch, glatt), zu unterscheiden. Dabei beruht die Überlegenheit der tastenden gegenüber der ruhenden Hand unter anderem darauf, dass durch die Bewegung wesentlich mehr Hautrezeptoren aktiviert werden und dass deren Adaptation (▶ Abschn. 4.2 und 9.2, Habituation) weitgehend vermindert wird, wodurch detailliertere Informationen über das Kontaktgeschehen aufgenommen werden können. Andererseits aber tragen bei bewegter Hand die Rezeptoren der Tiefensensibilität ihren Anteil zur Form- und Oberflächenerkennung bei (Gibson 1962). Diverse Untersuchungen zeigen eine Überlegenheit haptischer Exploration gegenüber passiv-taktiler Wahrnehmung hinsichtlich des Erkennens von Objektformen. So fiel es Versuchspersonen in einer Untersuchung von Gibson (1962) schwerer, die Formen keksausstecherartiger Reizobjekte zu bestimmen, wenn ihnen diese in die Handfläche gedrückt wurden, als wenn sie die Möglichkeit hatten, sie mit den Fingern abzutasten.

Um derartige Aufgaben korrekt zu lösen, muss das Wahrnehmungssystem in der Lage sein, den durch das Objekt selbst ausgeübten Druck auf die Hautrezeptoren von den Reizungen, die auf das Betasten zurückgehen, zu trennen. Anderenfalls würde es beispielsweise zu einer Überschätzung des Gewichts eines in der Hand liegenden Objekts kommen, wenn die auf die Handfläche wirkende Kraft durch einen von oben auf das

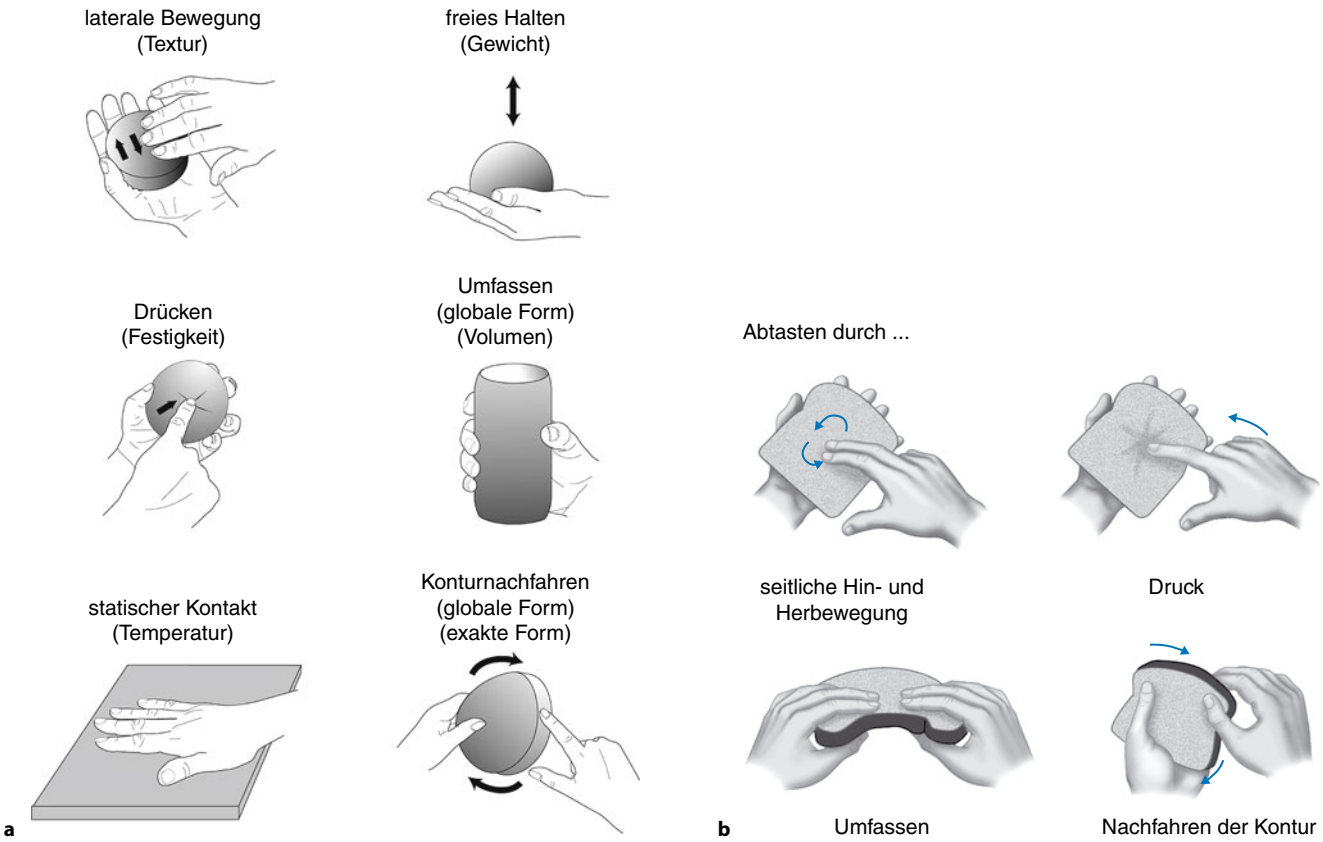


Abb. 4.28 Beispiele für manuelle explorative Prozeduren. (**a** nach Lederman und Klatzky 2009, Vol. 71, p. 1446, Fig. 6; **b** verändert nach Pinel, 2000)

Objekt erfolgenden Fingerdruck erhöht wird. Im Zusammenhang mit der Bewegungswahrnehmung im visuellen System haben wir das Reafferenzprinzip als Prinzip zur Unterscheidung zwischen Fremdreiz vermittelten und durch Eigenbewegung vermittelten Bewegungen auf der Netzhaut kennengelernt, das, verkürzt gesagt, darin besteht, dass beim Aufbau des Wahrnehmungsbildes die Stimulation der Rezeptoren um die aufgrund einer geplanten Eigenbewegung vorhergesagten Veränderungen „bereinigt" wird. Ähnliche Prozesse finden offenbar auch bei der haptischen Wahrnehmung statt. So findet sich geringere Aktivität im somatosensorischen Cortex, wenn ein Berührungsreiz durch die Versuchsperson selbst statt durch die Versuchsleitung verabreicht wird (Blakemore et al. 1998). Diese Mechanismen haben interessante Konsequenzen (► Exkurs 4.12)

Bei der explorativen Manipulation zur Gegenstandserkennung greifen drei unterschiedliche Systeme ineinander:

1. Das sensorische System übermittelt die Empfindungen der Haut wie Berührung, Textur, Temperatur sowie die Bewegung und Stellung der Finger und Hände (Propriozeption).
2. Das motorische System bewegt Finger und Hände.
3. Das kognitive System verarbeitet die Informationen der beiden anderen Systeme, um den Gegenstand zu erkennen.

In diesen komplexen kognitiven Vorgang gehen auch Informationen aus früheren Erfahrungen mit ein, denn bekanntlich werden bekannte Gegenstände wesentlich leichter erkannt als unbekannte (Neueres zur Haptik: LINK Haptiklabor, und zu Die Welt begreifen. LINK in (*Zusatztext online*)).

Die haptische Wahrnehmung ist hinsichtlich der Erkennung der Form von Objekten der rein passiven Stimulation überlegen. Hierzu müssen motorische und propriozeptive Informationen in komplizierter Weise berücksichtigt werden. Durch Eigenbewegung induzierte somatosensorische Stimulationen gehen vermutlich mit einer „Vorhersage" der sensorischen Effekte einher, die zu einer abgeschwächten corticalen Aktivierung führt.

Temperaturwahrnehmung

Die Temperaturwahrnehmung (Thermorezeption) ist der zweite exterozeptive Hautsinn. Reize, die unsere Haut berühren, lösen nicht nur taktile Empfindungen aus, sondern auch Temperaturempfindungen wie kalt, warm, heiß oder bei schädigenden Einflüssen Empfindungen von Schmerz. **Temperaturempfindungen** werden uns über die in der Haut verteilten **Thermorezeptoren** vermittelt. Sie bestehen aus freien Nervenendigungen. Dabei lassen sich **Warmrezeptoren**, die auf Temperaturerhöhungen ansprechen, von **Kaltrezeptoren** unterscheiden, die auf Temperaturerniedrigung ansprechen und dabei ihre Entladungsrate erhöhen und feuern, solange die niedrigen Temperaturen anhalten. Dabei ist die jeweilige Entladungsrate proportional der Hauttemperatur.

Exkurs 4.12

Experiment: Wahrnehmung fremd- vs. eigeninduzierter Berührung – wie man sich selber kitzelt und warum sich gegenseitige Druckausübungen aufschaukeln

Die durch die Vorhersage der auf Eigenbewegung zurückgehenden Rezeptorstimulation verminderte Aktivierung somatosensorischer Cortexareale spielt offenbar eine Rolle bei der weit verbreiteten Unfähigkeit, sich selbst zu kitzeln. Zur genaueren Untersuchung dieser Thematik führten Blakemore et al. (2000) ein Experiment durch, in dem ein über eine Mechanik gesteuerter Stift Bewegungen auf den Handflächen von Versuchspersonen ausführte, und erfragten den Grad des durch die Berührung hervorgerufenen Kitzelempfindens. Die Bewegungen des Stiftes konnten dabei von außen vorgegeben oder auch durch die Versuchsperson selbst mittels einer mit der anderen Hand betätigten Steuervorrichtung hervorgerufen werden. Wenn die Bewegungen der Steuervorrichtung ohne Verzögerung zu gleichsinnig ausgerichteten Bewegungen des Stiftes führten, wurden die selbstverursachten Berührungen als deutlich weniger kitzlig als die fremdgesteuerten Berührungen bewertet. Das geringere Kitzelempfinden in der selbstgesteuerten Bedingung ging mit verminderter Aktivierung im somatosensorischen Cortex einher. Das Kitzelempfinden bei selbstverursachter Berührung konnte allerdings deutlich gesteigert werden, dadurch dass die Bewegung des Stiftes der zu seiner Steuerung durchgeführten Bewegung entweder nur mit einiger Verzögerung folgte oder hinsichtlich ihrer Richtung um einen bestimmten Winkel rotiert wurde – also unter Bedingungen, unter denen vermutlich keine exakte Vorhersage der sich ergebenden Berührungsstimulation erfolgen konnte.

In diesem Zusammenhang ist erwähnenswert, dass ein anderer Ansatz die Unfähigkeit, sich selbst zu kitzeln, auf eine für die Entstehung der Kitzelempfindung notwendige Einbettung in einen interpersonalen Kontext zurückführt, in welchem die Berührung einer anderen Person zugeschrieben wird. Entgegen dieser Vermutung berichteten Versuchspersonen in einer Untersuchung von Harris und Christenfeld (1999) von ebenso ausgeprägten Kitzelempfindungen und zeigten keinen Unterschied hinsichtlich der Stärke zugehöriger Verhaltensreaktionen (Lächeln, Lachen, Wegzucken), wenn ihre Fußsohle vermeintlich von einer „Kitzelmaschine" oder vermeintlich von einer menschlichen Versuchsleiterin gekitzelt wurde. (In Wahrheit erfolgte die Stimulation in beiden Fällen durch eine menschliche Person, die vor den Versuchspersonen, deren Augen für den Versuch verbunden waren, verborgen gehalten wurde.)

In einer weiteren originellen Untersuchung der verminderten Empfindung selbstverursachter Berührungsreize baten Shergill et al. (2003) je zwei Versuchspersonen, abwechselnd mit ihrem Zeigefinger Druck auf den in einer Mulde ruhenden Zeigefinger der anderen Person auszuüben (vermittelt über einen Hebel, der mit einem die dabei ausgeübte Kraft erfassenden Sensor ausgestattet war). Die Versuchspersonen wurden instruiert, jeweils dieselbe Kraft auszuüben, welche die andere Versuchsperson zuvor angewandt hatte – wobei keine der Personen die Instruktion ihres Partners kannte. Im Gegensatz zu einer Kette gleichbleibend starker Druckausübungen, die sich bei Befolgung der Instruktionen hätte ergeben müssen, zeigte sich, dass die Kraftausübung beider Akteure von Durchgang zu Durchgang deutlich anstieg, d. h. jeweils stärker ausfiel als die vorhergehende Aktion des Partners. Dieses gegenseitige Aufschaukeln lässt sich wiederum dadurch erklären, dass der selbstverursachte Druck des Hebels auf den niederdrückenden Finger als geringer empfunden wird als fremdverursachter Druck derselben Stärke und folglich, um dennoch eine Äquivalenz im Empfinden zu bewirken, die Kraft der eigenen Aktion entsprechend erhöht werden muss. Übereinstimmend mit dieser Interpretation, bemerkten die Versuchspersonen ihr eigenes Scheitern nicht, der Instruktion zu folgen. Sie vermuteten aber, dass ihre jeweiligen Partner zu einer eskalierenden Druckausübung instruiert worden wären.

Auf gleichmäßige Temperaturen sprechen Kalt- und Warmrezeptoren verschieden an. Dies verdeutlicht ◘ Abb. 4.29. Kaltsensoren antworten in einem Bereich von etwa 20–40 °C, aber auch bei sehr hohen Temperaturen über 45 °C. Warmrezeptoren sind etwa in einem Bereich von 30–48 °C empfindlich. Im normalen Temperaturbereich verfügen wir über eine recht hohe **Temperatursensibilität.** Hier können wir bereits Temperaturerhöhungen von nur 0,4 °C wahrnehmen, Temperaturerniedrigungen sogar von 0,15 °C (Kenshalo et al. 1961). Bedeutsam ist ferner die schnelle und vollständige Adaptation an mäßige Temperaturveränderungen, sodass wir nach ein paar Minuten schon keine ausgesprochene Wärme- oder Kälteempfindung mehr haben. – Sind wir erst einmal im Swimmingpool, haben wir eine durchaus andere Empfindung von der Wassertemperatur, als wenn wir gerade hineingehen.

Schmerzwahrnehmung

Schmerzempfindungen werden durch jedweden Reiz ausgelöst, der intensiv genug ist, um bedrohlich oder gewebeschädigend zu sein. Die Schmerzreize können von außen, aber auch von innen kommen. Starker Druck, extreme Temperaturen, elektrischer Schock oder ätzende chemische Stoffe, aber auch innere Entzündungen führen (oft über die Freisetzung von Gewebestoffen, zum Beispiel Bradikinin) zur Erregung spezieller Rezeptoren, die eine so hohe Erregungsschwelle haben, dass sie erst durch Noxen (Schaden) erregt werden. Diese Rezeptoren werden als **Nozizeptoren** bezeichnet. Viele von ihnen sind polymodal. Es handelt sich auch hier um spezialisierte freie Nervenendigungen. Bei der Wahrnehmung eines solchen direkten Schmerzes wird unterschieden zwischen einem (hellen) ersten **phasischen Schmerz**, der direkt nach einer Verletzung auftritt, und einem etwas später einsetzenden dumpferen, zweiten **tonischen Schmerz**, der dann für längere Zeit anhält.

Im Hinblick auf seinen Entstehungsort wird der Schmerz auch in verschiedene Qualitäten eingeteilt. Wie ◘ Abb. 4.30 verdeutlicht, wird zunächst unterschieden zwischen somatischem Schmerz und viszeralem Schmerz.

Somatischer Schmerz wird weiter als **Oberflächenschmerz** bezeichnet, wenn er in der Haut verursacht wird (zum Beispiel Nadelstich), und als **Tiefenschmerz**, wenn er aus Muskeln, Bindegeweben, Gelenken oder Knochen kommt (zum Beispiel Muskelkrampf). Er ist in der Regel dumpfer als der „helle" Oberflächenschmerz und lässt sich meist schlecht lokalisieren. Eingeweide- oder **viszeraler Schmerz** entsteht zum Beispiel bei übermäßiger Dehnung der Hohlorgane (Gedärm, Gallenblase, Nierenbecken), Spasmen oder Mangeldurchblutungen.

Im Hinblick auf die Dauer des Schmerzes wird unterschieden zwischen akutem und chronischem Schmerz. **Akuter Schmerz**, der zumeist auch auf den Ort der Schädigung begrenzt auftritt, wie zum Beispiel bei einer Verletzung, einem Knochenbruch oder einer Magenkolik, hat eine eindeutige Signal- und Warnfunktion. Als **chronischer Schmerz** werden verschiedene Schmerzformen mit dauerndem (Rückenschmerzen, Tumorschmerzen) oder

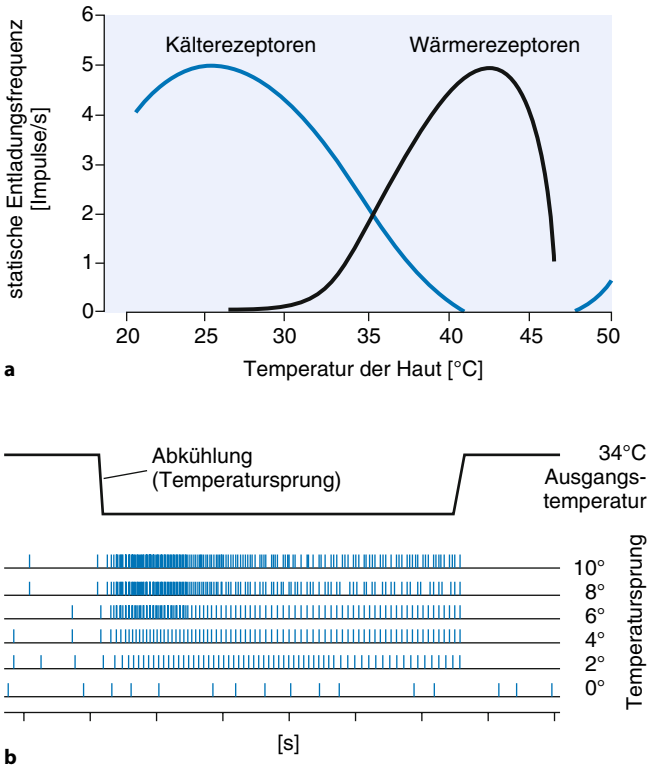


Abb. 4.29 Antwortverhalten von Thermorezeptoren. a Mittlere Entladungsfrequenz je einer Population von Kälterezeptoren (*blaue Kurve*) und von Wärmerezeptoren (*schwarze Kurve*) bei verschiedenen konstanten Temperaturen. Abgeleitet wurden die Aktionspotenziale aus den zugehörigen Nervenfasern im Bereich des Armes bei Affen, **b** Reaktion eines Kälterezeptors bei kurzfristigen, verschieden starken Abkühlungen. Die Größe des Abkühlungstemperatursprunges (ausgehend von stets 34 °C) ist jeweils rechts in Grad Celsius vermerkt. Ableitung vom Nucleus medianus bei Reizung der Affenhaut

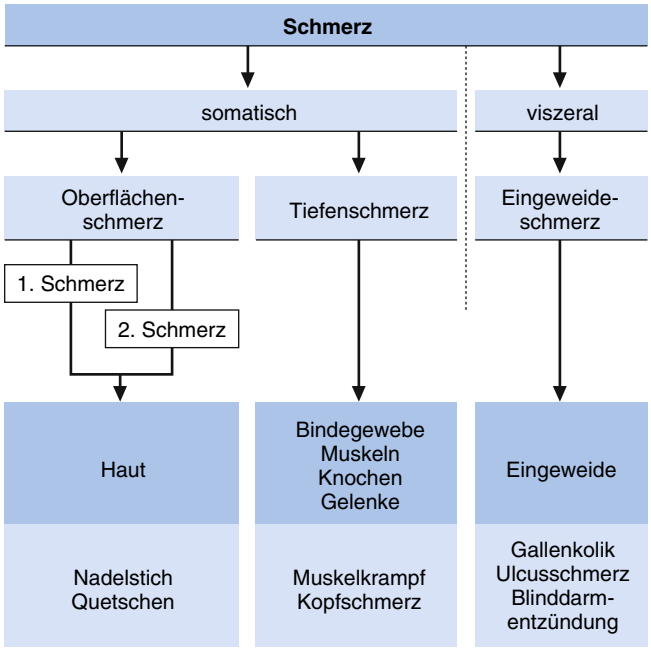


Abb. 4.30 Unterscheidbare Schmerzqualitäten nach ihrem Entstehungsort und zugehörige Schmerzbeispiele

wiederkehrendem Charakter (Herzschmerz bei Angina pectoris, Migränekopfschmerz) zusammengefasst.

Der subjektiv von uns wahrgenommene Schmerz geht zwar häufig auf die Erregung der Nozizeptoren zurück, aber nicht jede Erregung der Nozizeptoren führt zu einer Schmerzwahrnehmung. Andererseits können Schmerzen auch ohne jegliche Erregung von Nozizeptoren auftreten. Insofern unterscheidet sich die Schmerzwahrnehmung fundamental von allen anderen Sinnessystemen. Schmerzempfindungen werden wesentlich auch durch andere Faktoren als die momentane Rezeptorreizung mitbestimmt. Hierzu gehören unter anderem frühere Erfahrungen, Erwartungen oder die Kulturzugehörigkeit der Person, deren Gewohnheiten oder Gebräuche wesentlichen Einfluss auf die Schmerzwahrnehmung haben. Ferner hat Schmerz fast immer auch eine emotional-motivationale Komponente. Schmerz wird einerseits emotional verarbeitet, andererseits wirkt Schmerz auch als Antrieb zu **Vermeidungsreaktionen** und spielt daher in der Lern- und Gedächtnispsychologie eine wichtige Rolle (▶ Kap. 7, Lernen).

Die Schmerzforschung hat sich in den letzten Jahren zu einer weit reichenden Disziplin entwickelt, deren vielfältige Resultate wir hier nicht behandeln können, doch seien zum Schmerzverständnis noch folgende Angaben gemacht.

Zur Schmerzempfindung tragen sowohl sensorische, affektive, vegetative und motorische wie auch kognitive Komponenten bei.

Ein Nadelstich in den Finger oder ein verknackster Knöchel führen zunächst zur **sensorischen Schmerzempfindung**, die von aktivierten Nozizeptoren ausgeht**.** Je nach den Umständen lösen sie aber auch unlustbetonte **Affekte** aus. Sie führen zu **vegetativen Reaktionen**, wie stärkerer Durchblutung oder Entzündung, und zu **motorischen Reaktionen**, wie Wegziehen des Fingers oder Einnehmen von Schonhaltung. Schließlich kommt als kognitive Komponente die **Schmerzbewertung** hinzu. Für sie ist entscheidend der Vergleich der aktuellen Schmerzen mit den im Gedächtnis gespeicherten Schmerzerfahrungen der Vergangenheit und ihren damaligen Folgen, das heißt dem **Schmerzgedächtnis**. Das Ergebnis dieses Prozesses und die Einschätzung der Wichtigkeit oder Gefährlichkeit führen zur Beeinflussung der anderen Komponenten und zur entsprechenden **Schmerzäußerung**: wehklagen, jammern, unterdrücken.

Ein Beispiel dafür, dass auch der **psychische Zustand** einer Person, wie es von Trancezuständen berichtet wird, die Schmerzwahrnehmung beeinflusst, gibt eine Untersuchung von Beecher (1972). Er fand, dass Morphin pathologischen Schmerz, der von Angst begleitet ist, dämpft, nicht aber experimentell induzierten Schmerz, der nicht mit Angst verknüpft ist. Es kommt danach offenbar auch auf den psychischen Zustand einer Person an, ob und wie eine Substanz bei der Schmerzbekämpfung wirkt.

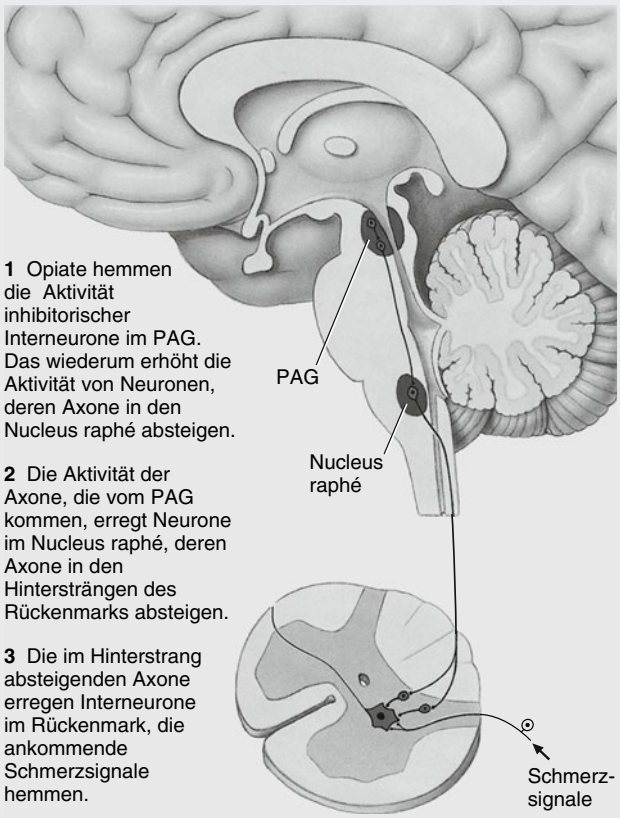
Schmerzerleben ist in vielen Fällen auch von der erfolgenden Schmerzbewertung abhängig, die den akuten Schmerz mit Schmerzen der Vergangenheit und ihren Folgen (Schmerzgedächtnis) vergleicht.

Exkurs 4.13

Genauer betrachtet: Entdeckungen zur Kontrollschrankentheorie

Eine der wichtigsten Entdeckungen zur Identifikation der postulierten absteigenden schmerzhemmenden Bahnen war, dass eine elektrische Stimulation des periaquäduktalen Grau (PAG) (ein Bereich grauer Substanz im Bereich des Mittelhirns; ◘ Abb. 4.31) analgetische, das heißt schmerzhemmende Wirkung hat. Reynolds (1969), der an Ratten Unterleibsoperationen durchführte, konnte zeigen, dass die Tiere auch ohne Anwendung von schmerzhemmenden Medikamenten keine Anzeichen von Schmerzen erkennen ließen, wenn sie im Bereich des PAG elektrisch stimuliert wurden. Andererseits kam die Entdeckung hinzu, dass sich im PAG und in anderen Bereichen des Gehirns spezielle **Opiatrezeptoren** befinden, die auf Opiate (zum Beispiel Morphium) ansprechen. Das musste darauf hindeuten, dass entsprechende schmerzhemmende Substanzen auch natürlicherweise im Körper vorkommen müssen. Und tatsächlich konnten solche körpereigenen (endogenen, das heißt vom Körper selbst produzierten) Opiate nachgewiesen werden (Hughes et al. 1975). Sie werden als **Endorphine** (endogene Morphine) bezeichnet. Werden andererseits Opiatantagonisten wie Naloxon in das PAG mikroinjiziert, verliert die normale Verabreichung von Morphium in den Blutkreislauf ihre analgetische Wirkung.

Zusammengenommen deuten diese Entdeckungen darauf hin, dass es ein solches, vom PAG absteigendes System der Schmerzkontrolle gibt, das auf Endorphine anspricht und über analgetische Pharmaka einerseits, aber auch psychische Faktoren andererseits die Schmerzwahrnehmung blockiert. Auch die schmerzreduzierende Wirkung der uralten, aus China stammenden **Akupunktur** findet hier eine Erklärung. Ein Modell dieses vom PAG absteigenden und auf Rückenmarksebene schmerzreizhemmend wirkenden Systems, wie es von Basbaum und Fields (1978) vorgeschlagen wurde, zeigt ◘ Abb. 4.31.



◘ **Abb. 4.31** Modell des vom periaquäduktalen Graus (PAG) absteigenden schmerzhemmenden Systems und Lage des PAG. (Basbaum und Fields 1978)

Absteigende Schmerzkontrolle

Die Beobachtungen, dass wir offenbar die erlebte Schmerzstärke durch kognitive Prozesse beeinflussen können, lassen sich neuronal heute nach der inzwischen modifizierten **Gate-Control-Theorie** (Kontrollschrankentheorie) verstehen, die von Melzack und Wall (1965, 1988) entwickelt wurde.

Wie bei jedem anderen Sinnessystem lässt sich auch die nozizeptive Information bereits an den ersten Synapsen im Rückenmark und im Hirnstamm modulieren. Entsprechend geht die **Gate-Control-Theorie** davon aus, dass für das Schmerzerleben nicht nur die Nozizeptoren aktiv sein müssen, sondern dass auch eine neuronale Schranke im Rückenmark geöffnet sein muss, um die Information zum Gehirn durchzulassen. Wenn hier lokalisierte spinale Hemmmechanismen tätig sind, wird die Schranke geschlossen. Diese Hemmmechanismen können nun auch tatsächlich (wie postuliert) von absteigenden Informationen aus dem Cortex aktiviert werden und so die erlebte Schmerzempfindung blockieren (▶ Exkurs 4.13).

Die Kontrollschrankentheorie (Gate-Control-Theorie) besagt, dass vom Gehirn ausgehende absteigende Signale neuronale Mechanismen aktivieren können, wodurch einlaufende Schmerzsignale blockiert werden.

4.3.2 Tiefensensibilität (Propriozeption)

Auch ohne Zuhilfenahme unserer visuellen Wahrnehmung können wir uns jederzeit über Lage und Stellung unserer Gliedmaßen zueinander orientieren. Wir können sowohl die aktiv mit unseren Muskeln ausgeführten Bewegungen wahrnehmen, als auch die passive Bewegung unserer Gelenke, wenn sie durch von außen einwirkende Kräfte bewegt werden. Auch den Widerstand, gegen den wir eine Bewegung durchführen, zum Beispiel beim Heben eines Gewichtes, können wir ziemlich genau angeben. Diese Wahrnehmungsfähigkeiten werden als **Tiefensensibilität** zusammengefasst. Die hierfür verantwortlichen Rezeptoren werden als **Propriozeptoren** (von lateinisch *proprius* für „eigen", „selbst") bezeichnet; sie liegen im Wesentlichen in den Muskeln, Sehnen und Gelenken (Kornhuber 1975; McCloskey 1978).

Stellungssinn

Er orientiert uns über die Winkelstellung der Gelenke und damit insgesamt über die Stellung unserer Gelenke zueinander. Wenngleich wir hierüber in der Regel ohne Übung mit Worten kaum eine genaue Aussage machen können, so zeigt sich die doch erstaunlich genaue Stellungsorientierung darin, dass wir zum Beispiel jeden gewünschten Punkt einer Extremität auch ohne visuelle Kontrolle mit großer Sicherheit mit den Fingern der anderen Hand treffen können.

Bewegungssinn

Aktive Gelenkbewegung mithilfe der Muskeln kann von uns ebenso wahrgenommen werden wie eine passive Gelenkbewegung, die durch eine andere Person vorgenommen wird.

Kraftsinn

Er bezeichnet nach Schmidt und Thews (1995) unser Abschätzungsvermögen für die Muskelkraft, die notwendig ist, eine Bewegung durchzuführen oder eine Gelenkstellung einzuhalten, zum Beispiel, wenn wir ein Gewicht anheben oder in einer bestimmten Höhe halten wollen. Die Rezeptoren, die im Wesentlichen für diese Arten der Tiefensensibilität verantwortlich sind, werden heute vorwiegend in den Gelenkrezeptoren, Muskelspindeln und **Sehnenorganen** gesehen. Wenngleich für die beschreibbaren Wahrnehmungsqualitäten der Tiefensensibilität jeweils mehrere Propriozeptorenarten zusammenwirken, so gilt heute doch als wahrscheinlich, dass die **Gelenkrezeptoren** für den Stellungs- und Bewegungssinn im Vordergrund stehen, während die **Muskelspindeln** für den Kraftsinn ausschlaggebend sind. Im engeren Zusammenhang mit den Informationen der genannten Rezeptoren müssen schließlich auch die Informationen gesehen werden, die von den statischen (Gleichgewichts-) Organen im **Labyrinthsystem** kommen, dessen Funktion wir hier nicht weiter besprechen wollen. So führt die integrative Auswertung der über den Stellungssinn erhaltenen Information mit der von dem Labyrinthsystem kommenden Information über die Stellung des Kopfes im Schwerefeld der Erde zu dem subjektiven Gesamteindruck der **Stellung des Körpers im Raum**. Ein Beispiel für dieses Zusammenwirken gibt ► Exkurs 3.15 zur Invariantenbildung beim Sehen (ferner: LINK: Leben ohne Propriozeption in *Zusatztext online*).

4.4 Multimodale Wahrnehmung

Üblicherweise lassen sich die einzelnen Wahrnehmungsmodalitäten sehr gut voneinander trennen. Sehen vermittelt völlig andere Eindrücke als Hören oder Schmecken. Dies bedeutet freilich nicht, dass die einzelnen modalitätsspezifischen Reizverarbeitungsprozesse völlig unabhängig voneinander ablaufen, wie wir das beim Zusammenwirken von Geruch-und Geschmack beim "Aroma" besprochen hatten. Tatsächlich ist oftmals eine Verknüpfung von Informationen aus verschiedenen Modalitäten notwendig, um wesentliche Aspekte einer Szenerie zu erfassen. Um beispielsweise zu erkennen, welche von zwei Personen uns angesprochen hat (deren Stimmen uns bis zu diesem Zeitpunkt unbekannt waren und für sich genommen keine Identifikation ihres Ursprungs erlauben), ist es hilfreich, die auditiv wahrgenommene Sprachbotschaft zu bestimmten visuellen Eindrücken, wie den visuell wahrgenommenen Orten der Personen oder ihrer Lippenbewegungen, in Zusammenhang zu bringen.

Offenbar überwiegt die letztere Art der Zuordnung zumindest bei nahe beieinander befindlichen Personen, wie sich am Beispiel von Bauchrednern zeigt, die eine Handpuppe reden lassen, indem sie deren Mund bewegen, während sie selbst beim Sprechen keine Miene verziehen, sodass wir den Eindruck haben, die Puppe spricht (**Bauchrednereffekt**). Allgemein ausgedrückt, handelt es sich hierbei um die Beeinflussung der Lokalisierung einer Schallquelle durch einen zeitgleich dargebotenen passenden visuellen Reiz. Diese Beeinflussung ist nicht auf den spezifischen Bauchrednerfall beschränkt. Wie Bertelson und Aschersleben (1998) in Situationen mit einfachen Tönen und Lichtreizen beobachteten, fallen Zeigereaktionen, die in Richtung auf die Schallquelle auszuführen waren, systematisch in Richtung eines zeitgleich dargebotenen Lichtreizes verschoben aus.

Eine deutlich spürbare Beeinflussung auditiver Wahrnehmung durch simultane visuelle Stimulation stammt wiederum aus dem Bereich audiovisueller Sprachverarbeitung. Der **McGurk-Effekt** ist dadurch charakterisiert, dass der Klang eines Sprachlauts unterschiedlich erscheint, wenn zusätzlich ein Gesicht mit einer passenden oder unpassenden Lippenbewegung betrachtet wird (McGurk und MacDonald 1976). So wird die Lautfolge „ba-ba", die aus bilabialen Phonemsilben besteht, welche mit geschlossenen Lippen begonnen werden, vermehrt als „da-da" wahrgenommen, wenn sie mit Lippenbewegungen der Lautfolge „ga-ga", bei der die Lippen offen stehen, dargeboten wird.

Das In-Konflikt-Setzen von Informationen aus verschiedenen Sinnesmodalitäten stellt eine häufig angewandte Methode der Erforschung des Zusammenwirkens dieser Informationen in der Verarbeitung dar. Eine hierbei im Vordergrund stehende Frage bezieht sich auf die eine etwaige Dominanz einer der Sinnesmodalitäten in der Wahrnehmung. Bei der Formwahrnehmung zeigt sich mitunter eine ausgeprägte Dominanz visueller Informationen. Beispielsweise bezogen sich die Beschreibungen, die Versuchspersonen in Bezug auf Reizobjekte abgaben, welche sie zugleich betasten als auch durch eine verzerrende Prismenbrille betrachten konnten, stärker auf die (verzerrte) visuelle als auf die haptische Information (Rock und Victor 1964). Obgleich die Dominanz visueller Information vielfach bestätigt wurde –

Exkurs 4.14

Genauer betrachtet: Evozierte Potenziale bei multimodaler Wahrnehmung

Giard und Peronnet (1999) führten eine EEG-Untersuchung durch, in der evozierte Potenziale für uni- und bimodale Reize verglichen wurden. Dabei erhielten die Versuchspersonen eine Reizkategorisierungsaufgabe, in der visuelle Formen, auditive Töne und Form-Ton-Kombinationen als „Reizobjekte" vorgegeben wurden, wobei sowohl die spezifische Form als auch der spezifische Ton eines Reizobjekts eine korrekte Kategorisierung erlaubte. Resultat: Die durch die bimodalen Reizobjekte ausgelösten evozierten Potenziale fielen stärker aus als die durch die beiden Arten der unimodalen Reize ausgelösten und ergaben sich nicht als eine einfache Summenfunktion. Diese Unterschiede traten bereits nach weniger als 200 ms nach dem Beginn der Reizdarbietung auf.

4

man spricht von *visual capture* –, konnte nachgewiesen werden, dass die Dominanz vielmehr jeweils der Sinnesmodalität zukommt, die in der jeweiligen Situation die niedrigere Diskriminationsschwelle (Wahrnehmungsschwelle) besitzt. So bezogen sich die Beschreibungen der Versuchspersonen in ähnlichen Experimenten, bei denen die Tastgenauigkeit zuvor geschult wurde, eindeutig auf die haptische Information, die nun die niedrigere Diskriminationsschwelle aufwies (Becker-Carus 1973), so, wie es von der weiter unten dargestellten Präzisionshypothese dann generalisiert wurde.

Offenbar ist die Dominanz auch in anderen Fällen nicht auf den visuellen Sinn festgelegt. Vielmehr hängt es von der spezifischen Untersuchungssituation ab, von welcher Modalität die Wahrnehmung eines Reizes oder Ereignisses am stärksten beeinflusst wird. So kann die simultane Darbietung eines Lichtreizes und einer Folge von Tönen die Wahrnehmung getrennter Lichtreize hervorrufen (Shams et al. 2000).

Viele der Befunde aus Untersuchungen mit Stimulation aus zwei Modalitäten lassen sich im Sinne der von Welch und Warren (1986) aufgestellten Hypothese erklären, dass die Modalität, die in einer gegebenen Wahrnehmungssituation die höchste Präzision für die zu leistende Aufgabe besitzt, den Wahrnehmungseindruck dominiert. Bei audiovisueller Verarbeitung sollte demnach, wenn es um Reizlokalisierungen geht, die visuelle Modalität dominieren, die mit überlegenem räumlichem Auflösungsvermögen ausgestattet ist. Bei Aufgaben, in denen es um die zeitliche Diskrimination von Reizereignissen geht, sollte dagegen die für diesen Zweck besonders sensitive auditive Modalität dominieren.

Des Weiteren fanden sich Hinweise darauf, dass relativ kurzfristige Erfahrungen des Zuverlässigkeitsgrades, mit dem Informationen einer bestimmten Modalität eine korrekte Aufgabenbearbeitung ermöglichen, den Einfluss dieser Modalität auf das Wahrnehmungsurteil verändern. So wurde in einer taktil-visuellen Aufgabe der visuellen Information mehr oder weniger Zufallsrauschen hinzugefügt, und es zeigte sich, dass der Einfluss der visuellen Information auf das Wahrnehmungsurteil stärker ausfiel, je weniger das Signal verrauscht wurde (Ernst und Banks 2002).

Natürliche Situationen weisen freilich üblicherweise keinen Widerspruch zwischen Reizinformationen verschiedener Modalitäten, sondern enge Entsprechungen dieser Informationen auf. In diesen Fällen kann es zu Verbesserungen der Leistung bei der Reaktion auf Reizinformationen in einer bestimmten Modalität kommen, wenn zusätzlich ein entsprechender Reiz in einer eigentlich aufgabenirrelevanten weiteren Modalität auftritt. Dieser **Redundanzvorteil** fällt stärker aus, als zu erwarten wäre, wenn man die Annahme unabhängiger Verarbeitungen der Informationen aus den verschiedenen Modalitäten zugrunde legt (Miller 1982). Tatsächlich fanden sich Hinweise auf eine Interaktion der Verarbeitung visueller und auditiver Reizinformationen bereits in einer sehr frühen Phase der Wahrnehmung (► Exkurs 4.14)

Das Zusammenwirken von Reizinformationen verschiedener Modalitäten zeigt sich zudem in Fällen, in denen eine anhand der Informationen aus in einer einzelnen Modalität zweideutige Reizsituation durch Hinweise aus einer anderen Modalität disambiguiert werden kann. Wird beispielsweise ein visueller Bewegungseindruck durch stroboskopische (► Abschn. 3.3.9) Bilddarbietung erzeugt, der als zwei aneinander vorüberziehende oder als zwei zusammenstoßende und voneinander abprallende Objekte interpretiert werden kann, so ergibt sich vermehrt der „Abpralleindruck", wenn zusätzlich ein kurzes Geräusch zum Zeitpunkt der etwaigen Kollision dargeboten wird (Sekuler et al. 1997).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Verarbeitung von Reizinformationen unterschiedlicher Modalitäten den Wahrnehmungseindruck in einer Weise verändern kann, der sich nicht einfach durch die unabhängige Verarbeitung der jeweiligen Informationen erklären lässt. Der Einfluss der Informationen aus verschiedenen Modalitäten scheint dabei in gewisser Weise flexibel an die Nützlichkeit der jeweiligen Information für die jeweils zu leistende Aufgabe angepasst zu werden.

Schlussbetrachtung In den Kapiteln zur Wahrnehmungspsychologie, die traditionsgemäß einen großen Teil der Allgemeinen Psychologie umfasst, haben wir etliche Beispiele kennengelernt für das enge interdisziplinäre Ineinanderspielen von rein psychologischer Forschung und den Erkenntnissen biologischer, neurologischer und physiologischer Forschung, die sich gegenseitig ergänzen und wechselseitig beeinflussen.

Wir haben gesehen, dass verschiedene spezifische psychische Funktionen mit der Funktion spezifischer einzelner Zellen oder Hirnregionen korrespondieren, dass spezifische Rezeptorzellen und nachgeschaltete Neurone zum Beispiel für unsere Farb- oder Gestaltwahrnehmung verantwortlich sind, und dass es in getrennten Regionen des Gehirns spezifische Zellen gibt, die spezialisiert auf bestimmte Bewegung, Form, Gestalt oder Lokalisation ansprechen. Und wir haben gesehen, dass diese Reaktionsweisen wie auch unsere Verhaltensantworten unter dem Einfluss von Erfahrungen und Umweltreizen bedeutsam modifiziert werden können.

Aus diesen Tatsachen dürfte ersichtlich werden, welche Bedeutung der Wahrnehmungspsychologie für das Verständnis unseres Verhaltens und Reagierens wie auch für unser Gesamtverständnis zukommt.

Kritisch hinterfragt

Wir haben verschiedene Hörtheorien kennengelernt, die erklären sollen, wie aus Schallwellen in der uns umgebenden Luft in unserer Wahrnehmung unterschiedliche Töne werden: Wie lässt sich entscheiden, welche Theorie richtig ist? Welche experimentellen Belege konnte Békésy für seine Einortstheorie erbringen? (siehe ► Exkurs 4.2) Reichten sie aus, um das Hören aller hörbaren Frequenzen zu erklären? Welche Belege sprechen für die Salventheorie und warum haben sie keine allgemeine Gültigkeit? – siehe dazu ► Abschn. 4.1.4.

Die afferenten Verbindungen verschiedener Sinnesorgane zum Gehirn sind unterschiedlich lang. Es sollte folglich unterschiedlich lange dauern, bis Sinnesinformationen aus verschiedenen Modalitäten im Gehirn verarbeitet werden können. Täuschen wir uns deswegen, wenn wir den Eindruck haben, zwei Sinnesereignisse wie ein Piekser in den Fuß und ein Lichtblitz erfolgten genau gleichzeitig? – siehe dazu *Zusatztext online* zu dieser Seite.

Zusammenfassung

- Das auditive System vermittelt die Wahrnehmung von Schallwellen, die sich in Begriffen von Lautstärke, Tonhöhe und Klangfarbe beschreiben lässt. Die Umwandlung der Druckschwankungen des äußeren Mediums in neuronale Impulse erfolgt – nach der Aufnahme über das Trommelfell und Weiterleitung über das Mittelohr in der Hörschnecke des Innenohres. Hier kommt es zu einer Zerlegung des anliegenden Schalls in Bestandteile unterschiedlicher Frequenz.
- Über die Hörbahn erfolgt eine Weiterleitung in den auditorischen Cortex, in welchem eine tonotope Organisation sowie mit größer werdendem Abstand vom Rezeptororgan eine zunehmende Spezialisierung der Neurone auf spezifische Lautkategorien vorherrscht.
- Zur Lokalisation von Schallquellen werden interaurale Unterschiede in der Schallintensität und Reizeinsatzzeit herangezogen. Die Strukturierung der akustischen Reizumgebung beruht auf verschiedenen Gruppierungsprinzipien.
- Geruchswahrnehmung basiert auf der Stimulation von Rezeptorzellen in der Riechschleimhaut. Verschiedene Geruchsqualitäten werden vermutlich durch das Muster der durch einen Riechstoff aktivierten Rezeptorzellen codiert. Geschmackswahrnehmung basiert auf der Stimulation von Rezeptorzellen auf der Zunge und in der Mundhöhle und lassen sich auf fünf Grundqualitäten reduzieren.
- Die taktil-haptische Wahrnehmung beruht auf vier verschiedenen Rezeptortypen. Die aufgenommenen Druck- und Berührungsinformationen werden im somatosensorischen Cortex in somatotoper Form repräsentiert, wobei die Größe der einzelnen Bereiche mit der Sensibilität der entsprechenden Körperregionen korreliert.
- Aktive Exploration geht oftmals mit überlegenen Erkennensleistungen einher. Selbstverursachte Berührungen werden aufgrund des Reafferenzprinzips als weniger stark empfunden.
- Neben der Verarbeitung von Druck- und Berührungsreizen existieren Systeme zur Erzeugung von Temperatur- und Schmerzempfindungen sowie zur Erfassung der Position der Körperglieder.
- Simultane Reize verschiedener Sinnesmodalitäten können zugehörige Wahrnehmungen wechselseitig beeinflussen. Die Stärke des Einflusses von einer Modalität auf eine andere ist von diversen Faktoren abhängig.

Antworten auf die Einführungsfragen

1. Wesentliche Übereinstimmungen bestehen darin, dass in beiden Modalitäten Reizenergien nach Durchwandern eines Mediums („Fernsinne“) auf spezialisierte Zellen eines Rezeptororgans treffen, dort in neuronale Impulse umgewandelt und in die Hirnrinde übermittelt werden (über thalamocorticale Routen). Zudem liefern beide Sinne Informationen über die die Reizenergie emittierenden oder reflektierenden Gegenstände (Feststellen von Objektlokationen und Bewegungszuständen, Erfassen von Oberflächenbeschaffenheiten etc.).
   Neben der Unterschiedlichkeit des Erlebens von Sehen und Hören, sind wesentliche Unterschiede darin zu sehen, dass bei visueller Wahrnehmung Signale in Form von elektromagnetischen Schwingungen vorliegen, wohingegen es sich bei auditiver Wahrnehmung um Luftdruckschwankungen handelt (hierdurch resultieren Unterschiede im Ausbreitungsverhalten, in der Blockierbarkeit etc.). Zudem beinhaltet visuelle Wahrnehmung chemo-elektrische, auditive Wahrnehmung dagegen mechanoelektrische Transduktion. Beide Sinnessysteme weisen unterschiedliche corticale Projektionsareale auf (Okzipital- vs. Temporallappen). Mittels visueller Wahrnehmung lässt sich zu einem Zeitpunkt nur ein begrenzter Ausschnitt der Umgebung erfassen, auditive Wahrnehmung deckt dagegen den gesamten Umraum ab. Die Repräsentation der Umgebung erfolgt im visuellen System in retinotoper, im auditiven System in tonotoper Weise.
2. Bei reinen Tönen ergeben sich unterschiedliche Höhenwahrnehmungen trotz identischer Frequenz in Abhängigkeit von der spezifischen Schallstärke; Phänomen fehlender Grundfrequenz (Muster an Obertönen entscheidend).
3. Die folgende Kette an Prozessen wird durchlaufen: Schwingung des Trommelfells, Bewegung der Gehörknöchelchen, Bewegung des ovalen Fensters, flüssigkeitsdruckschwankungsbedingte Auslenkung an der Basilarmembran, Stimulation der Haarzellen.
4. Wichtige Informationsquellen sind die interaurale Laufzeitdifferenz und der interaurale Pegelunterschied sowie Verzerrungen, die durch die Orientierung der Ohrmuscheln in Bezug auf die Schallquelle auftreten und Veränderungen der interauralen Signalunterschiede in Abhängigkeit von Eigenbewegung.
5. Am größten ist das räumliche Auflösungsvermögen für Berührungsreize an den Fingerkuppen und im Bereich der Lippen. Diese Regionen zeichnen sich durch eine hohe Dichte an Rezeptoren, kleine, scharf abgegrenzte

rezeptive Felder nachgeschalteter Neurone sowie überproportional große corticale Projektionsgebiete aus.

6. Es wird angenommen, dass die Aussendung eines motorischen Kommandos mit einer Efferenzkopie einhergeht, die zu verminderter Aktivität im somatosensorischen Cortex durch die „vorhergesagten" sensorischen Effekte führt.

Fragen zur Wiederholung und Denkanstöße

1. Was ist eine Schalldruckwelle und wie beeinflusst sie unser Hörorgan?
2. Was wird durch die so genannte Hörfläche dargestellt?
3. Erklären Sie den Aufbau von Innen- und Mittelohr (mit Zeichnung).
4. Woraus besteht das cortische Organ und wie funktioniert es?
5. Beschreiben und erklären Sie das Phänomen der Wanderwelle. Wie lässt sie sich erfassen?
6. Was besagt die Dispersionstheorie der akustischen Wahrnehmung? Wie unterscheidet sie sich von der Periodizitäts- und der Salventheorie?
7. Welche Stationen durchläuft die Hörbahn?
8. Was versteht man unter interauraler Zeitdifferenz und wo spielt sie eine entscheidende Rolle?
9. Gibt es auch rezeptive Felder der auditiven Wahrnehmung?
10. Welches sind die adäquaten Sinnesreize für den Geruchs- und den Geschmackssinn?
11. Was bedeutet Aromawahrnehmung?
12. Skizzieren Sie den Aufbau des olfaktorischen Systems.
13. Was ist ein Geruchsprofil?
14. Wie weit lässt sich die Vielfalt der Gerüche auf Primärgerüche zurückführen? Wie viele Primärgerüche gibt es?
15. Welche Faktoren sind für die Geruchsidentifikation von Bedeutung?
16. Was sind Pheromone und was bewirken sie?
17. Wie funktioniert das Vomeronasalorgan?
18. Wie weit lassen sich die verschiedenen Geschmacksqualitäten durch bestimmte Grundqualitäten (und welche?) beschreiben?
19. Erklären Sie den Transduktionsprozess der Geschmackswahrnehmung.
20. Wo liegen die absoluten und relativen Wahrnehmungsschwellen der Geschmackswahrnehmung?
21. Welche Formen der Geschmackscodierung im Nervensystem werden diskutiert?
22. Warum erkennen wir (bei geschlossenen Augen) einen Gegenstand beim Betasten mit bewegter Hand besser als mit ruhender Hand?
23. Was versteht man unter simultaner Raumschwelle und wie verteilt sie sich in ihrer Güte über die Körperoberfläche?
24. Wie ist die Körperoberfläche im somatosensorischen Cortex repräsentiert?

Literatur

Atkinson, R. L., Atkinson, R. C., & Hilgard, E. R. et al. (2000). *(Hilgard's) Introduction to Psychology*. New York, San Diego, Chicago, San Fransisco, Atlanta: Harcourt Brace Jovanovich. deutsch 2001, *Hilgards Einführung in die Psychologie.* Spektrum: Akademischer Verlag

Axel, R. (1995). The molecular logic of smell. *Scientific American*, October, 154–159.

Bartoshuk, L. M. (1979). Bitter taste of saccharin: Related to the genetic ability to taste the bitter substance propylthiourial (PROP). *Science*, *205*, 934–945.

Bartoshuk, L. M., & Beauchamp, G. K. (1994). Chemical senses. *Annual Review of Psychology*, *45*, 419–449.

Basbaum, A. I., & Fields, H. L. (1978). Endogenous pain control mechanism: Review and hypothesis. *Annals of Neurology*, *4*, 451–462.

Becker-Carus, C. (1973). Verändert die Wahrnehmungsschwelle die Dominanz zwischen Sehen und Tasten? *Zeitschrift für experimentelle und angesandte Psychologie*, *10*, 347–365.

Beecher, H. K. (1972). The placebo effect as a nonspecific force surrounding disease and the treatment of disease. In R. Janzen, W. D. Kerdel, A. Herz, C. Steichele, J. P. Payne & A. P. Burt (Hrsg.), *Pain: Basic principles, pharmacology, and therapy*. Stuttgart: Thieme.

von Békésy, G. (1947). The variation of phase along the basilar membrane with sinusoidal vibrations. *Journal of the Acoustical Society of America*, *19*, 452–460.

von Békésy, G. (1955). Human skin perception of traveling waves similar to those on the cochlea. *Journal of the Acoustical Society of America*, *27*, 830–841.

von Békésy, G. (1956). Current status of theories of hearing. In: J. F. Lubar, A first reader in psychophysiological psychology. New York, Harper and Row, 1972. Science 1956, vol. 123, pp. 779–783.

von Békésy, G. (1957). Sensations on the skin similar to directional hearing, beats, and harmonics of the ear. *Journal of the Acoustical Society of America*, *34*, 850–856. von Békésy, G. (1956). Current status of theories of hearing. In: J. F. Lubar, A first reader in psychophysiological psychology. New York, Harper and Row, 1972. Science 1956, vol. 123, pp. 779–783.

von Békésy, G. (1967). Mach band type lateral inhibition in different sense organs. *The Journal of General Physiology*, *50*, 519–532.

von Békésy, G. (1971). The ear. In N. Chalmers, R. Crawley & S. P. R. Rose (Hrsg.), *The biological bases of behavior* (S. 93–105). London: Harper & Row.

Bendor, D., & Wang, X. Q. (2005). The neural representation of pitch in primate auditory cortex. *Nature*, *436*, 1161–1165.

Bertelson, P., & Aschersleben, G. (1998). Automatic visual bias of perceived auditory location. *Psychonomic Bulletin & Review*, *5*, 482–489.

Birbaumer, N., & Schmidt, R. F. (1999). *Biologische Psychologie*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Blake, R., & Sekuler, R. (2006). *Perception*. Boston: McGraw-Hill.

Blakemore, S.-J., Wolpert, D. M., & Frith, C. D. (1998). Central cancellation of self-produced tickle sensation. *Nature Neuroscience*, *1*, 635–640.

Blakemore, S.-J., Wolpert, D. M., & Frith, C. D. (2000). Why can't you tickle yourself? *NeuroReport*, *11*, 11–15.

Bregman, A. S. (1990). *Auditory scene analysis*. Cambridge: MIT Press.

Bujas, Z., Szabo, S., Ajdukovic, D., & Mayer, D. (1989). Individual gustatory reaction times to various groups of chemicals that provoke basic taste qualities. *Perception & Psychophysics*, *45*, 385–390.

Cain, W. S. (1977). Differential sensitivity for smell: „Noise" at the nose. *Science*, *195*, 796–798.

Cain, W. S. (1979). To know with the nose: Keys to odor identification. *Science*, *203*, 467–470.

Chaudhari, N., Landin, A. M., & Ropers, S. D. (2000). A metabotropic glutamate receptor variant functions as a taste receptor. *Nature Neuroscience*, *3*, 113–119.

Cinelli, A. R. (1993). Review of "Science of olfaction". *Trends in Neurosciences*, *16*, 123–124.

Coren, S., Ward, L. M., & Enns, J. T. (1999). *Sensation and perception*. Fort Worth: Harcourt Brace.

Costanzo, R. M., & Graziadei, P. P. (1987). Development and plasticity of the olfactory system. In T. E. Finger & W. E. Silver (Hrsg.), *Neurobiology of taste and smell*. New York: Wiley.

Culler, E. A., Coakley, J. D., Lowy, K., & Gross, N. (1943). A revised frequency-map of the guinea-pig cochlea. *Americal Journal of Psychology*, *56*, 475–500.
Cutler, W. B., Preti, G., Krieger, A., Huggins, G. R., Garcia, C. R., & Lawley, H. J. (1986). Human axillary secretions influence women's menstrual cycles: The role of donor extract from men. *Hormones and Behavior*, *20*, 463–473.
Dallos, P. (1992). The active cochlea. *Journal of Neuroscience*, *12*, 4575–4585.
Desor, J. A., & Beauchamp, G. K. (1974). The human capacity to transmit olfactory information. *Perception and Psychophysics*, *13*, 271–275.
De Vries, H., & Stuiver, M. (1961). The absolute sensitivity of the human sense of smell. In W. A. Rosenblith (Hrsg.), *Sensory communication*. Cambridge, MA: MIT Press.
Dobb, E. (1989). The scents around us. *The Sciences*, *29*, 46–53.
Dodd, G. G., & Squirrell, D. J. (1980). Structure and mechanism in the mammalian olfactory system. *Symposium of the Zoology Society of London*, *45*, 35–56.
Doty, R. L., Green, P. A., Ram, C., & Yankell, S. L. (1982). Communication of gender from human breath odors: Relationship to perceived intensity and pleasantness. *Hormones and Behavior*, *16*, 13–22.
Durrant, J., & Lovrinic, J. (1977). *Bases of hearing science*. Baltimore: Williams & Wilkins.
von Ehrenfels, C. (1890). Über Gestaltqualitäten. *Vierteljahrsschrift für wissenschaftliche Philosophie*, *14*, 249–292.
Erickson, R. P. (1982). The across-fiber pattern theory. An organising principle for molar neural function. In W. D. Neff (Hrsg). *Contributions to sensory physiology*, *6*, 79–109. New York: Academic Press.
Ernst, M. O., & Banks, M. S. (2002). Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. *Nature*, *415*, 227–240.
Gardner, E. P. (1983). Cortical neuronal mechanisms underlying the perception of motion across the skin. In C. von Euler, O. Franzen, U. Lindblom & D. Ottoson (Hrsg.), *Somatosensory mechanisms* (S. 93–112). New York: Plenum Press.
Gerthsen (2002), S. 191–194
Giard, M. H., & Peronnet, F. (1999). Auditory-visual integration during multimodal object recognition in humans: A behavioral and electrophysiological study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *11*, 473–490.
Gibson, J. J. (1962). Observations on active touch. *Psychological Review*, *69*, 477–491.
Goldstein, E. B. (1996). *Sensation and perception*. Pacific Grove: Brooks/Cole Publishing Company. deutsch 1997, *Wahrnehmungspsychologie.* Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag
Goldstein, E. B. (1997). *Wahrnehmungspsychologie.* Heidelberg: Spektrum.
Goldstein, E. B. (2008). *Wahrnehmungspsychologie.* Heidelberg: Spektrum.
Goodwin, M., Gooding, K. M., & Regnier, F. (1979). Sex pheromone in the dog. *Science*, *203*, 559–561.
Hall, J. L. (1965). Binaural interaction in the accessory superior-olivary nucleus of the cat. *Journal of the Acoustical Society of America*, *37*, 814–823.
Harris, C. R., & Christenfeld, N. (1999). Can a machine tickle? *Psychonomic Bulletin & Review*, *6*, 504–510.
Hatt, H. (1990). In A. Maelicke (Hrsg.), *Vom Reiz der Sinne*
Hettinger, T. P., Myers, W. E., & Frank, M. E. (1990). Role of olfaction in perception of non-traditional "taste" stimuli. *Chemical Senses*, *15*, 755–760.
Hughes, J., Smith, T. W., Kosterlitz, H. W., Fothergill, L. A., Morgan, B. A., & Morris, H. R. (1975). Identification of two related pentapeptides from the brain with potent opiate antagonist activity. *Nature*, *258*, 577–581.
Ikeda, K. (1909). New seasonings. *J. Tokyo Chem. Soc.*, *30*, 820–836. in Japanese.
Ikeda, K. (2002). New seasonings. *Chemical Senses*, *27*, 847–849.
Kelly, J. P. (1991). Hearing. In E. R. Kandel, J. H. Schwartz & T. M. Jessel (Hrsg.), *Principles of neural science* (S. 481–499). New York: Elsevier.
Kenshalo, D. R., Nafe, J. P., & Brooks, B. (1961). Variations in thermal sensitivity. *Science*, *134*, 104–105.
Knudsen, E. I., & Konishi, M. (1978a). A neural map of auditory space in the owl. *Science*, *200*, 795–797.
Knudsen, E. I., & Konishi, M. (1978b). Center-surround organization of auditory receptive fields in the owl. *Science*, *202*, 778–780.
Kornhuber, H. H. (Hrsg.). (1975). *The Somato-sensory system*. Stuttgart: Thieme.
Köster, E. P., Jelinek, J. S., Verhelst, N. D., Mojet, J., & Lindschoten, M. R. I. (1986). Odorants related to human body odor. *J. Soc. Cosmet. Chem.*, *37*, 409–428.
Laing, D. D., Doty, R. L., & Breipohl, W. (Hrsg.). (1991). *The human sense of smell*. New York: Springer.
Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (1987). Hand movements: A window into haptic object recognition. *Cognitive Psychology*, *19*, 342–268.
Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (2009). Haptic perception: a tutorial. *Attention, Perception, & Phychophysics*, *71*, 1439–1459.
Logue, A. W. (1998). *Die Psychologie des Essens und Trinkens*. Heidelberg: Spektrum.
Loomis, J. M., & Lederman, S. J. (1986). Tactual perception. In K. Boff, L. Kaufman & J. Thomas (Hrsg.), *Handbook of perception and human performance* Bd. 1 New York: Wiley.
Lord, T., & Kasprzak, M. (1989). Identification of self through olfaction. *Perceptual and Motor Skills*, *69*, 219–224.
MacFarlane, A. (1975). *Olfaction in the development of social preferences in the human neonate*. Ciba Foundation Symposium 33: The human neonate in parent-infant interaction. (S. 103–177). Amsterdam: Elsevier.
Maiworm, R. E., Becker-Carus, C., & Hatt, H. (2000). *The Psychology of fragrance. Human communication by odors – effects of some olfactants and „vomeropherins"*. Amsterdam: Internat. Dermatol.
Manley, J. A., & Müller-Preuss, P. (1978). Response variability of auditory cortex cells in the squirrel monkey to constant acoustic stimuli. *Experimental Brain Research*, *32*, 171–180.
McBurney, D. H. (1969). Effects of adaptation on human taste function. In C. Pfaffmann (Hrsg.), *Olfaction and taste* (S. 407–419). New York: Rockefeller University Press.
McClintock, M. K. (1971). Menstruation synchrony and suppression. *Nature*, *229*, 244–245.
McCloskey, D. I. (1978). Kinesthetic sensibility. *Physiol. Rev.*, *58*, 763–820.
McGurk, H., & MacDonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature*, *264*, 746–748.
Melzack, R., & Wall, P. D. (1965). Pain mechanisms: A new theory. *Science*, *150*, 971–979.
Melzack, R., & Wall, P. D. (1988). *The challenge of pain*. New York: Penguin Books.
Middlebrooks, J. C., & Green, D. M. (1991). Sound localization by human listeners. *Annual Review of Psychology*, *42*, 135–159.
Middlebrooks, J. C., & Pettigrew, J. D. (1981). Functional classes of neurons in primary auditory cortex of the cat distinguished by sensitivity to sound location. *Journal of Neuroscience*, *1*, 107–120.
Middlebrooks, J. C., Clock, A. E., Xu, L., & Green, D. M. (1994). A panoramic code for sound location by cortical neurons. *Science*, *264*, 842–844.
Miller, J. (1982). Divided attention: Evidence for coactivation with redundant signals. *Cognitive Psychology*, *14*, 247–279.
Mozell, M. M., Smith, B. P., Smith, P. E., Sullivan, R. L., & Swender, P. (1969). Nasal chemoreception in flavor identification. *Archives of Otolaryngology*, *90*, 131–137.
Murch, G. M., & Woodworth, G. L. (1978). *Wahrnehmung*. Stuttgart: Kohlhammer.
Murphy, C., & Cain, W. S. (1980). Taste and olfaction: Independence vs. interaction. *Physiology and Behavior*, *24*, 601–606.
Murphy, M. R., & Schneider, G. E. (1970). Olfactory bulb removal eliminates mating behavior in the male golden hamster. *Science*, *157*, 302–304.
van Noorden, L. P. A. S. (1975). *Temporal coherence in the perception of tone sequences*. Unveröffentlichte Dissertation, Technische Hogeschoel, Eindhoven.
Owens, M. (1994, June 6). Designers discover the sweet smell of success. *New York Times*.
Pevsner, J., Hou, V., Snowman, A., & Snyder, S. H. (1990). Odorant-binding protein: Characterization of ligand binding. *Journal of Biological Chemistry*, *265*, 6118–6125.
Pinel, P. J. (2000). *Biopsychology* (4. Aufl.). Boston, Massachusetts: Allyn and Bacon. Copyright © 2000 by Pearson Education. Reprinted by permission of the publisher
Pinel, P. J. (1997). *Biopsychologie – eine Einführung*. Heidelberg: Spektrum.
Preti, G., Cutler, W. B., Garcia, C. R., Huggins, G. R., & Lawley, H. J. (1986). Human axillary secretions influence women's menstrual cycles: The role of donor extract of females. *Hormones and Behavior*, *20*, 474–482.
Rasmussen, G. L. (1953). Further observations of the efferent cochlear bundle. *Journal of Comparative Neurology*, *99*, 61–74.
Rauschecker, J. F., Tian, B., & Hauser, M. D. (1995). Processing of complex sounds in the macaque nonprimary auditory cortex. *Science*, *268*, 111–114.

Reynolds, D. V. (1969). Surgery in the rat during electrical analgesia induced by focal brain stimulation. *Science*, *164*, 444–445.
Rock, I., & Victor, J. (1964). Vision and touch: An experimentally created conflict between the two senses. *Science*, *143*, 594–596.
Russell, I. J., & Sellick, P. M. (1977). Tuning properties of cochlear hair cells. *Nature*, *267*, 858–860.
Saarinen, J., Paavilainen, P., Schröger, E., Tervaniemi, M., & Näätänen, R. (1992). Representation of abstract stimulus attributes in human brain. *NeuroReport*, *3*, 1149–1151.
Schandry, R. (2006). *Biologische Psychologie*. Weinheim: Belz.
Schleidt, M., Hold, B., & Attili, G. (1981). A cross-cultural study on the attitude towards personal odors. *Journal of Chemical Ecology*, *7*, 19–31.
Schmidt, R. F., & Thews, R. (1995). *Physiologie des Menschen*. Berlin Heidelberg: Springer.
Schmidt, R. F., & Thews, G. (Hrsg.). (1997). *Physiologie des Menschen*. Berlin, Heidelberg: Springer.
Schmidt, R. F., Thews, G., & Lang, F. (2000). *Physiologie des Menschen*. Berlin Heidelberg: Springer.
Schubert, E. D. (1980). *Hearing: Its function and dysfunction*. Wien: Springer.
Scott, T. R. (1987). Coding in the gustatory system. In T. E. Finger & W. L. Silver (Hrsg.), *Neurobiology of taste and smell* (S. 355–378). New York: Wiley.
Scott, T. R., & Giza, B. K. (1995). Theories of gustatory neural coding. In R. L. Doty (Hrsg.), *Handbook of olfaction and gustation* (S. 611–633). New York: Marcel Dekker.
Sekuler, R., Sekuler, A. B., & Lau, R. (1997). Sound alters visual motion perception. *Nature*, *385*, 308–308.
Shams, L., Kamitani, Y., & Shimojo, S. (2000). What you see is what you hear. *Nature*, *408*, 788.
Shergill, S. S., Bays, P. M., Frith, C. D., & Wolpert, D. M. (2003). Two eyes for an eye: The neuroscience of force escalation. *Science,*, *301*, 187.
Sicard, G., & Holley, A. (1984). Receptor cell responses to odorants: Similarities and differences among odorants. *Brain Research*, *292*, 283–296.
Sobottka, B., Eggert, F., Ferstl, R., & Müller-Ruchholtz, W. (1989). Veränderte chemosensorische Identität nach experimenteller Knochenmarktransplantation: Erkennung durch eine andere Spezies. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, *4*, 654–664.
Stevens, J. C., Cain, W. S., & Burke, R. J. (1988). Variability of olfactory thresholds. *Chemical Senses*, *13*, 643–653.
Tanabe, T., Iino, M., & Takagi, S. F. (1975). Discrimination of odors in olfactory bulb, pyriform-amygdaloid areas and orbito-frontal cortex of the monkey. *Journal of Neurophysiology*, *38*, 1284–1296.
Wallach, H., Newman, E. B., & Rosenzweig, M. R. (1949). The precedence effect in sound localization. *American Journal of Psychology*, *62*, 315–336.
Weaver, E. G. (1949). *Theory of hearing*. New York: Wiley.
Weinstein, S. (1968). Intensive and extensive aspects of tactile sensitivity as a function of body part, sex, and laterality. In D. R. Kenshalo (Hrsg.), *The skin senses* (S. 195–218). Springfield: Charles & Thomas.
Welch, R. B., & Warren, D. H. (1986). Intersensory interactions. In K. R. Boff, L. Kaufman & J. P. Thomas (Hrsg.), *Sensory processes and perception* Handbook of perception and performance, Bd. 1 New York: Wiley.
Wilson, E. O. (1971). *The insect societies*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
Woodworth, R. S. (1938). *Experimental psychology*. New York: Rinehart & Winston.
Wysocki, C. J., & Gilbert, A. N. (1989). National geographic survey: Effects of age are heterogeneous. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *561*, 12–28.
Wysocki, C. J., & Meredith, M. (1987). *The vomeronasal system*. New York: Wiley.
Ye, Q., Heck, G., & De Simone, J. A. (1991). The anion paradox in sodium taste reception: Resolution by voltage-clamp studies. *Science*, *254*, 724–726.

Aufmerksamkeit und Bewusstsein

Christian Becker-Carus, Mike Wendt

5.1 Aufmerksamkeit und selektive Reizverarbeitung – 198
5.1.1 Aufmerksamkeitssteuerung – 198
5.1.2 Selektive Aufmerksamkeit – 199
5.1.3 Dichotisches Hören und Filtertheorien – 202
5.1.4 Determinanten der Reizauswahl – 205
5.1.5 Aufmerksamkeitsausrichtung – top-down versus bottom-up – 212
5.1.6 Selektivität durch Bedürfnisse, Werte und Bewertungen – 214
5.1.7 Physiologische Korrelate der Aufmerksamkeit – 217

5.2 Bewusstsein – 223
5.2.1 Bewusstseinszustände – 223
5.2.2 Bewusstsein und physiologische Aktivation – 227
5.2.3 Grenzprozesse des Bewusstseins – 229
5.2.4 Veränderte Bewusstseinszustände – 230
5.2.5 Krankhafte Bewusstseinsveränderungen – 233

5.3 Schlaf, Traum und zirkadiane Rhythmik – 234
5.3.1 Schlafphasen und Schlafrhythmik – 235
5.3.2 Zirkadiane Periodik und innere Uhren – 240
5.3.3 Schlaftheorien – 249
5.3.4 Träumen, Traumtheorien und REM-Schlaf – 250
5.3.5 Schlafentzug und seine Auswirkung – 254

Literatur – 257

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Becker-Carus, M. Wendt, *Allgemeine Psychologie,* DOI 10.1007/978-3-662-53006-1_5

In the simplest terms, „attention" refers to a selectivity of response. Man or animal is continuously responding to some events in the environment, and not to others that could be responded to (or „noticed") just as well. When an experimental result makes it necessary to refer to […] „attention", the reference means, precisely, that the activity that controls the form, speed, strength, or duration of response is not the immediately preceding excitation of receptor cells alone. (Hebb 1949, S. 4)

Nothing is more familiar than the mind […] The first quandary involves the perspective one must adopt to study the conscious mind in relation to the brain in which we believe it originates. Anyone's body and brain are observable to third parties; the mind, though, is observable only to its owner. (Damasio 1999, S. 114)

1. Sind Menschen in der Lage, einen Reiz zur Steuerung einer Handlung zu nutzen, wenn das zugehörige Sinnessystem zeitgleich durch weitere Reize in vergleichbarer oder sogar noch stärkerer Weise stimuliert wird?
2. Welche Problematik ergibt sich beim Versuch, die kognitive Verarbeitung nicht beachteter Reize zu bestimmen, und mit welchen Forschungsmethoden lässt sich diese Problematik bewältigen?
3. Warum dauert das Auffinden eines Objekts oft länger, wenn es sich inmitten einer größeren Anzahl anderer Objekte befindet – und warum manchmal nicht?
4. Lassen sich unterschiedliche Verarbeitungsprozesse eines Reizes im Gehirn feststellen, je nachdem ob der Reiz beachtet wird oder nicht?
5. Wie lässt sich das Erleben von Bewusstseinsinhalten untersuchen, wenn doch angenommen wird, dass es sich hierbei um rein subjektive Phänomene handelt, die durch Beobachtung von außen nicht erfassbar sind?
6. Welche physiologisch unterscheidbaren Phasen werden während eines gewöhnlichen Nachtschlafes durchlaufen? Wie hängen diese Phasen mit etwaigem Traumerleben zusammen?

„Aufmerksamkeit" und „Bewusstsein" sind Begriffe und Themenbereiche der Allgemeinen Psychologie, die eng miteinander verbunden sind, die aber oft mit recht unterschiedlichen Bedeutungen verwendet werden. Insbesondere gibt es bisher keine allgemein anerkannte Theorie des Bewusstseins (Atkinson et al. 2000).

Der Begriff **Bewusstsein** (*consciousness*) wird meist als Sammelbegriff gebraucht für unser waches Erleben, Wahrnehmen, Denken oder Erinnern, bei dem wir „voll dabei" sind. Aber wie wir sehen werden, umfasst Bewusstsein außerdem solche Bereiche, die uns momentan weniger gegenwärtig sind, denen wir uns aber dennoch zuwenden können, sodass wir auch bestimmte **Bewusstseinsgrade** unterscheiden müssen. Der Begriff der **Aufmerksamkeit** (*attention*), der eng mit Wahrnehmung verbunden ist und vielfach mit dieser zusammen besprochen wird, wird dagegen einheitlicher verstanden, wenngleich auch hier verschiedene Aspekte zu unterscheiden sind. Aufmerksamkeit wird dadurch charakterisiert, dass wir unser Bewusstsein in jedem Moment – wie im Licht eines Scheinwerfers – immer nur (selektiv) auf einen begrenzten Aspekt von all dem richten können, was wir erleben (Myers 2008). Die **bewusste Aufmerksamkeit** lässt sich auch verstehen als ein psychischer Zustand konzentrierter Bewusstheit, der mit der wachen Bereitschaft einhergeht, auf äußere oder innere Reize zu reagieren.

5.1 Aufmerksamkeit und selektive Reizverarbeitung

Obgleich wir für gewöhnlich nicht den Eindruck haben, dass wir nur einen sehr kleinen Bruchteil dessen wahrnehmen, was wir wahrnehmen könnten und wozu all unsere Sinnesorgane zusammengenommen in der Lage sind, so gibt es doch Momente, in denen uns diese Einschränkung schlagartig deutlich werden kann. Zum Beispiel fühlen wir uns in Überraschungsmomenten oft überfordert, wenn wir auf viele oder mehrere Reize gleichzeitig reagieren sollten. In den meisten Alltagssituationen aber sortiert unsere Aufmerksamkeit unbemerkt aus der riesigen Vielfalt der Reize und Informationen, die unsere Sinnesorgane treffen und die wir unmöglich alle gleichzeitig beachten könnten, jeweils nur einen recht kleinen Teil aus, der unsere weitere Interaktion mit der Umwelt bestimmt. Dabei wird uns nur ein kleiner Ausschnitt dieser Informationsmenge bewusst. Das bedeutet, dass aus der Gesamtmenge der eingehenden und der im Gedächtnis gespeicherten Information in jedem Moment immer nur Teilmengen erfasst und bearbeitet werden, um effizientes Handeln zu ermöglichen. Insofern wird Aufmerksamkeit meistens auch als **selektive Aufmerksamkeit** verstanden und ist als solche Gegenstand der psychologischen Forschung.

Selektive Aufmerksamkeit (*selective attention*)

Bedeutet, Konzentration des Bewusstseins auf immer nur einen bestimmten (eng) begrenzten Aspekt all unseres Erlebens (wie im Licht eines Scheinwerfers) und andere Teile der Information zu ignorieren.

Was wir tatsächlich wahrnehmen, hängt einerseits von den Reizen selbst ab, die unsere Aufmeksamkeit auf sich ziehen (Blickfänger, *Eyecatcher*), andererseits aber vor allem in hohem Maße von unseren momentanen kognitiven Aufmerksamkeitsprozessen, die aus unseren Interessen, Erwartungen oder jeweiligen (Handlungs-)Zielen resultieren. Sie alle dienen der **Aufmerksamkeitssteuerung**, die wir zunächst besprechen.

5.1.1 Aufmerksamkeitssteuerung

Wenn Sie zum Beispiel in einem Geschäft eingekauft, mit der Verkäuferin gesprochen und ihr dabei auch direkt in die Augen geblickt haben, werden Sie dennoch anschließend zuallermeist nicht in der Lage sein, anzugeben, welche Augenfarbe die Verkäuferin hatte. Wir stellen fest: Wir haben es bewusst „nicht wahrgenommen". Wir können unsere Aufmerksamkeit aber auch willentlich auf bestimmte einzelne Reize fokussieren, die uns üblicherweise entgangen wären. Schließen Sie zum Beispiel jetzt für

einen Moment die Augen und richten Sie Ihre Aufmerksamkeit auf Ihren linken Fuß, so können Sie wahrnehmen, wie eng oder weit der Schuh sitzt, wo er vielleicht drückt. Oder konzentrieren Sie sich auf Ihre Atmung (wie in einer Meditation), deren regelmäßigen Gang Sie damit plötzlich wahrnehmen, währenddessen dafür andere Reize der Umgebung unbemerkt bleiben. Oder achten Sie auf die Reize von draußen, die Sie sonst bei konzentriertem Lesen nicht gestört und vielleicht nicht einmal bemerkt hätten. – Eine Abschätzung der enormen Informationsreduktion in der bewussten Wahrnehmung sowie ihrer Aufbereitung verdanken wir der neueren Informationstheorie der Kybernetik. Hier wird die Tatsache, dass zur bewussten Informationsverarbeitung nur ein sehr kleiner, aber relevanter Informationsanteil gelangt, mit dem sogenannten Flaschenhalsmodell verdeutlicht (▶ Exkurs 5.1).

Selektiver Aufmerksamkeitssteuerung sind wir bereits in ▶ Abschn. 3.3.8 begegnet, wo wir gesehen haben, dass die Wahrnehmung von Kippfiguren, wie die des Necker-Würfels (◘ Abb. 3.70 und auch ◘ Abb. 3.58), zwischen verschiedenen Positionen hin und her wechselt – je nach der Ausrichtung unserer bewusten Aufmerksamkeitssteuerung.

Da wir nicht merken, was wir „nicht merken", ist uns meist auch nicht klar, wie eng der **momentane Aufmerksamkeitsbereich** tatsächlich ist. Doch schon ein kleines Eigenexperiment kann uns das illustrieren (▶ Exkurs 5.2).

Diese einfache Illustration kann verdeutlichen, wie es möglich ist, dass wir trotz der geringen Informationsaufnahme auch recht komplexe Situationen mit einem kurzen Blick aufzunehmen in der Lage sind, indem wir auf gespeicherte Informationen zurückgreifen: Hier, wie in allen Situationen einer komplexeren Reizaufnahme, ist die notwendige Organisation bei uns (durch Vorerfahrungen) bereits vorhanden, und die einzelnen Stimuli passen sich in diese Organisation ein – ohne die Notwendigkeit einer besonderen Aufmerksamkeitszuwendung im Einzelnen.

Die Effizienz dieses Verfahrens ist, wie wir aus täglichen Situationen wissen, sehr groß, doch werden dabei leicht genaue Einzelheiten übersehen, die sich gut genug in die Gesamtorganisation einpassen. Hiervon macht die belebte Natur in vielfältiger Weise in Form der Mimese (◘ Abb. 5.2) erfolgriech Gebrauch. Erst sorgfätigere Aufmerksamkeit für die Details führt zu ihrer Entdeckung. So könnte es sein, dass auch Sie die drei Druckfehler in diesen Absatz nicht bemerkt haben, da sie sich gut in die Gesamtform der Wörter einfügen (erfolgriech, sorgfätigere, diesen statt diesem).

5.1.2 Selektive Aufmerksamkeit

Nicht alle Informationen, die an den Sinnesorganen vorliegen, erfahren also dieselbe Verarbeitung, nur ein ausgewählter Anteil wird für bestimmte weitergehende Operationen verwendet. Das Heranziehen zur direkten Bewegungssteuerung stellt dabei nur einen von mehreren Aspekten dar; weitere Selektionen beziehen sich auf die Einspeicherung im Gedächtnis oder – von besonderer Anschaulichkeit – das bewusste Wahrnehmungserleben.

Der Hauptanteil der Eingangsinformation wird als irrelevant für die bewusste Wahrnehmung ausgefiltert. Diese „subliminalen" Informationsanteile sind jedoch die Voraussetzung für zahlreiche „unbewusste" Reaktionen, z. B. wenn wir unsere Sitzhaltung „automatisch" beim Lesen verändern, bevor uns eine unangenehme Druckempfindung der Stuhlkante bewusst wird, obwohl die Stimulation der Rezeptoren in der Haut kontinuierlich präsent war.

Methodisch ging die moderne Forschung zur selektiven Aufmerksamkeit vor allem von zwei klassischen Paradigmen aus, die Aufmerksamkeit in der auditiven (sprachlichen) Modalität untersuchten: Cherrys (1953) Paradigma des **dichotischen Hörens** und Broadbents (1954, 1958) **Split-Span-Paradigma** (geteilte Aufmerksamkeit, s. *Zusatztext online*). Erst später in den 1970er Jahren hat sich die Forschung zunehmend der Aufmerksamkeitsselektion in der visuellen Welt zugewandt. So werden auch wir uns zunächst mit den klassischen Befunden und theoretischen Ansätzen befassen, zumal diese eine Reihe von theoretischen Kontroversen aufwarfen, die bis heute die aktuellen Debatten bestimmen.

Fragen wir zunächst: Wie selektieren wir nun diese verschiedenen Informationen, die wir tatsächlich weiterverarbeiten? Betrachten wir hierzu das viel zitierte **Cocktailparty-Phänomen** (Cherry 1953). Stellen Sie sich vor, Sie befinden sich auf einer gut besuchten Stehparty, auf der ein ständiges Rauschen von Gesprächen und Stimmen herrscht. Wenn Sie in diesem Stimmengewirr mittendrin allein stehen, haben Sie die Möglichkeit, durchaus dem einen oder anderen Gespräch zu folgen. Sie können Ihre Aufmerksamkeit willentlich auf ein bestimmtes Gespräch in Ihrer Umgebung richten und ihm folgen, wobei das andere Stimmengewirr für Sie in den Hintergrund tritt (ähnlich wie beim visuellen Figur-Grund-Phänomen). Sie können aber mit Ihrer Aufmerksamkeit auch zu einem anderen Gespräch überwechseln oder gar mehrere Gespräche im Wechsel verfolgen.

Die Verarbeitung von Sinnesreizen ist dabei sowohl hinsichtlich ihrer Bewusstwerdung als auch in Bezug auf Prozesse der Handlungssteuerung selektiv. Obwohl diese beiden Selektionen oftmals eng miteinander zusammenhängen, sind sie nicht deckungsgleich. Im ▶ Kap. 6 werden wir experimentelle Nachweise für die Steuerung von Handlungsprozessen durch nicht bewusst wahrgenommene Reizinformationen diskutieren.

Wahrnehmung ist selektiv in dem Sinne, dass nur ein Ausschnitt der von den Sinnesrezeptoren aufgenommenen Reizinformationen zur Handlungssteuerung herangezogen wird und mit bewusstem Erleben einhergeht.

Was aber ermöglicht es uns, dass wir einem Gespräch längere Zeit folgen können? Es sind hierfür eine ganze Reihe von Merkmalen verantwortlich. Vor allem ist dabei die Klangcharakteristik der Stimme zu nennen, an der wir erkennen, ob es sich um eine männliche oder weibliche Stimme handelt; ferner die Intonation oder die Sprechgeschwindigkeit, in der man jeweils das nächste Wort erwartet. Aber auch wenn man all diese Hinweisreize im Experiment dadurch eliminiert, dass man verschiedene Nachrichten vom gleichen Sprecher auf Tonband sprechen lässt und sie gleichzeitig abspielt, gelingt es uns zumeist, die Nachrichten auseinander zu halten. Das spricht dafür, dass wir uns letzten Endes auf den grammatikalischen und **semantischen Inhalt** als Hinweisreiz verlassen

Exkurs 5.1

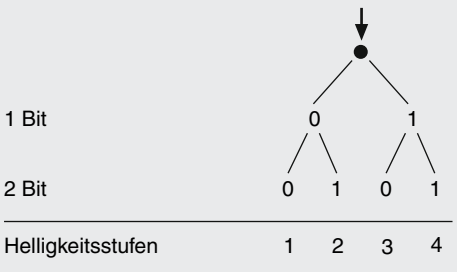
Genauer betrachtet: Flaschenhalsmodell zur Enge des Bewusstseins

Eine Abschätzung der enormen Informationsreduktion sowie ihrer Aufbereitung ist mit den Methoden der neueren Informationstheorie der Kybernetik möglich geworden, wie sie von dem englischen Kybernetiker Ashby (1973) zum Beispiel in seinen Untersuchungen über die Informationsverarbeitung bei Alltagstätigkeiten des Menschen bearbeitet wurden. Aus der Kybernetik stammt zunächst der heute allgemein akzeptierte Ansatz, die Informationsmenge in **Bit** (von ***bi**nary digit*) zu messen, wobei 1 Bit *die kleinste Informationsmenge* ist – und zwar die, die nur zwischen zwei Werten (meist 0 und 1) unterscheidet. Sie ist somit die Informationseinheit, mit der die Anzahl Binärentscheidungen gemessen wird (Entscheidungsbäume in Abb. 5.1a und b), die zum Beispiel zur Festlegung eines Sachverhaltes erforderlich sind (Steinbuch 1961).

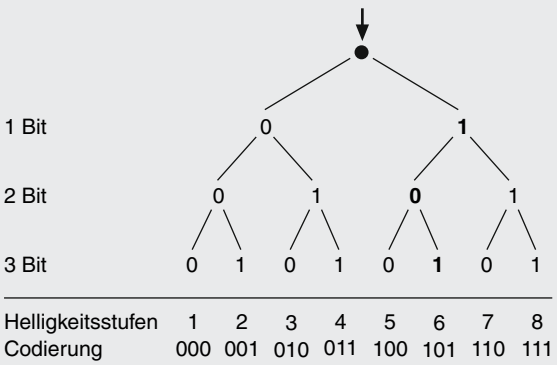
Geht man mit Steinbuch von den etwa 256 psychophysisch unterscheidbaren Helligkeitsstufen aus, die nach der Definition ($256 = 2^8$ ist 8-mal durch 2 teilbar) 8 Bit entsprechen, und multipliziert diese mit der geschätzten Anzahl der Bildpunkte der Retina sowie mit der Anzahl der unterscheidbaren Bilder pro Sekunde, so ergibt sich ein Wert von rund drei Millionen Bit pro Sekunde (3 Mio. Bit/s) als Informationskapazität für das Auge. Eine Zusammenstellung der in ähnlicher Weise ermittelten Informationskapazitäten der einzelnen Sinne zeigt die Tabelle in Abb. 5.1c, die zugleich einen Eindruck von der relativen Leistung der einzelnen Sinneskanäle gibt. (Das Auge liefert danach circa 90 % aller Informationen.)

Nach ähnlichen Schätzungen des bewussten Informationsflusses zum Beispiel beim Lesen mit einer durchschnittlichen Lesegeschwindigkeit von drei Worten pro Sekunde kam man zu Größen von etwa 20 bis 60 Bit/s, die unsere jeweilige **Bewusstseinskapazität** ausmachen, was eine Informationsreduktion von 1:10 Mio. bis 1:100 Mio. bedeutet, auf die bereits Ashby (1956 / 1973) hinwies. Diese Zusammenhänge werden im **Flaschenhalsmodell der Wahrnehmung** dargestellt (Abb. 5.1c). Danach wird die maximale Informationsmenge aus den Rezeptoren der Sinnesorgane im Verhältnis $1{:}10^7$ bis zum momentanen Bewusstseinsinhalt eingeschränkt, wobei diese Einschränkung und „Abstraktion des Wesentlichen" (Keidel 1973) vornehmlich durch zwei Prozesse erfolgt: die **selektive Aufmerksamkeit** und die **Invariantenbildung**. Weiter zeigt das Modell nach Keidel (1973), dass der motorische Output annähernd die gleiche Informationsmenge umfasst wie der sensorische Input. Die hier erfolgende Informationszunahme resultiert großteils aus dem Zufluss unbewusst geäußerter Informationen sowie den Handlungs- und Bewegungsprogrammen, die für die Gestaltung von Gestik, Mimik, Handlung und Sprache erforderlich sind.

Vielfach wird der Flaschenhals in der Literatur auch nur einseitig gesehen, und es wird argumentiert, die Enge bestehe nicht eigentlich darin, dass die Menge der eingehenden Information nicht verarbeitet werden könne, also **Informations-Chaos** bestehe, sondern darin, dass nicht gleichzeitig auf alle einströmenden Informationen gleichzeitig reagiert werden könne und deshalb **Handlungs-Chaos** vorliege.



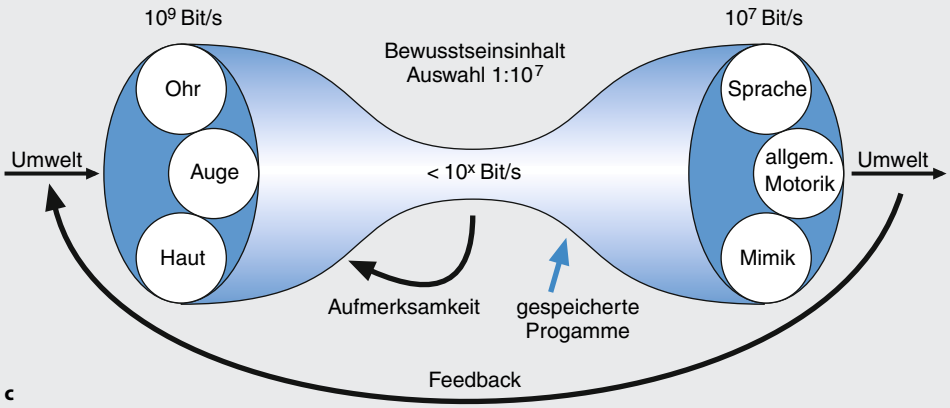
a



b

Abb. 5.1 **a** und **b** Entscheidungsbäume binärer Entscheidungen

Exkurs 5.1 (*Fortsetzung*)



c

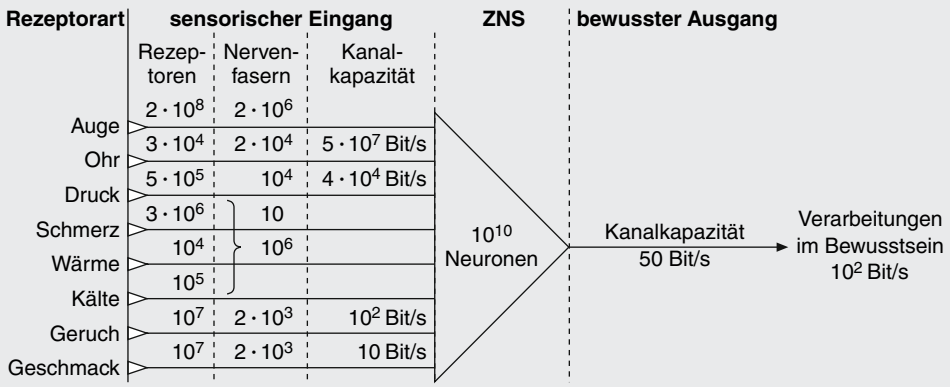


Abb. 5.1 c (oben) Flaschenhalsmodell der Wahrnehmung (nach Keidel 1973). Unten: Zuflüsse von Afferenzen ins ZNS von somatischen Rezeptoren. Ins Bewusstsein gelangen nur sehr wenige bit pro Zeiteinheit. Alles andere wird weitgehend in zentralnervösen Strukturen verarbeitet, die nicht mit Bewusstsein verbunden sind.

Exkurs 5.2

Experiment zum Aufmerksamkeitsbereich

Nehmen wir zum Beispiel eine kleine Anzahl von Bohnen oder Erbsen (drei bis 15 Stück) und streuen sie zufällig auf den Tisch. Werfen wir nun nur einen kurzen Blick darauf (was sich mit tachistoskopisch gezeigten Punkten natürlich exakter durchführen lässt), so zeigt sich, dass wir bei einem kurzen Blick (Blickzeit von 0,2 s) selbst bei wiederholten Durchgängen nur bei einer Menge von fünf bis sechs Bohnen fehlerlose Angaben über die Anzahl der Objekte machen können. Ähnlich wie bei Gedächtnisexperimenten (▶ Kap. 8) lässt sich der Aufmerksamkeitsbereich durch strukturierende Organisation der wahrzunehmenden Einzelelemente vergrößern. Wenn wir die Bohnen in unserem Beispiel zu mehreren (beispielsweise 4) Häufchen (Cluster) mit je drei Bohnen gruppieren, so werden wir die insgesamt größere Anzahl (3 × 4 = 12) dennoch korrekt erfassen können.

(zwei Reihen von wahllosen Wörtern sind nicht mehr auseinanderzuhalten). Wenn bei gleicher Lautstärke andere Stimmen mit gleichem Klang in gleicher Intonation dazwischengestreut sind, werden wir diese Wörter, die keinen „Sinn" im Kontext machen, sofort ausblenden, spontan überhören. Wir suchen gewissermaßen nach passenden Wörtern, das heißt, wir gehen auch hier mit gewissen Erwartungshaltungen an die Sprachanalyse heran und fügen aus dem Sprachgewirr **konzeptgesteuert** (*top-down*) Passendes zusammen. Im Gegensatz hierzu werden die vorher besprochenen Verarbeitungsmechanismen, die ohne „Erwartung" auskommen, als **datengesteuert** (*bottom-up*) bezeichnet. Wir werden das in ▶ Abschn. 5.1.7 noch geauer besprechen.

Für welches Gespräch wir uns auch immer entscheiden mögen, wir können vollständig immer nur einem folgen, die anderen scheinen sogleich im allgemeinen Geräuschpegel unterzugehen (auch wenn ihre Lautstärke objektiv größer ist). Dennoch, die Information der anderen Gespräche wird nicht vollständig ausgeblendet. Wenn nämlich irgendwo unser eigener Name erwähnt wird, zieht er unsere Aufmerksamkeit plötzlich ungewollt auf sich. Offensichtlich überwacht unser Nervensystem auch dann noch die anderen Sinneseingänge auf relevante Stimuli, ohne dass wir uns dessen bewusst sind. Diese selektive Aufmerksamkeit führt zugleich auch zu einer Aufmerksamkeitsausrichtung (s. Orientierungsreaktion, Abschn. 5.1.7) auf die interessierende

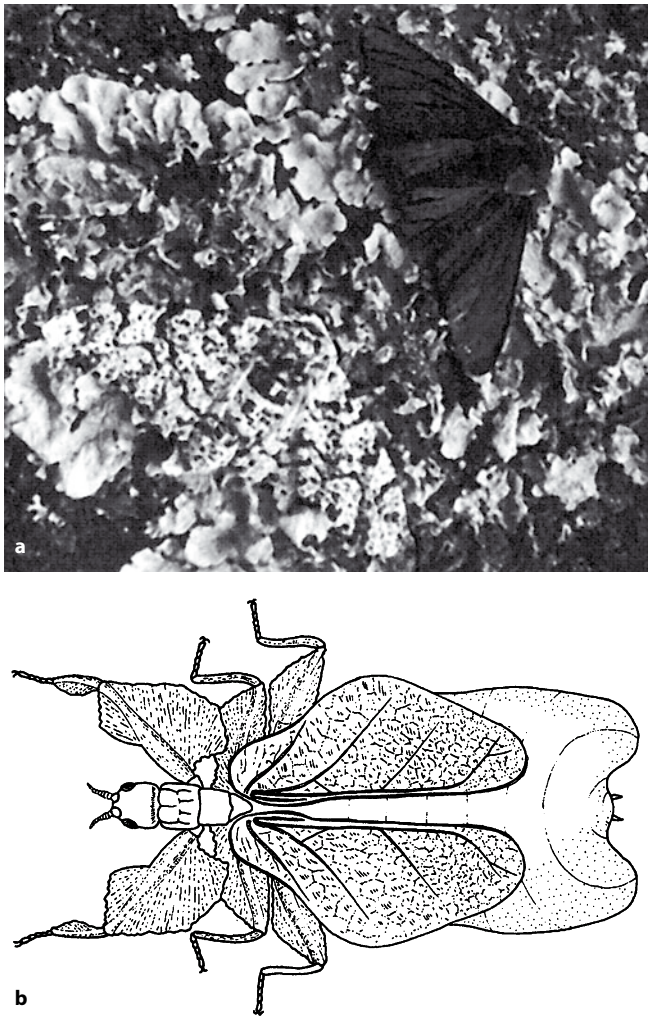


Abb. 5.2 Mimese – Tarntracht im Tierreich. a Links: Birkenspanner auf Birkenrinde, Rechts: ein Schwärzling, **b** Eine ungewöhnliche Heuschrecke: das wandelnde Blatt. (**a** Lexikon der Biologie, Spektrum Akademischer Verlag; **b** Westheide und Rieger 2006)

Reizquelle (z. B. Blickausrichtung), was zugleich zu einer besseren Wahrnehmung dieses Reizes führt.

Wie in diesem Beispiel gezeigt, stellt sich für die **Aufmerksamkeitsanalyse** zunächst die Frage, wo im Verlauf der Informationsverarbeitung die Enge der Aufmerksamkeit (vielfach auch *Enge des Bewusstseins* genannt) beginnt und wo und wie die filternde Selektion erfolgt. Der englische Psychologe Broadbent (1958) vertrat ähnlich wie bereits Hernandez-Peón et al. (1956) in seiner Theorie der Reizverarbeitung die Auffassung, dass bereits sehr früh auf der Basis verschiedener physikalischer Charakteristika entschieden werde, welche Informationen weitergeleitet und welche ausgefiltert werden (heute als **frühe Selektion** bezeichnet). Diese, wie wir heute wissen, fälschliche Vorstellung ist als **Flaschenhalsmodell** (*bottleneck).* von Broadbent bekannt geworden (Genaueres zum Flaschenhalsmodell von Broatbent siehe *Zusatztext online*).

Auch wenn physiologische Untersuchungen einen solchen *peripheren Selektionsmechanismus* prinzipiell möglich erscheinen ließen, kann er als hinreichende Ursache für die dargestellten Phänomene heute nicht aufrechterhalten werden, denn, wie dargelegt, erst der semantische Inhalt ermöglicht die Aufmerksamkeitslenkung.

Ferner müssen Signale erst das ZNS erreicht haben, ehe entschieden werden kann, ob sie für den Organismus „relevant" sind. Dies hatte aber auch bereits Broadbent in seinen umfangreichen Studien zum selektiven Zuhören diskutiert, indem er annahm, dass unser Gehirn selektiv eingehende Nachrichten ausblenden kann.

So argumentieren dann auch Deutsch und Deutsch (1963): Alle Informationen müssen zuerst zentral verarbeitet und *bewertet* werden, und erst diese Bewertung entscheidet über ihren Verbleib im weiteren Aufmerksamkeitsprozess. Aber erst neuere experimentelle Untersuchungen wie die von Lewis (1970) haben Gewissheit gebracht über die *zentrale Steuerung der Aufmerksamkeit,* was auch als **späte Selektion** bezeichnet wird.

5.1.3 Dichotisches Hören und Filtertheorien

In seinen Experimenten zum binauralen oder **dichotischen Hören**, in denen (über Kopfhörer) jedem Ohr gesonderte Information gegeben werden können und die Versuchsperson ihre Aufmerksamkeit auf das eine oder andere Ohr konzentrieren kann, untersuchte Lewis (1970) den Einfluss semantischer Inhalte auf die Reaktionszeit von Versuchspersonen. Es zeigte sich deutlich, dass die Reaktionszeit auf ein bestimmtes Reizwort, das die Versuchsperson über das aufmerksame Ohr wahrnehmen konnte, signifikant verzögert wurde, wenn dem nicht aufmerksamen Ohr gleichzeitig eine synonyme Nachricht vorgegeben wurde. Diese Verzögerung trat selbst unter solchen Bedingungen auf, bei denen die Person weder gewahr wurde noch in der Lage war zu sagen, welche Information ihr über das nicht aufmerksame Ohr vorgegeben worden war (◘ Abb. 5.3). Da also die eigentlich nicht beachtete Nachricht ihrem semantischen Inhalt nach klassifiziert worden sein muss, weil gerade ihre Bedeutung den verändernden Effekt auf die aufmerksam aufgenommene Nachricht des anderen Ohres hervorbringt, muss sie also bis zu einer solchen zentralen Verarbeitungsstelle weitergeleitet worden sein.

Gegen ein einfaches *Umschaltmodell* im Sinne von Broadbent (1958) und für eine zentrale Steuerung des Aufmerksamkeitsprozesses sprechen auch andere Untersuchungen zum dichotischen Hören. Betrachten wir dazu folgendes Beispiel (▶ Exkurs 5.3):

Dieses vielfach variierte Experiment macht deutlich: Auch das dem Shadowing nicht unterworfene Material wird offenbar irgendwie erfasst und kann die Aufmerksamkeit auf sich ziehen, wenn es semantisch sinnvoll erscheint. Dies aber ist wiederum nur über **Top-down-Prozesse** möglich, nämlich mit der *Erwartung* einer bestimmten sinnvollen Fortsetzung des Gehörten.

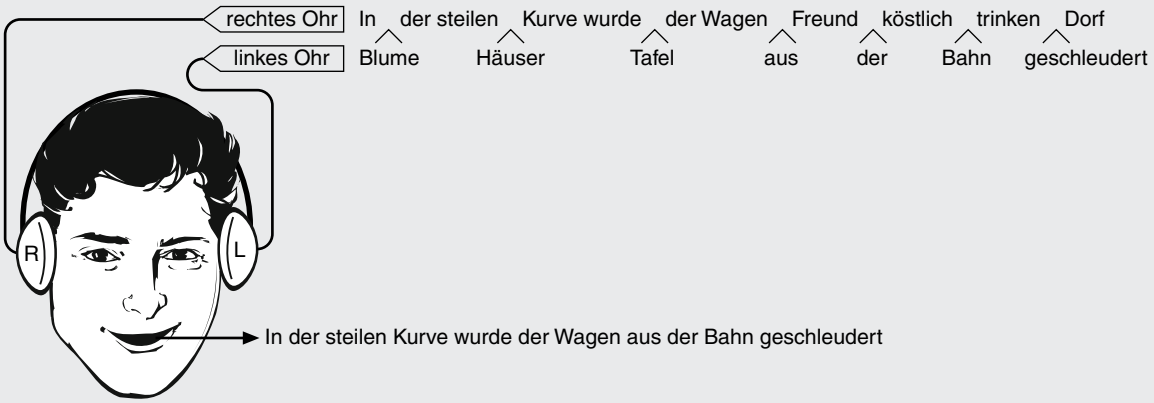
Corteen und Wood (1972) gaben ihren Versuchspersonen über das unaufmerksame Ohr Wörter (Städtenamen) vor, die zuvor mit elektrischem Schock gepaart waren und so eine aversive Bedeutung erhalten hatten. Die aversiv konditionierten Wörter, wie auch andere Städtenamen, führten zu mittels *Hautleitfähigkeitsreaktionen* gemessenen emotionalen Reaktionen. Letzteres deutet darüber hinaus auf eine bereits stattgefundene semantische Bedeutungserfassung hin.

All diese Untersuchungen zum dichotischen Hören sprechen für eine *zentrale Steuerung* der Aufmerksamkeit und

Exkurs 5.3

Genauer betrachtet: Dichotisches Hören

Den Versuchspersonen wird über zwei Kopfhörer unterschiedliches verbales Material gleichzeitig dargeboten. Die Versuchspersonen werden vorher instruiert, nur das dem einen (zum Beispiel dem rechten) Ohr dargebotene Material Wort für Wort begleitend nachzusprechen – was auch als **Shadowing** bezeichnet wird – und alles andere zu ignorieren. Wie in unserem Beispieltext für ein solches Shadowing-Experiment in ◘ Abb. 5.3 illustriert, geht der dem rechten Ohr dargebotene sinnvolle Satz plötzlich in Kauderwelsch über, während seine sinnvolle Fortsetzung dem anderen, nicht aufmerksamen Ohr dargeboten wird, dem bis dahin nur unzusammenhängende Wörter vorgespielt worden waren. Unter diesen Bedingungen sprechen die Versuchspersonen dennoch den richtigen Satz meist vollständig und richtig nach, auch wenn er sich nur im nicht aufmerksamen (linken) Ohr fortsetzt und ihre Aufmerksamkeit nur auf das rechte Ohr gerichtet sein sollte.



◘ **Abb. 5.3 Dichotisches Hören.** Dem rechten und linken Ohr werden über Kopfhörer gleichzeitig unterschiedliche verbale Inhalte vorgespielt. Der Versuchsteilnehmer hat zum Beispiel die Aufgabe, das im rechten Ohr Gehörte nachzusprechen. Da der sinnvolle Satz aber das Ohr wechselt und ihm die Aufmerksamkeit folgt, spricht der Versuchsteilnehmer nun die Vorgaben des anderen Ohres nach (externe Aufmerksamkeitssteuerung)

lassen erkennen, dass die neue Information zunächst in Verbindung zu eingespeicherten Gedächtnisinhalten getreten sein muss, um eine Entscheidung über ihre Bedeutung (zum Beispiel der eigene Name) und damit über die Zuwendung der Aufmerksamkeit zu treffen. Ähnlich geht auch das noch zu besprechende *Sokolov'sche Modell der Orientierungsreaktion* von einer zentralen Verarbeitung aus. Weitere Untersuchungen zur Verarbeitung irrelevanter Reize finden Sie in ▶ Exkurs 5.4 und in *Zusatztext online*.

Die weitere sich hier anschließende Frage ist: Wie viel von den Gesprächen (Informationen), auf die wir uns nicht konzentrieren, können wir noch aufnehmen? Auch dafür liegen Antworten aus Experimenten mit dichotischem Hören und Shadowing vor, in denen die Versuchspersonen ebenfalls die Aufgabe erhalten, den über das eine aufmerksame Ohr vorgesprochenen Text direkt nachzusprechen, während ihnen aber gleichzeitig über das andere Ohr eine andere Nachricht vorgegeben wurde. Am Ende eines solchen Durchgangs jedoch haben die Versuchspersonen wenig Ahnung von dem, was sie nachgesprochen haben. Es wird kaum etwas behalten, insbesondere wenn das Material schwierig ist. Das gilt erst recht für das nicht aufmerksame Ohr. Meist kann die Versuchsperson nichts von dem verbalen Inhalt dieser Vorgaben wiedergeben. Wohl aber bleiben generelle Eigenschaften erinnerbar, zum Beispiel, ob es ein Geräusch, ein reiner Ton, eine männliche tiefe oder weibliche hohe Stimme war. Auch der eigene Name wird in der Regel natürlich erkannt und erinnert.

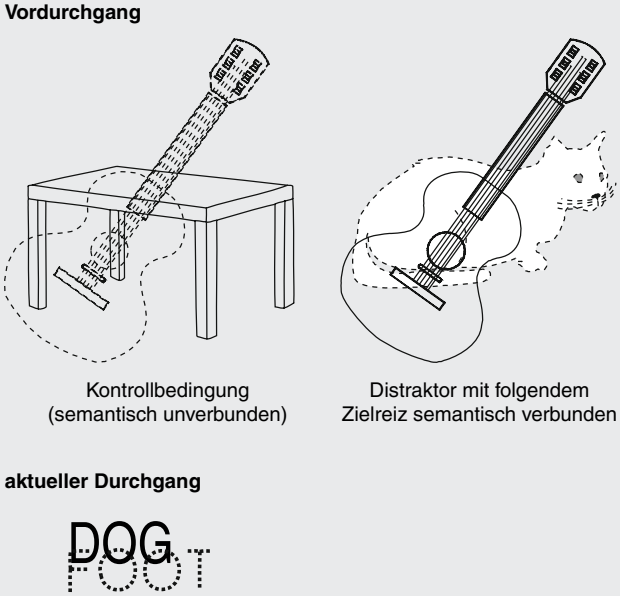
Wird die Versuchsperson beim Nachsprechen des Textes aus dem aufmerksamen Ohr jedoch plötzlich unterbrochen und gefragt, was sie gerade mit dem anderen Ohr wahrgenommen habe, so scheint hierfür doch ein kurzzeitiges Gedächtnis vorhanden zu sein, ähnlich wie in dem Fall, in dem wir einen Fragenden nicht verstanden zu haben meinen und nachfragen: Was hast du gesagt? Doch ehe wir diese Frage ausgesprochen haben, wird uns die Frage des anderen doch noch klar, und wir können sie, ohne auf die Wiederholung zu warten, doch noch realisieren und beantworten. In beiden Fällen muss die Information aufgenommen und kurzfristig gespeichert worden sein. Aus Studien dieser Art hat man gefolgert, dass es im Wahrnehmungssystem eine Art Speicher geben muss, in welchem die einkommende sensorische Information zwischenzeitig kurz gespeichert und analysiert werden kann. Auch im visuellen System verfügen wir nach den Untersuchungen von Sperling (1967) und anderen über einen solchen kurzzeitigen **sensorischen Speicher** (▶ Abschn. 8.3 Sensorisches Gedächtnis). Hieraus wird dann offensichtlich von den höheren Zentren des Nervensystems die jeweils im Moment als relevant erachtete Nachricht selektiv ausgewählt und zur Weiterverarbeitung weitergeleitet (Norman 1976).

Befunde semantischer Verarbeitung von Distraktorreizen wie die oben beschriebenen führten zur Ablehnung des ursprünglichen Filtermodells von Broadbent. Statt eines starren Alles-oder-nichts-Filters, der allein auf physikalischen Reizmerkmalen operiert, schlug Treisman (1960) ein **Dämpfungsmodell** (*attenuation model*) vor, in dem auch nichtbeachtete Reize an die zentrale Verarbeitungseinheit weitergeleitet werden, allerdings nur in

Exkurs 5.4

Genauer betrachtet: Untersuchung der kognitiven Verarbeitung nichtbeachteter Reize

Zur Erfassung späterer Auswirkungen von vorangegangenen Reizdarbietungen kann auch das sogenannte **Priming** (oder Bahnung) herangezogen werden (▶ Kap. 9, Sprache). Hiermit konnte die semantische Verarbeitung nicht zu beachtender Reize gezeigt werden. Zum einen finden sich in diversen Aufgaben beschleunigte Reaktionen, wenn im direkten Vorfeld der visuellen Darbietung eines zu erkennenden Zielreizes (Target) ein zusätzlicher Reiz (Prime) dargeboten wird, der in einer semantischen Beziehung zum Target steht, gegenüber semantisch unverwandten Reizpaaren (◘ Abb. 5.4). Präsentiert man dagegen simultan mit dem Target einen Distraktor, so finden sich Nachwirkungen, die als **negatives Priming** bezeichnet werden. Hierbei fällt die Reaktion auf ein späteres Target verzögert aus, wenn dieses zuvor (in den meisten Untersuchungen im direkten Vordurchgang) als Distraktor dargeboten wurde.
Beispielsweise präsentierte Tipper (1985) Versuchspersonen in jedem Durchgang zwei überlagerte Strichzeichnungen. Eine der Zeichnungen war in roter, eine in grüner Strichfarbe dargestellt, und jede stellte eine Figur, z. B. einen Hund, einen Tisch oder eine Trompete, dar. Die Versuchspersonen waren instruiert, jeweils die rote Figur zu benennen und die grüne zu ignorieren. Negatives Priming zeigte sich in erhöhten Reaktionszeiten, wenn der rote Reiz des aktuellen Durchgangs im Vordurchgang in grüner Farbe, also als Distraktor, dargeboten worden war (im Vergleich zu der Kontrollbedingung, dass sich der rote Reiz des aktuellen und der grüne Reiz des Vordurchgangs unterschieden und keine Verbindung zueinander aufwiesen). Die semantische Verarbeitung des Distraktors konnte dadurch nachgewiesen werden, dass eine gewisse Reaktionsverzögerung auch auftrat, wenn das Target des aktuellen Durchgangs und der Distraktor des Vordurchgangs nicht in einer Identitäts-, sondern lediglich in einer semantischen Relation zueinander standen (z. B. „Katze – Hund").
Um auszuschließen, dass ein solcher Effekt in Wahrheit durch eine mögliche perzeptuelle Ähnlichkeit zwischen semantisch verwandten Objekten zustande kommt (Hunde sehen Katzen zumeist ähnlicher als Möbelstücken oder Musikinstrumenten), wurden in einer Untersuchung zum semantischen negativen Priming von Tipper und Driver (1988) in aufeinanderfolgenden Durchgängen Strichzeichnungen und Wörter als Reize verwendet (◘ Abb. 5.4). Auch hier trat der Effekt semantischen negativen Primings auf: Die Reaktion auf das Wort „Dog" (Hund) erfolgte langsamer, wenn im Vordurchgang das Bild einer Katze statt einer Gitarre als Distraktor dargeboten wurde. Die genauen Ursachen des negativen Primings sind zurzeit umstritten; vermutlich tragen verschiedene Prozesse dazu bei und kommen unter unterschiedlichen Kontextbedingungen unterschiedlich stark zum Tragen (Überblicke bei Fox 1995; May et al. 1995; Neill et al. 1995).



◘ **Abb. 5.4** Darbietungssequenzen in einem Experiment zur Untersuchung (semantischen) negativen Primings. Die Reize bestanden aus je zwei übereinander gezeichneten Strichfiguren oder Wörtern, eine(s) davon in roter Farbe (hier mit durchgezogenen Linien dargestellt) und eine(s) in grüner Farbe (hier mit gestrichelten Linien dargestellt). Die Aufgabe der Versuchsperson bestand darin, in jedem Durchgang das in roter Farbe dargebotene Objekt oder Wort benennen. Der Zielreiz eines Durchgangs konnte eine semantische Beziehung zum Distraktor des vorhergehenden Durchgangs aufweisen oder nicht (Kontrollbedingung). (Tipper und Driver 1988)

abgeschwächter Form. Diese „gedämpfte" Reizinformation führt, dem Modell zufolge, nur unter bestimmten Bedingungen zu nachfolgenden Prozessen wie der Entschlüsselung semantischen Inhalts. Hierbei sind insbesondere Erwartungen oder andersartig hervorgerufene „Voraktivierungen" von Gedächtnisinhalten von Bedeutung. Ist diese in hinreichendem Maße gegeben, so genügt die abgeschwächte Reizinformation zur Auslösung des entsprechenden Prozesses. Andere Ansätze verzichteten ganz auf die Annahme eines frühen Filters (z. B. Deutsch und Deutsch 1963). Diese als Modelle der **späten Selektion** (*late selection*) bezeichneten Ansätze gehen von einer „weitestgehenden" perzeptuellen Verarbeitung beachteter wie auch nichtbeachteter Reize aus. Diesen Modellen zufolge findet die Auswahl von Informationen zur Handlungssteuerung und bewussten Verarbeitung erst in einer späteren Phase statt.

Wichtige Ergebnisse hinsichtlich der Unterschiede zwischen der Verarbeitung beachteter und unbeachteter Reize stammen aus Untersuchungen mit ereigniskorrelierten Hirnpotenzialen (▶ Exkurs 5.16). Diese Methode birgt den Vorteil einer hohen zeitlichen Auflösung und ermöglicht es damit, Prozesse zu erfassen, die bereits sehr früh nach Beginn der Reizdarbietung ablaufen. In einer Untersuchung von Hillyard et al. (1973) wurden Versuchspersonen Serien kurzer Töne dichotisch dargeboten. Die Aufgabe der Versuchsperson bestand darin, auf eines der

beiden Ohre zu achten und auf gelegentlich auftretende Töne erhöhter Frequenz zu reagieren, wenn ein solcher Ton im zu beachtenden Ohr auftrat. Es fand sich eine relativ stärker ausgeprägte N1-Komponente, deren Höhepunkt zwischen 80 und 110 ms nach dem Beginn der Reizdarbietung lag, für Reize, die dem zu beachtenden Ohr dargeboten wurden. Physiologische Maße der Verarbeitung zu beachtender und nicht zu beachtender Reize können sich demnach bereits in einer sehr frühen Phase unterscheiden.

Trotz diverser Nachweise, dass nicht zu beachtende Reize mitunter in abstrakter Weise kategorisiert werden, können Mechanismen der Reizselektion bereits in frühen Phasen der Verarbeitung wirksam werden, sodass sich physiologische Unterschiede der Verarbeitung beachteter und unbeachteter Reize schon nach weniger als 200 ms nach Beginn der Reizdarbietung beobachten lassen.

5.1.4 Determinanten der Reizauswahl

Fragen wir uns nun weiter, welches die Faktoren sind, die zur Entscheidung beitragen, welche Reize aus der Vielfalt der einströmenden Reize von unserer Aufmerksamkeit letztendlich ausgewählt werden. Hierzu gehören:

1. **Physikalische Charakteristika** der Reize selbst wie Intensität (eine laute Stimme wird andere dominieren), Größe, Kontrast, Bewegung, Auffälligkeit.
2. **Interne persönliche Faktoren** wie interne Bedürfnisse, Erwartungen, Motive und durch frühe Erfahrung erlernte Voreinstellungen, von denen abhängt, worauf unsere Aufmerksamkeit gelenkt wird.

Dieser Bereich der Aufmerksamkeits- und Wahrnehmungspsychologie wurde insbesondere von der **Werbepsychologie** ausführlich untersucht und beispielsweise bei der Gestaltung von Werbespots oder Werbeplakaten angewandt. Es kann daher sehr lehrreich sein, wenn wir uns bei der Betrachtung eines solchen Werbeträgers fragen, warum konnte er meine Aufmerksamkeit auf sich lenken? So wird bekanntlich mit der männlichen sexuellen Motivation gerechnet, wenn Darstellungen knapp bekleideter junger Damen verwendet werden, um zum Beispiel Autozubehör, Sekt oder Ähnliches „an den Mann“ zu bringen (so genannte Eyecatcher). In Kulturen oder Ländern, in denen der Hunger ein in hohem Maße unbefriedigtes Bedürfnis ist (mehr als Sexualität), werden Bilder oder Hinweise auf Nahrung wesentlich die Aufmerksamkeit auf sich lenken, wie es in Deutschland manchem aus der Nachkriegszeit noch in Erinnerung ist (Neumann 2001).

Im Bereich dieser internen **motivationsbezogenen Faktoren** gibt es schon wegen der habituellen und momentanen Interessen und Vorlieben große individuelle Unterschiede in der **Aufmerksamkeitszuwendung**. So wird zum Beispiel ein Naturliebhaber oder ein geschulter Naturfreund auf seinem Spaziergang durch den Wald eine Vielzahl von Lauten, Tönen und Vogelstimmen hören und differenzieren können, die der gewöhnliche Sonntagsausflügler (vielleicht sogar mit Radio oder Walkman) nicht einmal bemerkt, es sei denn, er steht des Nachts allein und still im dunklen Wald, wo auch bei ihm jedes nicht identifizierte Knacken (vielleicht) Angst auslösen und die Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen kann. Bekannt ist auch, dass eine Mutter selbst bei angeregter Konversation das leise Schreien ihres Babys vom Nachbarzimmer hört – meist jedoch nur, solange sie selbst ein Baby hat. Das Gleiche gilt für den Schlafzustand, der in diesem Fall auch als „Ammenschlaf“ bezeichnet wird.

Neben **momentanen Interessen,** wie zum Beispiel beim Durchblättern eines Buches auf der Suche nach einem bestimmten Diagramm, wo nur ähnliche Grafiken unsere Aufmerksamkeit erhaschen, sind vor allem noch unsere **Einstellungen** und **emotionalen Zustände** als wichtige Faktoren zu nennen, die unsere Aufmerksamkeitsrichtung beeinflussen (▶ Kap. 11 und 12). Leben wir in einer feindseligen Einstellung zu einem anderen Menschen, so werden in einer Unterhaltung leicht Nebenbemerkungen von uns selektiv herausgehoben und als aversiv erlebt, die sonst völlig unbemerkt geblieben wären. Sie erhalten ungebührliches Gewicht, während gleichfalls vorhandene Freundlichkeiten überhört werden, als wären sie nicht gegeben.

Aus der Tierverhaltensforschung ist schließlich bekannt, dass Tiere zu verschiedenen Zeiten unterschiedliche **Handlungsbereitschaften** gegenüber Reizen zeigen. So lassen sich viele Verhaltensweisen nur zu bestimmten Jahreszeiten oder in bestimmten Phasen des Fortpflanzungszyklus (Balz, Vogelzug) oder des Hunger-Sättigungs-Zyklus auslösen. Hier werden die Determinanten der Reizauswahl, auf die reagiert wird, wesentlich durch hormonelle Zyklen intern gesteuert (Tinbergen 1956; Buchholtz 1982).

Darüber hinaus hat der Mensch kraft seines bewussten Denkens eine weitere Möglichkeit der Aufmerksamkeitssteuerung, die ihn in weiten Bereichen vom Tier unterscheidet: die **willentliche Erkenntnissuche**. Ausgehend von einer Beobachtung oder einer Idee können wir unsere Aufmerksamkeit einem Gegenstand zuwenden, den wir gerade nicht beobachten, der aber auch nicht von sich aus auf sich aufmerksam macht. Dies kann aus drei Gründen erfolgen:

1. Weil wir *unsystematisch* nach Informationen suchen und dabei zufällig auf den Gegenstand stoßen.
2. Weil wir *systematisch* unsere Umgebung nach bestimmten Informationen absuchen und dabei notwendigerweise auf den Gegenstand stoßen.
3. Weil wir *wissen*, dass sich außerhalb unseres Wahrnehmungsfeldes noch ein Gegenstand befindet, der die für unser Vorhaben notwendige weitere Information beinhaltet.

Während das Suchverhalten in den beiden ersten Fällen noch keine besondere Kenntnis über das Suchfeld voraussetzt, wird im dritten Fall das Suchen zugleich gesteuert durch das Wissen über den umgebenden Raum und die darin befindlichen Gegenstände. In all diesen Fällen werden die Aufmerksamkeit und das Suchverhalten so lange aufrechterhalten bleiben – möglicherweise mit Unterbrechungen durch andere Motivationen –, bis das Informationsbedürfnis gesättigt ist.

Während frühe Theorien zur selektiven Aufmerksamkeit in erster Linie auf Befunden aus Experimenten zur auditven Reiz-

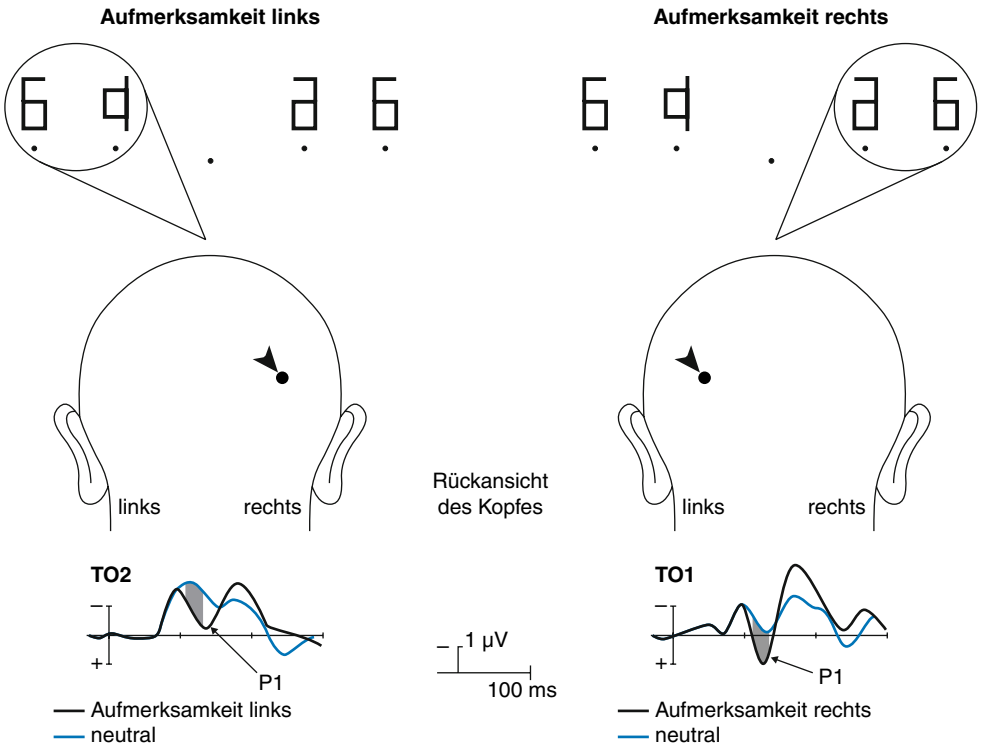


Abb. 5.5 Illustration der Reizdarbietung und Darstellung der EKP-Ergebnisse aus der Untersuchung von Heinze et al. (1994). Die Versuchsperson beachtet, je nach Versuchsbedingung, die linksseitig oder die rechtsseitig dargebotenen Reize, während sie einen zentralen Punkt fixiert, und reagiert, wenn das auf der beachteten Seite dargebotene Reizpaar aus identischen Elementen besteht. Frühe evozierte Potenziale (posteriore P 1) fallen an Elektroden, die an der zur beachteten Seite gegenüberliegenden Seite des Kopfes angebracht sind stärker aus als in einer neutralen Vergleichsbedingung (Pfeilspitzen zeigen die Positionen der dargestellten Elektroden). (Heinze et al. 1994)

verarbeitung basierten, hat sich die Forschung mittlerweile vor allem der differenzierten Verarbeitung visueller Reize zugewandt. Bei der Erklärung der Ergebnisse dieser Untersuchungen lassen sich im Bereich der **Visuellen Aufmerksamkeit** folgende Arten der Selektion unterscheiden:

- Ortsbasierte Selektivität,
- Objekt- und Merkmals-basierte Selektivität,
- Dimensionsbasierte Selektivität.

Diese Ansätze werden im Folgenden dargestellt.

Ortsbasierte Selektivität

Ortsbasierte Selektivität

Unter ortsbasierter Selektivität wird die Ausrichtung eines visuellen Aufmerksamkeitsfokus auf einen bestimmten Bereich des Gesichtsfeldes verstanden, wodurch es zu überlegenen Leistungen in der Reaktion auf in diesem Bereich dargebotene Reize kommt.

Auch in der visuellen Modalität kommt es zur verdeckten Selektion von Reizinformationen, d. h. zur bevorzugten Verarbeitung bestimmter Reize, je nach Aufgabenbedingung bzw. innerer Einstellung, trotz identischer Stimulation der Augen in den verschiedenen Bedingungen. Introspektiv lässt sich dies erfahren, indem man sich in einem dunklen Raum befindet, welcher kurzzeitig durch einen Lichtblitz erhellt wird, während man sich auf einen bestimmten Bereich der Umgebung konzentriert. Konzentriert man sich beispielsweise auf die linke Seite, so sieht man während des lichten Moments vornehmlich die sich auf dieser Seite befindenden Objekte, konzentriert man sich auf die rechte Seite, so sieht man vornehmlich die dort befindlichen Objekte, auch wenn man in beiden Fällen den Blick starr geradeaus richtet. Neben solch rein introspektiven Demonstrationen lassen sich auch in objektiven Maßen Unterschiede in der Verarbeitung zu beachtender und nicht zu beachtender visueller Reize finden. Eine Möglichkeit besteht darin, zwei verschiedene visuelle Reize im gleichen Abstand links und rechts von einem Punkt darzubieten, den die Versuchsperson zum Zeitpunkt der Reizdarbietung fixiert. Durch die Fixation ist sichergestellt, dass sich die beiden Reize nicht hinsichtlich ihrer Sehschärfebedingungen unterscheiden. Wird die Versuchsperson im Vorfeld instruiert, auf einen der beiden Reize – sagen wir, den linken – in einer bestimmten Weise zu reagieren, so wird ihre Reaktion im Allgemeinen tatsächlich der Instruktion entsprechen, d. h. maßgeblich von der Beschaffenheit des linksseitig dargebotenen Reizes bestimmt sein und nicht von der des rechtsseitig dargebotenen. Auch hierbei finden sich bereits in frühen Phasen der Verarbeitung Unterschiede zwischen den zu beachtenden und den irrelevanten Reizen. Heinze et al. (1994) verglichen hierzu *evozierte Potenziale* (▶ Exkurs 5.16) von über dem visuellen Cortex angebrachten Elektroden. Wie in ▶ Kap. 2 dargestellt, bedingt der anatomische Aufbau der Sehbahn die Projektion lateralisiert dargebotener visueller Reize in die contralaterale Hirnhälfte. Als physiologische Maße für die Verarbeitung der zu beachtenden und nicht zu beachtenden Reize konnten somit die von den jeweils contralateral über dem visuellen Cortex angebrachten Elektroden abgeleiteten evozierten Potenziale herangezogen werden. Ähnlich wie beim dichotischen Hören zeigten sich für die zu beachtenden Reize stärker ausgeprägte Hirnpotenziale in einer frühen Verarbeitungsphase (Abb. 5.5).

Zur Erklärung dieser **ortsbasierten Verarbeitungsselektivität** wurde die Metapher eines Suchscheinwerfers oder Spotlights herangezogen, der einen (eng) umrissenen Bereich der mentalen

Exkurs 5.5

Experiment. Genauer betrachtet: Spatial Cueing

In einem Spatial-Cueing-Experiment (Posner 1980; Posner et al. 1980) werden Versuchspersonen instruiert, auf einen Reiz zu reagieren, der an verschiedenen – oftmals an einem von zwei – Orten erscheinen kann. Im Vorfeld der Darbietung dieses Reizes wird der Versuchsperson ein Hinweis gegeben, an welchem Ort der Reiz wahrscheinlich auftauchen wird. Ist der Hinweis valide, d. h. wird der Zielreiz tatsächlich am angekündigten Ort dargeboten, so gelingt die Reaktion schneller als im invaliden Fall, in dem der Reiz am anderen Ort erscheint.

In einigen Experimenten wird zudem eine neutrale Bedingung realisiert, in welcher keine Vorabinformation hinsichtlich des wahrscheinlichen Darbietungsortes des Reizes gegeben wird. Die Reaktionszeiten liegen hier zumeist zwischen denen in validen und invaliden Durchgängen. Bildet man die Reaktionszeitdifferenz zwischen den validen und den neutralen Durchgängen, so erhält man den Gewinn der Vorbereitung auf den tatsächlichen Darbietungsort; bildet man die Differenz zwischen invaliden und neutralen Durchgängen, so erhält man die Kosten der Vorbereitung auf den falschen Ort. Diese Befunde lassen sich nicht auf eine Ausrichtung des Blickes auf den angekündigten Ort zurückführen, wie Untersuchungen zeigen, in denen die Fixation eines zentralen Punktes während der Reizdarbietung kontrolliert wurde (siehe auch *Zusatztext online*).

Repräsentation des Gesichtsfelds beleuchtet und so eine bevorzugte Verarbeitung ermöglicht. Diese Sichtweise speist sich nicht zuletzt aus Befunden, die mit der Methode des **Spatial Cueing** erbracht wurden (► Exkurs 5.5).

Ähnlich zu den oben beschriebenen Befunden erhöhter EKP-Komponenten für Target- gegenüber Distraktorreizen fallen beim Spatial Cueing frühe Hirnpotenziale über der zur Reizdarbietung contralateral gelegenen Hirnhälfte stärker aus, wenn der Reiz am angekündigten Ort dargebotenen wird (z. B. Mangun et al. 1993). Diese Ergebnisse lassen sich gut dadurch erklären, dass das Aufmerksamkeitsspotlight im Vorfeld der Reizdarbietung auf den erwarteten Reizdarbietungsort gerichtet wird (► Exkurs 5.6).

Befunde aus verschiedenen anderen Experimentaluntersuchungen legen nahe, dass es sich bei dem vermeintlichen Aufmerksamkeitsspotlight nicht um einen Fokus mit starrer Form und Größe handelt, sondern dass es zu einer flexiblen Anpassung dieser Parameter gemäß vorliegender Erwartungen und Aufmerksamkeitsanforderungen kommt. Eine große Anzahl von Untersuchungen wurde mit der **Eriksen-Flankierungsaufgabe** durchgeführt (Eriksen und Eriksen 1974). In dieser Aufgabe gilt es, einen visuell dargebotenen Reiz, beispielsweise einen Buchstaben, zu identifizieren oder kategorisieren, der an einem der Versuchsperson schon vor seinem Erscheinen bekannten Ort am Bildschirm dargeboten wird und von anderen, für die Bearbeitung der aktuellen Aufgabe irrelevanten Reizen umgeben ist. (Diese Distraktoren werden häufig als Flankierreize bezeichnet.) Zwar gelingt es, von gelegentlichen Fehlern abgesehen, zumeist, die Aufgabe korrekt zu bearbeiten. Dennoch beeinflussen die Flankierreize oftmals die Reaktionsleistung: Im Vergleich zu Flankierreizen, die mit dem Zielreiz identisch sind, verzögern vom Zielreiz verschiedene Flankierreize die Antwortgabe, insbesondere dann, wenn sie selbst einer anderen Reaktion zugeordnet sind. Der Einfluss der Flankierreize auf die Reaktion wird als Flankierunginterferenz bezeichnet. Die Höhe der Flankierungsinterferenz kann als ein Maß für die Selektivität der Reizverarbeitung angesehen werden: Je geringer sie – unter perzeptuell identischen Bedingungen – ausfällt, desto stärker ist die Dominanz der Verarbeitung des Zielreizes gegenüber der Verarbeitung der Flankierreize.

Eine naheliegende Erklärung dieser Ergebnisse, die von weiteren physiologischen Untersuchungen gestützt wird (Coles et al. 1985; Eriksen et al. 1985), besagt, dass die instruierte Reiz-Reaktions-Zuordnungsregel nicht nur auf den Zielreiz, sondern in gewissem Ausmaß auch auf die Flankierreize angewandt wird, wodurch es in dem Fall, dass Zielreiz und Flankierreiz unterschiedlichen Reaktionen zugeordnet sind, zur simultanen Aktivierung zweier unterschiedlicher Handlungstendenzen kommt. Es wird angenommen, dass das Auflösen eines derartigen **Handlungskonflikts** Zeit kostet, wodurch es zu einer Verzögerung der korrekten Reaktion kommt. Zudem wird davon ausgegangen, dass die durch den Flankierreiz ausgelöste Reaktionsaktivierung in einigen Fällen so stark ausfällt, dass die zugehörige Reaktion tatsächlich erfolgt und es damit zu einem Fehler in der Aufgabenbearbeitung kommt (zur neueren Debatte siehe ► Exkurs 5.7).

Hinweise auf eine flexible Anpassung der Größe des Fokus visueller Aufmerksamkeit stammen aus einer Untersuchung von Eriksen und St. James (1986). Den Versuchspersonen wurden in jedem Versuchsdurchgang acht visuelle Reize in einer ringförmigen Anordnung dargeboten, von denen einer ein zu bearbeitender Zielreiz war. Die Position des Zielreizes wurde der Versuchsperson zuvor mittels eines Hinweisreizes angekündigt, allerdings nicht immer exakt, denn der Hinweisreiz konnte eine, zwei oder drei (zusammenhängende) Positionen anzeigen, an denen der Zielreiz erscheinen konnte. Zudem wurde die Zeit zwischen dem Hinweis und der Darbietung der Anordnung aus Zielreiz und Flankierreizen variiert, also als Intervall, in dem eine Vorbereitung auf das Erscheinen des Zielreizes an einem der angekündigten Orte vorgenommen werden konnte. Beide Faktoren beeinflussten die Höhe der Flankierungsinterferenz; der Einfluss der Flankierreize fiel geringer aus, je weniger mögliche Orte angekündigt wurden und je mehr Vorbereitungszeit zur Verfügung stand. Die Autoren interpretierten ihre Befunde im Sinne eines „Zoom-Linsen-Modells" der visuellen Aufmerksamkeit. Dieser Konzeption zufolge kann der Fokus der Aufmerksamkeit eine flexible Größe annehmen. Je enger er um den Ort des Zielreizes gezogen werden kann, umso stärker erfolgt dessen Verarbeitung und umso weniger Verarbeitung erfahren die Flankierreize. Die Einstellung der Fokusgröße benötigt dabei offenbar eine gewisse Zeit, deswegen fällt der Effekt bei kürzerem Vorbereitungsintervall geringer aus. Müller et al. (2003b) erweiterten diese Befunde mittels fMRT-Messungen im visuellen Cortex. In jedem Durchgang ihrer Untersuchung galt es zu entscheiden, ob ein Zielreiz (ein kleiner weißer Kreis) in einem von vier halbkreisförmig angeordneten Quadraten dargeboten wurde. Im Vorfeld jeder Darbietung, erhielt die Versuchsperson wiederum einen

Exkurs 5.6

Experiment: Blickrichtung als Aufmerksamkeitscue

Bei der Aufmerksamkeitszuwendung lässt sich zwischen offener und verdeckter Zuwendung unterscheiden. Auch wenn sich die psychologische Forschung in besonderer Weise mit zentralen Mechanismen der Reizselektion beschäftigt, d. h. mit Phänomenen, die sich nicht durch periphere Prozesse in den Sinnesorganen erklären lassen, spielen im Alltag offene Zuwendungen der Aufmerksamkeit im Sinne der Ausrichtung unserer Sinnesorgane auf bedeutsame Reize fraglos eine wichtige Rolle. Dies macht die Blickrichtung anderer Personen zu einer Informationsquelle hinsichtlich potenziell bedeutsamer Reize. Cueing-Experimente stützen die Annahme, dass wir diese Informationsquelle nutzen. In diesen Experimenten wird statt eines expliziten Hinweises auf den Reizdarbietungsort zunächst ein Gesicht dargeboten (Abb. 5.6), welches in verschiedene Richtungen blicken kann, entweder in Richtung des kurzzeitig später präsentierten Reizes oder in die Gegenrichtung. Es ergaben sich bessere Leistungen, wenn der Reiz in der Blickrichtung des Gesichts erschien, mitunter sogar dann, wenn dies nicht der wahrscheinlichere Darbietungsort war, weil der Reiz in der Mehrzahl der Fälle auf der der Blickrichtung gegenüberliegenden Seite dargeboten wurde (Driver et al. 1999; Friesen und Kingstone 1998). Offenbar besteht eine Tendenz der Ausrichtung der Aufmerksamkeit anhand der bei einer anderen Person wahrgenommenen Blickrichtung (Genaueres dazu in *Zusatztext online*).

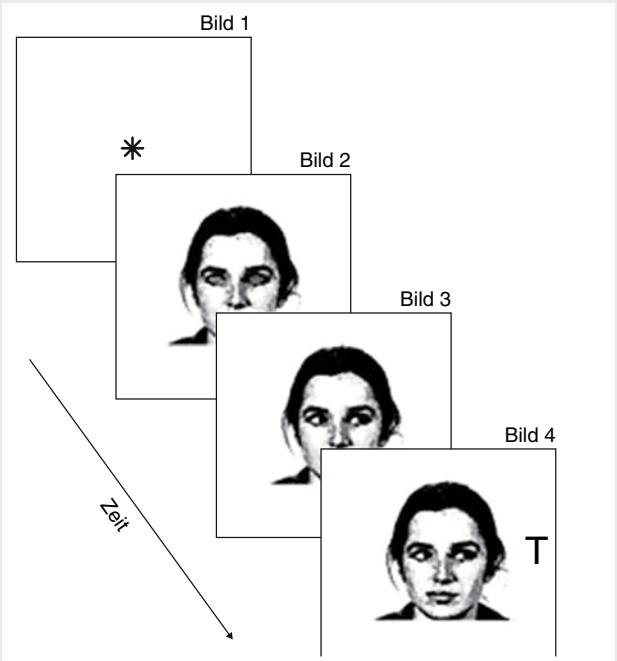


Abb. 5.6 Beispielhafte Reizabfolge aus einem Experiment von Driver et al. (1999). Die Versuchsperson musste entscheiden, ob es sich bei dem links oder rechts dargebotenen Buchstaben um ein T oder ein L handelte: In jedem Durchgang erschien entweder ein T oder ein L. Dargestellt ist ein Durchgang mit T. (Driver et al. 1999)

Hinweis auf entweder ein spezifisches Quadrat, auf zwei oder auf alle vier Quadrate, innerhalb derer der Zielreiz im Fall seines Auftretens erscheinen würde. Es ergaben sich sowohl schnellere Reaktionszeiten als auch eine weniger ausgedehnte Aktivierung in visuell-corticalen Arealen, je weniger mögliche Darbietungsorte der Hinweis enthielt.

Andere Arbeiten zur visuellen Aufmerksamkeit lassen sich durch die Annahme einer graduell abgestuften Verteilung der Aufmerksamkeit über das Gesichtsfeld interpretieren, welche in bestimmten Regionen ein oder mehrere Maxima aufweist, in denen die Verarbeitung visueller Reize besonders effizient abläuft. Die genaue Lage und Ausdehnung dieser Maxima sind dabei vornehmlich von den aktuellen Aufgabenbedingungen abhängig. Erfordert die Aufgabe die Bearbeitung eines nur gering ausgedehnten Reizes, kann die Aufmerksamkeit für dessen Darbietungsort eine starke Verdichtung aufweisen, die sich zu den Seiten hin kontinuierlich „ausdünnt" (LaBerge 1983; LaBerge und Brown 1989). Weiterführende theoretische und empirische Arbeiten ergaben auch Hinweise darauf, dass das unmittelbare Zentrum der Aufmerksamkeit von einer „inhibitorischen Region" umgeben ist, in der dargebotene Reize besonders wenig effizient verarbeitet werden (z. B. Cutzu und Tsotsos 2003; Müller et al., 2005). Zudem fanden sich Ergebnisse, die auf eine flexible Form der Region besonders effizient verarbeiteter visueller Reize (Juola et al. 1991; Müller und Hübner 2002) sowie auf die simultane Existenz verschiedener, räumlich getrennter Regionen maximaler Verarbeitungseffizienz (Awh und Pashler 2000; Morawetz et al. 2007).

Untersuchungen zur Beschaffenheit des Fokus visueller Aufmerksamkeit zeigen, dass Reize in einer ausgewählten Region des Gesichtsfelds, dessen Größe und Form von den jeweiligen Aufgabenbedingungen abhängt, in besonders effizienter Weise verarbeitet werden.

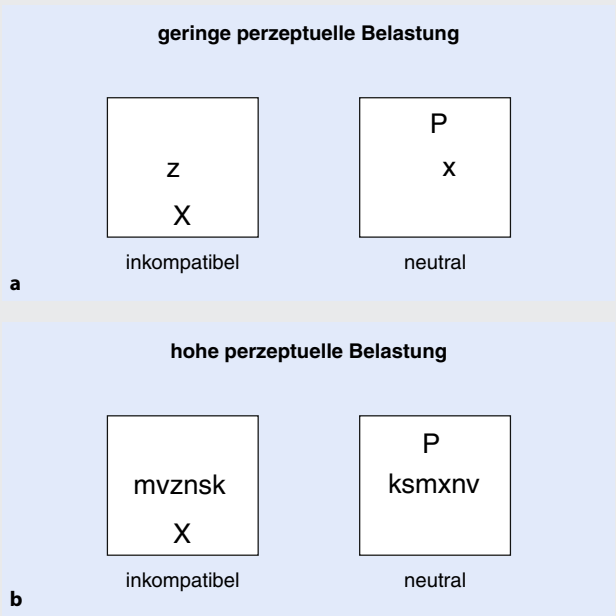
Objekt- und merkmalsbasierte Selektivität

Es gibt aber auch Fälle, für welche die Erklärung durch einen ortsbasierten Aufnahmefokus nicht zutrifft, und zwar für Situationen, in denen sogar eigentlich auffällige Objekte unbemerkt bleiben, obwohl sie sich augenscheinlich im lokalen Blickfeld der

Exkurs 5.7

Genauer betrachtet: Neues zur Debatte um frühe vs. späte Selektion

Anstelle der Annahme, Mechanismen der Reizselektion würden stets in ein und derselben Verarbeitungsstufe wirksam werden – wie es die bisherige Darstellung der Debatte um frühe versus späte Selektion suggerieren mag –, ist des Öfteren auf die theoretische Möglichkeit hingewiesen worden, dass die genaue Art der Selektion von Randbedingungen des jeweiligen Aufgabenkontexts abhängen könnte. Lavie (1995; Lavie et al. 2004) zufolge stellt die „perzeptuelle Belastung" (*perceptual load*) der auszuführenden Aufgabe hierbei einen wichtigen Faktor dar: Je höher die perzeptuelle Belastung, umso geringer die Verarbeitung irrelevanter Reize. Die Theorie geht von einer begrenzten perzeptuellen Verarbeitungskapazität aus, welche jeweils vollständig auf die vorhandenen relevanten und irrelevanten Reize aufgeteilt wird. Entscheidend für das Ausmaß der für die Verarbeitung der irrelevanten Reize verwendeten Kapazität – und damit für den Einfluss irrelevanter Reize auf das Verhalten – ist demnach der Grad an Kapazitätsforderung durch die zu bewältigende Aufgabe. Was an Kapazität „übrig bleibt", wird der Verarbeitung irrelevanter Reize zugeschlagen. Irrelevante Reize sollten folglich geringere Interferenzeffekte unter Bedingungen erhöhter perzeptueller Belastung zeitigen. Für diese Annahme konnte Lavie eine Reihe von Belegen erbringen (vgl. ◘ Abb. 5.7). Beispielsweise fiel die Interferenzwirkung eines Flankierreizes gegenüber einer herkömmlichen Flankierungsbedingung vermindert aus, wenn der zu bearbeitende Zielreiz innerhalb einer Kette von weiteren Reizen dargeboten wurde (was eine erhöhte perzeptuelle Belastung mit sich bringen sollte). Lavies Theorie sagt zudem voraus, dass sich eine andere Art der Zusatzbelastung (Belastung des Arbeitsgedächtnisses) in Form erhöhter Distraktorinterferenz auswirken sollte. Auch hierfür gibt es diverse Beispiele, auf die wir in ▶ Kap. 6 eingehen werden.



◘ **Abb. 5.7** Beispielhafte Reizdarbietungen mit geringer (**a**) und hoher (**b**) perzeptueller Belastung aus einem Experiment von Lavie (1995). Die Aufgabe der Versuchsperson bestand darin zu entscheiden, ob in der mittleren Zeile ein x oder ein z dargeboten wurde. Der zusätzlich dargebotene Flankierreiz konnte kompatibel (derselbe Buchstabe wie Zielreiz), inkompatibel (der andere mögliche Zielreizbuchstabe) oder neutral (Buchstabe, der nicht als Zielreiz vorgegeben wurde) sein. Die perzeptuelle Belastung wurde variiert, indem der Zielreiz in der zentralen Zeile entweder allein (geringe Belastung) oder an einer zufälligen Stelle innerhalb einer Kette von sechs Buchstaben erschien (hohe Belastung). (Lavie 1995, publisher: APA, reprinted with permission; APA is not responsible for the accuracy of this translation)

Aufmerksamkeit befinden. Beispielsweise konnten Simons und Chabris (1999) zeigen, dass knapp die Hälfte der Betrachter eines Videos die ungewöhnliche Erscheinung einer zentral agierenden Gorillafigur nicht bemerkten (▶ Exkurs 5.8, ein Videobeispiel in *Zusatztext online*).

Diverse Befunde überlegener Reizverarbeitung lassen sich nicht allein darauf zurückführen, dass sich diese Reize in einem beachteten Raumbereich befinden. Vielmehr scheint eine bevorzugte Verarbeitung für verschiedene Reizmerkmale insbesondere dann aufzutreten, wenn diese Merkmale zu ein und demselben (beachteten) Objekt gehören oder eine *perzeptuelle Gruppierung* bzw. *Gestalt* bilden. So finden sich überlegenere Leistungen hinsichtlich einer geforderten Beurteilung zweier verschiedener Reizmerkmale, wenn sich diese auf dasselbe Objekt beziehen, als wenn sie zwei verschiedenen Objekten zugeordnet sind, auch wenn die beiden Objekte räumlich überlappend dargeboten werden (Duncan 1984) oder auf andere Weise sichergestellt wird, dass die zu beurteilenden Merkmale in den Vergleichsbedingungen (zu demselben Objekt gehörend, zu verschiedenen Objekten gehörend) gleich weit voneinander entfernt sind (Baylis und Driver 1993; Behrmann et al. 1994). In einer Erweiterung des Spatial-Cueing-Paradigmas mit vier möglichen Zielreizdarbietungsorten an den Enden zweier Rechtecke (◘ Abb. 5.9) fanden Egly et al. (1994), dass die Reaktionszeitverzögerung nach einem invaliden Hinweisreiz (wenn also der Zielreiz an einem anderen als am angekündigten Ort erschien) geringer ausfiel, wenn sich der tatsächliche Darbietungsort und der angekündigte Ort innerhalb desselben Rechtecks befanden, als wenn sich der tatsächliche Darbietungsort in gleicher Distanz vom angekündigten Ort, aber im anderen Rechteck befand. Die derartigen Befunden zugrunde liegenden Prozesse, die über die besondere Beachtung einer bestimmten Raumregion hinausgehen, werden unter dem Begriff **objektbasierte Aufmerksamkeit** zusammengefasst.

Deutliche Belege für die Fähigkeit, ein spezifisches in einer Reizvorlage enthaltenes Objekt in herausgehobener Weise zu verarbeiten, stammt auch aus Untersuchungen physiologischer Reaktionen, die bei Konzentration auf unterschiedliche Bildaspekte in unterschiedlichen Hirnarealen auftreten (▶ Exkurs 5.9).

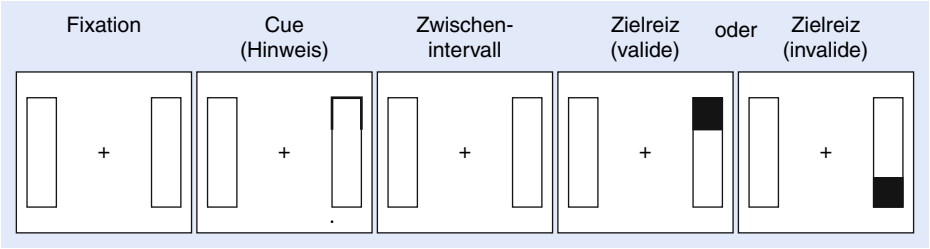


Abb. 5.9 Beispiel für die Reizabfolge in validen und invaliden Durchgängen der Untersuchung. (Egly et al. 1994, publisher: APA, reprinted with permission; APA is not responsible for the accuracy of this translation)

Exkurs 5.8

Experiment: „Unaufmerksamkeits-Blindheit"

Simons und Chabris (1999) ließen in ihrer Untersuchung Versuchspersonen einen Videofilm betrachten, welches zwei „Teams" (je drei Personen in weißen bzw. schwarzen T-Shirts) beim Hin-und-her-Passen eines Basketballs zeigte. Die Versuchspersonen hatten dabei die Aufgabe, die Anzahl der Ballwürfe eines der Teams zu zählen. Das unangekündigte, mehrere Sekunden dauernde Auftreten einer Gorillafigur (Abb. 5.8) oder einer Frau mit Regenschirm wurde dabei nur von insgesamt kaum mehr als der Hälfte der Betrachter bemerkt. Besonders bemerkenswert ist, dass diese Figuren mitunter sogar den (zu beachtenden) Ball verdeckten, also vermutlich vom Aufmerksamkeitsfokus „erfasst" worden sein mussten.



Abb. 5.8 Der „unsichtbare" Gorilla. (Simons und Chabris 1999)

Neben diesen Befunden, die eine Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf zusammenhängende Objekte demonstrieren, existieren auch Hinweise darauf, dass visuelle Aufmerksamkeit auf perzeptuelle Merkmale ausgerichtet werden kann, die über verschiedene Objekte verteilt auftreten. Dazu passt ein Befund aus der in ▶ Exkurs 5.8 beschriebenen Untersuchung von Simons und Chabris. Dort wurde der Gorilla weniger häufig von Versuchspersonen übersehen, die instruiert waren, die Ballwürfe der Mannschaft in den schwarzen T-Shirts zu verfolgen, als von Versuchspersonen, denen die Beachtung der Mannschaft in den weißen T-Shirts aufgetragen war. Eine naheliegende Erklärung für diesen Unterschied findet sich in der Annahme einer erhöhten Sensitivität für die Wahrnehmung aller Reize, welche dieselbe Farbe aufweisen wie die zu beachtenden. Exemplarisch erwähnt sei in diesem Zusammenhang auch eine Untersuchung von Driver und Baylis (1989), die mithilfe einer Flankierungsaufgabe zeigen konnten, dass Flankierreize eine stärkere Wirkung auf die Reaktionsleistung ausüben, wenn sie sich im gleichen Bewegungszustand wie der Zielreiz befinden.

Trotz dieser Vielzahl von Formen der Aufmerksamkeitsselektion zeigen diverse Befunde eine Sonderstellung ortsbasierter Selektion auf. Z. B. fallen EKP-Unterschiede zwischen beachteten und nichtbeachteten Reizen bei ortsbasierter Selektion stärker aus (und betreffen bereits frühere Komponenten) als bei merkmalsbasierter Selektion anhand von Farbe oder Bewegungsrichtung (Hillyard und Anllo-Vento 1998). Es wird diskutiert, ob der jeweilige Darbietungsort eines Reizes lediglich ein zur Selektion besonders effizient nutzbares Merkmal darstellt. Eine alternative Sicht geht von einem „Primat der ortsbasierten Selektion" aus in dem Sinne, dass die Beachtung von nichträumlichen Reizmerkmalen die Verarbeitung der mit den entsprechenden Merkmalen verbundenen Reizinformationen nicht auf „direktem Weg" beeinflusst, sondern vermittelt über eine Ausrichtung des Aufmerksamkeitsfokus auf den Ort des jeweiligen Merkmals.

Mithilfe einer ausgeklügelten Methodik, in der Stimuli unterschiedlicher Farbe mit verschiedenen, in EEG-Messungen (▶ Exkurs 5.14) auswertbaren „Flimmerfrequenzen" dargeboten wurden, und einer Aufgabe, die eine ortsbezogene „Erfassung" der relevanten Reize ausschloss, konnten Andersen et al. (2009) zeigen, dass die Beachtung einer spezifischen Farbe bereits in frühen Phasen der corticalen Reizverarbeitung mit einer ortsunabhängigen Verstärkung der Verarbeitung von Reizen der entsprechenden Farbe einhergeht.

Selektive Verarbeitung von Reizinformationen kann anhand diverser Merkmale erfolgen. Hierbei nimmt die ortsbasierte Selektion eine Sonderstellung ein.

Visuelle Suche und dimensionsbasierte Selektivität

In den meisten der bislang erwähnten Untersuchungen zur visuellen Aufmerksamkeit war es für die Versuchsperson ein Leichtes zu erkennen, wo sich die jeweilig zu beachtenden Reize befanden; in diversen Aufgaben (z. B. Beschatten eines Ohres, Flankierungsaufgabe) ist die Versuchsperson sogar instruiert, ausschließlich auf an einem bestimmten Ort dargebotene Reize zu reagieren, der Darbietungsort fungiert als definitorisches Bestimmungsstück des Targetreizes. Dies muss freilich nicht immer der Fall sein. In vielen Situationen befindet sich ein handlungsrelevantes Objekt inmitten einer nicht sofort zu überschauenden Szenerie, und es mangelt an deutlichen Hinweisen auf seinen Aufenthaltsort („Wo hatte ich noch meinen USB-Stick hingelegt?"). Laboruntersuchungen zeigen, dass es hierbei in Abhängigkeit von der Beschaffenheit des zu suchenden Objekts und der

Exkurs 5.9

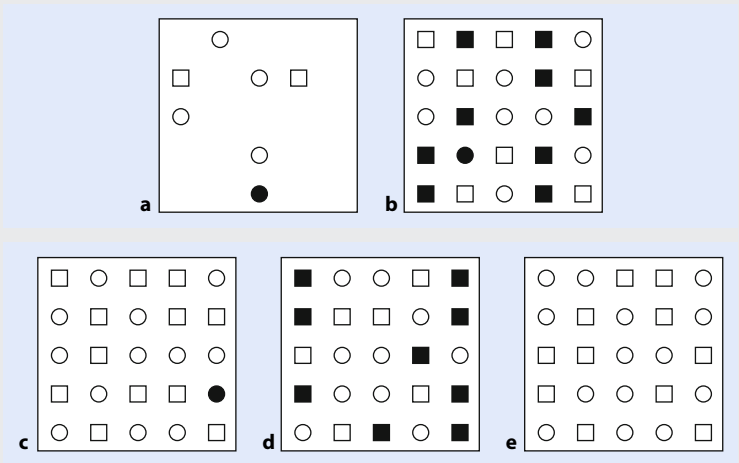
Genauer betrachtet: Aufmerksamkeitsspezifische Verarbeitung derselben Reizvorlage

In einer viel zitierten Arbeit boten O'Craven et al. (1999) Versuchspersonen übereinander geblendete Bilder von Gesichtern und Häusern dar. Eines der beiden Bilder (Gesicht oder Haus) war dabei jeweils statisch, während sich das andere leicht bewegte. Während der Betrachtung der Bilder vorgenommene fMRT-Messungen wurden gezielt hinsichtlich der Aktivität zweier bestimmter Hirnregionen analysiert: dem fusiformen Gesichtsareal (FFA, *fusiform face area*), das in besonderer Weise bei der Gesichtererkennung aktiv ist, und dem parahippocampalen Ortsareal (PPA, *parahippocampal place area*), das üblicherweise stärker durch die Darbietung von Häusern aktiviert wird. In verschiedenen Bedingungen waren die Versuchspersonen instruiert, entweder auf das Gesicht oder auf das Haus zu achten. Während die Beachtung des Gesichts zu erhöhter Aktivierung im FFA führte, ging die Beachtung des Hauses mit erhöhter Aktivität im PPA einher. In einer weiteren Bedingung, in der vornehmlich auf die Bewegung geachtet werden sollte, unabhängig davon, ob sie durch das Bild des Gesichts oder das des Hauses vollführt wurde, zeigte sich erhöhte Aktivierung im V5-Areal des visuellen Cortex (welches in besonderer Weise an der Bewegungswahrnehmung beteiligt ist), und zudem im mit der Art des bewegten Bildes korrespondierenden Areal.

Exkurs 5.10

Experiment: Visuelle Suchaufgaben

Ziel einer solchen Suchaufgabe ist es, ein bestimmtes Element, hier z. B. einen kleinen schwarzen Kreis ausfindig zu machen. Betrachten Sie zunächst die beiden Suchbilder. 5.10a und b. Während der Zielreiz in ◘ Abb. 5.10a quasi sofort aufgefunden wird, benötigt man in ◘ Abb. 5.10b meist eine gewisse Zeit, um fündig zu werden. Dies ist nicht allein der größeren Anzahl an Distraktorreizen geschuldet – in ◘ Abb. 5.10c sind es genauso viele, und dennoch „sticht der Zielreiz unmittelbar ins Auge". Noch länger dauert es üblicherweise, in ◘ Abb. 5.10d festzustellen, dass der Zielreiz überhaupt nicht vorhanden ist (und das gilt auch, wenn die Versuchsperson auf solche Fälle insofern vorbereitet ist, als dass ein substanzieller Anteil aller vorgegebenen Suchbilder keinen Zielreiz enthält). In ◘ Abb. 5.10e dagegen kann die Abwesenheit trotz wiederum identischer Anzahl an Reizelementen quasi sofort festgestellt werden.
Ein auffälliger Unterschied zwischen den Beispielen, die eine schnelle Beurteilung erlauben, und denen, die eine spürbare Suchtätigkeit erfordern, ist, dass in ersteren eines der den Zielreiz definierenden Merkmale in keinem der Distraktorreize enthalten ist. Zwar gibt es Distraktoren, die dieselbe Form wie der Zielreiz aufweisen, aber keiner der Distraktoren hat dieselbe Farbe wie der Zielreiz. In den anderen Beispielen hebt sich der Zielreiz nur durch seine spezifische Kombination der Merkmale *rund* und *schwarz* vom Hintergrund ab, da einige der Distraktoren ebenfalls rund (aber weiß), andere dagegen schwarz (und eckig) sind.



◘ **Abb. 5.10** Reizvorlagen zur visuellen Suche

des Hintergrunds zu gravierenden Unterschieden in der Dauer kommen kann, bis das Suchobjekt gefunden wird. Diese Befunde aus **visuellen Suchaufgaben** haben maßgeblich zur Entwicklung von Theorien zur visuellen Aufmerksamkeit beigetragen (► Exkurs 5.10).

Eine prominente Idee in theoretischen Ansätzen zur visuellen Suche besagt, dass zur Feststellung spezifischer **Merkmalskombinationen** innerhalb einer Reizumgebung, der Fokus der Aufmerksamkeit auf den entsprechenden Ort ausgerichtet sein muss (Treisman und Gelade 1980). Ein Merkmalskombinationszielreiz kann demnach erst erkannt werden, wenn der Fokus an seinem Ort angelangt ist, und wie lange dies dauert, sollte von verschiedenen Faktoren abhängen. Befinden sich insgesamt nur wenige Reize in einer Suchumgebung, wird der Fokus den Zielreiz generell schnell erreichen, auch wenn er zunächst auf andere Reize gerichtet wird. Je größer dagegen die Anzahl der Distraktoren ist, umso geringer fällt die Wahrscheinlichkeit eines raschen Eintreffens des Fokus am Zielort aus. Dementsprechend findet sich in vielen Suchaufgaben, die das Auffinden eines Reizes mit einer bestimmten Merkmalskombination verlangen, ein deutlicher Anstieg der Suchzeiten mit der Anzahl der Distraktoren (Wolfe 1998; ◘ Abb. 5.11).

Ein monotoner Anstieg der Suchzeiten über der Anzahl der in einer Reizvorlage enthaltenen Reize ist zu erwarten, wenn der

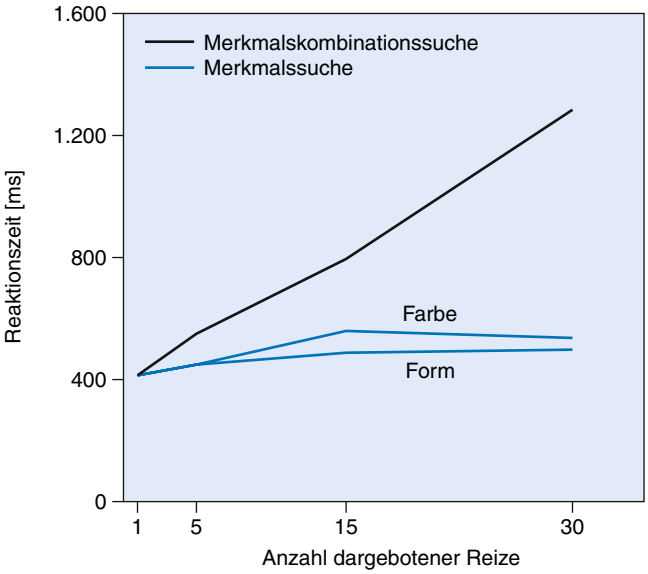


Abb. 5.11 Zusammenhang von Suchzeiten und Anzahl der dargebotenen Reize für verschiedene Suchaufgaben (Farb- und Formmerkmalssuche sowie Merkmalskombinationssuche). (Treisman und Gelade 1980)

Fokus in zufälliger Weise von einem zum anderen Reiz springt, aber auch dann, wenn ein systematisches Scanning wie z. B. zeilenweise von links nach rechts und von oben nach unten, durchgeführt wird (und sich der Zielreiz an einem zufälligen Ort befindet). Gibt es dagegen die Möglichkeit der direkten Bewegung des Fokus der Aufmerksamkeit zum Ort des Zielreizes, so sollte auch eine große Anzahl von Distraktoren keine gravierende Verzögerung bewirken. Nimmt man an, dass ein innerhalb einer gegebenen Reizumgebung einzigartiges visuelles Merkmal wie z. B. die Farbe Schwarz unter ausschließlich weißen Objekten den Fokus quasi auf sich zieht, so würde dies die oftmalige Unabhängigkeit der Suchzeiten von der Anzahl der Distraktoren in sogenannten **Merkmalssuchaufgaben** erklären. Das empfundene „Ins-Auge-Springen" des einzigartigen Reizes, zu dem es unter diesen Bedingungen oft kommt, wird auch als **Pop-out** bezeichnet. Wir werden auf Befunde und Theorien zur automatischen Zuweisung von Aufmerksamkeit später genauer eingehen. Eine alternative Erklärung für die besondere Effizienz der Merkmalssuche ist, dass das Feststellen des Vorhandenseins eines („Elementar-")Merkmals, z. B. einer spezifischen Farbe, Linienorientierung oder Bewegung, außerhalb des Fokus der Aufmerksamkeit erfolgt. In der einflussreichen Merkmalsintegrationstheorie (Treisman 1986; Treisman und Gelade 1980) wird in diesem Zusammenhang angenommen, dass für alle Reizobjekte der aktuellen Umgebung das Vorhandensein aller Elementarmerkmale *in paralleler Weise* festgestellt wird. Diese Feststellung erfolgt also für alle Reize gleichzeitig. Somit liegt beispielsweise die Information, ob ein schwarzes Objekt vorhanden ist oder nicht, gleich schnell vor, egal ob nur wenige oder ob eine große Anzahl von Distraktoren dargeboten wird.

Ein weiterer bedeutsamer Faktor für die Suchleistung ist der Grad an Homogenität/Heterogenität, welchen die Distraktoren untereinander aufweisen. Im Allgemeinen wird der Zielreiz schneller gefunden, wenn die Distraktoren zueinander ähnlicher sind. Im Rahmen der oben ausgeführten Idee der Notwendigkeit der Ausrichtung des Fokus auf den Zielort zur Zielreizerkennung lässt sich dies dadurch erklären, dass homogenere Distraktoren den Fokus der Aufmerksamkeit mit geringerer Wahrscheinlichkeit auf sich zu ziehen vermögen (und er somit schneller am Ort des Zielreizes anlangt; z. B. Fecteau und Munoz 2006; Wolfe 1994). Dies wiederum ist zu erwarten, wenn man eine Tendenz des Fokus annimmt, sich auf Orte auszurichten, an denen sich ein vom Hintergrund in besonderer Weise abhebendes Reizobjekt befindet. Eine alternative Erklärung geht davon aus, dass im Fall homogener Distraktoren diese quasi als Gruppe, „auf einen Schlag", von der Suche ausgeschlossen werden können (Duncan und Humphreys 1989).

Neben den dargestellten Fällen der Aufmerksamkeitsausrichtung auf spezifische Reizmerkmale wird seit einiger Zeit auch die Möglichkeit der auf ganze Merkmalsdimensionen (wie Farbe, Bewegung, Reizorientierung) ausgerichteten **dimensionsbasierten Selektivität** in Betracht gezogen (▶ Exkurs 5.11).

Die Beachtung einer Reizmerkmalsdimension kann in flexibler Weise vorgenommen werden. Allerdings wirkt die Reaktion auf eine spezifische Merkmalsdimension insofern nach, als dass sie die folgende Verarbeitung eines Reizes derselben Dimension erleichtert bzw. die Verarbeitung eines Reizes einer anderen Dimension erschwert.

5.1.5 Aufmerksamkeitsausrichtung – top-down versus bottom-up

Nach unseren bisherigen Ausführungen kann kaum ein Zweifel daran bestehen, dass die Ausrichtung der Aufmerksamkeit zum großen Teil im Einklang mit unseren Verhaltensabsichten top-down vorgenommen wird. Andererseits wird unsere Aufmerksamkeit auch bottom-up-gesteuert, d. h. ohne zugehörige Absicht, allein aufgrund spezifischer Reizbedingungen. Wie wir bereits erfahren haben, können auch nicht zu beachtende Reize eine hohe Stufe der Verarbeitung erreichen, die mit einem gewissen Grad an semantischer Entschlüsselung einhergeht. Vom subjektiven Empfinden her erscheint es sogar so, als zögen bestimmte Reizereignisse Aufmerksamkeit quasi von selbst auf sich. So mag in der Cocktailpartysituation ein in einem anderen Gespräch fallendes „Reizwort", das eine besondere Bedeutung für uns hat, nicht nur zur bewussten Wahrnehmung desselben führen, sondern ein zumindest kurzzeitiges Verfolgen des weiteren Fortgangs jenes Gesprächs nach sich ziehen und damit wiederum zum „Überhören" eines Beitrags zum eigenen Gespräch führen.

Ein naheliegender Kandidat für ein solches Reizwort ist der eigene Name. Untersuchungen mit der Methode des bereits besprochenen dichotischen Hörens zeigen, dass die Darbietung des eigenen Namens auf dem nicht zu beachtenden Ohr tatsächlich in einem gewissen Anteil der Fälle bewusst wahrgenommen wird. In Untersuchungen von Conway et al. (2001) sowie von Moray (1959) war dies bei etwa einem Drittel der Versuchspersonen der Fall. Interessanterweise ergab sich eine höhere Entdeckungsquote bei Versuchspersonen mit geringerer Arbeitsgedächtniskapazität

Exkurs 5.11

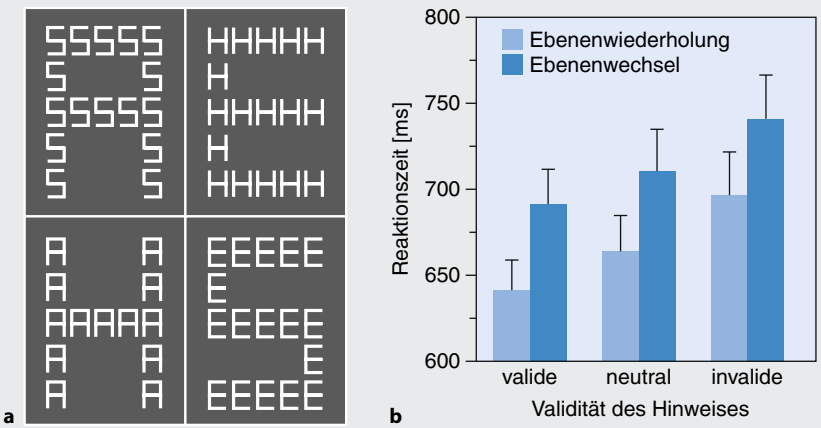
Genauer betrachtet: Dimensionsbasierte Selektivität

Neben der oben diskutierten Möglichkeit der Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf spezifische Reizmerkmale wird seit einiger Zeit auch die Möglichkeit der *attentionalen Gewichtung* ganzer Merkmalsdimensionen wie z. B. Farbe, Reizorientierung oder Bewegung, in Betracht gezogen. So geht der Dimensionsgewichtungsansatz von Müller et al. (1995) davon aus, dass einer ausgewählten Merkmalsdimension ein spezifisches Verarbeitungsgewicht (auf Kosten anderer Dimensionen) zugewiesen werden kann. Befunde, die diese Annahme stützen, stammen aus Suchaufgaben, in denen sich der Zielreiz in jedem Versuchsdurchgang dadurch auszeichnet, dass er sich von allen übrigen Reizen hinsichtlich eines einzelnen Merkmals unterscheidet. Dieses Merkmal kann dabei jedoch in verschiedenen Versuchsdurchgängen aus unterschiedlichen Reizdimensionen stammen (z. B. ein roter Reiz unter grünen in einem Durchgang und ein bewegter Reiz unter stationären in einem anderen). Bei solchen Aufgaben finden sich zum einen eine verbesserte Suchleistung, wenn zu Beginn eines Durchgangs die Reizdimension, in der sich der Zielreiz vom Rest der Reize abheben wird, valide ankündigt wird (gegenüber einer Bedingung ohne eine solche Ankündigung). Ein zusätzlicher Leistungsnachteil zeigt sich dagegen, wenn eine invalide Ankündigung erfolgt (Müller et al. 2003a). Neben diesen Effekten der vorbereitenden Höhergewichtung einer Reizdimension, von der erwartet werden kann, dass sie den Zielreiz enthält, finden sich auch *„dimensionale" Nachwirkungen*. So zeigen sich generell Reaktionsverlangsamungen, wenn der Zielreiz eines aktuellen Durchgangs aus einer anderen Reizdimension stammt als der Zielreiz des Vordurchgangs. Derartige Kosten finden sich nicht, wenn zwei aufeinanderfolgende Zielreize sich in einem spezifischen Merkmal derselben Reizdimension unterscheiden (z. B. unterschiedlich gefärbt oder räumlich orientiert sind; Found und Müller 1996).

Weitgehend analoge Befunde stammen aus Untersuchungen der Verarbeitung globaler und lokaler Reizinformationen hierarchischer Figuren, die von Navon (1977) in die Forschung zur visuellen Wahrnehmung eingeführt wurden. Hierarchische Figuren bestehen aus einer Anzahl lokaler Elemente (z. B. Buchstaben), welche meist untereinander identisch sind und deren Anordnung eine globale räumliche Struktur ergibt. Hierarchische Figuren weisen also eine lokale und eine globale Dimension oder Ebene auf, welche unabhängig voneinander hinsichtlich ihrer spezifischen Ausprägung variieren können, sodass die globale Form der des lokalen Elements entspricht oder von ihm abweicht (◘ Abb. 5.12a).

Lamb et al. (2000) verwendeten eine Suchaufgabe, in der in jedem Durchgang eine hierarchische Figur dargeboten wurde, die einen Zielreiz (einen bestimmten Buchstaben) entweder auf der lokalen oder globalen Ebene enthielt. (Die andere Ebene zeigte dagegen jeweils einen anderen Buchstaben, dem keine Reaktion zugeordnet war.) Vor jedem Durchgang wurde der Versuchsperson ein Hinweis präsentiert, der anzeigte, welche Ebene den Zielreiz wahrscheinlich enthalten würde. Wie es unter der Annahme, dass der Hinweis zur Top-down-Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf die angezeigte Ebene genutzt wird, zu erwarten ist, kam es zu schnelleren Reaktionen, wenn der Zielreiz tatsächlich auf der angezeigten Ebene erschien (valide Bedingung), als wenn er auf der anderen Ebene erschien (invalide Bedingung). Zusätzlich wurde eine weitere Bedingung realisiert, in der der Cue keinen prädiktiven Wert hinsichtlich der Zielreizebene aufwies (neutral). Hier lagen die Reaktionszeiten zwischen denen in validen und invaliden Bedingungen. Neben diesen Cueing-Effekten ergab sich ein genereller Bearbeitungsvorteil (◘ Abb. 5.12b), wenn der Zielreiz auf derselben Ebene wie im direkten Vordurchgang erschien (obwohl die aufeinanderfolgenden Zielreizebenen nicht korreliert waren); diese „ebenenspezifische Persistenz der Bearbeitungseffizienz" wurde durch den Hinweis bzw. den dadurch ausgelösten Top-down-Prozess nicht beeinflusst.

◘ **Abb. 5.12** Beispiele für hierarchische Figuren und Reaktionszeitergebnisse eines Cueing-Experiments. (Lamb et al. 2000, publisher: APA, reprinted with permission; APA is not responsible for the accuracy of this translation)



(Conway et al. 2001; ▶ Kap. 8), was darauf hindeutet, dass die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses einen bedeutsamen Faktor für die Steuerung der Aufmerksamkeit darstellt (vgl. hierzu auch Kane und Engle 2003). Diese Auffassung wird bestärkt durch das Ergebnis einer weiteren Untersuchung, in der Versuchspersonen instruiert waren, neben der Durchführung einer Beschattungsaufgabe auf das Auftreten ihres Namens in der Botschaft des nicht zu beschattenden Ohres zu achten. Bei dieser Aufgabe wirkte sich eine höhere Arbeitsgedächtniskapazität förderlich auf die Entdeckungsquote aus (mehr dazu in ▶ Kap. 6; weitere Belege zur Wirkung peripherer bzw. exogener Reizhinweise und zum Spatial Cueing in *Zusatztext online*).

Das genaue Zusammenwirken der absichtsgemäß (top-down) bewirkten Verarbeitungsselektivität mit der Auswirkung bottom-up-vermittelter Prozesse ist seit längerer Zeit eine intensiv beforschte Thematik mit einer relativ komplizierten Befundlage für eine Vielfalt verschiedener Aufgaben (▶ Exkurs 5.12).

Generell beeinträchtigen Distraktoren eher die Suchleistung, wenn sie eine größere Ähnlichkeit zum Zielreiz aufweisen. Beispielhaft hierfür sei ein Experiment von Folk et al. (1992) er-

Exkurs 5.12

Genauer betrachtet: Top-down- und Bottom-up-Prozesse in der Aufmerksamkeitssteuerung

Verschiedene Theorien der Aufmerksamkeit enthalten die Annahme einer rein bottom-up-vermittelten Aufmerksamkeitskomponente. Beispielsweise wird in der „Theorie der gelenkten Suche" (**Guided Search Theory**; Cave und Wolfe 1990; Wolfe 1994) angenommen, dass in einer frühen Verarbeitungsphase für jedes der vorhandenen Reizobjekte ein „Salienzwert" festgestellt wird, der widerspiegelt, wie sehr sich das jeweilige Objekt von allen anderen vorhandenen Objekten unterscheidet. Die Höhe dieses Salienzwertes entscheidet mit darüber, wann der Fokus der Aufmerksamkeit auf den entsprechenden Ort ausgerichtet wird. Je höher er ausfällt, umso größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine rasche Fokussierung erfolgt. Deswegen ist es leichter, „auffällige" Zielreize – Reize die sich in besonderer Weise von den anderen vorhandenen Reizen unterscheiden – ausfindig zu machen. Ein weiterer Faktor wird durch die spezifische Aufgabenbedingung bzw. Suchabsicht bestimmt. Wird beispielsweise etwas Rotes gesucht, so erhalten der Guided Search Theory zufolge alle roten Reize der Suchvorlage eine zusätzliche Aktivitätserhöhung, was wiederum eine rasche Fokussierung auf den Zielreiz, der sich ja unter diesen extra aktivierten befindet, begünstigt.
Eine häufige Frage in diesem Zusammenhang ist, ob bestimmte Reize oder Reizereignisse per se, unabhängig von einer vorliegenden Beachtungsabsicht, in der Lage sind, Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen – man spricht in diesem Zusammenhang von ***attentional capture***. Hierzu wurden z. B. abrupt erscheinende Reize, bewegte Reize oder Reize, die sich in einem bestimmten Aspekt von allen anderen vorhandenen Reizen unterscheiden (Singletons), vorgeschlagen. Als Beleg für das unwillkürliche Aufmerksamkeit-auf-sich-Ziehen wurde meist eine Verzögerung der Suchzeiten in einer visuellen Suchaufgabe unter Bedingungen der Darbietung eines entsprechenden Distraktors im Vergleich zu dessen Nichtvorhandensein gewertet, da sich diese durch die Ausrichtung des Aufmerksamkeitsfokus auf den Distraktor erklären lässt (z. B. Theeweues 1991, 1992). Beispielsweise könnte die Aufgabe darin bestehen, einen einzelnen grünen Reiz ausfindig zu machen und hinsichtlich eines bestimmten Merkmals zu beurteilen (z. B. ob er eine vertikal oder horizontale Linie beinhaltet). Der Zielreiz wird in jedem Durchgang des Versuchs zusammen mit einer Anzahl roter Distraktorreize dargeboten, wobei Ziel- und Distraktorreize alle dieselbe Form (z. B. Kreis) und Größe aufweisen. Die Reaktionsleistung in diesen Durchgängen wird dann verglichen mit der Leistung in Durchgängen, in denen einer der Distraktoren eine eckige Form aufweist. Ergeben sich höhere Reaktionszeiten in letzterer Bedingung, so wird dies auf die Ablenkung der Aufmerksamkeit auf den Singleton-Distraktor zurückgeführt. In der Gesamtbetrachtung derartiger Untersuchungen zeigt sich eine relativ komplizierte Befundlage für eine Vielfalt verschiedener Aufgaben und Reizereignisse. Während sich kaum ein Beleg dafür finden ließ, dass bestimmte Reizereignisse generell eine Ablenkung der Aufmerksamkeit bewirken, zeigte sich deutlich, dass ihre Passung zur durchzuführenden Aufgabe bzw. Suchabsicht hierfür einen gewichtigen Faktor darstellt. Zwar wurde zum Beispiel des Öfteren eine Erhöhung der Suchzeiten durch Hinzufügung eines Singleton-Distraktors festgestellt. Dies geschah allerdings meist unter Aufgabenbedingungen, in denen auch der Zielreiz sich in einem einzelnen bestimmten Merkmal von allen Distraktoren unterschied, und somit ebenfalls einen Singleton darstellte.
Bacon und Egeth (1994) veränderten dies, indem sie jeweils mehrere gleiche Zielreize darboten. In einer anderen Bedingung wurden anstelle eines einzelnen mehrere verschiedene Singleton-Distraktoren dargeboten. Hiermit verhinderten sie, dass der Zielreiz durch eine Suche nach einem Singleton in effizienter Weise entdeckt werden konnte. In beiden Fällen blieb die Suchzeiterhöhung durch die Singleton-Distraktoren aus, was mit der Annahme übereinstimmt, dass Singleton-Distraktoren nur dann Aufmerksamkeit auf sich ziehen, wenn die Versuchsperson eine Singleton-Suchstrategie zur Bewältigung der Aufgabe anwendet.
Für ein weiteres Beispiel der Beeinflussung „automatischer" Verarbeitung durch höhere Kognitionen (Blickrichtung als Aufmerksamkeitscue) vgl. *Zusatztext online*.

wähnt, in dem Farb-Singletons (Reize, die in der aktuellen Suchvorlage einzigartig hinsichtlich ihrer Farbe waren) und abrupt auftretende Reize als Distraktoren verwendet wurden. Beide Arten von Distraktoren riefen Suchzeiterhöhungen hervor, wenn die Aufgabe im Finden eines Zielreizes mit dem entsprechenden Merkmal bestand; beide hatten jedoch keinen Einfluss auf die Suchzeiten, wenn die Aufgabe das Auffinden eines Zielreizes mit dem jeweils anderen Merkmal erforderte (für eine weitere Differenzierung vgl. Becker et al. 2013).

Störungen einer beabsichtigten Reizverarbeitung ergeben sich eher durch das Auftreten zusätzlicher Reize, die in einer bestimmten, „passenden" Beziehung zur Durchführung der beabsichtigten Aufgabe stehen als durch besonders „auffällige" Reizereignisse.

5.1.6 Selektivität durch Bedürfnisse, Werte und Bewertungen

Die neueren Untersuchungen zum Einfluss emotionaler Bewertungen und Einstellungen auf die Aufmerksamkeitsselektion nahmen ihren Ausgang von dem klassischen Experiment von Bruner und Goodman (1947), in welchem sie ihre Versuchspersonen, eine Gruppe von zehnjährigen Jungen, nach ihrer Herkunft in „arme" und „reiche" einteilten und sie die Größe von vorgegebenen Münzen einschätzen ließen. Hier wie in weiteren Experimenten (▶ Exkurs 5.13) zeigte sich, dass die Münzen dann als größer wahrgenommen (eingeschätzt) wurden, wenn ihnen subjektiv ein größerer „Wert" beigemessen wurde.

Diese Ergebnisse, dass die Wahrnehmung selbst durch Werte und Bedürfnisse beeinflussbar ist, führten zu dem Schluss, dass es sich dabei um eine absolute „Vergrößerung" der Schätzung bei dem zunehmenden Wert eines Objekts für die Person handle (ähnlich der überdimensionalen Darstellung von Göttergestalten im Vergleich zum Menschen in verschiedenen Kulturen). Spätere Interpretationen gehen dagegen von der Annahme einer relativen Akzentuierung aus und verweisen darauf, dass die tatsächliche Größe von Objekten auch unterschätzt werden kann, wenn sie negative Werte symbolisiert (Gusky 1989).

Ferner können gezielt positive oder negative (sympathisch – unsympatische) Bewertungen unter bestimmten Umständen auch durch **subliminale Reize** (d. h. visuelle Reize, die nicht bewusst werden) ausgelöst werden (s. ▶ Abschn. 12.3.3).

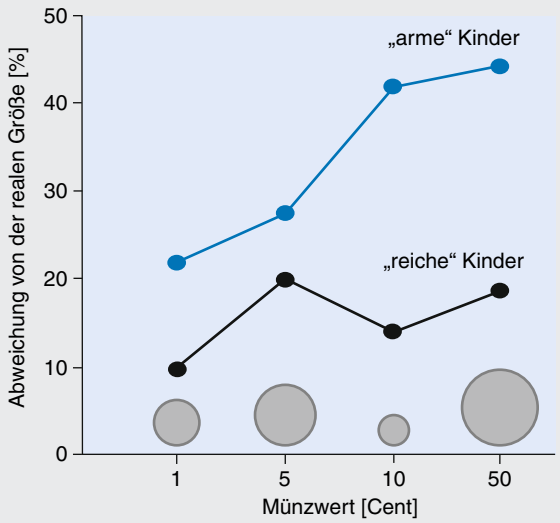
Wahrnehmung und Aufmerksamkeit können aber auch in der Weise von Wertungen oder emotionalen und motivationalen Faktoren beeinflusst werden, dass bestimmte Wahrnehmungen gehemmt oder ganz unterbunden werden. Hier ist zunächst

Exkurs 5.13

Experiment: Der Einfluss von Wertvorstellungen auf die Wahrnehmung

In den klassischen Experimenten von Bruner und Goodman (1947) wurden einer Versuchspersonengruppe von zehnjährigen Jungen aus „armer" Herkunft und einer aus „reicher" Herkunft verschiedene Geldmünzen vorgelegt. Die Jungen sollten diese nach ihrer Größe beurteilen, während eine Kontrollgruppe gleich geformte Papierscheibchen zur Vorlage erhielt. Durch Drehen eines Knopfes hatten die Kinder eine auf einen Schirm projizierte Lichtscheibe so einzustellen, dass ihre Größe der der Vorlage entsprach. (Der Versuchsaufbau entspricht damit der Herstellungsmethode.) Während die Papierscheiben meist richtig eingeschätzt wurden, tendierten alle Kinder dazu, die Geldmünzen zu überschätzen (bis 25 %). Doch darüber hinaus überschätzten die Kinder aus „armem" Elternhaus die Münzen deutlich stärker (bis 52 %) als diejenigen aus „reichem" Elternhaus (bis 22 %; ◘ Abb. 5.13). Wenngleich diese Untersuchungen zu heftigem Streit zwischen Kritikern (wegen methodischer Fehler) und Verfechtern führte, erbrachten weitere Untersuchungen wie die von Lambert et al. (1949) vergleichbare Ergebnisse. Sie ließen Kindergartenkinder unter kontrollierten Bedingungen lernen, dass sie mit zunächst wertlosen Pokerchips Süßigkeiten erhalten konnten, wenn sie sie in den Schlitz eines hierfür aufgestellten Automaten steckten, während eine entsprechende Kontrollgruppe diese Lernmöglichkeit nicht erhielt. Auch hier wurde die Größenschätzung nach dem gleichen Verfahren mit einem in seiner Größe veränderbaren Lichtpunkt durchgeführt. Während sich im Vortest keine Unterschiede zwischen den Gruppen zeigten (alle überschätzten gleichermaßen um 5–6 %), überschätzten im Nachtest nur die Kinder der Experimentalgruppe (nach zehntägigem Belohnungstraining) die Chips in ihrer Größe noch mehr, und zwar um 13 %. Entsprechende Ergebnisse erhielten auch Ashley et al. (1951), die ihre Versuchspersonen unter der Hypothese „arm" beziehungsweise „reich" untersuchten.

◘ **Abb. 5.13** Einfluss unterschiedlicher Wertvorstellungen auf die wahrgenommene Größe von Geldmünzen



die aktive und bewusste **Wahrnehmungsvermeidung** durch Wegorientierung zu nennen. So werden nach Seymour Epstein (1972) Fallschirmspringer bereits bei ihrem Training unterwiesen, beim Absprung nicht in die Tiefe, sondern zum Horizont zu blicken, um Furcht oder Unmutsemotionen nicht aufkommen zu lassen. In gleicher Weise können wir unangenehme Tätigkeiten leichter verrichten, indem wir nicht hinsehen oder nicht hinhören, wenn uns etwas Unangenehmes gesagt wird. In verschiedenen Untersuchungen wurden Versuchspersonen tachistoskopische Reize oder Reizwörter vorgegeben, die in der Gesellschaft tabu sind oder Furcht auslösen. Es zeigte sich, dass die Probanden diese Reize zwischen anderen entweder falsch (umgedeutet) wahrnehmen oder zum Erkennen mehr Zeit brauchen als für neutrale Reize (McGinnies 1949; Cowen und Beier 1954).

Betrachtet man diese Ergebnisse der Wahrnehmungsabwehr unter dem Aspekt der *selektiven Wahrnehmung*, so stößt man erneut auf die in der Wahrnehmungspsychologie viel diskutierte Frage, wie die bereits aufgenommene Information aus dem laufenden Wahrnehmungsprozess ausgeschieden werden kann, nachdem sie als angstauslösend bewertet worden ist, sodass sie nicht eigentlich zu Bewusstsein kommt – ähnlich wie das auch für die sogenannten **Abwehrmechanismen** der Psychoanalyse angenommen wird (▶ Abschn. 5.2.5).

Zur Erklärung dieses Tatbestandes wird seitens der *Psychoanalyse* (Freud 1940) ein **Zweistufenprozess** angenommen. Das Bewerten eines Inhalts auf der ersten Stufe des Informationsverarbeitungsprozesses bleibt unbewusst und entscheidet über Weiterleitung oder Unterdrückung, bei Freud **Verdrängung** und **Verkennung** genannt. Erst auf der zweiten Stufe findet dann auch ein bewusstes Erkennen statt, das als Wahrnehmung verstanden wird. Verkennungen ergeben sich nach Freud und anderen durch Projektionen der eigenen unangemessenen Triebansprüche auf andere Gegenstände oder Personen, womit ihre Wahrnehmung bei sich selbst abgewehrt wird. Ein Beispiel hierfür ist ein unter eigener Aggressivität leidendes Kind, das zur eigenen Entlastung die Aggressivität einem anderen, nicht aggressiven Kind oder Gegenstand zuschreibt („Du böse Ecke").

5

Exkurs 5.14

Genauer betrachtet: Biopsychologische Messverfahren

Elektroencephalografie

Registrierung der elektrischen Gesamtaktivität des Gehirns mithilfe von auf der Kopfhaut an verschiedenen (meist nach genauem Plan) festgelegten Punkten der Schädeloberfläche angebrachten Oberflächenelektroden. Die aufgenommenen Hirnaktivitäten stellen Summenpotenziale der aktiven Neurone des Cortex dar. Sie müssen durch ein elektronisches Verstärkergerät um etwa 1:1 Mio. Mal verstärkt werden und können anschließend über ein Aufzeichnungsgerät, den Polygrafen, der mehrere Kurven gleichzeitig aufzeichnen kann (*poly*), sichtbar gemacht werden. Die resultierenden Kurven (◘ Abb. 5.14a und ▶ Exkurs 5.22) werden als Elektroencephalogramm (EEG) bezeichnet.

Elektromyografie

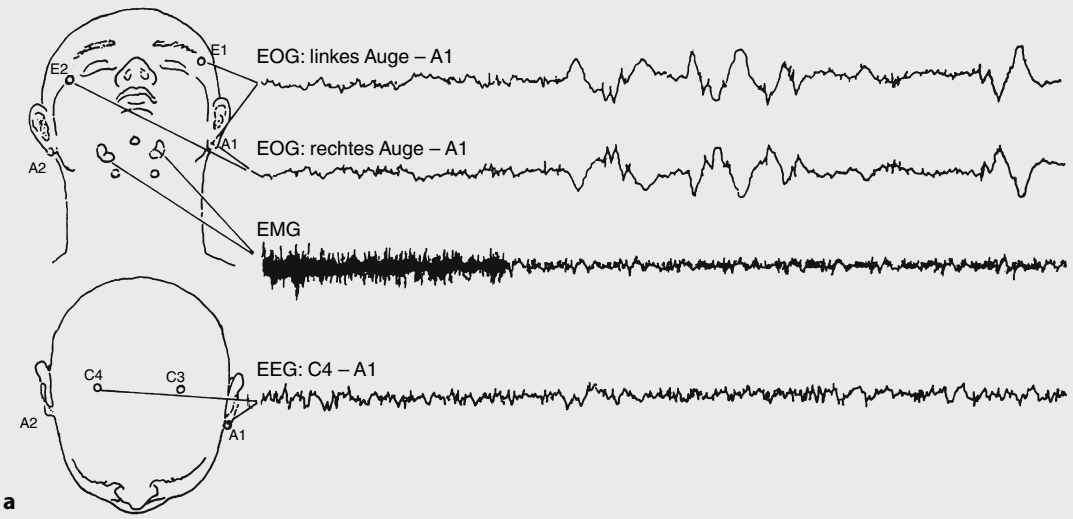
Aufzeichnung der elektrischen Aktivität – genauer: der summierten Aktionspotenziale – der Muskelaktivität (Muskeltonus). Im Rahmen klinischer Untersuchungen erfolgt dies in der Regel mithilfe von Oberflächenelektroden, die über dem interessierenden Muskel auf der Haut montiert (geklebt) werden (im Tierexperiment auch mittels chronisch implantierter Dauerelektroden). Die nach elektronischer Verstärkung direkt oder nach integrativer Weiterverarbeitung am Polygrafen erhaltene Kurvenaufzeichnung ist das Elektromyogramm (EMG) (◘ Abb. 5.14a).

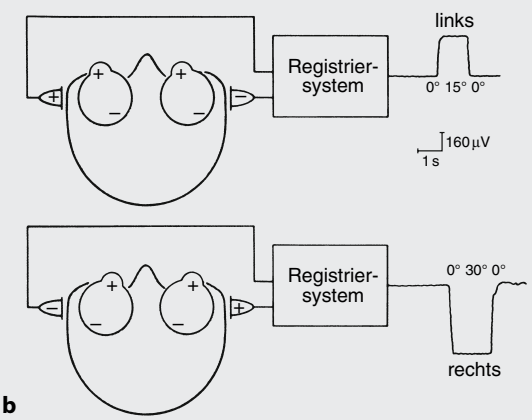
Elektrookulografie

Elektrophysiologische Aufzeichnung der Augenbewegungen. Die Technik beruht auf der Tatsache, dass zwischen dem vorderen (positiven) und dem hinteren (negativen) Pol des Augapfels eine Potenzialdifferenz besteht, deren elektrisches Feld mit um das Auge (rechts–links und unten–oben) platzierten Oberflächenelektroden erfasst werden kann. Bei Bewegungen des Augapfels verändert sich die topografische Lage des Feldes, wie dies in ◘ Abb. 5.14b für die Rechts-links-Bewegung dargestellt ist. Die daraus resultierende Ableitung wird Elektrookulogramm (EOG) genannt (vgl. auch ◘ Abb. 5.16).

Elektrodermale Aktivität (EDA)

Messung der elektrischen Hautleitfähigkeit und ihrer Änderung. Eine in der Psychologie gebräuchliche psychophysiologische Methode zur Erfassung damit einhergehender psychischer Erregung. Als Indizes werden hier zumeist das Hautleitfähigkeitsniveau (*scin conductance level*, SCL) und die Hautleitfähigkeitsreaktion (*scin conductance response*, SCR) verwendet. Während das SCL ein Maß für die Hintergrundleitfähigkeit der Haut in einer bestimmten Situation ist, stellt das SCR ein Maß für die Hautleitfähigkeitsänderungen dar, wie sie bei emotionsbetonten Reizen, Gedanken oder Vorstellungen auftreten (umstritten daher auch als „Lügendetektor" verwendet). Gemessen wird die EDA – auch psychogalvanische Reaktion (PGR) – über spezielle Oberflächenelektroden, die wegen der besonderen Beteiligung der in den Handflächen gelegenen Schweißdrüsen beim Emotionsgeschehen an den Handflächen angelegt werden (Boucsein 1992). Ein Beispiel findet sich in ◘ Abb. 5.16. Eine kurze Einführung in die psychophysiologischen Methoden geben Becker-Carus et al. (1979).





◘ **Abb. 5.14** **a** Ableitungskurven verschiedener bioelektrischer Aktivitäten, EOG, EMG und EEG, **b** – Registrierung der Augenbewegungen (s. Text). (**a** Becker-Carus und Heyden 1979, **b** Becker-Carus 1981, verändert nach Shakel)

5.1.7 Physiologische Korrelate der Aufmerksamkeit

Wir befassen uns weiter mit der Frage, welche physiologischen Prozesse den Aufmerksamkeitsänderungen und der Aufmerksamkeitssteuerung zugrunde liegen. Wir beginnen mit den Prozessen der allgemeinen initialen Aufmerksamkeitszuwendung (Orientierungsreaktion) und wenden uns dann den neuronalen Grundlagen der verschiedenen Formen der selektiven Aufmerksamkeit zu.

Orientierungsreaktion (OR)

Sobald ein bestimmter Reiz unser Wahrnehmungssystem erreicht und unsere Aufmerksamkeit auf sich zieht, löst dies eine Reihe von unterstützenden Prozessen aus. Wir orientieren unsere Sinnesorgane weitmöglichst auf den neuen Reiz, wobei die momentan ablaufenden Verhaltensweisen und Bewusstseinsprozesse schlagartig unterbrochen werden – sei es, dass wir unseren Körper, unseren Kopf und unsere Augen so weit bewegen, bis der interessierende Reiz die Stelle schärfsten Sehens auf der Retina, der Fovea, trifft; sei es, dass wir den Atem anhalten, den Kopf, die Ohren so ausrichten oder die Hand hinter das Ohr halten, damit wir die Signale der interessierenden Schallquelle möglichst störungsfrei erfassen können. Gleichzeitig mit diesen auffälligen, zum Teil bewusst unterstützten Reaktionen kommt es autonom gesteuert auch zu einer Serie innerer physiologischer Veränderungen, die ein so konstantes Muster aufweisen, dass man sie zusammenfassend als Orientierungsreaktion oder Orientierungsreflex (Pawlow) bezeichnet hat (Sokolov 1960).

Orientierungsreaktion

Die Orientierungsreaktion (OR) erfolgt auf jeden neuen, unerwarteten Reiz und besteht in einer Reihe psychischer und physiologischer Veränderungen des ganzen Organismus, die insgesamt dazu dienen, die Sensibilität des Organismus für ankommende Reize zu erhöhen (Sokolov 1960).

Wahrgenommene unerwartete Reize, wie das Zuschlagen einer Tür oder das leise Kraspeln einer Maus, führen zu den folgenden Teilprozessen der Orientierungsreaktion:

- **Erhöhung der Sensibilität:** Visuelle und akustische Reizschwellen werden herabgesetzt, zum Teil reizspezifisch, die Pupillen werden erweitert, die Fähigkeit, zwischen ähnlichen Reizen zu diskriminieren, wird erhöht.
- **Erhöhung der Hirnaktivität:** Im Elektroencephalogramm (EEG) treten schnelle Aufmerksamkeitswellen (hohe Frequenz mit niedriger Amplitude) auf, die eine zunächst unspezifische Desynchronisation darstellen (Alpha-Blockade; ► Exkurs 5.14; vgl. auch ► Exkurs 5.15 zum Sokolov-Modell).
- **Veränderungen im Blutkreislauf:** Erweiterung der zum Gehirn führenden Blutgefäße und Konstruktion der für die Aufmerksamkeit momentan unwichtigen peripheren Blutgefäße. Veränderungen der Herzschlagfrequenz, vielfach Verlangsamung.
- **Weitere viszerale Veränderungen:** Ferner kommt es zu Veränderungen in der Atmung, der Muskeltonus wird erhöht, und je nach intern bewerteter Bedeutung und Stärke des Reizes kommt es zu innersekretorischen Aktivierungen und Veränderungen des Hormongewichts (zum Beispiel Ausschüttung von Adrenalin oder Kortisol) sowie zu dem leicht messbaren Ansteigen der elektrischen Hautleitfähigkeit beziehungsweise der elektrodermalen Aktivität (EDA), die in ► Exkurs 5.14 erläutert wird.

Die Bedeutung dieser insgesamt höchst komplizierten Reaktionsumstellung wird – vielfach mit dem Hinweis auf unsere phylogenetische Vergangenheit – darin gesehen:

1. die Aufnahme des neuen Reizes zu erleichtern,
2. den Organismus auf eine eventuell notwendige schnelle Reaktion vorzubereiten, als „Notfallfunktion", „Überlebensreflex" oder Fluchtreaktion.

Die Erleichterung oder **Sensibilisierung** der sensorischen Wahrnehmung durch die Orientierungsreaktion wurde in verschiedenen Experimenten nachgewiesen. Gibt man einer Versuchsperson im Labor zum Beispiel auf einem Sichtschirm Lichtreize vor, die in ihrer Stärke so eingestellt sind, dass sie gerade unterhalb der Wahrnehmungsschwelle liegen, also von der Versuchsperson nicht wahrgenommen werden können, und gibt dann einen kräftigen Ton vor, der eine Orientierungsreaktion auslöst, wobei das Arousal-Niveau ansteigt, so wird die Versuchsperson die Lichtreize plötzlich wahrnehmen können, das heißt, die Wahrnehmungsschwelle ist herabgesetzt.

Das Umschalten der Aufmerksamkeit auf neue, interessante Reize und die damit einhergehende physiologische Reaktionsveränderung verdeutlichen die Experimente von Hernandez-Peón et al. (1956). Sie implantierten bei Katzen sowohl nahe dem Ohr (im Nucleus cochlearis) als auch im Cortex Elektroden und leiteten von hier die Aktionspotenziale ab, die von den vorgegebenen akustischen Reizen, wie dem Schlag eines Metronoms (◘ Abb. 5.15), im Ohr ausgelöst wurden. Dabei zeigte sich, dass die Aufmerksamkeit ablenkende zusätzliche Reize, wie zum Beispiel Fischgeruch, leichter Fußschock oder der Anblick einer Maus, zu einer starken Reduktion oder sogar zum Verschwinden der akustisch evozierten Potenziale führt. Wenngleich dieses Ergebnis bisweilen auch in anderen Zusammenhängen (zum Beispiel dem der selektiven Aufmerksamkeit) dargestellt und interpretiert wird, so zeigt es zumindest das Abschalten oder Ausblenden eines zunächst „interessierenden" Sinneskanals bei der Aufmerksamkeitszuwendung (Orientierung) auf einen neuen (interessanteren!) Reiz. Der akustische Reiz wird in dieser Situation offenbar im Gehirn nicht mehr wahrgenommen, sodass man dieses Beispiel zugleich auch als direkten Nachweis einer **reaktionsspezifischen Taubheit** werten kann (Buchholtz 1982), die mit dem Wechsel des handlungsspezifischen Funktionskreises (Übergang zu Nahrungserwerb) verbunden ist.

Die Orientierungsreaktion als solche ist **reizunspezifisch**, das heißt, sie kann durch Reize jeder Sinnesmodalität ausgelöst werden. Eine neurophysiologische Grundlage dieser allgemeinen Aktivierungserhöhung bestimmter Zentren und Aktivierungssenkung bei anderen ist im aktivierenden *Retikulärsystem* der Formatio reticularis gegeben, das über Nebenverbindungen aus allen Sinnessystemen gleichermaßen angestoßen werden kann.

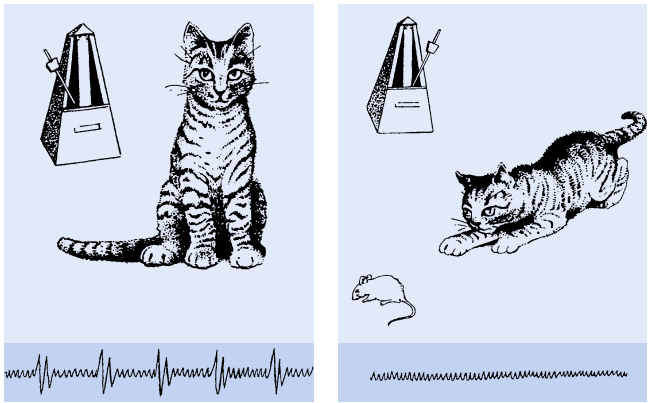


Abb. 5.15 Reaktionsspezifische Taubheit im Funktionskreis des Nahrungserwerbs. Die von der Hörbahn (oder dem Nucleus cochlearis) der Katze abgeleiteten Aktionspotenziale entsprechen bei Aufmerksamkeitszuwendung (**a**) dem Metronomschlag. Wird der Katze jedoch eine Maus gezeigt (**b**) und beginnt sie mit dem Beutefang, bleiben die vom Metronomschlag evozierten Potenziale aus. (Tinbergen 1966)

5

Exkurs 5.15

Genauer betrachtet: Neurophysiologisches Modell nach Sokolov

Mit der Orientierungsreaktion verfügt der Organismus über einen mehr oder weniger automatischen Mechanismus, der ihn auf neue, unerwartete Umweltreize aufmerksam macht. Abb. 5.16 zeigt die über entsprechende Elektroden abgeleitete polygrafische Registrierung (▶ Exkurs 5.13) einer OR verschiedener Funktionssysteme des Menschen: Elektroencephalogramm (EEG, Hirnstromaktivität), elektrodermale Reaktion (EDA, Hautleitfähigkeitsänderungen) und Elektrookulogramm (EOG, Augenbewegungen) auf einen wiederholt dargebotenen 500-Hz-Ton. In der oberen Hälfte ist die voll ausgebildete Reaktion auf die zweite Darbietung des mäßig lauten Tones aufgezeichnet. Im EEG erfolgt die Arousal-Reaktion, Desynchronisation oder „Blockierung" des Alpha-Rhythmus etwa eine halbe Sekunde nach Reizbeginn. Die elektrodermale Reaktion (EDA, Hautwiderstandsänderung) setzt etwas verzögert nach circa 2 s ein, und der Beginn der kräftigen Augenbewegung im EOG liegt etwa gleichzeitig mit den EEG-Veränderungen. Nach etwa 5 s ist die ganze Reaktion auf den inzwischen auch beendeten Reiz abgeklungen (Habituation). Auf jede weitere Darbietung des gleichen Reizes nimmt die OR immer weiter ab. Sie ist in unserem Fall, wie die unteren Kurven in Abb. 5.16 zeigen, bei der sechsten Darbietung des Tones bereits nicht mehr erkennbar. Die Habituation ist vollständig. Aus dieser vielfach belegten Beobachtung entwickelte der russische Physiologe Sokolov (1960) eine neurophysiologisch orientierte Modellvorstellung, die schematisch in Abb. 5.17 dargestellt ist. Ausgangspunkt dieses Modells ist die Überlegung, dass bei jedem eintreffenden Reiz zunächst festgestellt werden muss, ob dieser Reiz „neu" oder „bekannt" ist. Dazu ist ein Vergleich der ankommenden Information mit bisherigen Wahrnehmungen nötig. Ein System, das dieses ermöglicht, stellt den Hauptbestandteil des Sokolovschen Modells dar, dessen physiologische Basis im Cortex und Hippocampus gesehen wird. Hiernach wird der sensorische Input im Cortex analysiert und ein „neuronales Modell" gebildet, das alle relevanten Reizeigenschaften (z. B. Intensität, Qualität, Zeitverlauf) enthält und mit welchem dann jeder weitere neu ankommende Reiz verglichen wird. Besteht

a. *Übereinstimmung* von Reiz und Modell, so werden über den Hippocampus Impulse ausgelöst, die die Formatio reticularis und einen weiteren gleichartigen Input der sensorischen Afferenzen hemmen (Habituation);
b. *keine Übereinstimmung* zwischen Reiz und Modell, so wird über den Hippocampus die Formatio reticularis aktiviert, die ihrerseits, wie dargelegt, durch allgemeine Aktivierung corticale, sensorische, somatische und viszerale Orientierungsreaktionen hervorruft (. Abb. 5.17).

Durch dieses System wird eine quasi reflektorische Zuwendung der Aufmerksamkeit auf neue Reize ermöglicht.

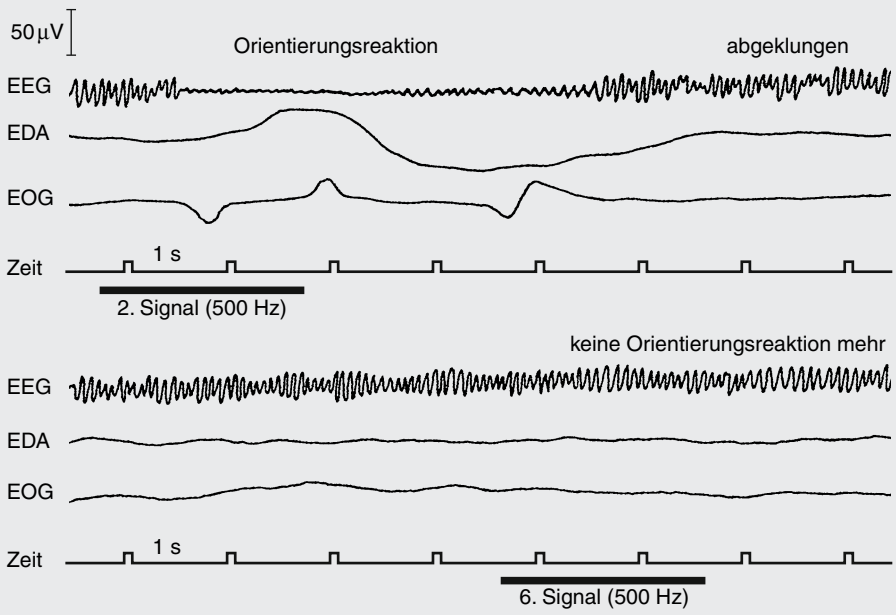


Abb. 5.16 Polygraphische Registrierung einer OR verschiedener Funktionssysteme (s. Text). (Legewie und Ehlers 1972, S. 95)

Exkurs 5.15 (*Fortsetzung*)

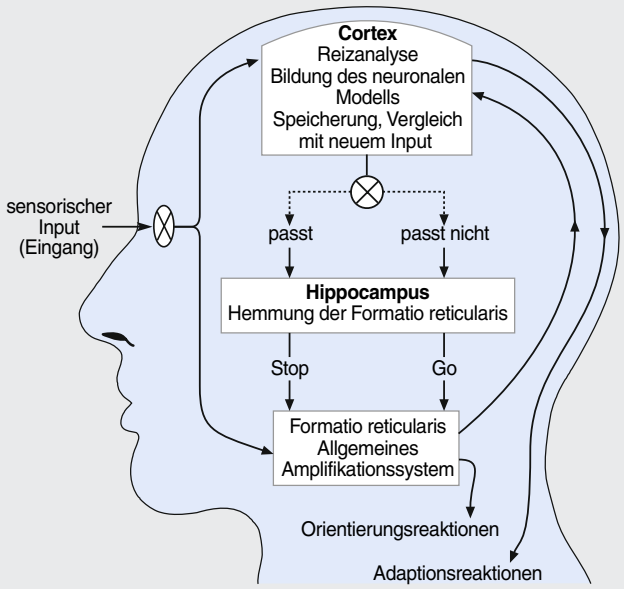


Abb. 5.17 Modellvorstellung zur OR von Sokolov. (Based on Sokolov 1960)

Habituation (Gewöhnung) kann die OR unterdrücken, denn eine – sehr sinnvolle – Besonderheit der OR besteht darin, dass sie nur von „neuen Reizen" ausgelöst wird. Sobald die einkommenden Signale bekannt oder verstanden sind und nichts Neues signalisieren, verlieren sie die Fähigkeit, eine OR hervorzurufen. Mehrfache Wiederholung des gleichen Reizes führt zur selektiven Habituation der OR, das heißt, sie wird von Mal zu Mal schwächer und erlischt schließlich gänzlich. Der Verlauf der Habituation lässt sich sehr schön im psychophysiologischen Experiment verdeutlichen – unter Ableitung verschiedener physiologischer Parameter, wie dies in ▶ Exkurs 5.15 dargestellt ist. Erst wenn ein neuer oder ein veränderter (zum Beispiel in der Lautstärke) Reiz gegeben wird, tritt die OR erneut auf. In der Regel erfolgt die Habituation nach etwa zehn bis 30 Wiederholungen des gleichen Reizes. Doch gibt es beachtliche, zum Teil auch genetisch festgelegte Unterschiede. Die OR erfolgt nämlich nicht auf jeden zielstrebigen Reiz hin gleich schnell, und sie ist für einzelne Tierarten je nach der „biologischen Bedeutung" durchaus unterschiedlich. Raschelnde Geräusche zum Beispiel rufen beim Haushund nur eine schwache Reaktion hervor, die schnell habituiert, während sie beim Hasen eine OR auslösen, die selbst nach 240 Wiederholungen nicht habituiert. Ähnlich gewöhnen sich Enten nicht an den Anblick von Katzen, Biber nicht an das Geräusch splitternden Holzes (Klimowa 1958).

Evozierte Potenziale selektiver Aufmerksamkeit

Durch die OR wird also eine nahezu reflektorische Zuwendung der Aufmerksamkeit auf neue Umweltreize ermöglicht. Diese **passive Aufmerksamkeitssteuerung** spielt in vielen Bereichen der angewandten Psychologie eine wichtige Rolle, und sie lässt sich zum Beispiel bei der Gestaltung von Verkehrsschildern sowie in der Werbung nutzen. Im Gegensatz dazu sprechen wir von **aktiver Aufmerksamkeitssteuerung**, wenn wir willentlich unsere Aufmerksamkeit auf Umweltreize richten, die ohne diesen Vorsatz unbeachtet geblieben wären. Ein Beispiel ist das Suchverhalten, bei dem die Steuerung des Verhaltens aktiv durch das Bewusstsein erfolgt. Die (im Experiment nachweislich) durch wiederholte Reizdarbietung habituierte OR lässt sich durch aktive Aufmerksamkeit unvermindert wiederherstellen, wenn der Versuchsperson zum Beispiel die Aufgabe gegeben wird, jeden Reiz zu zählen oder auf Reizunterschiede zu achten (Erwartungshaltung).

Eine solche Informationsanalyse ist aber nur auf cortical neuronaler Ebene möglich. Es wäre daher also zu erwarten, dass sich möglicherweise in der Cortexaktivität Hinweise auf selektive Aufmerksamkeitsprozesse finden. Dies zu untersuchen war Anliegen der folgenden Experimente.

Davis (1964) leitete von seinen Versuchspersonen die summierten **evozierten Potenziale** (▶ Exkurs 5.16) während der Darbietung von jeweils vier Piep-Tönen ab. Der erste Ton war dabei stets ein Warnsignal von tieferer Frequenz als die anderen. Der dritte war jeweils minimal lauter oder leiser als die beiden anderen. Vor den Durchgängen erhielten die Versuchspersonen jeweils verschiedene Aufgaben. Unter der ersten Bedingung mussten die Versuchspersonen während der Vorgabe lesen (Ablenkung), unter der zweiten Bedingung mussten sie einen Knopf drücken, wenn der dritte Ton lauter war als der zweite (Entscheidungsaufgabe). Unter der dritten Bedingung sollten sie stets nach dem dritten Ton drücken, egal ob er lauter oder leiser war (Routine). Wie aus Abb. 5.19 zu ersehen ist, weist das evozierte Potenzial nur dann eine größere Amplitude auf, wenn eine Entscheidung verlangt wird, für die besondere Aufmerksamkeit nötig ist.

Wenn also solche elektrophysiologischen Korrelate selektiver Aufmerksamkeitsprozesse auf corticaler Ebene nachweisbar sind, nicht aber am peripheren Sinnesorgan, bleibt die Frage, wie es sich auf den möglichen Zwischenstufen verhält und ob derartige selektive Aufmerksamkeits- beziehungsweise Aktivationsunter-

Exkurs 5.16

Genauer betrachtet: Evozierte Potenziale

Außer der hirnelektrischen Spontanaktivität, die im EEG erfasst wird, lassen sich auch Potenzialschwankungen registrieren, die als Folge einer afferenten Stimulation ablaufen und als Erregungskorrelate von sensorischen Reizen angesehen werden können. Derbyshire et al. (1936) entdeckten bei Katzen, dass nach jedem sensorischen Reiz in der Gegend des zugehörigen primären Projektionsfeldes eine kleine Potenzialschwankung auftritt, die, fast unkenntlich in der Spontanaktivität verborgen, in gleich bleibendem zeitlichen Abstand zum Reiz steht. Die isolierte Darstellung dieser sensorisch evozierten (ausgelösten) und für die auslösenden Sinnesreize spezifischen Erregungsverläufe beim Menschen gelang zuerst Dawson (1947). Das Grundprinzip der bereits von ihm verwendeten Superpositionstechnik liegt darin, dass die corticalen Erregungsverläufe bei wiederholter Darbietung eines gleich bleibenden Reizes immer vom Reizzeitpunkt an fotografisch überlagert werden (Abb. 5.18a). Unter der berechtigten Annahme, dass die spezifische corticale Reizantwort einigermaßen stabil bleibt, ist zu erwarten, dass sich ihre Verlaufsform bei mehrfacher Wiederholung aus dem „Rauschen" der zufallsverteilten Spontanaktivität sichtbar heraushebt. Wie Abb. 5.18 zeigt, lässt sich dieses Ziel heute viel besser mithilfe einer digitalen Mittelung (*averaging* genannt), erreichen. Unter Verwendung dieser verfeinerten Analysetechnik ließen sich außer den spezifischen reaktiven Erregungsprozessen, die auf einen Reiz hin sozusagen als **Empfindungskorrelate** erfolgen (Abb. 5.18b und c), auch spezifische Erregungsverläufe nachweisen, die vor einer bestimmten Handlung ablaufen, sozusagen als **Korrelate der Handlungsintention** (Walter et al. 1964; Kornhuber und Deecke 1965).

Unter Berücksichtigung auch dieser auf einen internen Auslöser zurückgehenden Erregungsaktivität lassen sich nach Guttman (1972) evozierte Potenziale definieren als „hirnelektrische Prozesse, die über bestimmten corticalen Regionen in einem konstanten und charakteristischen Verlaufsmuster als spezifisches Korrelat des Erlebens oder Verhaltens auftreten".

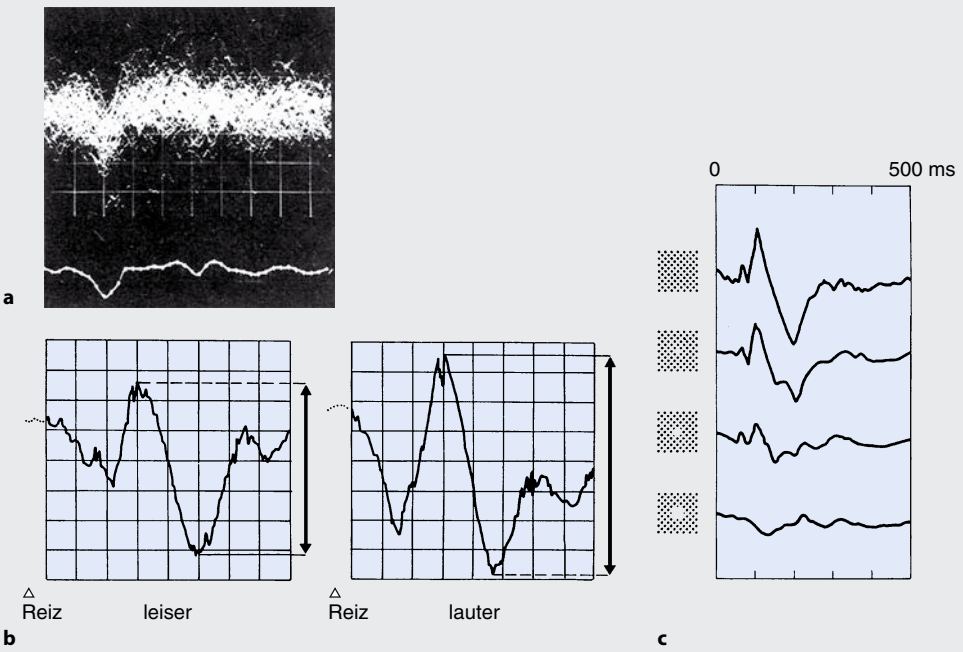


Abb. 5.18 Evozierte Potenziale (s. Text)

schiede nicht auch hier schon nachweisbar sind. Hierüber berichtet eine interessante Studie von Wickelgren (1968). Er untersuchte den Einfluss von Aufmerksamkeit, Schlaf und Halbschlaf auf das evozierte Potenzial in verschiedenen Ebenen des akustischen Systems im ZNS bei Katzen. Die Tiere hörten über angepasste Spezialkopfhörer akustische Klicks im Abstand von 1 s. Über implantierte Elektroden wurden die akustisch evozierten Potenziale abgeleitet vom Nucleus cochlearis (CN), der oberen Olive (SO), dem Colliculus inferior (IC), dem Corpus geniculatum mediale (MG), der Hörrinde (AC) und dem Kleinhirnwurm (CV).

Abb. 5.20 lässt erkennen, dass der Einfluss der untersuchten **Aufmerksamkeitsgrade** beziehungsweise **Bewusstseinslagen** deutlich erst ab der Höhe der thalamischen Kerne, dem Corpus geniculatum mediale und im Cortex nachweisbar ist. In tieferen Strukturen treten dagegen keine Veränderungen bei den verschiedenen Aufmerksamkeitslagen auf. Aus diesem Ergebnis muss wohl gefolgert werden, dass die Änderungen im Thalamus und im Cortex nicht von peripheren Veränderungen der Eingangssignale in den klassischen akustischen Bahnen verursacht sein können, sondern tatsächlich durch *Aufmerksamkeitsänderungen* hervorgerufen werden.

Daneben besteht aber weiterhin die Möglichkeit, dass zentral ausgelöst, über efferente Bahnen mit Einbezug der Formatio reticularis, die Bereitschaft oder Sensibilität der peripheren Strukturen erhöht oder erniedrigt werden kann. Die bekanntesten Experimente in dieser Hinsicht wurden von Fuster (1958) wie

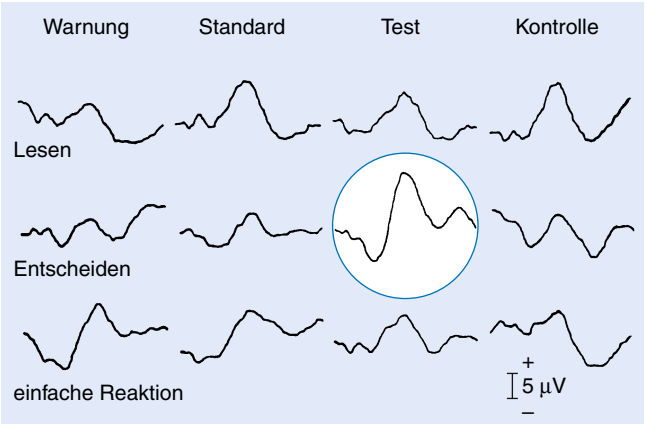


Abb. 5.19 Durchschnittlich evozierte Reaktionen auf Tonsignale bei verschiedener Aufmerksamkeitseinstellung. Ableitungen vom Vertex des menschlichen Schädels. Vorgegeben wurden nacheinander vier Töne (Warnung, Standard, Test, Kontrolle) unter drei verschiedenen Tätigkeitsbedingungen. Nur die Aufmerksamkeitsbedingung „Entscheiden" (ob die Töne gleich sind) führt beim Testton zu deutlich vergrößerten Amplituden des akustisch evozierten Potenzials. (Davis 1964)

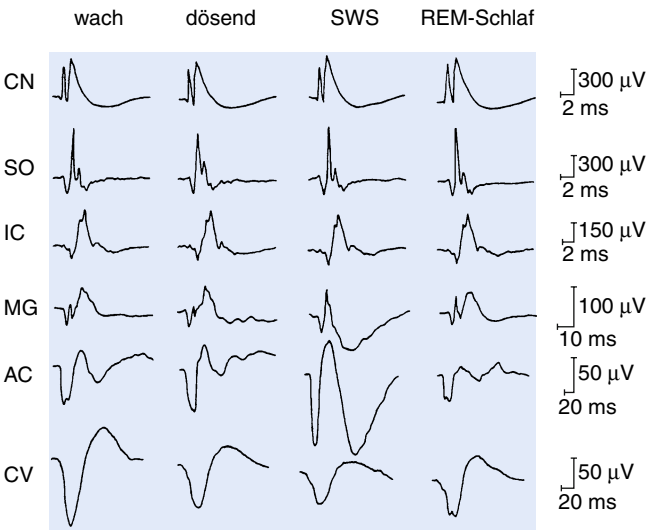


Abb. 5.20 Summierte akustisch evozierte Potenziale von sechs Hirnstrukturen der Katze während vier Aktivitätszuständen (wach, dösend, langsamer Wellenschlaf = SWS, REM-Schlaf). *CN* Nucleus cochlearis, *SO* obere Olive, *IC* untere vier Hügel, Colliculus inferior, *MG* mittlerer Kniehöcker des Thalamus, Corpus geniculatum mediale, *AC* akustischer Cortex, *CV* Kleinhirnwurm. (Wickelgren 1968)

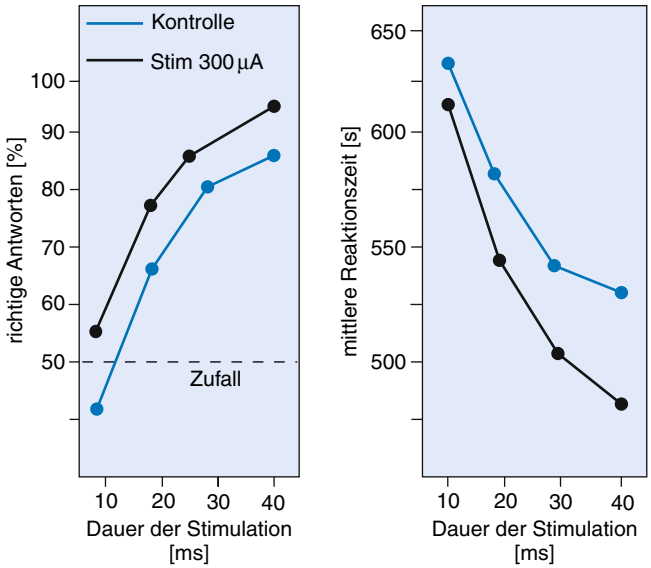


Abb. 5.21 Diskriminationsleistung und Formatio-Stimulation. Bei zunehmender elektrischer Stimulation der Formatio reticularis steigt die Anzahl richtiger Diskriminationen in der vorgegebenen Unterscheidungsaufgabe bei gleichzeitig kürzer werdenden Reaktionszeiten. (Thomson 1975)

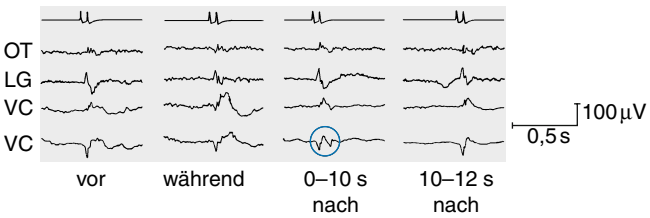


Abb. 5.22 Wirkung retikulärer Stimulation auf evozierte Potenziale im visuellen Cortex. Die Reize sind jeweils zwei kurze Lichtblitze im Abstand von 50 ms (*obere Reihe*). Die Aufzeichnungen erfolgten vor (*erste Spalte*), während (*zweite Spalte*), 0–10 s nach (*dritte Spalte*) und 10–12 s nach (*vierte Spalte*) Retikularstimulation. Wie zu sehen ist, reagiert der visuelle Cortex (VC; *untere Reihe*) auf die kurz aufeinanderfolgenden zwei Lichtblitze mit nur einem evozierten Potenzial. Aber 10 s nach der retikularen Stimulation erzeugt jeder Lichtblitz ein eigenes Potenzial: Die Lichtblitze werden diskriminiert. OT = Tractus opticus, LG = Corpus geniculatum laterale. (Butter 1968)

auch von Lindsley (1958) durchgeführt. Fuster trainierte Affen darauf, zwischen zwei Objekten zu unterscheiden (Diskriminationslernen), die ihnen dann mithilfe eines Tachistoskops – mit dem man sehr kurze Darbietungszeiten vorgeben kann – jeweils für kurze Zeit zur Entscheidung gezeigt wurden. Als Reaktion streckten die Affen jeweils den Arm durch eine Tür, um bei korrekter Entscheidung eine Belohnung zu erhalten. Gemessen wurden die Anzahl richtiger Reaktionen sowie die Reaktionslatenz (Zeitdauer zwischen dem Beginn der Reizdarbietung und dem Einsetzen der Reaktion) als Funktion der Dauer der tachistoskopischen Darbietung. Gleichzeitig mit der Diskrimination wurde im einen Fall über implantierte Elektroden die Formatio reticularis elektrisch stimuliert. Es zeigte sich, dass die Leistungen der Tiere bei *aktivierter Formatio reticularis* durchgängig signifikant besser waren als ohne Stimulation. Sie erreichten einen höheren Prozentsatz richtiger Antworten und hatten kürzere Reaktionszeiten (Abb. 5.21). Lindsley (1958) konnte dabei auch zeigen, dass die wahrgenommene Diskrimination zwischen zwei kurzzeitig aufeinanderfolgenden Lichtblitzen im evozierten Potenzial nur dann gelingt, wenn gleichzeitig oder kurz vorher (0–10 s) die Formatio reticularis elektrisch stimuliert wurde. Während im Tractus opticus kein Unterschied erkennbar ist, tritt dieser deutlich im visuellen Cortex auf (Abb. 5.22). Die Rolle der Formatio reticularis bei der Aktivierungsregulation zeigt sich auch bei motorischen Reflexen (▶ Exkurs 5.17).

Hirnstrukturen selektiver Aufmerksamkeit

Nach Nolen-Hoeksema et al. (2009, 2014) hat die Forschung in den letzten Jahren größere Fortschritte im Verständnis der neuronalen Grundlagen insbesondere der visuellen Aufmerk-

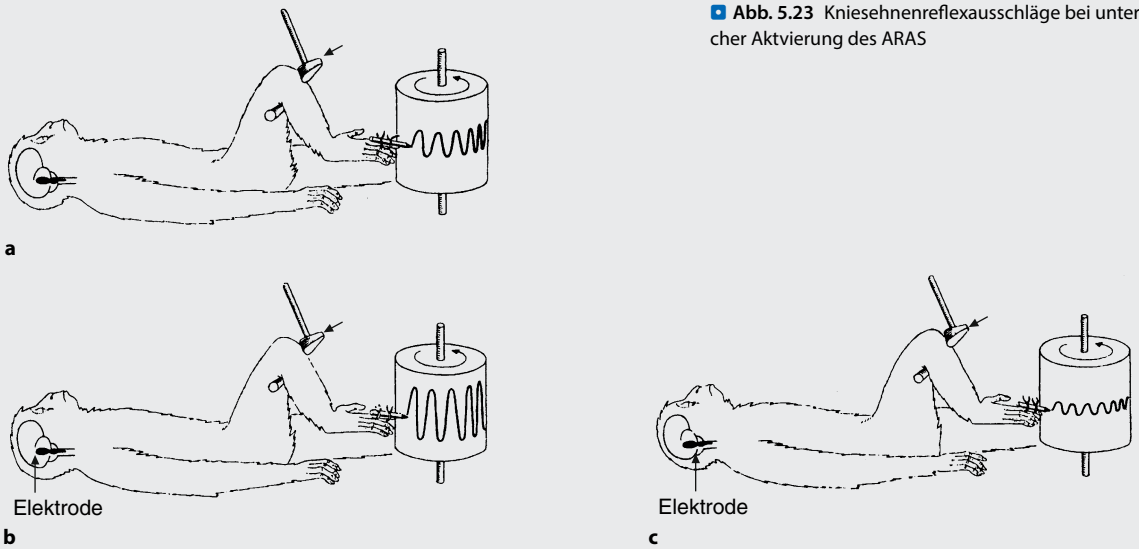
5

Exkurs 5.17

Genauer betrachtet: Aktivation und motorische Reflexe

Das Retikulärsystem übt nicht nur eine aktivierende Wirkung auf den Cortex aus, ihm kommt auch fundamentale Bedeutung in der Aktivierungsregulation willentlicher und reflektorischer motorischer Reaktionen zu. Wie French (1957) in einer einfachen Versuchsordnung nachweisen konnte, gehen dabei sowohl aktivierende als auch hemmende Effekte von verschiedenen Punkten der Retikulärformation aus.

Einer der bekanntesten beim Menschen sehr leicht auslösbaren Reflexe ist der **Kniesehnenreflex** (Patellarsehnenreflex). Bei anästhesierten Affen lässt er sich, wie ◘ Abb. 5.23 zeigt, dadurch demonstrieren und registrieren, dass am Fuß des in der Kniekehle locker aufgestützten Beines ein Schreibstift befestigt wird, der die Bewegungen auf einer rotierenden Trommel aufzeichnet. Bei jedem Schlag des gleichmäßig in Abständen schlagenden Reflexhammers auf die Kniesehne wird ein reflektorischer Ausschlag erhalten. Es resultiert eine gleichmäßige Kurve (◘ Abb. 5.23a). Wird nun unter diesen Bedingungen über eine implantierte Elektrode im oberen (vorderen) Teil der Formatio reticularis elektrisch gereizt, so werden die reflektorischen Ausschläge plötzlich größer (◘ Abb. 5.23b). Nach Beendigung der verstärkten Aktivität im **aufsteigenden retikulären Aktivationssystem** (ARAS) kehren die Ausschläge wieder zu ihrer normalen Größe zurück. Anders hingegen sieht die Reaktion aus, wenn die elektrische Reizung an bestimmten Punkten im hinteren (unteren) Teil der Formatio reticularis durchgeführt wird. Es resultiert ein verminderter Ausschlag (◘ Abb. 5.23c). Mit French (1957), der diese Ergebnisse berichtet, lässt sich hieraus wie auch aus weiteren Untersuchungen seiner Arbeitsgruppe folgern, dass demnach vom ARAS auch die Stärke der motorischen Impulse in den Spinalganglien des Rückenmarks kontrolliert beziehungsweise reguliert wird.



◘ **Abb. 5.23** Kniesehnenreflexausschläge bei unterschiedlicher Aktvierung des ARAS

samkeit gemacht. Dabei standen folgende zwei Fragen im Vordergrund:

1. Welche Hirnstrukturen sind für den psychologischen Akt der Selektion verantwortlich, auf welches Objekt die Aufmerksamkeit zu richten ist?
2. Wie unterscheiden sich die nachfolgenden neuronalen Prozesse für beachtete und nichtbeachtete Reize.

Zunächst zeigten EEG-Untersuchungen zur ortsbasierten Selektivität, dass die Verarbeitung von Reizen an beachteten Orten, wie zu erwarten, mit einer verstärkten Aktivität der zugehörigen Neurone in den sensorischen corticalen Arealen einhergeht. Hierfür sprechen auch Befunde aus fMRT-Untersuchungen, in denen erhöhte Aktivität in corticalen Arealen gefunden wurde, welche für die Verarbeitung visueller Reize an einem zu beachtenden Ort zuständig sind (Tootell et al. 1998). Einzelzellableitungen an Affen, die darauf trainiert waren, selektiv auf bestimmte Reize zu reagieren, wenn diese an einem zu beachtenden Ort erschienen, legen nahe, dass es hierbei sowohl zu einer erhöhten Erregbarkeit visueller Neurone durch sensorische Informationen kommt wie auch zu einer angehobenen Grundaktivität dieser Neurone, die bereits auftritt, bevor ein Reiz an dem beachteten Ort dargeboten wird (Luck et al. 1997).

Interessanterweise werden, wie fMRT-Messungen zeigen, verdeckte Verlagerungen der Aufmerksamkeit und offene, mit einer entsprechenden Blickbewegung einhergehende Aufmerksamkeitsverlagerungen durch ähnliche hirnphysiologische Aktivierungen vermittelt. Hierbei spielen die frontalen Augenfelder im Stirnhirn eine besondere Rolle (Corbetta et al. 1998). Auch in Verhaltensexperimenten zeigt sich ein enger Zusammenhang.

Angelehnt an die oben diskutierten Top-down- und Bottom-up-Einflüsse wird die Existenz *zweier verschiedener Systeme der Aufmerksamkeitszuweisung* angenommen: Das eine vollzieht Aufmerksamkeitszuweisungen anhand von Erwartungen und Handlungsabsichten, während das andere auf bestimmte Arten von Reizereignissen automatisch, d. h. weitgehend unabhängig von spezifischen Erwartungen und Handlungsabsichten, mit der

Zuweisung von Aufmerksamkeit reagiert. In einer Analyse der vorliegenden Untersuchungen mit bildgebenden Verfahren kamen Corbetta und Shulman (2002) zu dem Schluss, dass sich im Gehirn zwei Netzwerke unterscheiden lassen. Ein *zielgerichtetes (dorsales) top-down Aufmerksamkeit vermittelndes System*, welches Teile des intraparietalen Cortex sowie des superioren frontalen Cortex beinhaltet und vornehmlich dann in Erscheinung tritt, wenn ein prädiktiver Hinweis hinsichtlich eines Aspekts eines kommenden Zielreizes (wie z. B. Darbietungsort oder Bewegungszustand) vorliegt. Dagegen zeigt ein *sinnesreizgetriebenes (ventrales) Bottom-up-System*, welches vornehmlich rechtshemisphärische Anteile des temporoparietalen Cortex sowie des inferioren Frontalcortex umfasst, erhöhte Aktivität beim Auftreten von unerwarteten oder auffälligen, potenziell handlungsrelevanten Reizereignissen.

Bei der Top-down-Ausrichtung der Aufmerksamkeit sind offenbar laterale Areale des präfrontalen Cortex von besonderer Bedeutung. So löst der beim Spatial Cueing dargebotene Hinweis, der anzeigt, ob ein folgender Zielreiz wahrscheinlich auf der linken oder rechten Seite erscheinen wird, im EEG eine asymmetrische Spannungsschwankung an frontal angebrachten Elektroden aus (etwa 300–400 ms nach seinem Erscheinen), die von einer weiteren asymmetrischen Aktivierung an posterior angebrachten Elektroden gefolgt wird. Dieses Aktivierungsmuster wird als Ausdruck der Steuerung der Aufmerksamkeitsausrichtung durch den präfrontalen Cortex interpretiert, die zu einer erhöhten Bereitschaft zur Reizverarbeitung im zum angekündigten Darbietungsort contralateral gelegenen visuellen Cortex führt (Eimer et al. 2002). Auch hinsichtlich dimensionsbasierter Aufmerksamkeitszuwendung zeigen fMRT-Befunde eine besondere Bedeutung lateral-präfrontaler Cortexareale auf. So ergab sich in einer Untersuchung von MacDonald et al. (2000), in der Versuchspersonen in jedem Durchgang entweder auf die Bedeutung oder die Druckfarbe eines dargebotenen Wortes reagieren sollten, im Vorfeld der Reizdarbietung in diesen Arealen eine höhere Aktivierung, wenn sich Versuchspersonen auf die schwierigere Farbaufgabe vorbereiteten, als wenn sie sich auf die leichtere Wortaufgabe vorbereiteten.

Auf der grundlegenden Unterscheidung zwischen einem stimulusgesteuerten und einem zielorientierten physiologischen Audmerksamkeitssystem entwickelten Corbetta et al. (2008) eine ganze neurocognitive Theorie der visuellen Aufmerksamkeit. Diese stützt sich auf die Evidenz neurobildgebender Verfahren, die für die Existenz weitgehend getrennter vertraler und dorsaler Aufmerksamkeitssysteme spricht. Diese Feststellung wird auch von Untersuchungsergebnissen an Neglect-Patienten (► Exkurs 5.18) unterstützt, die vor allem Störungen allein im stimulusgesteuerten System aufweisen. Dennoch bleibt bisher fraglich, ob sich die vielfältigen Aufmerksamkeitsphänomene alle nahtlos auf das eine oder andere dieser Aufmerksamkeitssysteme zurückführen lassen (Eysenck und Keane 2010).

Die Prozesse der selektiven Aufmerksamkeit werden nach unserem derzeitigen Wissen auf corticaler, eventuell auch thalamischer Ebene unter Rückgriffsmöglichkeit auf gespeicherte Informationen gesteuert. Eine peripher wirksame Sensibilisierung beziehungsweise Hemmung über die Formatio reticularis scheint möglich, doch wird auch sie cortical überwacht.

Neben solcher, zum Teil auch semantische Informationsverarbeitung erfordernder Aufmerksamkeitssteuerung findet sich als Grundmechanismus der allgemeinen Aufmerksamkeitsregulierung das Prinzip der OR und ihrer Habituation.

5.2 Bewusstsein

Bei unseren bisherigen Besprechungen und Betrachtungen der Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsprozesse sind wir stillschweigend von der Voraussetzung eines normalen Wachbewusstseins ausgegangen und haben im Wesentlichen Funktionen kennengelernt, die bei normalem Wachbewusstsein ablaufen. Aber wir wissen alle, dass die Helle unseres Bewusstseins einem weiten Schwankungsbereich unterworfen ist. Sie kann jederzeit wechseln zwischen konzentrierter, gerichteter Aufmerksamkeit auf bestimmte Objekte, Gefühle oder Gedanken bis hin zu Träumereien, Fantasien oder auch Trance. Aber auch Konfusion, Verwirrtheit und Wahrnehmungsverkennung unter Drogenintoxikation charakterisieren **Zustände des Bewusstseins**.

Der Begriff „Bewusstsein“ (*consciousness*) wird zum einen bezogen auf einen allgemeinen Zustand eines Organismus verwendet, zumeist als Sammelbegriff für unser waches Erleben, Wahrnehmen, Denken oder Erinnern, bei dem wir „voll dabei“ sind. Zum anderen wird auch häufig von Bewusstsein hinsichtlich spezifischer Wahrnehmungs- oder Denkinhalte gesprochen. Hier bezieht sich der Begriff auf den individuellen Erlebnischarakter eines solchen Inhalts, das spezifische Empfinden zum Beispiel eines „stechenden“ gegenüber einem „ziehenden“ Schmerz. Derartige Empfindungen gelten als grundsätzlich private Ereignisse, die sich jeder direkten Beobachtung von außen entziehen. Sie werden in der Philosophie auch als **phänomenale Bewusstseinsinhalte** (siehe *Zusatztext online*) oder **Qualia** (Singular: Quale) bezeichnet.

Bewusstsein

Bewusstsein bezeichnet: das wache Wissen um unser Erleben, um geistige und seelische Zustände, Wahrnehmungen und Gedanken sowie das Aufmerken auf einzelne Erlebnisse und andererseits das wache Wissen um unser von uns kontrolliertes und initiiertes Handeln. Bewusstsein wird auch definiert als:die Gesamtheit der unmittelbaren Erfahrung, die sich aus der Wahrnehmung von uns selbst und unserer Umgebung, unseren Kognitionen, Vorstellungen und Gefühlen zusammensetzt.

5.2.1 Bewusstseinszustände

Nach traditioneller Auffassung, die im Wesentlichen aus der Philosophie entlehnt ist, bezeichnet Bewusstsein die Beziehung des Ich auf einen inneren oder äußeren Gegenstand. Das, was einem bewusst ist oder sein kann, heißt **Bewusstseinsinhalt**

Exkurs 5.18

Genauer betrachtet: Unilateraler Neglect und Extinktion

Patienten mit bestimmten Hirnschädigungen zeigen mitunter deutlich eingeschränkte Wahrnehmungsleistungen trotz offenbar intakter sensorischer Reizaufnahme, die auf eine Störung der Aufmerksamkeit hinweisen. Insbesondere Patienten mit unilateralen Neglect weisen hierbei Auffälligkeiten auf. Dieses mitunter nach einseitigen Hirnschädigungen (insbesondere nach Schädigungen der rechten Hirnhälfte im Bereich der temporo-parieto-okzipitalen Übergangsregion) auftretende Syndrom, ist durch eine unterschiedlich stark ausgeprägte – mitunter extreme – Vernachlässigung von der Seite der Schädigung gegenüberliegend verorteten Reizen gekennzeichnet. In der Verhaltensbeobachtung finden sich Fälle eklatanten „Übersehens" von Hindernissen, fehlende Reaktionen auf Ansprache aus der betroffenen Raumseite und in manchen Fällen halbseitiges Schminken oder Rasieren. Auch das Zeichnen von Gegenständen nach Vorlage oder auch aus dem Gedächtnis kann mit groben Auslassungen auf der betroffenen Seite einhergehen, beispielsweise werden Menschen mit nur einem Arm oder Uhren mit nur halbem Zifferblatt (◘ Abb. 5.24) dargestellt.

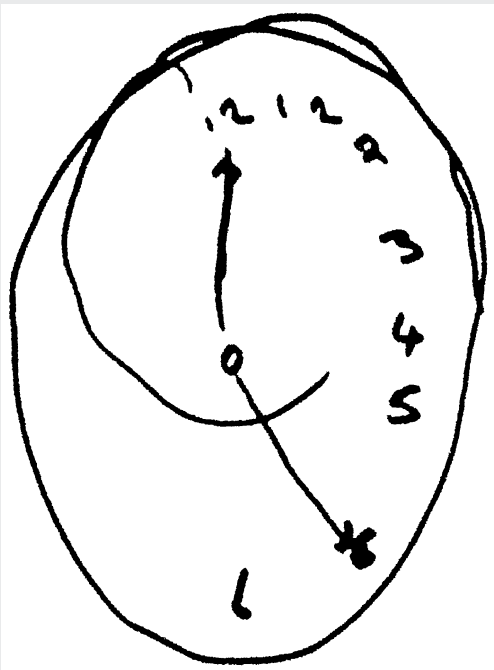
Das Störungsbild der **Extinktion** (nicht zu verwechseln mit der in ▶ Kap. 7 beschriebenen Löschung konditionierten Verhaltens) zeichnet sich ebenfalls durch eine Vernachlässigung seitlich dargebotener Reize aus, die allerdings nur dann auftritt, wenn gleichzeitig ein Reiz auf der anderen Seite vorhanden ist. Die Patienten erkennen einen auf der betroffenen Seite dargebotenen Gegenstand meist ohne Auffälligkeit, doch ein gleichzeitig auf der anderen Seite dargebotener Gegenstand führt mit einiger Wahrscheinlichkeit dazu, dass einzig auf diesen reagiert wird.

Diese Vernachlässigung kommt trotz intakter Sinnesorgane und ohne erkennbare Beeinträchtigung der sensorischen Verarbeitung zustande. Deutliche Hinweise darauf, dass es sich um eine Störung der Aufmerksamkeitssteuerung handelt, stammen aus einer Spatial-Cueing-Untersuchung von Posner et al. (1984). Patienten mit entsprechender Schädigung zeigten hierbei nur dann beeinträchtigte Reaktionen auf in der betroffenen Seite präsentierte Reize, wenn zuvor ein invalider Cue dargeboten wurde, der die Aufmerksamkeit in die gegenüberliegende Seite lenkte. Dieses Ergebnismuster wurde als Hinweis auf eine Schwierigkeit der Loslösung des Aufmerksamkeitsfokus von der nicht betroffenen Seite interpretiert.

Interessanterweise finden sich mitunter Vernachlässigungen, welche nicht einfach durch Aufmerksamkeitsbeeinträchtigungen auf einer der beiden Raumseiten erklärt werden können. Vielmehr können die Vernachlässigungen verschiedene nebeneinander angeordnete Objekte, jeweils auf derselben Seite, betreffen. Beispielsweise kann ein Patient beim Abzeichnen von zwei nebeneinander stehenden Männchen jeweils den linken Arm auslassen. Ähnlich wie die Befunde zur objektbasierten Aufmerksamkeit lassen sich derartige Befunde durch die Annahme einer präattentiven Objektsegregation erklären.

Untersuchungen, in denen Bahnungsreize in der linken oder visuellen Gesichtsfeldhälfte dargeboten werden, zeigen, dass die vernachlässigten, nicht bewusst wahrgenommenen Reize von den Patienten zum Teil dennoch unbewusst ihrem semantischen Gehalt nach erfasst werden. So zeigen sich mitunter semantische Bahnungseffekte nicht nur durch auf der nicht betroffenen Seite, sondern auch durch auf der betroffenen Seite dargebotene Bahnungsreize, auch wenn deren Bedeutung nicht bewusst wiedergegeben werden kann (McGlinchey-Berroth et al. 1993).

◘ **Abb. 5.24** Zeichnung eines Patienten mit linksseitigem Neglect. (Husain und Rorden 2003)



(Objekt), dasjenige, dem etwas bewusst ist, heißt **Ich** (Subjekt). **Ich-Bewusstsein** bezeichnet das Wissen um die Identität des eigenen Subjekts in den verschiedenen Bewusstseinsabläufen. Infolge ihrer durchgängigen Ich-Bezogenheit stehen die Bewusstseinsinhalte einer Person in einem einheitlichen Zusammenhang (*Einheit des Bewusstseins*). Der Träger dieser Bewusstseinseinheit ist ein Einzelwesen. Dieses verfügt über ein **Individualbewusstsein**. Im erweiterten Sinne kann es eine Gemeinschaft sein, dann spricht man von Kollektiv- oder **Gruppenbewusstsein** (zum Beispiel Standes-, Volks- oder Kulturbewusstsein). Bezieht sich das Bewusstsein auf eine bestimmte historische Zeit, spricht man auch von **Zeitbewusstsein**. Ein wesentlicher Aspekt ist dabei der zeitliche Bewusstseinswandel des jeweiligen gesellschaftlichen Gegenwartsbewusstseins. Dieses Bewusstsein definiert von Weizsäcker (1988, S. 16) als: „die Weise, wie der Mensch die Welt und sich selbst kennt". Es hat seine Grundlage in dem Wandel der Kulturen und Religionen, und es unterliegt so einem entsprechenden Wandel durch die Jahrhunderte und bestimmt dabei in weiten Bereichen auch unser pragmatisches Handeln (vgl. ▶ Kap. 8, Motivation).

Ferner werden nach dem **Bewusstheitsgrad** verschiedene Bewusstseinsstufen oder -grade unterschieden. Nicht mehr bewusste (verdrängte) oder vorbewusste Inhalte, die nur aus ihrer Wirkung auf das Verhalten erschlossen werden können, liegen im **Unterbewusstsein**. Als **Bewusstseinsschwelle** bezeichnet man die Grenze, an der unbewusste Inhalte ins Bewusstsein treten.

Zur Klärung der Abhängigkeit der Erfahrungswelt vom Bewusstsein hat Kant den Begriff **reines Bewusstsein** (transzendentales Bewusstsein) geprägt, worunter er im Unterschied zum **empirischen Bewusstsein** die allgemeinste Form des Bewusstwerdens ohne Rücksicht auf einen bestimmten Bewusstseinsinhalt versteht. Es ist in seiner besonderen Beschaffenheit die Bedingung der Möglichkeit von Wirklichkeit überhaupt: „Das bloße, aber empirisch bestimmte Bewusstsein meines eigenen Daseins beweist das Dasein der Gegenstände im Raum außer mir" (Kant 1781, *Kritik der reinen Vernunft*, S. 209).

Ein brauchbares Bild der vielfältigen wachen Bewusstseinsprozesse gibt der Psychiater und Philosoph Jaspers (1913/1923, S. 96) in seiner *Allgemeinen Psychopathologie*: „Bildlich stellen wir uns das Bewusstsein gewissermaßen als Bühne vor, auf der die einzelnen seelischen Phänomene kommen und gehen; oder als das Medium, in dem sie sich bewegen. Dieses Bewusstsein, das jedem psychischen Phänomen als Psychischem eigen ist, wechselt seine Art auf sehr mannigfaltige Weise. Im Bilde gesprochen wird zum Beispiel die Bühne sehr eng (*Bewusstseinsenge*), das Medium wird trübe (*Bewusstseinstrübung*) und so weiter. Um den Blickpunkt des Bewusstseins lagert sich ein nach der Peripherie hin immer dunkler werdendes Blickfeld. Bei planmäßiger Selbstbeobachtung kann man diese *Bewusstseingrade* (Aufmerksamkeitsgrade, Bewusstseinsstufen) untersuchen."

Die in diesem Bild angesprochene erlebte Enge oder Weite der „Bühne" (des Bewusstseins) ist nach unseren heutigen Erkenntnissen abhängig von unserer selektiven Aufmerksamkeit, deren neurophysiologische Grundlagen noch immer etwas unklar sind – wenngleich der Begriff der Aufmerksamkeit schon von Wundt (1874) als ein Schlüsselbegriff der Psychologie erkannt und seitdem als Voraussetzung dafür angesehen wird, dass eine Reizkonfiguration überhaupt aufgenommen wird, „ins Bewusstsein tritt". Dagegen wird die im Bilde angesprochene Klarheit oder Trübe von dem Wachheits- oder *Aktivationsgrad* bestimmt, dessen Grundlage im Wesentlichen in der Funktion des unspezifischen aufsteigenden retikulären Aktivationssystems (ARAS) gesehen wird, das seine neurologische Grundlage in den Strukturen der Formatio reticularis hat.

Wie allerdings „Bewusstsein" zustande kommt, darüber kann die physiologische Psychologie bislang keine Aussagen machen, fällt es doch schon insgesamt schwer zu definieren, was Bewusstsein ist, wenngleich wohl jeder von uns ein recht gutes Erlebnis dessen hat, was er Bewusstsein nennt. So formuliert Flechtner (1968): „Man kann Bewusstsein beschreiben, kann es analysieren […] aber als solches bleibt es ein Urphänomen, das als vorhanden hingenommen werden muss." Nach Leibniz (1646–1716) ist es der Gesamtinhalt unserer Ich-Erfahrung, nach Herbart (1816) die Summe aller wirklichen oder gleichzeitig gegenwärtigen Vorstellungen. Auch in der gegenwärtigen Psychologie sind die Anschauungen hierüber nicht einheitlich. Viele Autoren betrachten alle Erlebnisse als bewusst, während andere nur solche als „bewusst" ansehen, auf die Aufmerksamkeit gerichtet ist, die als solche „klar bewusst" sind, was uns auch wieder darauf hinlenkt, dass wir verschiedene *Klarheitsgrade des Bewusstseins* unterscheiden können. Ferner ist bekannt, dass es auch qualitativ verschiedene Zustände des Bewusstseins gibt. Hierzu gehören neben Schlaf und Traum **veränderte Bewusstseinszustände** wie hypnagoge, meditative, drogeninduzierte, psychedelische sowie hypnotische Zustände (eine Einführung mit Selbstexperimenten findet sich bei Becker-Carus 1980).

Damit ist bereits angedeutet, dass das Bewusstsein zunächst ein rein psychisch-geistiges Phänomen ist, das als solches nur durch **Selbstbeobachtung** (Introspektion, Kontemplation) des erlebenden Subjekts erfahren werden kann. Andererseits können jedoch Bewusstseinsgrade auch indirekt am Verhalten und den Leistungen des Lebewesens beurteilt werden. So beurteilen wir einen Patienten, bei dem wir nach einer Gehirnblutung weder Anzeichen der „Wachheit" noch Reaktionen auf irgendwelche Reize finden, als bewusstlos (ohne Bewusstsein). Drittens haben wir insbesondere durch die Entdeckung der hirnelektrischen Aktivität (EEG) heute die Möglichkeit, auf der neurophysiologischen Ebene Aussagen über bestimmte Funktionen des Bewusstseins machen zu können (für einen neueren Untersuchungsansatz hierzu siehe ▶ Exkurs 5.20). Doch nach wie vor stehen wir auch heute noch vor dem erkenntnistheoretischen Problem, das sich aus diesen unterschiedlichen möglichen Betrachtungsansätzen ergibt (▶ Exkurs 5.19).

Erst während der letzten etwa 40 Jahre, in denen mit der **kognitiven Wende** und dem neuen Erlebnisbewusstsein (der 1960er-Jahre, sogenannte Bewusstseinserweiterung) ein Umschwung eintrat, kam es zu einer Wiederbelebung des Interesses an den kognitiven Bewusstseinsprozessen. Der behavioristische Ansatz, der zu einem geschärften und kritischen Methodenbewusstsein geführt hatte, wurde nun als zu restriktiv empfunden. Und es wurde nicht mehr als unzulässig angesehen, auch subjektive Erlebnisse in die wissenschaftliche Datenerhebung und -analyse mit aufzunehmen.

Exkurs 5.19

Genauer betrachtet: Bewusstsein als philosophisches Problem

Vor der Verselbstständigung der Psychologie im 19. Jahrhundert, deren zentrales Anliegen nach Wundt (1832–1920) die Untersuchung des Bewusstseins und der Seele war, hatte sich die Philosophie seit dem griechischen Altertum mit diesem Problem befasst, wobei sich – stark vereinfacht – wesentlich zwei Auffassungen gegenüberstanden. Auf der einen Seite galt das **Bewusstsein** als eine von der *Materie* unabhängige Erscheinung, auf der anderen Seite wurde die Auffassung vertreten, dass psychische Prozesse und damit auch das Bewusstsein an körperliche Vorgänge gebunden sind. Für diese Auffassung wird heute seitens der Physiologie wie auch der Psychologie vielfach vorgebracht, dass jedes psychische Geschehen aufhört, sobald das Gehirn seine Funktionsfähigkeit (zum Beispiel in der Narkose) verliert. Aus solchen Überlegungen gespeist, hat sich in der akademischen Psychologie heute weitgehend die Auffassung durchgesetzt, dass psychische Prozesse und mit ihnen das Bewusstsein als Funktionen des ZNS, vor allem des Gehirns, verstanden werden (Rubinstein 1971) oder zumindest an seine Funktionsfähigkeit gebunden sind (Rohracher 1971). Wenn jedoch behauptet wird, dass die seelischen Prozesse und mit ihnen das Subjekt des Bewusstseins, das Ich, dem etwas bewusst ist, Ausfluss der physiologischen Nerventätigkeit des Gehirns sei, so widerspricht dem bildlich gesprochen die Tatsache, dass eine Melodie, die zum Beispiel ein Klavierspieler seinem Instrument entlockt, nicht Ausfluss oder Funktion des Klaviers ist, sondern eine *Eigenständigkeit* hat, wenngleich auch hier die Melodie nicht ohne das Instrument zum Klingen gebracht, das heißt in der physischen Welt zum Erscheinen gebracht werden kann.

Wie aber lässt sich der Zusammenhang zwischen *Physischem* (Gehirnprozess) und *Psychischem* (Erleben) verstehen? Welche Abhängigkeit gibt es? Das ist auch heute noch der Kern des alten, sogenannten **Leib-Seele-Problems** (vergleiche dazu auch ▶ Exkurs 1.1), bei welchem es sich genauer besehen, wie Hofstätter (1964, 1972) ausführt, um drei verschiedene Probleme handelt:

- die metaphysische Relation zwischen anorganischer Materie und Leben,
- die psychophysische Relation zwischen physiologischen Abläufen und den Erlebnissen,
- die psychologische Relation zwischen dem triebhaften und dem rationalen Verhalten.

In der abendländischen Tradition finden sich hierfür drei verschiedene *Denkmodelle*:

- die Wechselwirkungslehre (nach Descartes, 1596–1650),
- der Psychophysische Parallelismus (nach Leibniz, 1646–1716) und
- die Identitätslehre (nach Spinoza, 1632–1677).

Die auf die **Identitätslehre** zurückgehende Betrachtungsweise gelangte unter dem Einfluss von W. Wundt wie auch von Fechner (1860) in der klassischen Psychologie des ausgehenden 19. Jahrhunderts zur Vorherrschaft. Ihr auf Schelling und Fechner zurückgehendes Paradigma ist der Kreisbogen, der von der einen Seite her konkav, von der anderen aber konvex erscheint. Nach der Auffassung von Dörner (1985, S. 21) entsprechen auch die gegenwärtig in der Psychologie vertretenen Standpunkte meist einer Identitätslehre, „obgleich sich im Erleben zunächst eine Trennung vom Physischen und Psychischen aufdrängt". An die Stelle des Paradigmas vom Kreisbogen wird gleichbedeutend gern das Begriffsmodell der **Komplementarität** gesetzt: So wie in der Physik für den Beobachter ein Lichtquant entweder als Korpuskel oder unter anderen Bedingungen als Welle in Erscheinung tritt, so kann das „Lebendige als Leib oder als Seele" erscheinen (Hofstätter 1972, S. 208). Von welcher Beschaffenheit der von zwei Seiten her unterschiedlich gesehene Gegenstand selbst ist, wird von der Identitätstheorie aber nicht bestimmt.

Nach Steiner (1904), dem Begründer der Anthroposophie und der „übenden Selbstanschauung", lassen sich dagegen *Leib*, *Seele*, *Geist* und bewusstes *Ich* als **selbstständige Wesensglieder** verstehen, wobei jedes tiefere Glied als Instrument des höheren betrachtet werden kann, das des Instruments zwar bedarf, aber nicht aus ihm erklärt werden kann, wie das oben geschilderte Beispiel des Klavierspielers verdeutlicht. Eine **Wechselwirkungstheorie** – allerdings nur zwischen Geist und Gehirn – favorisieren in neuerer Zeit zum Beispiel auch Popper und Eccles (1982).

In der neueren **Philosophie des Geistes**, die sich mit der Erkennbarkeit des Geistes und dem Verhältnis von geistigen und körperlichen Zuständen befasst, scheint das „Rätsel des Bewusstseins" immer noch ein nicht eindeutig gelöstes Problem zu sein. Neu angestoßen wurde die Debatte durch den Aufsatz „What is it like to a bat" „Wie fühlt es sich an, eine Fledermaus zu sein?" von Nagel (1974), in welchem er argumentiert, dass wir nie erfahren würden, wie es sich anfühlt, eine Fledermaus zu sein, denn diese subjektiven Eigenschaften seien der Außenperspektive der Naturwissenschaft nicht zugängig. Sie bleiben rätselhaft. Zurückgeführt wird diese Rätselhaftigkeit des Bewusstseins vor allem auf zwei Aspekte:

Das **Qualiaproblem**: Es besteht darin, dass es keine einsichtige Verbindung zwischen neuronalen Zuständen des Gehirns und den bewussten qualitativen Erlebnisinhalten (Qualia) mentaler Zustände (z. B. Schmerz) gibt. Es ist nicht klar, wie das Gehirn „Erleben" produzieren kann.

Das **Intentionalitätsproblem**: Bewusstseinszustände haben zumeist nicht nur einen qualitativen Erlebniszustand, sondern sind auch intentional strukturiert, auf ein Handlungsziel ausgerichtet. Es bleibt unklar, wie das Gehirn solche Gedanken erzeugen kann (siehe auch *Zusatztext online*).

Wie und ob sich Qualia und Intentionalität aus neuronalen Aktivitätsprozessen erklären lässt, ist Gegenstand der gegenwärtigen philosophischen Bewusstseinsdebatte, in der es recht unterschiedliche Standpunkte gibt, die zum Teil weit auseinanderliegen. Auf der einen Seite teilen etliche Philosophen die Rätselthese, (wie: Chalmers (1995, 2002), Eigenschaftsdualismus), Jackson(1998), Levine (2001) oder Bieri, (2007). Auf der anderen Seite gibt es auch Philosophen, die hier kein Rätsel sehen (etwa Churchland (1985a), Churchland (1985b) (eliminativer Materialismus), Jerry Fodor (1983)). Doch ihren Lösungsvorschlägen stehen schwere Einwände anderer Philosophen entgegen wie Putnam (1975) (Begründer des Funktionalismus) und Searle (1980), die auch Intentionalität für nicht naturwissenschaftlich erklärbar halten. Dennet (1990, 1994, 2003), führender Vertreter der Philosophie des Geistes (Wikipedia Philosophie des Geistes, 2015), der in der Intentionalität zunächst eine „nützliche Fiktion" sah, kommt in seinen neueren Arbeiten zu dem Schluss, dass intentionale Zustände so real seien wie zum Beispiel das Muster eines Teppichs. Das Muster auf ihm ist nicht im gleichen Sinne real wie der Teppich selbst. Dennoch ist das Muster nicht einfach nur eine nützliche Fiktion. Mit diesem derzeitigen Erklärungsansatz (durch ein Emergenzphänomen) sind wir wieder bei unserem anfangs besprochenen Bild der Klaviermelodie (weitere Literaturangaben der genannten Autoren in *Zusatztext online*).

In vielen Bereichen, insbesondere in der physiologischen Psychologie einschließlich der Traum- und Schlafforschung, aber auch im Bereich der Psychosomatik, ist es üblich geworden, zur Analyse eines Problems gleichzeitig Daten auf verschiedenen Beobachtungsebenen zu erheben, da nur in dieser Weise dem Gesamtgeschehen der psychophysischen Individualität des Menschen Rechnung getragen werden kann (Fahrenberg 1972; Becker-Carus 1976):

1. auf der subjektiven Ebene, auch *phänomenales Bewusstsein* genannt (introspektives Erleben, Befinden über Interviewtechnik und Selbstbeobachtung),

Exkurs 5.20

Experiment: Die Nutzung binokularer Rivalität zur Erforschung des neuronalen Korrelats bewusster Wahrnehmung

Die vielleicht prominenteste Frage der empirischen Bewusstseinsforschung bezieht sich auf das *neuronale Korrelat des Bewusstseinsinhalts*. Welche Gehirnprozesse gehen mit der bewussten Wahrnehmung eines gegebenen Reizes einher?
Eine zur Untersuchung dieser Frage eingesetzte Methodik besteht darin, Unterschiede zwischen zwei Gehirnzuständen zu bestimmen, von denen vermutet wird, dass sie mit unterschiedlichem phänomenalen Erleben einhergehen, wobei die äußere Stimulation aber identisch gehalten wird, sodass hirnphysiologische Unterschiede nicht durch Veränderungen des dargebotenen Reizes zurückgeführt werden können. Diese Bedingungen sind bei Untersuchungen zur **binokularen Rivalität** erfüllt. Hierzu werden den beiden Augen einer Versuchsperson oder eines Versuchstieres verschiedene Bilder dargeboten. In ▶ Kap. 3 haben wir ausgeführt, dass eine gewisse Unterschiedlichkeit zwischen solchen Bildern – nämlich die, die der Ansicht einer Szenerie aus zwei leicht versetzten Perspektiven entspricht – zum Aufbau einer dreidimensionalen Repräsentation führt. Für das Phänomen der binokularen Rivalität werden stärkere Unterschiede zwischen den beiden Bildern benötigt, welche die Fusion zu einer gemeinsamen Repräsentation nicht zulassen. Hierzu können im Prinzip völlig verschiedene Reize herangezogen werden, oftmals kommen jedoch einfache Strichmuster verschiedener Orientierung zum Einsatz. Wie man sich im Selbstversuch überzeugen kann (s. unten), kommt es, ähnlich wie bei den in ▶ Kap. 3 behandelten Kippfiguren, zum häufigen Umschlagen des phänomenalen Wahrnehmungseindrucks. Zeitweise dominiert der Eindruck des einen Auges, zeitweise der des anderen.
Eine einfache Möglichkeit, Phänomene binokularer Rivalität selbst zu erfahren, ergibt sich, wenn man mit einem Auge durch eine Pappröhre schaut und zugleich mit dem anderen Auge auf einen nahen, ausgedehnten Reiz, z. B. die eigene Handfläche, blickt. Hält man die Hand frontoparallel, sodass sie mit der Kante an die Röhre stößt, ergibt sich zunächst der Eindruck eines „Loches in der Hand", durch welches man die eigentlich durch die Hand verdeckte Szenerie erblicken kann. Bei ausreichend langer Betrachtung kommt es dann zu den beschriebenen Perzeptwandlungen (nach Logothetis 2000).
Im Tierversuch kann mittels Einzelzellableitung die Präferenz von Neuronen im visuellen System für bestimmte Reize festgestellt werden (▶ Kap. 3). Logothetis und Mitarbeiter (z. B. Leopold und Logothetis 1996; Sheinberg und Logothetis 1997) taten dies in diversen Hirnarealen und trainierten Affen darauf, Reize verschiedener Kategorien mit verschiedenen Reaktionen zu beantworten. Nachdem die Tiere gelernt hatten, auf diese Weise anzuzeigen, was für einen Reiz sie sahen, wurden auch Durchgänge vorgegeben, in denen dem linken und dem rechten Auge Reize aus unterschiedlichen Reaktionskategorien präsentiert wurden, um binokulare Rivalität zu erzeugen. Die Reaktion des Versuchstieres in diesen Durchgängen wurde als Ausdruck des jeweils vorherrschenden Wahrnehmungseindrucks gewertet. Diese Annahme wurde zudem durch die Ergebnisse verschiedener Verhaltenstests gestützt. Zum Beispiel wurde mitunter einer der Reize in unschärfere Form dargeboten. In diesen Fällen zeigten die Tiere eine mit zunehmender Unschärfe immer stärker ausgeprägte Präferenz für die dem anderen Reiz zugeordnete Reaktion – ein Reaktionsmuster, das weitgehend dem menschlicher Vergleichspersonen entsprach.
Logothetis und Mitarbeiter setzten nun die Aktivität einzelner Neurone in den Versuchsdurchgängen mit binokularer Rivalität in Zusammenhang mit der vom Versuchstier ausgeführten Reaktion. Während für die überwiegende Mehrheit der untersuchten Neurone in frühen visuellen Arealen galt, dass sie unabhängig vom angezeigten Wahrnehmungseindruck immer dann stark reagierten, wenn der von ihnen präferierte Reiz präsentiert wurde, reagierten größere Anteile der Neurone in späteren visuellen Arealen vornehmlich dann, wenn der von ihnen präferierte Reiz den Wahrnehmungseindruck dominierte. Das Ansteigen der Reaktion setzte dabei häufig kurz vor dem Wechsel des Versuchstieres auf die zugehörige Reaktion ein. In Teilen des Temporallappens waren hierbei ca. 90 % der visuellen Neurone in ihrer Aktivität an den Wahrnehmungseindruck gebunden.
In Übereinstimmung mit diesen Befunden beobachteten Lumer et al. (1998) in einer fMRT-Untersuchung an menschlichen Versuchspersonen keine spezifische Aktivität im primären visuellen Cortex unter Bedingungen binokularer Rivalität (im Vergleich zu einer Kontrollbedingung mit tatsächlich wechselnden Reizen). Dagegen fand sich spezifische Aktivität in verschiedenen frontalen und parietalen Hirnarealen, was auf eine Funktion dieser Areale beim Zustandekommen des bewussten Wahrnehmungseindrucks hindeuten könnte.

2. auf der motorischen Verhaltensebene (Gestik, Mimik, Verhalten über Fremdbeobachtungstechniken),
3. auf der Ebene der verbalen Verhaltensäußerungen (Vorstellungen, Gedanken, Denken, Befragung über diese),
4. auf der physiologisch-biologischen Ebene (elektrophysiologische, biochemische Messungen) (Becker-Carus 1981).

Einen neueren Ansatz zur Untersuchung möglicher neuronaler Korrelate von Bewusstseinsinhalten bringt ▶ Exkurs 5.20.

5.2.2 Bewusstsein und physiologische Aktivation

Beginnen wir mit dem Bereich des normalen Bewusstseins, das für uns wohl täglich zwischen den Polen einer erhöhten, konzentrierten und gerichteten Aufmerksamkeit bis hin zum nahezu bewusstlosen Tiefschlaf reicht. Diesem Kontinuum entspricht im neurophysiologischen Bereich eine entsprechend unterschiedliche elektrische Aktivität des ZNS, wie sie mittels des EEG nachgewiesen werden kann. Untersuchungen bei Hirnläsionen zeigten, dass das Vorhandensein von Bewusstsein eine gewisse Mindestaktivität des ARAS voraussetzt, das als **Formatio reticularis** im Bereich des Thalamus, Hypothalamus und oberen Hirnstamms (◘ Abb. 2.18) gelagert ist. Es ist Voraussetzung für alle Leistungen des Wachbewusstseins. Es aktiviert über unspezifische Bahnen durch kontinuierliche Erregung die Hirnrinde und reguliert durch die unterschiedliche Intensität der Erregung auch die „Helligkeitsstufen" des Bewusstseins. So werden Sinnesreize nur dann bewusst, wenn die Hirnrinde aktiviert ist. Da jede ankommende Sinnesreizung gleichzeitig über abzweigende (kollaterale) Nervenfasern das ARAS stimuliert (sofern wir uns nicht im Schlafzustand befinden), ist insbesondere bei starken Reizen für eine (zeitlich begrenzte) zusätzliche Erhöhung des Bewusstseinsniveaus gesorgt (Weckreaktion). Beim Menschen ist das Erregungsniveau des Retikulärsystems über Eingänge von der Hirnrinde zudem auch durch Bewusstseinsprozesse regulierbar: Wir können vorsätzlich – innerhalb gewisser Grenzen – unseren Aktivationsgrad durch Anspannung (zum Beispiel Händedruck) erhöhen oder durch Entspannung senken. Fallen

Tab. 5.1 Psychische Zustände und ihre Korrelate im EEG. (Nach Lindsley 1961)

Psychische Zustände	EEG	Bewusstseinslagen	Verhalten und Leistung
Starke Gefühle, Erregung und Spannung	Desynchronisiert, kleine bis mittlere Amplituden, schnelle, gemischte Frequenzen	Eingeengtes Bewusstsein, Aufmerksamkeitsspaltung, Konfusion	Desorganisiert, Mangel an Kontrolle, Schreck- und Panikreaktionen
Wache Aufmerksamkeit	Teilweise synchronisiert, vorwiegend kleine, schnelle Spannungsschwankungen	Selektive Aufmerksamkeit, Erwartung und Antizipation, Konzentration	Gut organisiert, optimale Leistungsfähigkeit und Reaktionsbereitschaft
Entspannte Wachheit	Synchronisiert, optimaler Alpharhythmus	Wandernde Aufmerksamkeit, „freie" Assoziationen	Gute Routinereaktionen, schöpferische Leistungen
Schläfrigkeit	Desintegration des Alpha-Rhythmus, flache Kurven, vereinzelt langsamere Wellen	Teilweise Aufmerksamkeits- und Bewusstseinsverluste, Bilddenken, Pseudohalluzinationen	Unkoordiniert, verzögerte Reaktionen, gestörte Zeitsequenzen bei Geschicklichkeitsleistungen
Leichtschlaf	Verschwinden des Alpha-Rhythmus, größere, langsame Wellen, Schlafspindeln	Stark herabgesetztes Bewusstsein, erhöhte Reizschwelle	Reaktionen nur auf sehr starke Reize oder Reize, die bestimmten Einstellungen entsprechen
Tiefschlaf	Sehr langsame und große Wellen	Bewusstseinsverlust	
Aktivierter Schlaf	Wachähnliche, schnellere Wellen mittlerer Amplituden	Traumaktivität, stark erhöhte Reizschwelle	

für längere Zeit die erregenden Impulse aus den verschiedenen Bereichen weg (sensorische Deprivation), so führt das zu Veränderungen von Wahrnehmung und Denken. Korrelative Studien haben gezeigt, dass man das EEG nicht nur als verlässlichen Indikator der Wachheit, sondern auch als Indiz für bestimmte *Bewusstseinslagen* heranziehen kann. Einen Überblick über diese Zusammenhänge gibt Tab. 5.1.

Solche Angaben basieren auf Untersuchungen, in denen Daten der Introspektion (Beschreibung des erlebten Anspannungs- beziehungsweise Entspannungszustands) und der Fremdbeobachtung (Verhalten, zum Beispiel bei Leistungs- oder Konzentrationstests) sowie somatische Variablen (EEG, EDA und andere) als Indikatoren erhoben werden.

Häufig zeigt sich bei derartigen Untersuchungen, wie auch Tab. 5.1 erkennen lässt, dass der Zusammenhang zwischen Aktivation und Leistung nicht geradlinig ist (steigende Leistung bei steigender Aktivation), sondern kurvilinear im Sinne einer umgekehrt U-förmigen Beziehung (Abb. 5.25). Bei steigender Aktivation wächst die Leistung zunächst, jedoch nur bis zu einem Optimum (bei optimaler Aktivation für die jeweilige Leistung, zum Beispiel Nadeleinfädeln). Bei weiter steigender Erregung sinkt die Leistung wieder ab. Je komplizierter und komplexer die jeweilige Leistung ist, desto niedriger ist zumeist die optimale Aktivation. Dieser kurvilineare Zusammenhang heißt nach seinen Entdeckern **Yerkes-Dodson'sche Regel**. Der Wachheits- oder Aktivationsgrad ist im Wesentlichen verantwortlich für die **Klarheit des Bewusstseins**. Die **Weite des Bewusstseins** ist dagegen – wie bereits dargestellt – abhängig von der selektiven Aufmerksamkeit.

Im Bereich des **Wachbewusstseins**, das ständig gewissen Fluktuationen unterworfen ist, können nach Atkinson et al. (1983) zwei Modi unterschieden werden:

1. **Passiver Modus** Hier ist unser Bewusstsein auf Rezeption eingestellt, auf passives Wahrnehmen und Erleben der gegenwärtigen Umgebung, der gegenwärtigen Gedanken, Fantasien oder auch Träume. Zum passiven Modus zählt auch der ästhetische Genuss, das Anhören von Musik oder das Betrachten von stillen Kunstwerken. Auch die Ideen religiöser fernöstlicher Meditations- und Yoga-Praktiken wirken in diese Richtung.
2. **Aktiver Modus** In diesem Bewusstseinsmodus stehen aktives Planen und produktives Handeln im Vordergrund. Zukünftige Situationen mit ihren Möglichkeiten und Alternativen werden ins Auge gefasst, Entscheidungen vorbereitet und getroffen sowie notwendige Aktivitäten ins Werk gesetzt. Dabei lassen sich ferner *kurzfristige Zielsetzungen* („Ich werde zur Arbeitsstätte fahren") von *langfristigen* („Ich bin dabei, einen bestimmten Beruf zu erlernen, ein Werk fertigzustellen") unterscheiden, die eine größere *Weite des Bewusstseins* beinhalten. Zu solchen willentlichen Entscheidungen haben in den 1980er Jahren einige psychophysiologische Untersuchungsergebnisse zur kognitiven Kontrolle die immer wieder diskutierte und letztlich ungelöste philosophische Frage nach der Handlungs- und Willensfreiheit des Individuums aufgeworfen (ausführlicher in *Zusatztext online*).

Unabhängig von dieser Aufteilung bezeichnet man mit **Vigilanz** den Grad der Bereitschaft, neue Reize oder kleine Veränderungen in der Umwelt zu erkennen und darauf zu reagieren – eine Bewusstseinsleistung, die vielfach bei Überwachungs- und Kontrollaufgaben in unserer technisch zivilisierten Welt gefordert wird. Zur Erfassung der Vigilanz, auch Daueraufmerksamkeit (*sustained attention*) wurde der nach seinem Autor benannte **Mackworth-Clock-Test** (1950) entwickelt, bei dem es darauf ankommt, für längere Zeit bei einem mit Sekundenschritten voranrückenden Uhrzeiger zufällig einprogrammierte Doppelsprünge des Zeigers zu erkennen. Eine sogenannte **Go/NoGo-Aufgabe**, bei der es darauf ankommt, auf bestimmte Reize zu reagieren, auf andere dagegen nicht. Hier zeigt sich, dass derartige konzentrierte Vigilanzleistungen beim Menschen nur für etwa 30 min

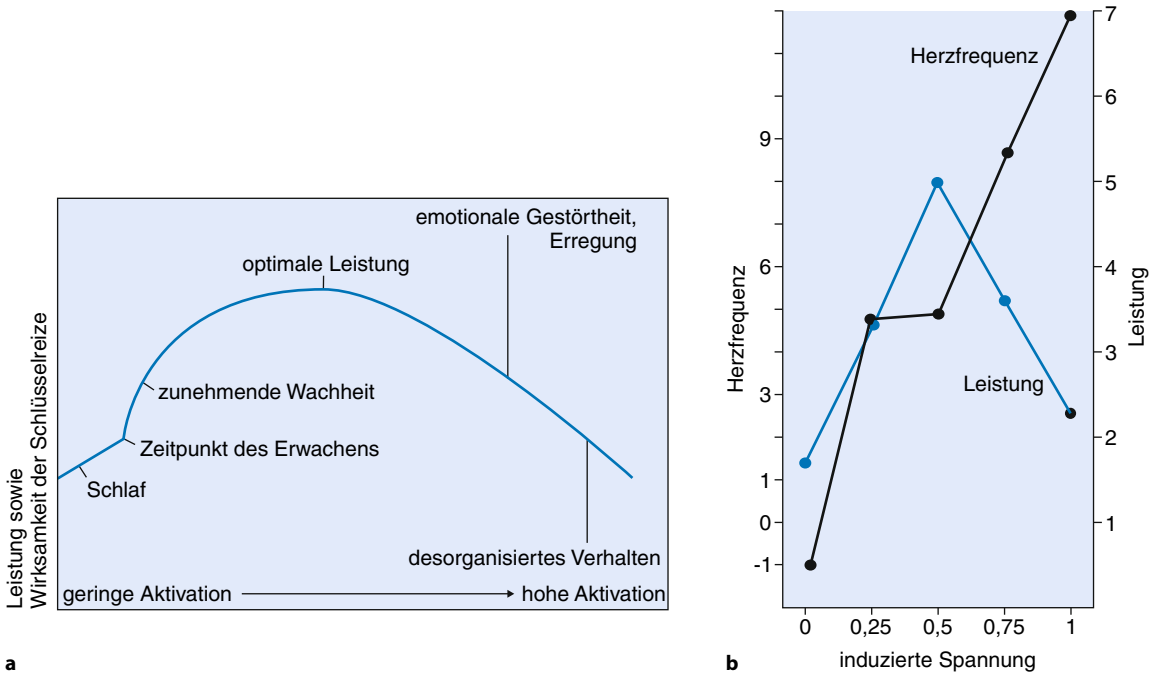


Abb. 5.25 Der Zusammenhang zwischen Aktivation und Leistung entspricht einer umgekehrten U-Funktion. **a** Schematisch: Die Leistung steigt zunächst mit steigender Aktivation, nimmt aber dann nach Überschreiten einer bestimmten mittleren (optimalen) Erregung wieder ab, **b** Beispiel einer Erhebung: die umgekehrte U-Funktion der Leistung bei steigender Herzfrequenz (Aktivierung). (Hokanson 1969)

fehlerfrei erbracht werden können. Danach steigt die Fehlerkurve beträchtlich an. Sie lässt sich nun allerdings durch verschiedene zusätzliche Vorgaben reduzieren, zum Beispiel, indem man den Versuchspersonen die richtigen Reaktionen (oder die Fehler) jeweils bestätigt beziehungsweise zurückmeldet.

In der Arbeitspsychologie spielen die mit solchen Tätigkeiten verbundene *Ermüdung* und *Erschöpfung* eine wichtige Rolle (Abb. 5.25). Hier werden unterschieden:

- **Körperliche Ermüdung:** Sie wird auf die in den Muskeln sich bildenden Abbauprodukte der Muskeltätigkeit zurückgeführt.
- **Psychische Ermüdung:** Sie tritt auf unter Monotoniebedingungen (wie beim Clock-Test) sowie bei längerem Schlafentzug. Beispielsweise ist nach 54 h Schlafentzug im Clock-Test nur noch für etwa 2 min eine gute, fast fehlerlose Leistung möglich.

5.2.3 Grenzprozesse des Bewusstseins

Nicht alles, was in unser Bewusstsein dringt, nehmen wir mit voll wachem Bewusstsein auf. Bewusst scheint uns zumeist zu sein, was wir gerade denken, erinnern, überlegen, planen oder auch gerade wahrnehmen. Es ist bekannt, dass uns Dinge ins Bewusstsein kommen oder, je nach Aufmerksamkeit, aus dem Bewusstsein herausgehen. Hierbei lassen sich unterscheiden:

Unterbewusste Prozesse

Unsere Aufmerksamkeit bringt, wie ein Scheinwerferlicht im Dunkeln, nur einen Teil ins Zentrum unseres Bewusstseins. So kann es zum Beispiel sein, dass wir den Stundenschlag der Uhr zunächst nicht bemerken. Erst nach einigen Schlägen werden wir plötzlich darauf aufmerksam und zählen die letzten Schläge mit, wobei wir (zumeist) mit der tatsächlich richtigen Zahl der „nicht gehörten" Schläge zu zählen anfangen und somit zum richtigen Ergebnis kommen, wovon wir uns dann mit dem Blick auf die Uhr überzeugen können. Diese bereits beim Cocktailpartyphänomen besprochenen Prozesse subliminaler Wahrnehmung werden als unterbewusste (bisweilen auch als vorbewusste) Prozesse bezeichnet (Farthing 1992). Sie sollten nicht verwechselt werden mit den weiter unten zu besprechenden unbewussten Prozessen. Auch neuere Untersuchungen belegen, dass wir Reize registrieren und bewerten, die wir nicht bewusst wahrnehmen (Bargh 2007).

Nicht bewusste Prozesse

Dies sind Prozesse, die zwar in unserem Organismus, mit Beteiligung des Nervensystems, ablaufen, die uns aber direkt nie bewusst werden. Hierher gehören zum Beispiel Veränderungen in der Hormonsekretion (Adrenalinausschüttung bei Stress, Klimakterium) und Veränderungen der Salzkonzentration im Blut (Erschöpfungszustand bei gesunkenem Blutzuckerspiegel). In einigen Fällen können solche nicht bewussten Prozesse jedoch mit bewusst werdenden Effekten verbunden sein beziehungsweise werden. So können zum Beispiel Diabetiker die Konsequenzen eines zu hohen Blutzuckerspiegels wahrzunehmen lernen, die zugrunde liegenden Prozesse selbst werden jedoch vom Bewusstsein nicht erreicht.

Vorbewusste Prozesse

heißen nach S. Freud solche Erinnerungen, die dem Bewusstsein zwar im Prinzip zugänglich sind, die aber momentan nicht

bewusst sind, zum Beispiel bestimmte Erlebnisse des letzten Ski-Urlaubs, an die ich mich aber sofort erinnern kann, wenn ich es will. In der Regel sind sie dann auch sofort zugänglich, weshalb sie auch als zugängliche Erinnerungen bezeichnet werden. Doch es kann sein, dass es hierbei Schwierigkeiten gibt, dass die Inhalte nicht „sofort" oder zeitweise auch gar nicht erreichbar sind. Wir wissen dann zwar oft, dass wir es wissen, wie zum Beispiel beim „*Tip of the tongue*"-Phänomen, bei dem uns zwar zum Beispiel ein Name „auf der Zunge liegt", aber er kommt nicht wirklich ins Bewusstsein (vergleiche die Ausführungen zum Rückrufprozess in ▶ Kap. 8).

Unbewusste Prozesse

Ihre Entdeckung und Beschreibung geht ebenfalls auf S. Freud zurück. Seine psychoanalytische Theorie ist eine der ersten und über die Jahre vielfach kritisierte Theorie des Bewusstseins. Freud und seine Nachfolger nahmen an, dass es einen Teil unseres Bewusstseins gibt, **das Unbewusste**, der verschiedene Erinnerungen, Impulse und Wünsche beinhaltet, die unserem Bewusstsein nicht zugänglich sind. Hierzu zählen Erfahrungen oder Erlebnisse, die im Gegensatz zu den vorbewussten Prozessen noch schwerer oder gar nicht zugänglich sind. Sie unterscheiden sich ferner von den vorgenannten Prozessen wesentlich dadurch, dass sie unsere Erinnerungen, Motive und Emotionen beeinflussen können. Obgleich wir uns ihrer in der Regel nicht bewusst sind, lässt sich (nach Freud) in solchen Beeinflussungsfällen auf ihr Vorhandensein zurückschließen. So werden unbewusste Prozesse zur Erklärung für bestimmte, sonst unverständlich wirkende Verhaltensweisen herangezogen, zum Beispiel beim Auftreten unverständlicher Emotionen oder unvermittelt auftretender Erinnerungen. Es ereignet sich nicht selten, dass Gedanken oder Wünsche aus diesem „Unbewusstsein" (Freud) auftauchen und unsere Handlungen oder unseren Sprachverlauf unabsichtlich verändern.(„Freud'sche Versprecher") So kann sich ein unbewusster Wunsch enthüllen, wenn wir jemanden mit falschem Namen rufen, oder wir legen zum Beispiel einen negativen Versprecher in eine eigentlich positiv gemeinte Aussage. Freud (1956, S. 55 ff) gibt hierzu in seiner *Psychopathologie des Alltagslebens* viele amüsante Beispiele: „R. erzählt von Vorgängen, die er in seinem Inneren für ‚Schweinereien' erklärt. Er sucht aber nach einer milderen Form und beginnt: Dann aber sind Tatsachen zum *Vorschwein* (Vorschein) gekommen …!" Oder weitere, von Freud gesammelte Beispiele: „Dr. S. in einer stürmischen Generalversammlung: Wir *streiten* (schreiten) nun zu Punkt 4 der Tagesordnung." „Ein Professor in seiner Antrittsvorlesung: Ich bin nicht *geneigt* (geeignet), die Verdienste meines sehr geschätzten Vorgängers zu schildern." – Der „Königsweg" zur Analyse des Unbewusstseins ist nach Freud jedoch die *Analyse des Traumes*, da hier, wie er darlegt, die sonst unbewussten Inhalte – wenn auch „verstellt", aber doch vom Ich unzensiert – zum Ausdruck kommen.

Nach Freud können unbewusste Wünsche und Impulse die Ursache für psychische Krankheiten sein. Zu ihrer Heilung entwickelte er die Methode der Psychoanalyse, bei der versucht wird, die „verdrängten" („unannehmbaren") Inhalte ins Bewusstsein zurückzuholen und damit die Krankheit zu heilen. Nach Nolen-Hoeksema et al. (2014) akzeptieren die meisten Psychologen die Vorstellung, dass es Erinnerungen und mentale Prozesse gibt, die der Introspektion nicht zugänglich sind und die somit als unbewusst beschrieben werden können, wobei dieses Unbewusste einen weiten Bereich mentaler Prozesse umfasst, auf die wir uns im täglichen Leben verlassen, ohne dass sie uns ins Bewusstsein kommen. Freuds starke Hervorhebung emotionaler Aspekte wird jedoch als übermäßigt angesehen (mehr zum Unbewussten in *Zusatztext online*).

Das Unbewusste (*unconsciousness*). Laut Freud ein Bereich der menschlichen Psyche für meist inakzeptable Gedanken, Wünsche, Gefühle und Erinnerungen. In der neueren (kognitiven) Psychologie Begriff für eine Form der Informationsverarbeitung, derer wir uns nicht bewusst sind.

Das Unbewusste.

In der neueren (kognitiven) Psychologie jener Bereich der menschlichen Psyche, der dem Bewusstsein nicht direkt zugänglich ist.

5.2.4 Veränderte Bewusstseinszustände

Die Grenzen zwischen dem, was wir als ein „normales Bewusstsein" bezeichnen, und veränderten Bewusstseinszuständen sind fließend. Wenn wir eine Person, die wir kennen sollten, bei einer Begegnung für eine andere halten, wenn uns Gegenstände farbig und bewegt erscheinen, die es in Wirklichkeit nicht sind, können dies Anzeichen für einen veränderten Bewusstseinszustand sein. In seinem bereits klassisch zu nennenden Buch über **veränderte Bewusstseinszustände**, *Altered states of consciousness*, schreibt Tart (1969, S. 1): „Als normal für ein bestimmtes Individuum gilt der Bewusstseinszustand, in dem sich dieser während des größten Teils seines Wachzustandes befindet. Die Annahme, Ihr normaler Bewusstseinszustand und meiner seien sich ziemlich ähnlich und ähnelten auch dem aller anderen Menschen, ist eine fast universelle Annahme, deren Gültigkeit jedoch bezweifelt werden muss."

Dennoch neigen Menschen, die (zum Beispiel in gemeinsamen Kulturen) zusammenleben, dazu, sich auf eine gemeinsame Sichtweise der bewussten Wirklichkeit zu einigen, in welcher sie sich wechselseitig bestätigen, und damit das Vertrauen in die jeweilige Sichtweise der bewussten Welt zu verstärken. Diese gegenseitige Bestätigung von Erlebnisweisen wird als **konsensuale Validierung** bezeichnet.

Und Tart fährt dann fort: „Für ein bestimmtes Individuum besteht eine Bewusstseinsveränderung darin, dass die Person eine qualitative Veränderung in ihrem geistigen Funktionsmuster wahrnimmt, das heißt, dass alle Personen nicht nur eine quantitative Veränderung (wie zum Beispiel sehr erregt, weniger erregt, erregt und so weiter) wahrnehmen, sondern die Qualität oder die Qualitäten ihrer mentalen Prozesse sich verändern. Es zeigen sich dann – normalerweise nicht vorhandene – mentale Funktionen, und es erscheinen perzeptive Qualitäten, für die es kein normales Gegenstück gibt, und so weiter. Es gibt eine Reihe

von Zuständen, die im Grenzbereich liegen und in denen das Individuum nicht im Stande ist, seinen momentanen Bewusstseinszustand von einem normalen zu unterscheiden."

Wenngleich wir heute noch nicht über eine konsistente Theorie der Zustände des Bewusstseins verfügen, so liegen doch zahlreiche Forschungsergebnisse und klinische Berichte über Schlaf- und Traumzustände, Tagträume, sensorische Deprivation, Hypnosezustände, hysterische und Depersonalisationszustände sowie über pharmakologisch induzierte psychedelische und andere Bewusstseinszustände vor, die die Bedeutung dieses Bereichs erkennen lassen, der seit Tart (1969) zusammenfassend als ASC (*altered states of consciousness*) bezeichnet wird.

Veränderter Bewusstseinszustand
„eine derartige qualitative Veränderung des Gesamtmusters psychischen Funktionierens, dass das eigene Bewusstsein sich radikal von der Art unterscheidet, wie es, normalerweise' funktioniert" (Tart 1972).

Das heißt, normales Wachbewusstsein wird zugleich definiert als das Gesamtmuster psychischen Funktionierens. Von diesem unterscheidet sich ein ASC insofern, als normale Reize in signifikant anderer Weise verarbeitet werden und so zu Erfahrungen beziehungsweise Erlebnissen führen, die in der sogenannten westlichen Zivilisation nicht gewöhnlich (normal) sind. Das heißt aber auch, dass die Existenz eines ASC aufgrund des Eigenberichts des Individuums sowohl über seine subjektive Erfahrung festgestellt werden kann, als auch auf Grund der beobachtbaren Wechselwirkung mit der Umwelt oder dem Beobachter.

Entstehung veränderter Bewusstseinszustände

Zur Aufrechterhaltung unseres normalen Wachbewusstseins scheint neben anderen Faktoren, zum Beispiel physiologischen, ein bestimmtes optimales Ausmaß an **exterozeptiver**, das heißt von außen empfangener, **Stimulation** notwendig. Überschreitungen (zum Beispiel Reizüberflutung, Veitstanz) sowie Unterschreitungen (sensorische Deprivation, das heißt Entzug von Sinnenreizen) dieses mittleren Bereichs äußerer Stimulation bewirken bei längerer Einwirkung, dass in dem betroffenen Individuum ein ASC erzeugt wird (Lindsley 1961).

Veränderte Bewusstseinszustände können sowohl absichtlich wie unbeabsichtigt induziert werden:

1. *absichtlich* durch die Einnahme oder Injektion von psychogen wirkenden Stoffen wie zum Beispiel Alkohol, psychedelischen Drogen, stimulierenden oder sedierenden Pharmaka;
2. *unbeabsichtigt* durch physische Einflüsse wie Fieber, übermäßigen Hunger, Durst, Deprivation von Schlaf oder einer Minderstimulation, hormonelle Fehlversorgung oder unfreiwillig aufgenommene Gifte (in Nahrung, Wasser oder Luft);
3. können Bewusstseinsveränderungen aber auch durch verschiedenste Tätigkeiten und Praktiken *psychologisch induziert* werden, so zum Beispiel durch Meditation oder Yoga, aber auch durch Konzentration, mystische oder religiöse Versenkung, durch Lernen, Suggestion oder Hypnose, religiöse oder kulturelle Riten, Tänze sowie nicht zuletzt durch psychische Erkrankungen (Neurosen, Depressionen, Psychosen). Wobei man auch hier in vielen Fällen bereits nachweisen konnte, dass diese psychologisch induzierten Zustände zu beachtlichen physiologischen und biochemischen Funktionsveränderungen führen (Orme-Johnson und Farrow 1977; eine Einführung findet sich bei Becker-Carus 1980).

Veränderte Bewusstseinszustände können ferner bei längerer sozialer und **sensorischer Deprivation**, zum Beispiel auf See (Anderson 1942; Gibson 1953), in der Arktis (Byrd 1938) oder in der Wüste sowie unter Einzelhaftbedingungen (Burney 1952), auftreten. Auch das **Break-off-Phänomen** bei Jetpiloten in großen Höhen beim Alleinflug (Bennett 1961) ist hierher zu rechnen. Als Break-off-Phänomen bezeichnet man ein Gefühl der Isolation, der leichten Desorientierung, des Träumens, manchmal des Sichdrehens. Es tritt vorwiegend auf, wenn Eigenaktivität nicht notwendig ist.

Reizüberflutung kann ebenfalls – beabsichtigt oder unbeabsichtigt – zu veränderten Bewusstseinszuständen führen. Die höheren psychischen Erregungszustände können vor allem bei überstarker sensorischer Reizüberflutung, nach extremer physischer Aktivität und Erschöpfung sowie infolge tiefgreifender emotionaler Erregung auftreten. Genannt seien zum Beispiel hyperkinetische **Trancezustände** (Sargant 1957), religiöse Konversionstrance (Sargant 1957), schamanistische Trancezustände bei Stammeszeremonien und -riten (Field 1960; Murphy 1964), orgiastische (Dodds 1963) oder ekstatische Trance wie bei den tanzenden Derwischen (Williams 1958) sowie Trance nach überlanger Masturbation (Ludwig 1969, S. 11).

Überhöhtes psychisch-mentales Engagement führt dagegen eher zu Bewusstseinsveränderungen mit starken **Wachsamkeitsminderungen**, wie dies nach überlangen Vigilanztätigkeiten der Fall sein kann; Vigilanztätigkeiten erfordern über längere Zeit eine gleichbleibende Aufmerksamkeit. Beschrieben wurden solche Zustände nach langer Radarschirmbeobachtung (Heron 1957), Schilderhauswache (Heron 1957), nach inbrünstigem Gebet (Bowers 1959) oder nach intensivem Zuhören eines dynamischen oder charismatischen Redners (Ludwig 1965).

Gemeinsame Merkmale verschiedener Bewusstseinszustände

Obgleich bereits die Aufzählung verschiedener Bewusstseinszustände auf offensichtliche Unterschiede hinweist, lässt sich doch eine Reihe gemeinsamer Merkmale und Eigenheiten feststellen, die in unterschiedlichem Ausprägungsgrad für die meisten veränderten Bewusstseinszustände charakteristisch sind (nach Ludwig 1969):

1. **Kontrollverlust:** Beim Einstieg in einen anderen Bewusstseinszustand wird oft eine gewisse Angst erlebt, den Bezug zur Realität und die Kontrolle über sich selbst zu verlieren. Häufig tritt dieses Erlebnis auch während eines veränderten Bewusstseinszustandes auf. Wir können dabei in der **Induktionsphase** in zweifacher Weise reagieren: Wir können aktiv versuchen, uns dem Übergang in einen anderen Bewusstseinszustand zu *widersetzen*, wie zum Beispiel beim Schlaf, bei der Hypnose oder der Anästhesie. Wir können aber auch,

wie in anderen Fällen, die Abnahme des willentlichen Einflusses begrüßen und uns ganz dem neuen Erleben *hingeben*, zum Beispiel nach dem Konsum narkotischer Drogen, bei Alkoholgenuss, LSD oder mystischen Zuständen.
Der Verzicht auf bewusste Kontrolle kann in der Folge sowohl Gefühle der Hilflosigkeit, der Ohnmacht und Impotenz hervorrufen, er kann aber auch paradoxerweise als Gewinn größerer Kontrolle und Macht erlebt werden, wie es zum Beispiel von hypnotisierten Personen beschrieben wird (Gill und Brennan 1959). Dies dürfte, soweit bekannt, auch in mystischen und hellseherischen Zuständen der Fall sein, in denen auf bewusste Kontrolle verzichtet wird, in der Erwartung, göttliche Wahrheiten, Clairvoyance oder kosmische Erhellung zu erfahren.

2. **Veränderungen im Denken:** Es kommt allgemein zu einem Vorherrschen archaischer Denkweisen, die Realitätsüberprüfung ist in unterschiedlichem Maße gestört, Unterscheidungen von Ursache und Wirkung werden unklar. Das gleichzeitige Vorhandensein sich widersprechender Gegensätze wird wahrgenommen ohne Erlebnis eines (psycho)logischen Konflikts, wie dies bisweilen auch im Traum erfahren werden kann.
3. **Veränderte Zeitwahrnehmung** Auftreten subjektiver Empfindung der Zeitlosigkeit, Aufhebung chronologischer Abfolgen, Erlebnisse des Zeitstillstands, der Zeitbeschleunigung oder -verlangsamung, der Zeitunendlichkeit.
4. **Veränderungen des emotionalen Ausdrucks:** Häufig kommt es zu plötzlichem, unerwartetem Ausdruck kindlicher (primitiver) und intensiver Emotionen, zu denen der zivilisierte Erwachsene normalerweise nicht fähig zu sein scheint. Sie reichen von ekstatischen Zuständen bis zu tiefer Angst und Depression.
5. **Veränderungen unseres Körperschemas:** Diese können vielfältig sein, nicht nur die verschiedensten Teile unseres Körpers werden als verschoben, mächtig vergrößert, verzerrt, schwer oder gewichtslos, fremd oder vertraut erlebt, es treten ebenso plötzlich Erlebnisse von Schwindel, Schwäche, Erstarrung oder verschwimmender Wahrnehmung auf. Ferner kann es zum Erlebnis der Depersonalisierung kommen, der Spaltung zwischen Körper und Selbst, zum Erlebnis der Entrealisierung, der Auflösung der Grenzen zwischen sich selbst und anderen, der Welt, dem Universum. Dabei können diese Erlebnisse einerseits als bedrohlich und erschreckend erlebt werden, wie zumeist nach toxischen Situationen, Anfällen oder auch Drogeneinnahme. Sie werden dagegen bei Vorliegen eines eher mystischen oder religiösen *Settings* in der Regel als angenehm, willkommen und erlösend erlebt; als transzendentale oder mystische Erfahrung, als „Erweiterung des Bewusstseins".
6. **Wahrnehmungsveränderungen:** Sie treten in den meisten veränderten Bewusstseinszuständen auf und umfassen verstärkt visuelle Vorstellungskraft, Halluzinationen, subjektive Überprägnanz der Wahrnehmung und Illusion verschiedenster Art. Die Inhalte dieser Wahrnehmungen sind vielfach *kulturspezifisch* und mit bedingt durch individuelle Erfahrungen sowie neurophysiologische Faktoren. Häufig stellen sie auch Wunscherfüllungsfantasien dar oder repräsentieren in mannigfaltiger Form sonst verborgene Ängste, Konflikte, Hoffnungen oder auch nur Phänomene von weniger dynamischem Sinn, wie Halluzinationen von Farben, Licht oder geometrischen Figuren in Bewegung. Bei entsprechender Veranlagung können sich die Erlebnisse in Bildern niederschlagen, die dann auch in die Therapie miteinbezogen werden können. In manchen Bewusstseinszuständen, wie sie durch psychedelische Drogen, Marihuana oder durch mystische Kontemplation erreicht werden, kommt es auch zu faszinierenden **Synästhesien**, in denen Erlebnisse einer Sinnesmodalität in die einer anderen übertragen werden, sodass zum Beispiel Töne gesehen oder gefühlt, Farben gehört oder Seherlebnisse geschmeckt werden können.
7. **Veränderungen der Bedeutsamkeit:** Charakteristisch für fast alle Fälle von veränderten Bewusstseinszuständen ist der beeindruckende Nachdruck, mit dem wir unseren subjektiven Erlebnissen und Wahrnehmungen in diesem Zustand Wichtigkeit und erhöhte Bedeutung beimessen. Teilweise ist es so, als ob wir eine fortwährende Heureka-Erfahrung durchleben mit dem Eindruck von tiefster Einsicht, Erleuchtung und Wahrheitsfindung, wobei in psychotischen Zuständen der Übergang nicht weit ist, auch äußeren Gegenständen und Ereignissen falsche Bedeutsamkeiten zuzuschreiben („psychotische Einsichten").
8. **Unaussprechlichkeit:** Die Einzigartigkeit der subjektiven Erfahrungen verschiedener Bewusstseinszustände (transzendentale, psychotische, mystische) ist vielfach mit der Auskunft der Person verbunden, sie könne über ihre Erfahrungen mit anderen, die solche Erfahrungen nicht gemacht haben, nicht kommunizieren. In vielen Fällen kommt es bekanntlich auch zum Aufbau von (unterschiedlich starken) Amnesien für die erlebten Zustände, wie zum Beispiel nach hypnotischer, somnambulistischer Trance, nach Träumen, Delierzuständen oder Ekstasen, was dem unbeteiligten Beobachter oft unverständlich erscheint.
9. **Erlebnisse der Verjüngung:** Diese treten nur in bestimmten Fällen auf, so nach der Rückkehr aus bestimmten tiefen Bewusstseinsveränderungen wie im psychedelischen Experiment, nach Äther- oder CO_2-Applikation, nach tiefer Hypnose oder transzendentalen und mystischen Zuständen, nach Komatherapien, primitiven Pubertätsriten und bisweilen auch nach Tiefschlaf. Sie werden beschrieben als Erlebnis einer Erneuerung, Verjüngung oder Wiedergeburt (La Barre 1962, 1964; Ludwig und Levine 1966).

In vielen Fällen sind veränderte („erweiterte") Bewusstseinszustände von einem ungeheuren Gefühl der *Sicherheit* und der *Einzigartigkeit* durchdrungen. Man hat das Gefühl, dass das Erlebnis sehr wertvoll, ja einzigartig wertvoll ist. Es ist einem zumute, als könne man in diesem Zustand über die sonstige Scheinwirklichkeit hinaus die essenziellen Qualitäten, den Kern der absoluten Wahrheit, erfassen. Häufig werden solche Erlebnisse als realer oder als wahrer bezeichnet als die Wahrnehmung des normalen Bewusstseins. Auch Sinnestäuschungen oder Halluzinationen, die dabei auftreten können, werden in solchen Bewusstseinszuständen als unbezweifelbar erlebt. Bemerkenswert an diesen Erlebnissen ist, dass sie zumeist *nicht kommunizierbar* sind. Die erlebten Qualitäten scheinen so einmalig

zu sein, dass einfach die Worte fehlen, sie zu beschreiben. Auch kann das Erlebte derartig paradoxe Qualitäten und Zusammenhänge enthalten, dass die Beschreibung – ähnlich wie in manchen Träumen – keinen vernünftigen Sinn ergeben würde. Auch die Grenzen zwischen dem Selbst und den Anderen, zwischen Innerem und Äußerem, zwischen verschiedenen Orten verschwinden und verwischen sich, sodass ein Berichten nahezu unmöglich erscheint. Willentlich herbeigeführte Veränderungen dieser Art werden meist als erfreuliche *Bewusstseinserweiterung* beschrieben. Bekannt sind aber auch misslingende Versuche (Horrortrip).

5.2.5 Krankhafte Bewusstseinsveränderungen

Auch die Übergänge zu krankhaften Verzerrungen von Wahrnehmung und Denken sind fließend. In ihren ausgebildeten Formen werden sie als Störungen oder Erkrankungen bezeichnet und als solche im Bereich der Psychiatrie ausführlich und systematisch behandelt. Hier mögen wenige Hinweise zum Verständnis der Bewusstseinsveränderungen genügen.

Bei den in diesem Zusammenhang auftretenden **Illusionen** (► Abschn. 3.3.7) handelt es sich um Wahrnehmungstäuschungen beziehungsweise um Missdeutungen von Sinneseindrücken (illusionäre Verkennungen).

Halluzinationen sind dagegen eigentliche Trugwahrnehmungen, vermeintliche Wahrnehmungen ohne Sinneseindrücke. Es wird zum Beispiel eine Person im Raum wahrgenommen, oder es werden Stimmen gehört, wo tatsächlich keine sind. Der Grad des Realitätscharakters und der Unterscheidung (zum Beispiel bei Stimmen) von den eigenen Gedanken ist recht unterschiedlich. Es kommen Halluzinationen aller Sinneseindrücke vor, wie Gesichts-, Gehör-, Geschmacks-, Geruchs-, Tast- und Körperhalluzinationen.

Zu den inhaltlichen Denkstörungen werden neben **Zwangsideen** (Zwangsvorstellungen) und **Phobien** (Ängsten) vor allem die verschiedenen **Wahnzustände** (Wahnideen) gerechnet, bei denen nicht das Wahrnehmungs-, sondern das Gedankensystem gestört ist, wodurch es zu Fehlinterpretationen in falschen Kontexten kommt. So können in einer psychiatrischen Klinik Krankenbesucher oder Schwestern zum Beispiel als feindliche Agenten erlebt werden, von denen Gefahr ausgeht (zum Beispiel vergiftet zu werden). Derartige Wahnideen erwachsen aus einem affektiven Bedürfnis, dem sogenannten „Wahnbedürfnis", und werden als völlige Gewissheit erlebt, die objektiv falsch ist und trotz gegenteiliger Erfahrung nicht korrigiert wird. Am häufigsten sind Verfolgungs- und Größenwahn, gefolgt von Eifersuchts-, Versündigungs-, Verarmungs- sowie Beziehungswahn (Spoerri 1965).

Von den hier angesprochenen Störungen werden in der Psychiatrie als eigentliche **reine Bewusstseinsstörungen** die folgenden gesondert abgehoben: Benommenheit (Somnolenz, Koma), Bewusstseinstrübung (Verwirrtheit) und traumhafte Bewusstseinseinengung (Dämmerzustand).

Einen weiteren Bereich bilden die **Neurosen** und **Hysterien**. Wenn der Mensch sich von den Gefahren und Veränderungen des Lebens ständig bedroht fühlt und nicht damit fertig wird, weil die gewöhnlichen Abwehrmechanismen in ihrer Effektivität versagen, kommt es zum Verlust der Freude am Leben und zur Herausbildung **neurotischer Abwehrmechanismen**, die in permanenter und gefährlicher Weise für das Individuum ineffektiv sind.

Bei der **Angstneurose** leiden die Personen chronisch unter Angst oder werden zeitweise von Angst überfallen, die ihnen selbst unerklärlich ist. Dabei handelt es sich nicht um Angst vor irgendeiner äußeren Gefahr, sondern die *Gefahr droht von innen*. Die Personen glauben zum Beispiel, bestimmte Gefühle oder Wünsche (Feindseligkeit, sexuelles Verlangen) nicht haben zu dürfen, sind aber unfähig anzuerkennen, dass sie sie haben. Diese Impulse werden aus dem Bewusstsein gestoßen, verdrängt, und es kann dann zu verzweifelten Anstrengungen kommen, um sie am Wiederauftauchen zu hindern, wobei erneut Ängste erlebt werden, mit denen schließlich auch körperliche Symptome wie Herzklopfen und Atembeschwerden einhergehen können, die, wahrgenommen, ihrerseits die Ängste wieder steigern.

Bei den **Phobien** wird die Angst vor bestimmten Objekten oder Orten erlebt, an die sie geknüpft scheint, von denen aber realiter keinerlei Gefahr ausgeht. Dies ist der Person oft klar und macht die Angst noch unerträglicher, sodass **Vermeidungs-** oder **Vorsichtsmaßregeln** getroffen werden. Können diese nicht eingehalten werden und kommt es doch zu einer Konfrontation mit dem jeweiligen Objekt, so führt das zu heftigsten, teils panikartigen Reaktionen. Da die **phobischen Objekte** oft **symbolischen Charakter** haben, wird angenommen, dass die Personen die Ängste in irgendein passendes äußeres Objekt verlegen, um sie „aus dem Sinn" zu verbannen.

Bei der **Zwangsneurose** kommt es zu Zwangsvorstellungen oder auch zu Zwangshandlungen. Unangemessene Gedanken, häufig von Blut, Messer oder sexuellen Szenen, drängen sich mit Beharrlichkeit ohne eigentlichen Anlass dem Bewusstsein auf und können nicht unterdrückt werden. Auch hier gibt es leichte Formen, die wohl schon jeder erlebt hat, wie zum Beispiel die wiederkehrende Befürchtung, ob ich die Herdplatte wirklich abgeschaltet, den Wasserhahn zugedreht, die Tür abgeschlossen habe (Kontrollzwang). Eigentliche **Zwangsvorstellungen** sind aber wesentlich aufdringlicher, penetranter und hindern den Betroffenen schließlich daran, seinen täglichen Aufgaben nachzugehen. Sie können ihn nahezu existenzunfähig machen. Das Gleiche gilt für **Zwangshandlungen**, die ritualisiert immer und immer wieder ausgeführt werden (Zwangszeremonien, Zähneputzen, Waschzwang) und das Bewusstsein derartig besetzen, dass keine Zeit für andere Dinge bleibt – auch nicht für die Ausführung der zugrunde liegenden, angenommenen emotionalen Triebhandlungen, vor denen das Zwangsgeschehen (nach psychoanalytischer Interpretation) damit schützen soll. **Zwangsrituale** können durch übermäßige Schuldgefühle ausgelöst werden, deren Ursachen damit gleichsam ungeschehen gemacht werden sollen (Lady-Macbeth-Reaktion).

Bei der **hysterischen Neurose** kann die Veränderung des Bewusstseins so weit fortschreiten, dass es zur Auflösung der Konstanz des Selbsts und damit zu einer **hysterischen Bewusstseinsspaltung** kommt, zu der als extremste Form die sehr seltene **multiple Persönlichkeit** (► Exkurs 5.21) zählt, wobei stets als treibender Faktor eine überhöhte Flucht- oder Vermeidungstendenz deutlich wird, die jedoch das Bewusstsein direkt nicht erreicht.

Exkurs 5.21

Genauer betrachtet: Eva White – zwei Persönlichkeiten in einem Körper

Die 25 Jahre alte Eva White lebte von ihrem Mann getrennt und suchte wegen heftiger unerträglicher Kopfschmerzen, die häufig von einem Bewusstseinsverlust begleitet wurden, einen Therapeuten auf. Während einer ihrer ersten Therapiesitzungen war Eva sehr aufgeregt: Sie berichtete, sie habe vor kurzem einmal Stimmen gehört. Plötzlich legte sie beide Hände an ihre Schläfen, schaute mit einem herausfordernden Lächeln zum Arzt auf und stellte sich als „Eva Black" vor.
Nach Stimme, Gesten und Manieriertheit dieser zweiten Eva war es offensichtlich, dass sie eine separate Persönlichkeit war. Sie wusste alles von dem, was Eva White tat, aber diese war sich der Existenz von Eva Black in keiner Weise bewusst. Eva Whites „Bewusstseinsverluste" waren in Wirklichkeit die Perioden, während derer Eva Black die Kontrolle innehatte, und die „Stimmen" bezeichneten die erfolglosen Versuche Eva Blacks „herauszukommen" … (Thigpen und Cleckley 1954, 1957; nach Ruch und Zimbardo 1974).

5

Ungewöhnlich ist es sicher nicht, „wenn jemand einen Termin beim Zahnarzt vergisst, ein Student am Tag der Prüfung krank wird, ein Sänger vor dem Termin zum Vorsingen eine Kehlkopfentzündung bekommt oder wenn ein Jockey sein Pferd zum Lahmen bringt, so dass er nicht am Rennen teilzunehmen braucht" (Ruch und Zimbardo 1974, S. 432). Ähnlich wie in diesen „normalen" Fällen der Vermeidung „gefürchteter" Situationen, in denen das Gedächtnis oder die physische Funktion versagt, ohne dass wir es uns vorzuwerfen haben, geschieht es auch in den eigentlich abnormalen, krankhaften Zuständen, in denen es zum Ausfall motorischer oder sensorischer Funktionen kommt, ohne dass eine organische Störung als Ursache nachzuweisen ist. Bei einer solchen **Konversionshysterie** kann eine Person plötzlich nicht mehr sprechen, einen Arm oder ein Bein nicht mehr bewegen (hysterische Lähmung) oder nicht mehr hören (Taubheitshysterie), fühlen oder sehen (hysterische Gesichtsfeldeinschränkung bis zur Blindheit). Diese Arten der **Konversionsreaktionen** haben aber interessanterweise mit dem Grad der medizinischen Aufgeklärtheit in unseren Zivilisationskreisen stark abgenommen. Sie sind aber in sehr bedrängenden außergewöhnlichen (zum Beispiel politischen Situationen) auch heute noch präsent.

Die **hysterische Bewusstseinsspaltung** ist dadurch gekennzeichnet, dass die Konstanz des bewussten Selbst verlassen und ein Teil derselben (der unangenehme) geleugnet wird. Einerseits werden hierzu bestimmte Formen des Somnambulismus (Schlafwandeln) gerechnet, in welchem die Person umhergehen und (symbolische?) Handlungen ausführen kann, die nachher nicht erinnert werden, sowie nicht bewusst ablaufende Tics und Manierismen, die ihr Eigenleben führen. Dies gilt auch für die jeweils zweite Person der multiplen Persönlichkeit.

5.3 Schlaf, Traum und zirkadiane Rhythmik

Spätestens wenn der Schlaf nicht mehr selbstverständlich kommt oder aber sein erholsamer Charakter gestört ist, fangen wir an, uns ernsthaft darüber Gedanken zu machen, was sich eigentlich in der Nacht abspielt. Nacht für Nacht wechseln wir in der Regel täglich mindestens einmal unseren **Bewusstseinszustand** und gleiten vom **Wachbewusstsein,** über das wir bisher gesprochen haben, in den **Schlafzustand**, in welchem wir unterschiedliche Phasen des Träumens und Schlummerns durchleben, aber den die Wissenschaft bis vor wenigen Jahrzehnten kaum als Forschungsgegenstand betrachtet hat. Dies scheint erstaunlich, da wir doch rund ein Drittel unseres Lebens im Zustand des Schlafes verbringen, und das ist viel mehr Zeit, als wir für jede andere einzelne motivierte Tätigkeit unseres Lebens in Anspruch nehmen. Erst in den letzten etwa 70 Jahren haben wir mehr über den Schlaf erfahren als alle Jahrtausende zusammengenommen davor. Die zunehmende intensive Forschung machte schon sehr bald deutlich, dass der Schlaf nicht nur ein besonderer Bewusstseinszustand mit dem Fehlen von Tageswachheit ist, sondern dass der Schlaf eine besondere, auch zeitlich strukturierte, spezielle Aktivität des Gehirns, der hormonellen und immunologischen Abläufe, aber auch der gedanklichen Prozesse von Vorstellungskraft und Kreativität darstellt, der durch recht präzise arbeitende Mechanismen reguliert und gesteuert wird (Hobson 1988).

Schlaf

wird definiert als: periodischer, natürlicher, reversibler Verlust des Wachbewusstseins

Andererseits wirkte sich die moderne und inzwischen intensiv betriebene **Schlafforschung** auch auf die gesundheitliche Versorgung sowie Ausbildung und Weiterbildung von Ärzten und Psychologen aus, nachdem zunächst in den USA Hunderte von *sleep disorder centers*, dann auch im deutschsprachigen Raum Schlaflabore und schlafmedizinische Zentren in großer Zahl (2002 waren es 244 in der BRD) gegründet wurden (zusammengeschlossen in und akkreditiert von der Deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin, DGSM).

Bevor der Schlaf wissenschaftlich untersucht werden konnte, mussten *äußere* Indikatoren gefunden werden, die sich objektiv beobachten und messen ließen. Wie nicht selten in der Forschung wurde auch in der Schlaf- und Traumforschung der entscheidende neue Zugang zu den Phänomenen des Schlafes durch einen Zufall entdeckt: Nathaniel Kleitman und eine seiner Doktoranden, Eugene Aserinsky, die die Schlafgewohnheiten von Säuglingen untersuchten (Aserinsky und Kleitman 1953), bemerkten eines Tages, dass sich die Augen eines bereits eingeschlafenen Kindes in langsam rollenden Bewegungen unter geschlossenen Lidern immer noch bewegten. In ihren weiteren Untersuchungen registrierten die beiden Forscher mithilfe des von Berger 1929 entdeckten Elektroencephalogramms (EEG) (► Exkurs 5.22) die Hirnstromkurven ihrer kleinen Testschläfer zusammen mit den Augenbewegungen und dem Atemrhythmus.

Dabei stellten sie zu ihrer Überraschung fest, dass regelmäßig in Abständen von etwa 1 h plötzlich Perioden sehr schneller, ko-

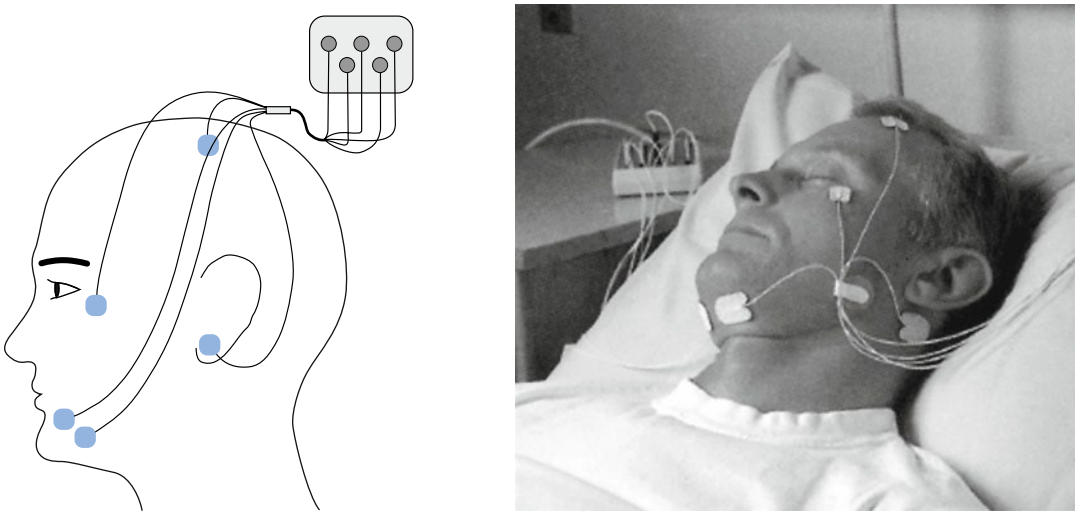


Abb. 5.26 Elektrodenanordnung zur elektrophysiologischen Schlafuntersuchung. Gezeigt sind die typischen Ableitpunkte am Kopf zur Elektrodenplatzierung und Ableitung des Polysomnogramms. Die Schädelelektrode (hier ist nur eine zentrale Ableitung gezeigt) dient – zusammen mit der Ohrelektrode als „Neutralpunkt" – zur Ableitung des EEG. Die Kinnelektroden registrieren die Spannung und elektrische Aktivität der Muskulatur (EMG). Hierzu kommen, je nach Fragestellung, auch weitere EMG-Elektroden, beispielsweise an den Beinen. Die Elektroden beidseitig an den Augen (vgl. Exkurs 5.14) registrieren die Augenbewegungen, da sich die Augäpfel wie elektrische Dipole verhalten und bei Bewegung Spannungsänderungen hervorrufen, die von den beiden Elektroden abgegriffen, dann verstärkt und aufgezeichnet werden. (Atkinson et al. 1983, p. 170)

ordinierter Augenbewegungen auftraten, die sie bislang übersehen hatten. In einer ersten kurzen Zeitschriftennotiz berichteten sie 1953 über ihre Beobachtung und nannten die neu entdeckte Schlafphase, die sie auch bei erwachsenen Testschläfern wiedergefunden hatten, als **REM-Schlaf** (*rapid eye movements* = schnelle Augenbewegungen), der, wie sich später zeigte, vornehmlich mit detaillierten Traumerlebnissen verbunden ist und daher zunächst auch als **Traumschlaf** bezeichnet wurde.

Bekannt war bereits aus den Arbeiten von Loomis et al. (1937), dass sich die Gehirnwellen mit dem Beginn des Schlafes systematisch verändern. Mit diesen Entdeckungen der Messbarkeit der allnächtlichen **Bewusstseinsveränderung** im Labor nahm die Schlafforschung einen rapiden Aufschwung und ist heute zu einem wichtigen medizinisch-psychologisch sowie neurophysiologischen Forschungszweig angewachsen.

Heute wissen wir, dass es sich beim Schlaf nicht um einen einfachen Ruhezustand des Gehirns handelt, sondern um einen sowohl endogen als auch exogen gesteuerten *aktiven Prozess des Gehirns*, der beim gesunden Schläfer mit klarer Regelmäßigkeit rhythmisch gegliedert ist in REM-Schlaf und Non-REM-Schlaf. Er ist darüber hinaus, wie die moderne Polysomnografie (Vielfachschlafaufzeichnung) zeigte, in weitere elektrophysiologisch unterscheidbare und messbare **Schlafstadien** unterteilt. Bei der Polysomnografie, dem Kernstück der Schlafforschung, werden – über auf der Kopfhaut und anderen Körperstellen angelegte Elektroden und Messwandler – gleichzeitig viele verschiedene Schlafparameter aufgenommen und registriert. Zu den inzwischen normierten Standardmethoden zählen vor allem das EEG mit mehreren Ableitungen, das Elektrookulogramm (EOG) und das Elektromyogramm (EMG). Darüber hinaus werden gleichzeitig weitere Parameter aufgezeichnet, wie der Atmungsverlauf (Respiration), die Herztätigkeit (EKG), der Puls und die variable Sauerstoffsättigung des Blutes (Pulsoximetrie), Blutdruck, Temperaturverlauf oder auch die Körpermotilität (Aktometrie). Insbesondere die ersteren dienen zur Definition verschiedener Schlafstadien, die dann in ihrem Wechsel für die über die Nacht ablaufenden Schlafphasen kennzeichnend sind. ◘ Abb. 5.26 zeigt die wichtigsten Ableitpunkte am Kopf.

Heute werden nach Rechtschaffen und Kales (1968) beim Menschen sechs verschiedene Schlafstadien einschließlich des Wachzustands unterschieden, deren Charakteristika auf dem Schlaf-EEG, dem Schlaf-EOG und dem Schlaf-EMG beruhen. Die vier Non-REM-Stadien (leichter und tiefer Schlaf) werden von 1 bis 4 durchnummeriert, und das fünfte Stadium wird gesondert als REM-Stadium bezeichnet. Die charakteristischen EEG-Verläufe dieser Schlafstadien werden in ▶ Exkurs 5.22 dargestellt und besprochen. Die zugehörigen Bewusstseinsvorgänge, ihre Erinnerbarkeit und die Weckschwelle sind in ◘ Abb. 5.28 zusammengestellt.

5.3.1 Schlafphasen und Schlafrhythmik

Schlafphasen einer Nacht

Den durchschnittlichen Verlauf der verschiedenen EEG-Schlafstadien während eines typischen Nachtschlafes zeigt ◘ Abb. 5.29. Nachdem sich der Testschläfer niedergelegt und die Augen geschlossen hat, beginnt das Einschlafen mit dem Stadium-1-Schlaf, wie in ▶ Exkurs 5.19 dargestellt, und setzt sich dann über die Stadien 2 und 3 bis zum **Tiefschlafstadium** 4 fort, wobei die Amplitude der EEG-Signale immer mehr zunimmt, während die Frequenz abnimmt. Hier im Schlafstadium 4 verweilt der Schläfer in der Regel einige Zeit (es ist zumeist die längste Tiefschlafphase), bis er dann alle Schlafstadien in umgekehrter Reihenfolge erneut durchläuft und nach etwa 90 min seit Schlafbeginn zum Stadium-1-Schlaf auftaucht (erstes Auftauchstadium). Hier kommt es in der Regel zum ersten REM-Schlaf, der durch die schnellen Augenbewegungen charakterisiert ist und von einem

Exkurs 5.22

Genauer betrachtet: Die elektrophysiologische Hirnaktivität im Schlaf

Abb. 5.27 repräsentiert typische EEG-Aufzeichnungen vom menschlichen Schädel während des Wachens und während der verschiedenen Schlafstadien. Der aktive Wachzustand (mit geschlossenen Augen) ist charakterisiert durch schnelle Alpha-Aktivität mit einer Frequenz von 8–12 Hz. Beim Übergang in den Schlaf, dem Einschlafzustand, kommt es zum Zerfall der regelmäßigen Alpha-Wellen und dem Vorherrschen einer Mischfrequenz von 3–7 Hz (Theta-Aktivität). Dieses Schlafstadium 1 ist wesentlich ein Übergangszustand zu den tieferen Schlafstadien. Bewusstseinsmäßig ist er charakterisiert durch hypnagoge Halluzinationen sowie fragmentarisch auftauchende Bilder. Das sich beim normalen Einschlafprozess anschließende Schlafstadium 2 ist definiert durch das Auftreten charakteristischer **Schlafspindeln**, das heißt kurzen, 1–2 s andauernden Entladungen mit einer Frequenz von 12–16 Hz. Außerdem ist es gekennzeichnet durch plötzlich auftretende **K-Komplexe**, das heißt einem scharfen Anstieg (Negativierung) und nachfolgendem starken Abfall (Positivausschlag) des fortlaufenden EEG-Wellenmusters. Die Schlafstadien 3 und 4, die auch als **Tiefschlafphasen** bezeichnet werden, sind gekennzeichnet durch das Auftreten von hochamplitudigen langsamen (1–2 Hz) **Delta-Wellen**, die im Stadium 3 definitionsgemäß 20–50 % der Aufzeichnungseinheit umfassen, während bei einem Vorherrschen von 50 % oder mehr Delta-Wellen definitionsgemäß Stadium 4 vorliegt. Während dieser Tiefschlafphase beziehen sich die **Bewusstseinsvorgänge** auf ferne Tageserinnerungen, Gedanken oder Traumbruchstücke, die nur wenig emotional ablaufen und in der Regel nicht erinnert werden.

Im **REM-Schlaf-Stadium**, das im Laufe der Nacht wie dargestellt erst später auftritt, findet sich im EEG wieder ein Alpha-Theta-Rhythmus ähnlich wie im Stadium 1 oder Wachstadium. Gleichzeitig aber sind im EOG rasche kongruente Augenbewegungen zu beobachten, durch die dieses Stadium definiert ist (Abb. 5.28).

In diesem Stadium treten vor allem die lebhaften, organisierten Träume auf, sie werden als visuell, dramatisch und emotional erlebt und sind beim sofortigen Wecken meist gut erinnerbar.

In Tab. 5.2 sind die Charakteristika der verschiedenen Schlafstadien einschließlich Muskeltonus (EMG) nochmals zusammengefasst.

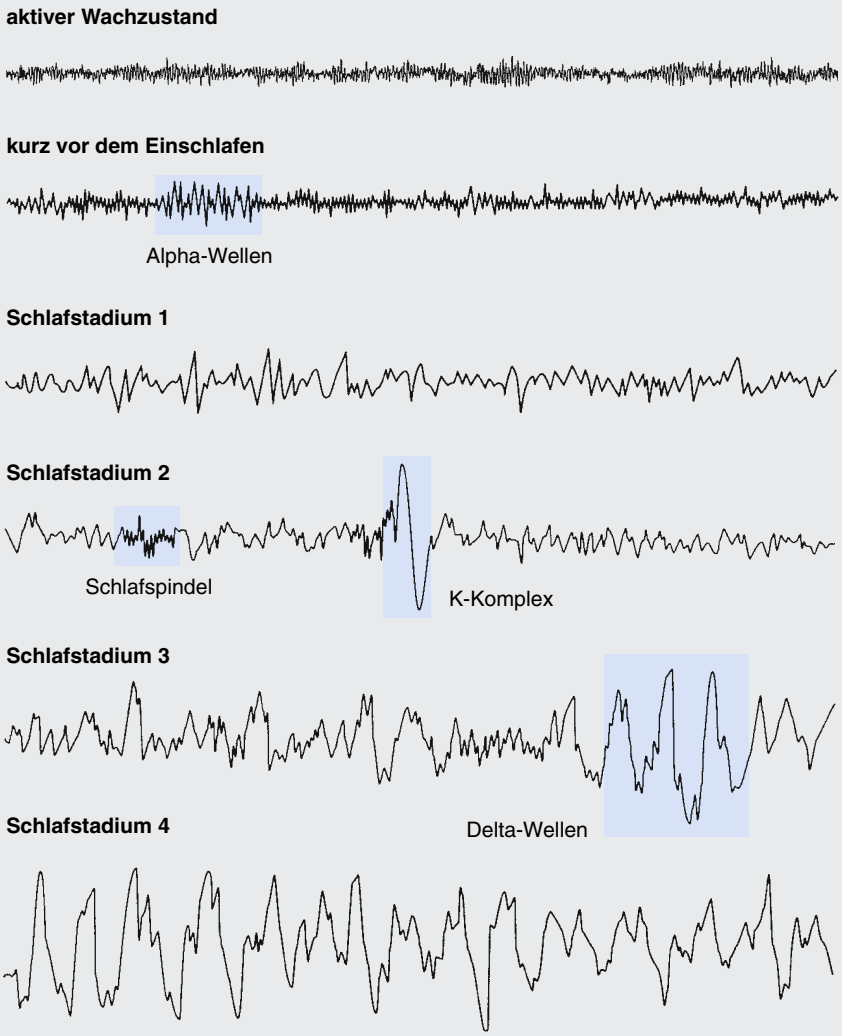


Abb. 5.27 Aufzeichnungen der elektrischen Hirnaktivität (das Elektroenzephalogramm) während verschiedener Schlafstadien. (Pinel 2000, © Schneck-DePippo Graphics)

Exkurs 5.22 (*Fortsetzung*)

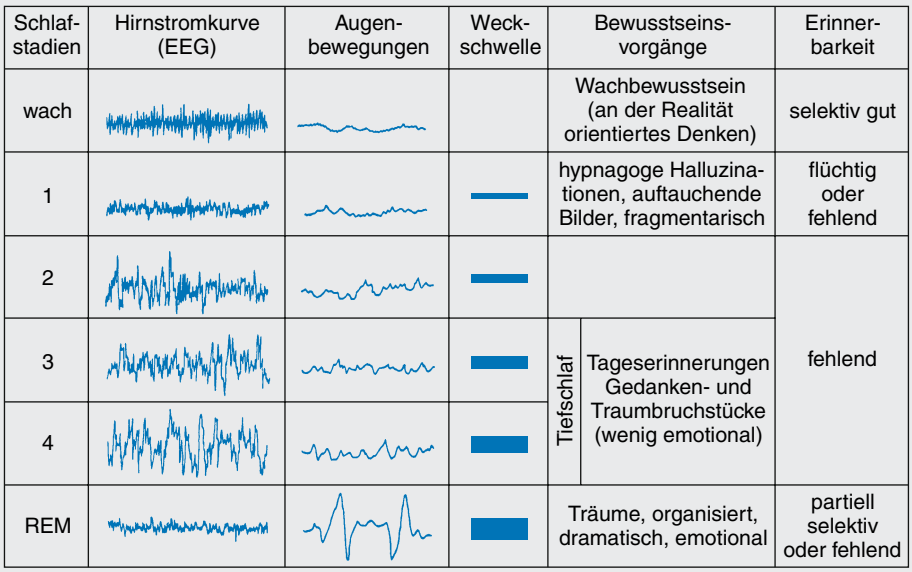


Abb. 5.28 Zusammenstellung der charakteristischen Hirnstromkurven, Augenbewegungen und Bewusstseinsvorgänge während der unterschiedlichen Schlafstadien

Tab. 5.2 Charakteristika der verschiedenen Schlafstadien. (Nach Rechtschaffen und Kales 1968)

Stadium	EEG	EOG	EMG	Anteile
WACH	Dominierende Alpha- und Beta-Aktivität	Lidschläge, rasche Augenbewegungen	Hoher Tonus, Bewegungsartefakte	<5 %
N-REM S1	Theta-Aktivität	Langsame, zum Teil rollende Augenbewegungen	Abnahme des Muskeltonus (<SW)	ca. 5 %
S2	Theta-Aktivität, K-Komplexe, Schlafspindeln	Keine Augenbewegungen, EEG-Artefakte	Abnahme des Muskeltonus (<S1)	ca. 45–55 %
S3	Delta-Aktivität > 20 %, < 50 %	Keine Augenbewegungen, EEG-Artefakte	Abnahme des Muskeltonus (< S2)	S3 + S4: ca. 15–25 %
S4	Delta-Aktivität > 50 %	Keine Augenbewegungen, EEG-Artefakte	Abnahme des Muskeltonus (<S3)	
REM	Theta- (auch langsame Alpha-) Aktivität, Sägezahnwellen	Konjugierte rasche Augenbewegungen (*rapid eye movements*)	Niedrigster mittlerer Tonus zum Teil phasische Aktivierung (<S4)	ca. 20–25 %

Verlust des Muskeltonus (sichtbar im EMG) begleitet wird. Diese Phasen werden daher auch als **paradoxer Schlaf** (PS) bezeichnet, im Gegensatz zum **orthodoxen** oder **Non-REM-Schlaf** (auch N-REM-Schlaf). Dieser Verlauf vom Leichtschlaf (Stadium 1) über die Stadien 2, 3, 4 und zurück zum REM-Schlaf wird als Schlafphase oder **Schlafzyklus** bezeichnet. Jeder Schlafzyklus hat eine durchschnittliche zeitliche Dauer von 90–110 min. An diese erste Schlafphase schließen sich, wie in Abb. 5.29 zu sehen, weitere drei bis vier solcher Phasen an, in denen der Anteil des Tiefschlafes (S3, S4) über die Nacht kontinuierlich abnimmt.

Dagegen werden die REM-Phasen im Laufe der Nacht immer länger. Sie dauern schließlich 35–60 min und umfassen gegen Ende des Schlafes bis zu 40 % der Schlafzeit.

Das Aufwachen erfolgt in der Regel aus einer solchen REM-Phase, deren Traum uns dann gerade noch in Erinnerung ist. Das Tiefschlafstadium (S4) wird im Allgemeinen nur in der ersten und zweiten, selten auch noch in der dritten Schlafphase erreicht. Auch treten bisweilen (auch bei gesundem Schlaf) während der Nacht vereinzelt Wachperioden auf, an die sich der Schläfer am nächsten Morgen nicht erinnern kann.

Wenngleich es im Einzelnen weit reichende Abweichungen von diesem typischen durchschnittlichen Schlafprofil gibt, insbesondere natürlich bei schlafgestörten Personen, tauchen die REM-Phasen regelmäßig jede Nacht auf, für gewöhnlich drei- bis sechsmal, und in der Regel nimmt man fünf solcher REM-Phasen während einer achtstündigen Schlafperiode an. So lassen sich regelmäßig etwa vier bis fünf Schlafphasen oder Subperioden von rund 90 min unterscheiden, sogenannte **Mikrozyklen** der Aktivität, die sich offenbar auch über die Tageswachzeit fortsetzen (Kleitman 1973). Dieser normalerweise ziemlich unauffällig bleibende, aber ständig vorhandene und im Schlaf hervortretende **Aktivitätszyklus** wird auch als BRAC bezeichnet (*basic rest activity cycle*). Er

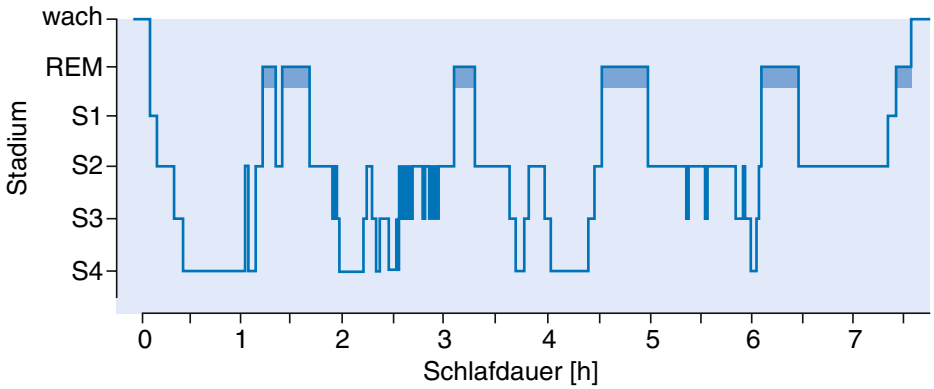


Abb. 5.29 Das Hypnogramm stellt die Abfolge der verschiedenen Schlafstadien und damit die Schlafphasen einer Nacht dar. Die REM-Schlaf-Stadien sind durch dunkle Balken gekennzeichnet. Kenntlich ist, dass beim dargestellten gesunden, normalen Schlaf der Tiefschlaf (Stadium 3, 4) vornehmlich im ersten Schlafdrittel liegt, während der REM-Schlaf zum Schlafende hin zunimmt

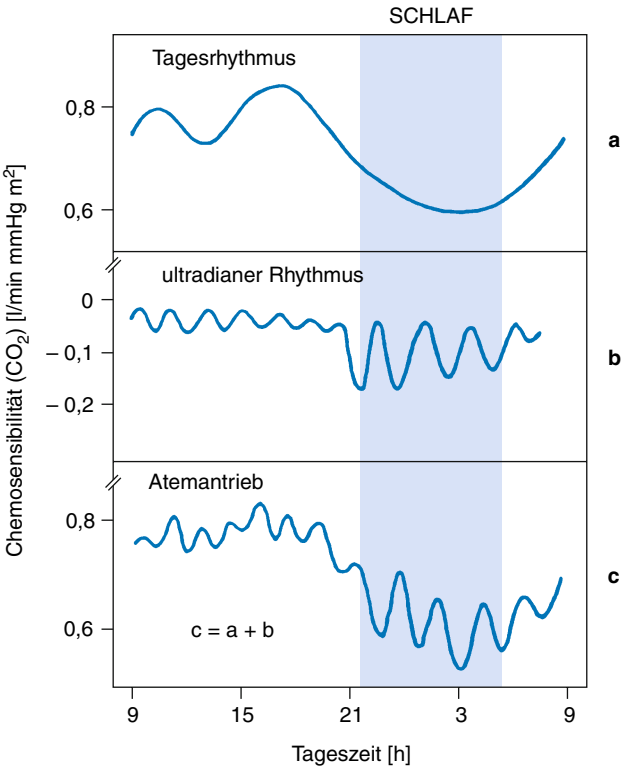


Abb. 5.30 Verlauf der CO_2-Chemosensibilität, über die der Atemantrieb gesteuert wird. Die Sensibilität, mit der unsere Atmung auf „verbrauchte Luft" (CO_2) reagiert, zeigt einen deutlichen Tages- wie auch einen ultradianen Rhythmus, wobei die Empfindlichkeit während des Schlafes stark abnimmt und mit den Schlafphasen schwankt. Die Rhythmik ist aber auch über den Tag nachweisbar

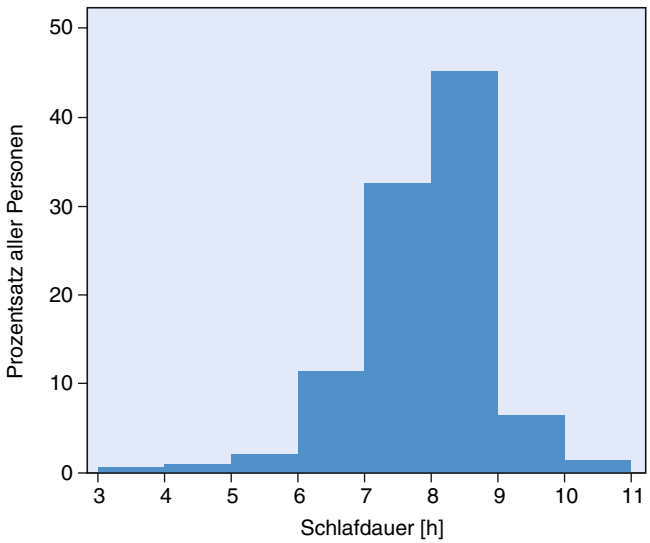


Abb. 5.31 Schlafdauer nach einer Umfrage bei fast 1 Mio. Erwachsenen. Die meisten Menschen schlafen durchschnittlich 7–9 h. Am häufigsten wurde die Schlafdauer von 8–9 h genannt. Nur ein kleiner Bruchteil der Befragten gab an, weniger als 4 h oder mehr als 10 h zu schlafen

bleibt zum Beispiel kenntlich in der auch über den Tag messbaren CO_2-Chemosensibilität der Atmungssteuerung (Abb. 5.30).

Aber auch eine Reihe weiterer Rhythmen ist mit dem BRAC (teilweise) synchronisiert. Hierzu zählen Herzrate, Sauerstoffaufnahme, Magenbewegungen, Urinproduktion sowie Daueraufmerksamkeit in verschiedenen Aufgaben. Solche Rhythmen, die kürzer als die zirkadiane 24 h-Rhythmik dauern, werden allgemein als **ultradiane Rhythmen** bezeichnet.

Die Dauer der nächtlichen Schlafperioden ist intraindividuell sehr stabil. Im interindividuellen Vergleich ist sie jedoch sehr variabel und wird durch vielerlei Faktoren beeinflusst. Junge Erwachsene schlafen in der Regel etwa 8 h. Aber auch extreme Schlafzeiten zwischen 4 und 12 h sind bei einzelnen Personen möglich und nicht von vornherein als pathologisch anzusehen. Offenbar gibt es recht unterschiedliche individuelle Schlafbedürfnisse (Abb. 5.31).

Physiologische Besonderheit des REM-Schlafes

Der zuerst an dem physischen Auftreten der schnellen Augenbewegungen (REMs) entdeckte rhythmische Wechsel von REM-Schlaf und N-REM-Schlaf zeigt sich jedoch auch in einer ganzen Reihe weiterer physiologischer Variablen. Während der REM-Phasen findet sich nicht nur das charakteristische hochfrequente EEG mit niedriger Amplitude und der bereits erwähnte Muskeltonusverlust im EMG, es kommt auch gleichzeitig zu einer generellen Aktivitätszunahme des autonomen NS, mit Erhöhung der Herzschlagfrequenz (EKG), des Blutdruckes und der Atemfrequenz. Auch treten hier regelmäßig mehr oder weniger starke Erektionen des Penis sowie der Klitoris auf. Muskelzuckungen oder Körperbewegungen treten jeweils zu Beginn und gegen Ende der REM-Phasen auf. Während der REM-Phasen nehmen auch Sauerstoffverbrauch, Hirndurchblutung sowie die Anzahl neuronaler Entladungen in vielen Hirnstrukturen deutlich zu, was auf eine verstärkte **Informationsverarbeitung** während dieser Schlafphasen schließen lässt (vergleiche die Ausführungen zum Thema Gedächtniskonsolidierung).

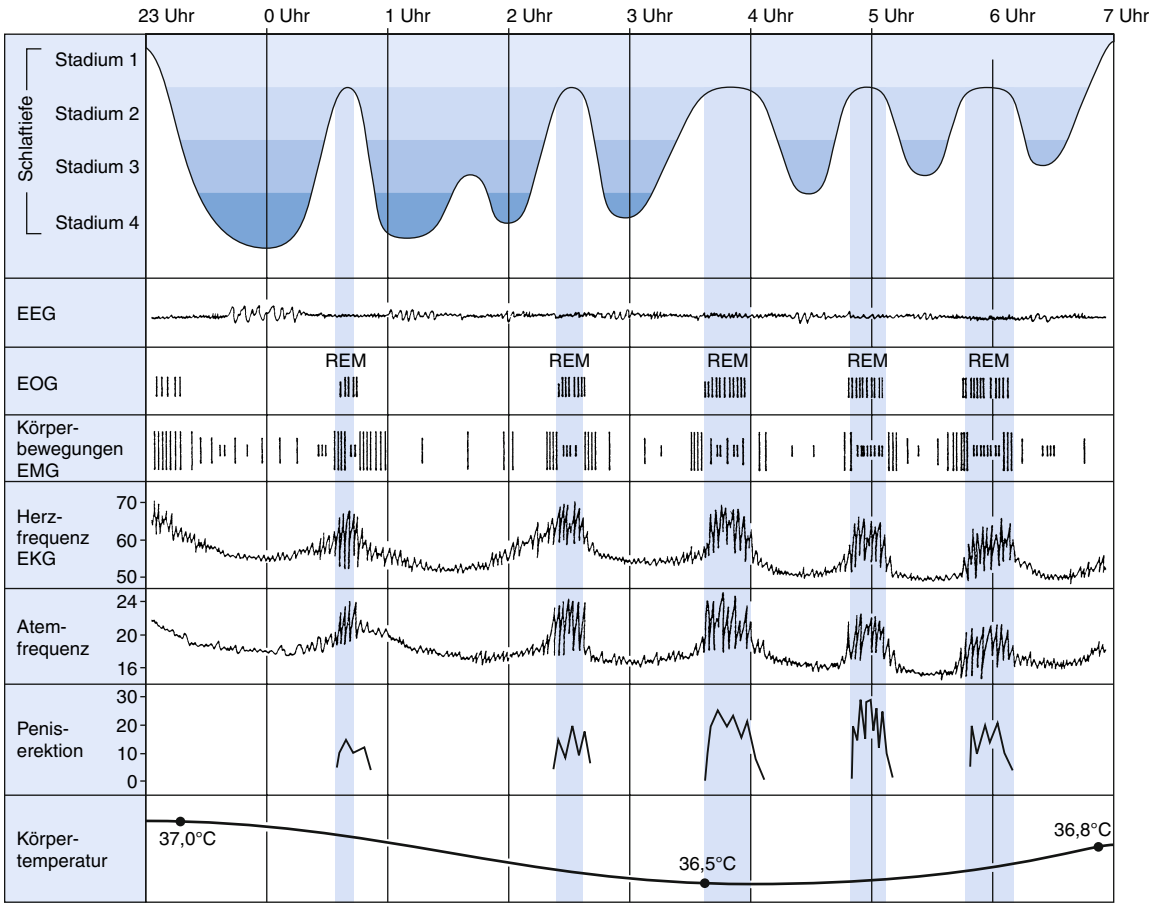


Abb. 5.32 Der Schlaf einer Nacht. Schematische Überblicksdarstellung über die Veränderung der verschiedenen physiologischen Maße während einer Nacht. Von oben nach unten: geglättetes Hypnogramm, EEG-Stadien, EOG (Elektrookulogramm) mit schnellen Augenbewegungen (REM), EMG (Elektromyogramm), EKG (Herzfrequenz), Atemfrequenz, Peniserektion (PE) und Verlauf der Körpertemperatur

Abb. 5.32 zeigt zusammenfassend den typischen generellen Verlauf der EEG-Stadien sowie verschiedener anderer physiologischer Maße während des Schlafes einer Nacht. Auch ist erkenntlich, dass im Laufe der Nacht – mit gewissen Variationen – die Länge der N-REM-Phasen ab- und die der REM-Phasen zunimmt. Die Abbildung macht zugleich auch deutlich, dass der Schlafverlauf nicht wie sonst in den Hypnogrammen, durch unsere Stadiendiagnostik bedingt, in Stufen verläuft, sondern realiter vielmehr kontinuierlich zwischen Leicht- und Tiefschlaf wechselt.

REM-Schlaf

Schlafphasen mit schnellen Augenbewegungen (*rapid eye movements*), während derer zumeist lebhaft geträumt wird, bei allgemeiner Muskelentspannung und gleichzeitiger Aktivitätszunahme des autonomen NS.

Schlafrhythmik in verschiedenen Lebensaltern

Sowohl der regelmäßige Schlaf-Wach-Rhythmus, der auch bei den meisten Tieren zu finden ist, als auch der regelmäßige Schlafstadienwechsel ist beim Menschen im Lauf des Lebens einem Wandel unterworfen. Die ersten Tage nach der Geburt verbringt der Säugling zu zwei Dritteln schlafend. Alle 2–6 h

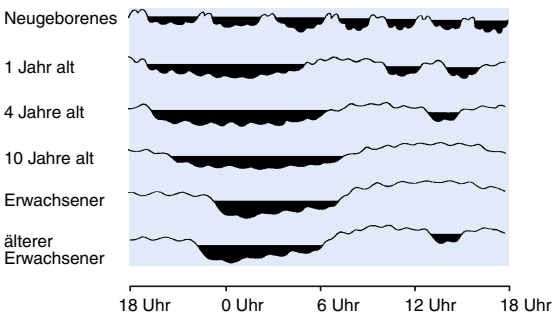


Abb. 5.33 Veränderung der Schlafphasenverteilung in Abhängigkeit vom Alter. Die dunklen Flächen repräsentieren den Schlaf. Der polyphasische Schlaf des Neugeborenen wandelt sich über den biphasischen Schlaf mit einem Mittags- Nap zum monophasischen Schlaf des Erwachsenen, wobei auch im Alter gern wieder ein Mittagsschläfchen gehalten wird. (Kleitmann 1963)

wacht er auf, trinkt und schläft bald wieder. So ist der Schlaf hier noch fast gleichmäßig über den 24 h-Tag verteilt, das heißt, der Wechsel von Schlafen und Wachen ist polyphasisch im Laufe eines 24 h-Tages, und er ist noch nicht am zirkadianen Tag-Nacht-Rhythmus orientiert. Erst wenn sich im Lauf der nächsten Lebensjahre das Gehirn weiterentwickelt, geht der polyphasische Schlafrhythmus in den monophasischen Rhythmus des Erwachsenen über. Die in Abb. 5.33 wiedergegebene

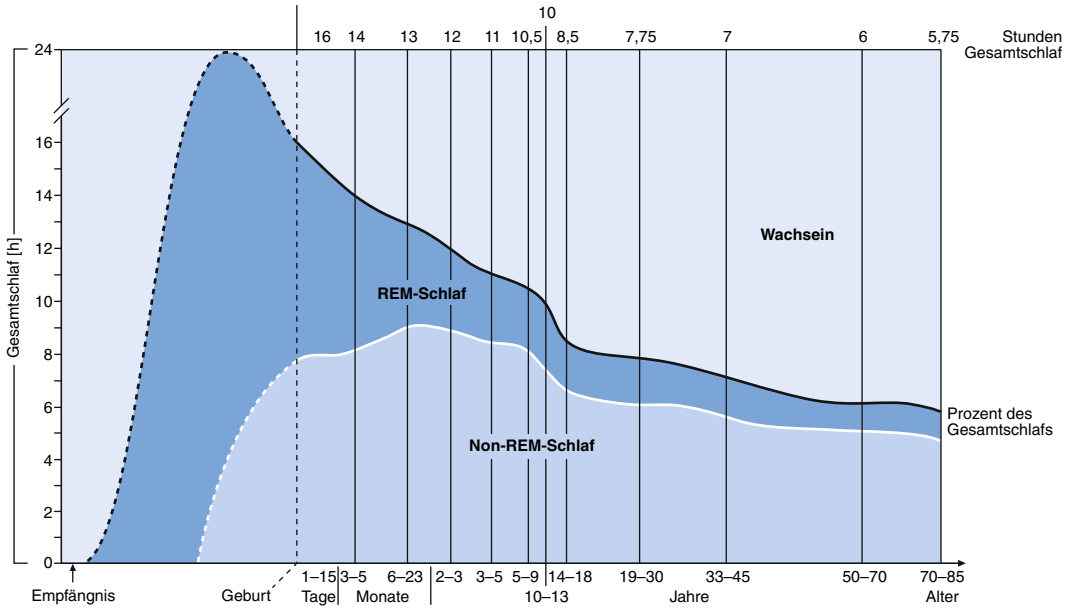


Abb. 5.34 Veränderung der Schlafstadienanteile während des Lebenslaufs. Die Anteile von Wachzustand, REM-Schlaf und Non-REM-Schlaf an einem 24 h-Tag ändern sich im Laufe unseres Lebens drastisch. Beim Neugeborenen macht der REM-Schlaf noch 50 % (8 h) des gesamten Schlafes aus (16 h). Er reduziert sich auf 18–20 % im frühen Erwachsenenalter und nimmt dann ständig weiter ab, während der Non-REM-Schlaf seinen Höhepunkt im Alter von etwa zwei Jahren hat, dann abnimmt und sich im Erwachsenenalter nur noch relativ wenig verkürzt

Darstellung von Kleitman (1963) lässt weiterhin auch die Veränderung der Ruhe-Aktivitäts-Zyklen von Neugeborenen zum Erwachsenen hin erkennen, deren Dauer zunächst 50–60 min beträgt und sich dann langsam auf 80–90 min ausdehnt. Mit diesem Wandel geht gleichzeitig eine bedeutsame Veränderung der Schlafdauer und der Verteilung von REM- und Non-REM-Schlaf einher (Abb. 5.34).

1. Zu Beginn unseres Lebens als Säugling verbringen wir gut die Hälfte (über 50 %) unseres Schlafes, der hier noch 16 h pro Tag beträgt, im REM-Schlaf (8 h).
2. Mit einem Jahr ist die tägliche Schlafdauer auf 13 h reduziert. Davon werden nur noch 25–30 % im REM-Schlaf verbracht.
3. Mit etwa 20 Jahren liegt die Schlafdauer bei 7–8 h und der REM-Anteil bei 22 %.
4. Im Alter von 85 Jahren sind es nur noch 14 % REM-Schlaf bei einer mittleren Schlafdauer von 4–6 h, die aber individuell sehr unterschiedlich sein kann. Bemerkenswert ist hierzu, auch im Hinblick auf die Frage nach der Bedeutung des REM-Schlafes, dass wir Menschen, wie auch die meisten Säuger, vorgeburtlich im Mutterleib nahezu 100 % des 24 h-Tages im REM-Schlaf verbringen, was seine Bedeutung für Entwicklung und Wachstum nahelegt.

5.3.2 Zirkadiane Periodik und innere Uhren

Schlafsteuerung

Schlafen und Wachen verlaufen wie viele andere biologische Funktionen bei Mensch und Tier in zeitlich rhythmischem Wechsel wie Einatmen und Ausatmen oder Systole und Diastole des Herzschlages. Mit diesem Phänomen, der biologischen Rhythmik, befasst sich das Forschungsgebiet der **Chronobiologie** (von griechisch *chronos* für „Zeit"), die in den letzten Jahrzehnten entscheidende Erkenntnisse auch für die Schlafforschung geliefert hat. So sind in der Geschichte der neueren experimentellen Schlafforschung dem Ansatz nach zwei Phasen unterscheidbar:

1. die Untersuchung der Binnenstruktur des Schlafes, deren Ergebnisse wir bereits angesprochen haben;
2. die Chronobiologie, die sich etwa gleichzeitig parallel zur Schlafforschung entwickelte und die sich insbesondere mit den Tagesrhythmen befasste.

Diese Rhythmen mit einer Periodenlänge von etwa 24 h, also die **zirkadianen Rhythmen**, sind für die meisten physiologischen, biochemischen, aber auch psychologischen Funktionen nachgewiesen worden (Zulley 1993). Einige Beispiele hierfür sind in Abb. 5.35 dargestellt. Außer diesen bekanntesten zirkadianen Rhythmen gibt es auch solche, die mehrfach am Tage schwanken (zum Beispiel Gezeiten); sie werden, wie schon gesagt, als **ultradiane Rhythmen** bezeichnet, wie auch solche, die in ihrer Zyklusdauer über einen Tag hinausgehen. Zu diesen **infradianen Rhythmen** gehören die Lunar-, die Menstruations- und die Jahresperiodik.

In **Isolationsstudien**, ohne äußere Zeitgeber, konnte gezeigt werden, dass der spontane Schlaf überwiegend in bestimmten, von der zirkadianen Periodik vorgegebenen Zeiträumen („Zeitfenstern") stattfindet. Die höchste Schlafbereitschaft findet sich zum Zeitpunkt des zirkadianen Körpertemperaturminimums, der Tageszeit, zu der viele andere Funktionen ebenfalls ein Minimum haben (Konzentrationsfähigkeit, Befindlichkeit, geringste Kreislaufstabilität). Der hier einsetzende Schlaf überbrückt so ein physiologisches Tief (Zulley 2002), worin eine der umstrittenen Funktionen des Schlafes gesehen werden kann.

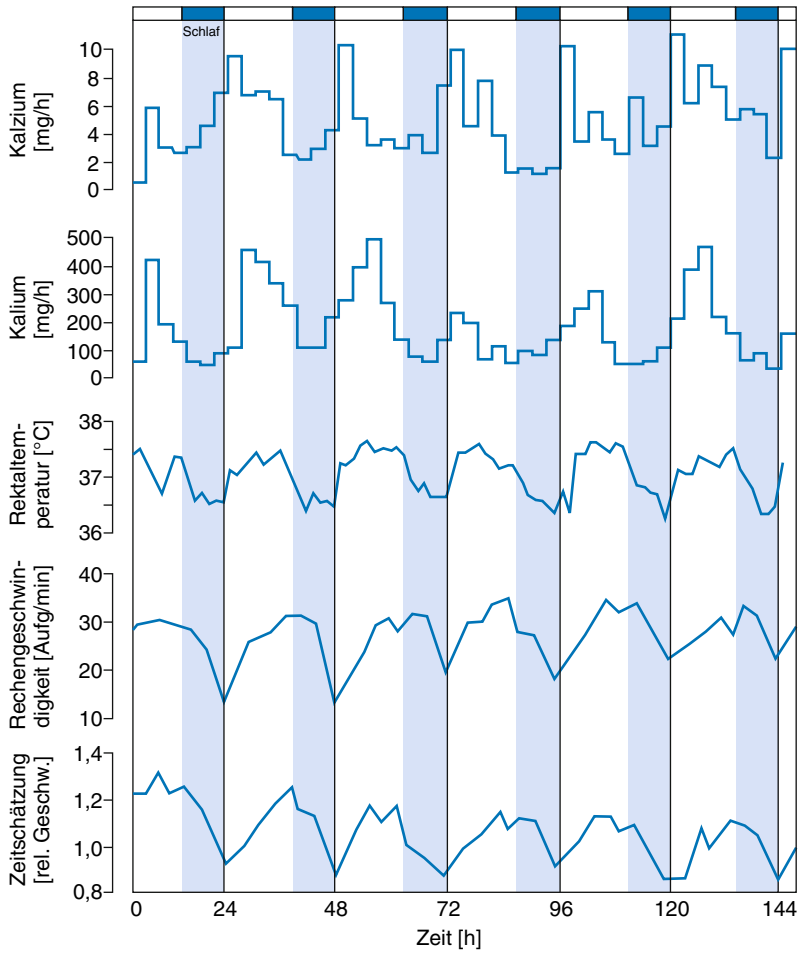


Abb. 5.35 Tagesperiodik verschiedener Funktionen bei einer unter strenger 24 h-Routine lebenden Versuchsperson. Oben beginnend: Schlaf- und Wachzeiten (*dunkle und weiße Balken*), darunter: Kalzium- und Kaliumausscheidung in Urin, Rektaltemperatur (kontinuierlich gemessen), Rechengeschwindigkeit (gemessen mit dem Pauli-Testgerät), Geschwindigkeit der Zeitmessung (gemessen an der Herstellung eines 10 s-Intervalls). (Wever 1980)

Zirkadiane Rhythmik

reguläre Rhythmik der Körperfunktionen in einem ca. 24-stündigen Zyklus (z. B. Körpertemperatur, Wachzustand, Konzentrationsfähigkeit). Sie wird auch als biologische oder innere Uhr bezeichnet

Normalerweise und unter natürlichen Bedingungen verläuft die zirkadiane Periodik von Wachen und Schlafen im Einklang mit dem 24-stündigen Wechsel von Tag und Nacht. Wissenschaftlich stellte sich daher die Frage, ob es sich bei dieser **antizipatorischen Homöostase** um eine etwa in der Evolution erfolgte passive Anpassung an geophysikalische Reize handelt, oder aber, ob die Organismen selber über eine Art biologischer Uhr verfügen. Oder anders formuliert, ob die zirkadiane Periodik *exogen* oder *endogen* bestimmt wird. Wie wir heute wissen, trifft in gewissem Sinne beides zu.

Ein weiterer Beleg für die Existenz solcher **angeborener endogener Rhythmusgeber**, die gleich einer Uhr auf die Einhaltung einer bestimmten Periode drängen, wird in dem Beobachtungsergebnis gesehen, dass auf eine (zum Beispiel selbst herbeigeführte) erheblich verlängerte Wachdauer nicht ebenfalls eine lange, sondern eine entsprechend kurze Schlafdauer folgt, die die erfolgte Abweichung von dem Rhythmus sofort korrigiert. Wir wachen am Morgen etwa zur gleichen Zeit wieder auf.

Wie Züchtungsversuche an Tieren, die über mehrere Generationen unter völliger Isolation lebten, zeigten, werden diese Rhythmen unverändert beibehalten; sie sind also erblich und von äußeren Zeitgebern unabhängig.

Aus vielfältigen Untersuchungen unter zeitfreien Bedingungen an Tieren, aber auch Menschen – hierher gehören die bekannten so genannten „Bunker-Isolationsstudien“ am Max-Planck-Institut, Erling-Andechs –, die wesentlich durch die Ausschaltung jeglicher Information gekennzeichnet sind (▶ Exkurs 5.23), geht hervor, dass alle psychologischen und physiologischen Funktionen, auch der Schlaf-Wach-Rhythmus, ohne Zeitgeber weiterhin regelmäßig und ungedämpft, das heißt ohne Abschwächung, weiterlaufen. Diese autonomen oder **freilaufenden zirkadianen Rhythmen** haben in den meisten Fällen jedoch eine mittlere Periodenlänge von etwa 25 h (Wever 1973). Da dieser Periodenwert von 25 h in der natürlichen Umwelt nicht vorkommt, wird auch hieraus geschlossen, dass diese Rhythmen Ausdruck der Aktivität organismus*interner* **Oszillatoren** („Uhren“) sind, mit bestimmten festgelegten Oszillationsperioden τ, die zumeist von **Zeitgebern** der Umgebung synchronisiert oder „mitgenommen“ (*entrained*) werden. So sorgen in der natürlichen Umgebung geophysikalische und insbesondere Licht-Dunkel-Reize, aber auch soziale Kontakte oder Zeitpunkte von Mahlzeiten, die mit dem 24 h-Tag assoziiert sind, dafür, das die inneren Oszillatoren vom 24 h-Rhythmus mitgenommen und an diesen angepasst werden.

Exkurs 5.23

Experiment: Freilaufende Rhythmen („innere Uhren")

Ist die bei fast allen Organismen zu beobachtende zirkadiane Periodik, wie die von Wachen und Schlafen, durch externe rhythmische Veränderungen der Umwelt (Tag–Nacht) bedingt, oder ist sie auf die Steuerung durch eine „biologische Uhr", einen organismeninternen Oszillator zurückzuführen? Zur Beantwortung dieser Frage wurden von Aschoff und Wever (1966) am Max-Planck-Institut für Verhaltensphysiologie (in Erling-Andechs) ausführliche Untersuchungen durchgeführt, in denen es darauf ankam, sämtliche Umweltfaktoren, die mit dem 24 h-Tag variieren und einen Hinweis auf die reale Tages- oder Nachtzeit geben könnten, auszuschalten. In diesen Humanexperimenten unterzogen sich freiwillige Versuchspersonen einem längeren Aufenthalt (etwa vier Wochen) in einem von der Umwelt isolierten und gegen Geräusche abgeschirmten unterirdischen, komfortablen Versuchsraum, (einem ehemaligen 2-Zimmer-Bunker), wo ihnen auch Küche, WC und Dusche zur Verfügung standen, aber keine Geräte wie Uhren, Radios, TV, die eine Zeitangabe hätten vermitteln können. Während des Experiments wurden verschiedene Messgrößen kontinuierlich registriert: Bewegungsaktivität über Messfühler im Fußboden und über Bettkontakte, die Körpertemperatur über eine Sonde im Enddarm, dazu in bestimmten Abständen die chemische Zusammensetzung des Urins sowie psychische Parameter durch psychologische Tests.

Abb. 5.36 zeigt schematisch den Verlauf des Schlaf-Wach-Verhaltens einer Person, die in den ersten Tagen des Experiments, als sie noch über Zeitinformationen verfügt, ihrer Gewohnheit entsprechend zwischen 23 und 7 Uhr schläft (weißer Balken). Während der folgenden Tage ohne jegliche Zeitinformation verschiebt sich die Zeit des Zubettgehens regelmäßig jeden Tag um etwa 1 h, ohne dass der Versuchsperson dies bewusst ist. Der „subjektive" Tag der Versuchsperson beträgt also unter diesen „zeitfreien" Bedingungen nicht wie üblich 24, sondern 25 h. Daraus ließ sich folgern, dass es eine innere Uhr gibt, und dass diese beim Menschen, wie sich weiter zeigte, meist mit einer Periodik von etwa 25 h läuft. Beobachtet wurden allerdings auch seltene Ausnahmen mit einer internen Periodenlänge von etwa 48 h. Neuere Untersuchungen (Dijk et al. 2000) unter Ausschluss von Licht weisen auf eine intrinsische Periodenlänge von nur wenig mehr als 24 h hin.

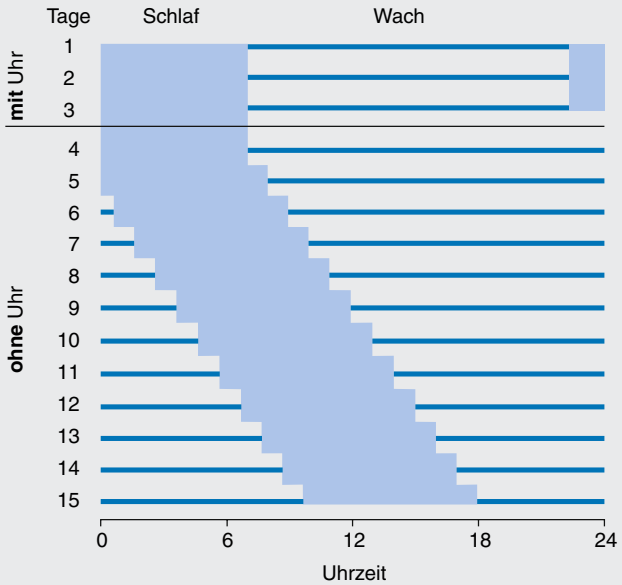


Abb. 5.36 Verlauf des Schlaf-Wach-Verhaltens einer Person im Bunkerexperiment

Diese Flexibilität der endogenen Uhren ist jedoch nur innerhalb bestimmter Grenzen möglich. Beim Menschen liegt der maximale Mitnahmebereich für die motorische Aktivität zwischen 20 und 32 h, für die Körpertemperatur zwischen 23 und 27 h. Außerhalb dieses Mitnahmebereichs kommt es dagegen zu Desynchronisation und Störung der verschiedenen Rhythmen (Wever 1979).

Der wichtigste und stärkste externe Zeitgeber zur Synchronisation der verschiedenen internen Oszillatoren ist helles Tageslicht, das eine Beleuchtungsstärke >2500 lx hat (Wever 1989). Wie sich in Tierexperimenten deutlicher als beim Menschen zeigen ließ (► Exkurs 5.24), geht die eigentliche Zeitgeberfunktion von dem Ende der Hellphase (Licht-aus-Zeitpunkt) aus.

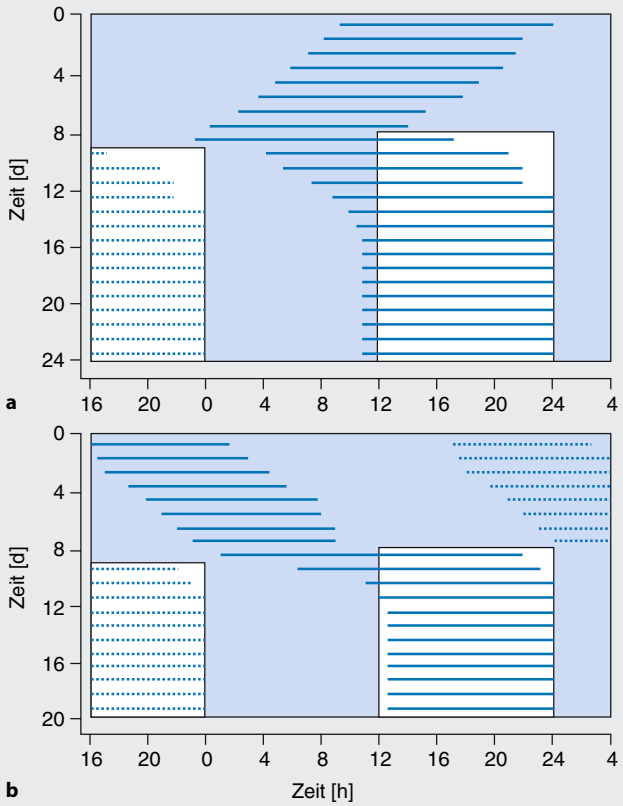
Desynchronisation

Eine weitere Eigenart freilaufender zirkadianer Periodik ist die spontane interne Desynchronisation der verschiedenen internen Oszillatoren oder Rhythmen, die unter normalen Tag-Nacht-Bedingungen durch externe Zeitgeber zusammengehalten werden. Abb. 5.38 zeigt den Verlauf verschiedener, zunächst synchronisiert verlaufender Messparameter: den Schlaf-Wach- beziehungsweise Aktivitätsrhythmus (schwarze Balken: Aktivitätszeit), den Temperaturrhythmus (Maxima: Dreiecke nach oben, Minima: Dreiecke nach unten) sowie die Maxima der Kalziumausscheidung im Harn. Unter freilaufenden Bedingungen ohne Zeitgeber verlaufen die Parameter zunächst gemeinsam mit einer Periode von $\tau = 25{,}7$ h. Etwa am 15. Tag koppelt sich der Schlaf-Wach-Rhythmus mit einer Periode von $\tau = 33{,}4$ h von dem Temperaturrhythmus ab, der mit einer Periode von $\tau = 25{,}1$ h weiterläuft.

Exkurs 5.24

Experiment: Zeitgeberfunktion und Entrainment

Werden Tiere unter konstanten Beleuchtungsbedingungen (meist konstantes Dämmerlicht) gehalten, zeigen auch sie freilaufende zirkadiane Aktivitätszyklen. Diese können, wie Untersuchungen von Aschoff und Wever (1966) zeigten, individuell unterschiedlich entweder eine kürzere (◘ Abb. 5.37a) oder eine längere (◘ Abb. 5.36b) Periode als 24 h haben. Die schwarzen Balken markieren die Aktivitätszeiten, die im ersten Fall jeden Tag etwas früher beginnen. Wird dann ab einem bestimmten Tag (in den Abbildungen jeweils am 9. Tag) ein gleichmäßiger 24-stündiger Licht-Dunkel-Wechsel geboten, gleicht sich der endogene Aktivitätszyklus schon in wenigen Tagen dem vorgegebenen 24 h-Rhythmus an. Aus der Abbildung ist zu ersehen, dass in beiden Fällen die Aktivitätsphase sehr direkt mit dem Beginn der Dunkelphase beendet wird. Unterschiede zeigen sich dagegen bei Lichtbeginn. Die Frühaufsteher (◘ Abb. 5.37a) beginnen ihre Aktivität deutlich vor Lichtbeginn, im Experiment also noch bei völliger Dunkelheit, gewissermaßen antizipatorisch. Die Spätaufsteher (◘ Abb. 5.37b) beginnen ihre Aktivität (entsprechend ihrer langsamer gehenden inneren Uhr) erst einige Zeit nach Lichtbeginn. Beide Beispiele zusammengenommen machen deutlich, dass dem Wechsel von Licht zu Dunkelheit die eigentliche Zeitgeberfunktion zukommt.



◘ **Abb. 5.37** Verlauf des Schlaf-Wach-Verhaltens mit und ohne Zeitgeber (Licht)

Auch diese Beobachtung spricht dafür, dass es offenbar *mehrere* und nicht nur eine interne „Uhr" gibt.

Eine solche Desynchronisation verschiedener endogener Oszillatoren erfolgt auch, wenn der normale Tag-Nacht-Wechsel künstlich verschoben oder auf einen anderen Rhythmus umgestellt wird (Phasenverschiebungsexperimente), der außerhalb des Mitnahmebereichs einzelner Oszillatoren liegt, wie dies zumeist für die Körpertemperatur gilt. Konnten zum Beispiel in den Untersuchungen die Versuchspersonen ihren Schlaf-Wach-Rhythmus (bedingt durch andere Zeitgeber) nicht an die vom zirkadianen System vorgegebene Zeit anpassen, sodass sie zur „falschen Zeit" schliefen, zeigten sich Schlafstörungen. Es kam zu Stimmungs- und Vigilanzminderungen, wenn die Versuchspersonen zur „falschen Zeit" wach waren. Bei diesen Formen der Desynchronisation, bei der die Schlaf-Wach-Periodik *aktiv* verschoben wird, während die Körpertemperaturperiodik nicht mitkommt, spricht man von **erzwungener Desynchronisation**, die vielfach wie beim Jetlag oder bei Schichtarbeit zu allgemeinen Erschöpfungserscheinungen, Konzentrationsdefiziten und Tagesmüdigkeit führt (abnorme Stadienfolge, Schlaffragmentierung, zu frühes Erwachen). Das hat nun wieder damit zu tun, dass verschiedene andere interne ultradiane Rhythmen an den Temperaturzyklus gekoppelt sind. Hierzu gehören auch die REM-Phasen, die nur dann zum Schlafende zunehmen, wenn hier auch das Temperaturminimum liegt, wie bereits in ◘ Abb. 5.32 dargestellt, und das Einschlafen bei abfallender Körpertemperatur beginnt, wie das normalerweise der Fall ist. Liegt dagegen das Temperaturminimum zu Beginn der von uns gewohnten Schlafzeit, so führt das zu vergleichsweise verkürzten Schlafzeiten und frühem Erwachen (Zulley 1979).

Jetlag

Die Anpassung des Organismus an die neue Ortszeit nach einem Ost-West- beziehungsweise West-Ost-Flug, bei dem mehrere Zeitzonen überflogen werden, führt nicht nur zu zeitweiligen Schlafstörungen, sondern ebenso zu gastrointestinalen (Verdauungs-)Störungen, Vigilanzabfall, Unwohlsein wie auch zu Schwächungen des Immunsystems. Diese Störungen sind umso intensiver, je mehr Zeitzonen überflogen werden, was einer stärkeren Desynchronisation entspricht. Sie sind ferner bei Flügen von West nach Ost gravierender als bei Flügen nach Westen, die zu einer Periodenverlängerung führen. Da die Periodenverlängerung der endogenen zirkadianen Periode bei Menschen von $\tau = 25$ h entgegenkommt, wird das leichter toleriert als eine weitere **Periodenverkürzung**. Auch ist die Erholungsdauer bei Westflügen, die tagsüber erfolgten, kürzer. Ein Untersuchungsbeispiel hierzu ist in ▶ Exkurs 5.25 dargestellt.

Nacht- und Schichtarbeit führen in der Regel – je nach weiteren persönlichen Bedingungen – zu anhaltenden Störungen der inneren Periodik und der mit ihr verbundenen physiologi-

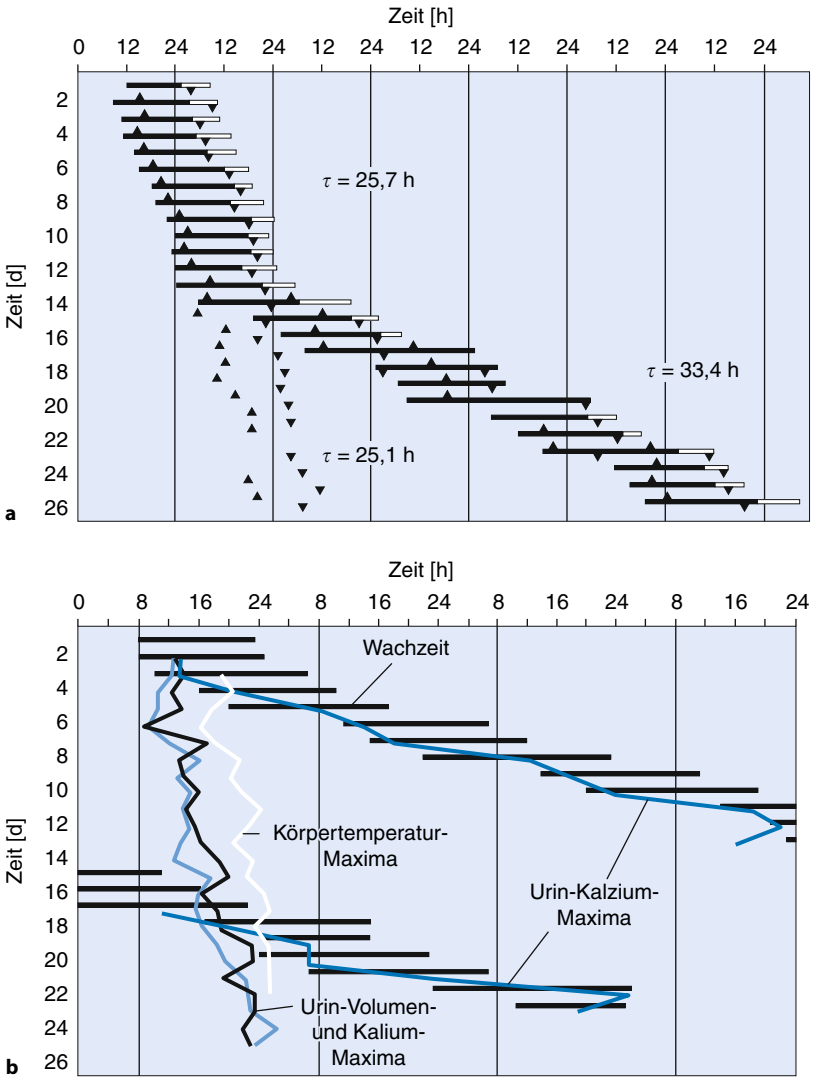


Abb. 5.38 Desynchronisation der zirkadianen Periodik von Wachen und Schlafen (*schwarze und weiße Balken*) sowie der Rektaltemperatur (*Dreiecke nach unten* für Minima, *nach oben* für Maxima) bei einer im Bunker isoliert lebenden Versuchsperson. **a** Am 15. Tag unter zeitfreien Bedingungen tritt eine spontane Desynchronisation auf. Die bis dahin zunächst gemeinsam verlaufenden Rhythmen trennen sich und laufen mit unterschiedlichen eigenen Periodenlängen von $\tau = 33{,}4$ h beziehungsweise $\tau = 25{,}1$ h weiter, **b** Die Maxima und Minima der Kalzium-Ausscheidung verbleiben dabei beim Schlaf-Wach-Rhythmus, die Maxima der Urinausscheidung dagegen beim Temperaturrhythmus. (Wever 1979)

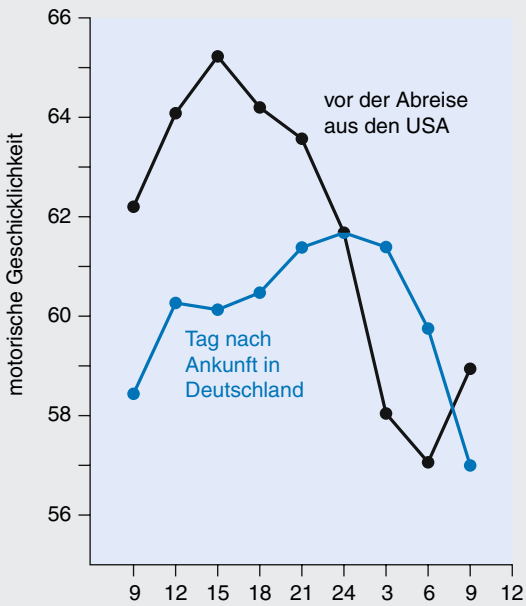
schen Prozesse. Schichtarbeiter sind gezwungen, zu einer Zeit zu schlafen, zu der unsere Umwelt Tagesaktivitäten vollzieht, und zu arbeiten, wenn Nacht ist und der Organismus auf Ruhe eingestellt ist, denn die innere Uhr, die, wie wir gesehen haben, im Wesentlichen durch das Tageslicht und soziale Kontakte auf den 24 h-Tag synchronisiert wird, bleibt auch beim Schichtarbeiter in ihrer normalen Phasenlage – mit einem Leistungstief zwischen 2 und 5 Uhr morgens, das auch bei „erfahrenen" Schichtarbeitern bestehen bleibt. Da sich diese biologischen endogenen Rhythmen nur schwer umstellen, arbeitet er ständig gegen diese an, was auf lange Sicht zu Leistungseinbußen, vielfach auch zu gravierenden physischen und psychischen Störungen führt. Neben Herz-Kreislauf-Störungen sind gastrointestinale Störungen (Gastritis, Magengeschwüre) am häufigsten (nach Zulley 2002 bei 80 % der Nachtarbeiter). Sie resultieren aus der mit der Aktivitätsverschiebung verbundenen langfristigen Missachtung der weiterbestehenden Rhythmik der antizipatorischen Nahrungsaufnahmebereitschaft des Magen-Darm-Traktes. Schlafstörungen (Insomnien) traten bei Schichtarbeitern mit Nachtschicht bei bis zu 95 % der Befragten auf (Knauth und Rutenfranz 1992). Zwar ist die Dauer des Tiefschlafes bei Schichtarbeitern im Vergleich zum normalen Nachtschlaf unverändert lang, aber der Schlaf ist insgesamt von kürzerer Dauer, hat verringerten REM-Anteil, kürzere REM-Latenz und wird zunehmend als beeinträchtigt erlebt (Zulley 2000). Der Tagschlaf ist somit verschoben, während der Organismus und sein zirkadianes System unverändert den Lauf der tagorientierten Umwelt beibehalten (▶ Exkurs 5.28: Endokrine Anbindungen).

Dennoch gibt es auch große individuelle Unterschiede in der Anpassungsfähigkeit bei bestimmten Menschentypen. „Morgentypen", gewohnheitsmäßige **Frühaufsteher** – auch „Lerchen" genannt –, deren Leistungsspitzen in den Morgenstunden liegen, sind weit weniger in der Lage, sich einer Rhythmusumstellung anzupassen als „Abendtypen" („Eulen") mit Leistungsspitzen in den Abendstunden, spätem Zubettgehen und Aufstehen, die sich einer nach vorwärts gerückten Phasenverschiebung leichter anpassen (Webb und Bonnet 1978). Entsprechend ist es erfahrungsgemäß bei Schichtarbeit viel schwieriger, beispielsweise 4 h früher ins Bett zu gehen und entsprechend früher wieder aufzustehen (Phasen*vor*verlagerung, *phase advance*) als jeweils 4 h später, also bei Phasenverzögerung (Coleman 1986). Desgleichen lässt sich mithilfe der **Lichttherapie** (helle künstliche Lichtbestrahlung zu bestimmten Tageszeiten) eine aus der Phase gekommene zirkadiane Rhythmik (Schlafstörung) durch sukzes-

Exkurs 5.25

Genauer betrachtet: Zeitverschiebung und Jetlag

Den Einfluss der Zeitumstellung, wie er bei interkontinentalen Zeitzonenflügen erfolgt, auf die Leistungsfähigkeit demonstriert eine frühe Untersuchung von Klein et al. (1972). Ihre Versuchspersonen waren acht Studenten, die von den USA nach Deutschland flogen, sich hier 18 Tage aufhielten und danach zurückflogen. Die Zeitverschiebung betrug hierbei 6 h. Drei Tage vor dem ersten Flug und am Tag nach der Ankunft in Deutschland (West-Ost-Flug) ließen sie die Studenten zu verschiedenen Tageszeiten einen psychomotorischen Geschicklichkeitstest (Kugelsortiertest) durchführen. Die erzielten Punktleistungen über den Tag vor und nach dem Flug sind in ◘ Abb. 5.39 dargestellt. Dabei zeigt sich: (1) Die erreichte maximale Leistung zur Mittagszeit vor dem Flug wird nach dem Flug bei Weitem nicht erreicht. (2) Die maximale Leistung vor dem Flug erfolgt nach dem Flug vermindert etwa 6 h später (gemessen in Ortszeit) in der Nacht. Das heißt aber, dass die Leistungsperiodik noch nicht umgestellt ist, sondern sich noch an die Ortszeit des Abflugortes (USA) hält. Es zeigte sich weiter, dass die ursprünglichen Testleistungen nach dem West-Ost-Flug erst nach zwölf Tagen, nach dem Ost-West-Flug jedoch schon nach sechs Tagen wieder erreicht wurden. Wie aus anderen ähnlichen Untersuchungen hervorgeht, handelt es sich nicht um Folgen von Schlafverlusten, sondern eindeutig um Folgen der **Rhythmusverschiebungen**.



◘ **Abb. 5.39** Reduktion der Leistungsmaxima und Verbleib an alter Ortszeit

sive tägliche Phasenverzögerung (zum Beispiel um 2 h) wieder beheben und an den normalen Tag-Nacht-Zyklus ankoppeln, nicht aber durch Phasenvorverlagerung.

Steuerung der Schlafrhythmik

Bei der Frage nach der Steuerung der Schlaf-Wach-Vorgänge war man zunächst nach verschiedenen chirurgischen Ausschaltungsexperimenten an Katzen (die wegen der kurzen Schlafdauer ein beliebtes Untersuchungsobjekt darstellen) auf die zentrale Bedeutung des retikulären Aktivierungssystems (in der Formatio reticularis) gestoßen, das bei allen Aufmerksamkeitsprozessen eine Rolle spielt. Nach der frühen Schlaftheorie dieses Systems (ARAS) wurde angenommen, dass seine Aktivität für die Erhaltung des Wachzustands verantwortlich ist und Schlaf als Folge eines niedrigen Aktivierungsniveaus seiner Schaltkreise *passiv* auftritt. Die frühen Studien von Moruzzi und Magoun (1949) sowie von Lindsley et al. (1949), die zur Entdeckung des ARAS führten, hatten ergeben, dass der Schlaf-Wach-Rhythmus auch ohne Telencephalon weiterbesteht und auch eine Deafferenzierung – eine Trennung zwischen Medulla und Rückenmark (Encéphale-isolé-Präparation) – keinen Einfluss auf den Schlaf-Wach-Rhythmus im corticalen EEG hat (▶ Exkurs 5.26). Das sprach dafür, dass die schlafsteuernden Strukturen in dem Bereich unter dem Zwischenhirn und vor dem Mittelhirn abwärts bis hin zur Medulla oblongata lokalisiert sein könnten.

Neuere Befunde führten jedoch bald zu der Erkenntnis, dass es spezielle Hirnstrukturen geben muss, die den Schlaf *aktiv* fördern, denn einerseits lässt sich durch Stimulation bestimmter Hirnregionen Schlaf direkt induzieren, andererseits führt Narkotisierung bei Katzen zum Erwachen aus dem Schlaf (Magni et al. 1957; Berlucchi et al. 1964).

Für die Steuerung der Schlafprozesse wurden nun in den letzten Jahren vor allem folgende Hirnstrukturen als verantwortlich erkannt: die Retikulärformation (Formatio reticularis), der Nucleus raphé („Faltenkern“) sowie der **Locus coeruleus** (blauer Kern) für die REM-Perioden und schließlich der Nucleus suprachiasmaticus, der die Schlaf-Wach-Zyklen steuert.

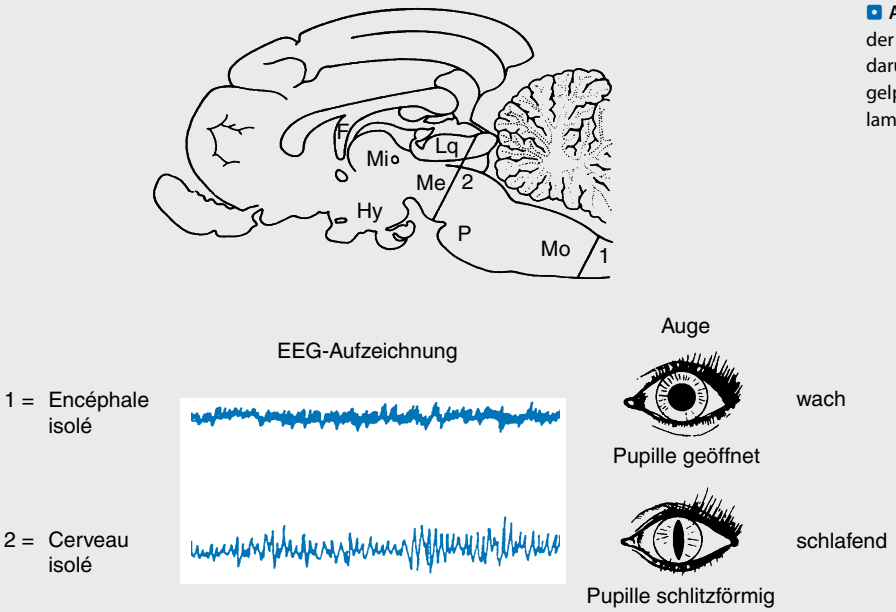
Aus der Vielzahl der über Jahre zu diesem Thema durchgeführten Untersuchungen ergibt sich zurzeit, dass der komplexe REM-Schlaf offenbar von einer Reihe verschiedener Hirnregionen geregelt wird, die über die ganze caudale Formatio reticularis verstreut liegen. Ihre ungefähre Lage zeigt ◘ Abb. 5.41. Jede dieser Hirnregionen ist jeweils für eine der bekannten Eigenschaften des REM-Schlafes verantwortlich (Vertes 1983), eine

Exkurs 5.26

Genauer betrachtet: Entdeckung der subcorticalen Schlafsteuerung

Die erste einflussreiche physiologische Theorie des Schlafes stammt von Bremer (1936), der annahm, dass der Schlaf passiv durch die Abnahme des sensorischen Inputs zum Vorderhirn verursacht wird. Um den sensorischen Input zu unterbrechen, durchtrennte er den Hirnstamm etwa auf Höhe des medialen Mittelhirns (zwischen Colliculi inferiores und Colliculi superiores; ◘ Abb. 5.40). Diese **Cerveau-isolé**-Präparation (isoliertes Vorderhirn) hatte permanente Synchronisation von corticalem EEG und SWS-Schlaf (*slow wave sleep*) zur Folge, was zunächst für Bremers Theorie zu sprechen schien. Die entscheidenden Befunde, die für die Aktivierungstheorie des ARAS sprechen, gehen auf Lindsley et al. (1949) zurück. Sie trennten das Gehirn vom übrigen Nervensystem mittels eines Schnittes durch den caudalen Hirnstamm. Bei dieser **Encéphale-isolé**-Präparation treten dagegen keine Störungen des Schlaf-Wach-Rhythmus im EEG auf, woraus hervorging, dass der rhythmussteuernde Mechanismus zwischen diesen beiden Schnitten liegen muss. Daraus folgerten Moruzzi und Magoun (1949), dass die jeweilige Aktivität der hier gelegenen Formatio reticularis für den Schlaf- beziehungsweise Wachzustand verantwortlich ist.

Etliche Jahre später beobachtete Jouvet (1961), der sich für die Steuerung des „paradoxen Schlafes"(PS) bei Katzen (der dem REM-Schlaf beim Menschen entspricht) interessierte, dass es sich bei den von ihm durchgeführten ähnlichen Präparationen, bei dem der normale Rhythmus von Wachen und Schlafen erhalten blieb, ausschließlich um paradoxen Schlaf handelte, mit der typischen Entspannung der Nackenmuskulatur und dem Vorhandensein von Augenbewegungen (REM). Seine weiteren Untersuchungen ließen ihn vermuten, dass in etwa eben diesem Bereich außer der Formatio auch Steuerzentren für die *Schlafstadien* liegen müssten. Und in der Tat war es möglich, diese Strukturen weiter einzukreisen. Durch selektive Zerstörung einzelner Punkte in diesem Areal bei sonst unversehrtem Gehirn fand Jouvet (1961, 1967), dass das Auftreten des PS durch die Zerstörung bestimmter Nervenzellen im Locus coeruleus, im dorsalen Ponsbereich, unterbunden wird. Unter diesen Bedingungen zeigt die Katze dagegen den leichten SWS, dessen Funktionszentrum folglich ein anderes sein muss, welches unversehrt geblieben ist. Weiter konnte Jouvet zeigen, dass sich der PS einschließlich der EEG-Aktivitäten künstlich auslösen lässt durch elektrische Stimulation eben dieser Areale. Und zwar gelingt dies in der Regel nur während des vorangehenden SWS. Bemerkenswert war dabei die weitere Entdeckung, dass der PS auch dann erhalten bleibt, wenn zuvor die Formatio reticularis vollständig zerstört wurde.



◘ **Abb. 5.40** Oben: Gehirn der Katze, die Lage der beiden Präparationsschnitte 1, 2 zeigend, darunter ihre Auswirkungen. *P* pons, *Lq* Vierhügelplatte, *Me* mediales Mittelhirn, *Hy* Hypothalamus, *Mo* Medulla oblongata. (Thomson 1975)

beispielsweise für die corticale EEG-Desynchronisation, eine andere für die Abnahme des Muskeltonus, eine weitere für die schnellen Augenbewegungen und so weiter. Koordiniert werden diese REM-Schlaf-Zentren durch *cholinerge* Mechanismen im pontinen Teil der caudalen Formatio reticularis, was dadurch belegt ist, dass hier durch Mikroinjektionen von *cholinergen* Substanzen (zum Beispiel Acetylcholin) bei Katzen lang anhaltender REM-Schlaf ausgelöst wird (Qualtrochi et al. 1989). In eben diesem Gebiet der Formatio gibt es Neurone, deren Aktivität eine Hemmung des REM-Schlafes bewirken. Es sind die *serotonergen* Neurone der dorsalen **Raphé-Kerne** (Trulson und Jacobs 1979) und die *noradrenergen* Neurone des Locus coeruleus (Lydic et al. 1983). Die Beobachtung bei Katzen, dass die Neurone beider Kerne während des Tiefschlafes, also während des SWS aktiv sind, nicht jedoch im REM-Schlaf, führte Hobson (1990, 1994) zur Formulierung einer heute weitgehend akzeptierten Modellvorstellung der Schlafstadiensteuerung von REM- und Non-REM-Schlaf.

Das **reziproke Interaktionsmodell** von Hobson geht davon aus, dass die beiden Neuronenpopulationen – cholinerger Nucleus raphé und aminerger Locus coeruleus – einen im Gegentakt arbeitenden **neuronalen On-Off-Oszillator** darstellen. Seine Wirkungsweise wird in ◘ Abb. 5.42 verdeutlicht. Die exzitatorischen cholinerg arbeitenden REM-On-Neurone und die inhibitorischen aminerg arbeitenden REM-Off-Neurone sind miteinander neuronal verschaltet und beeinflussen sich gegen-

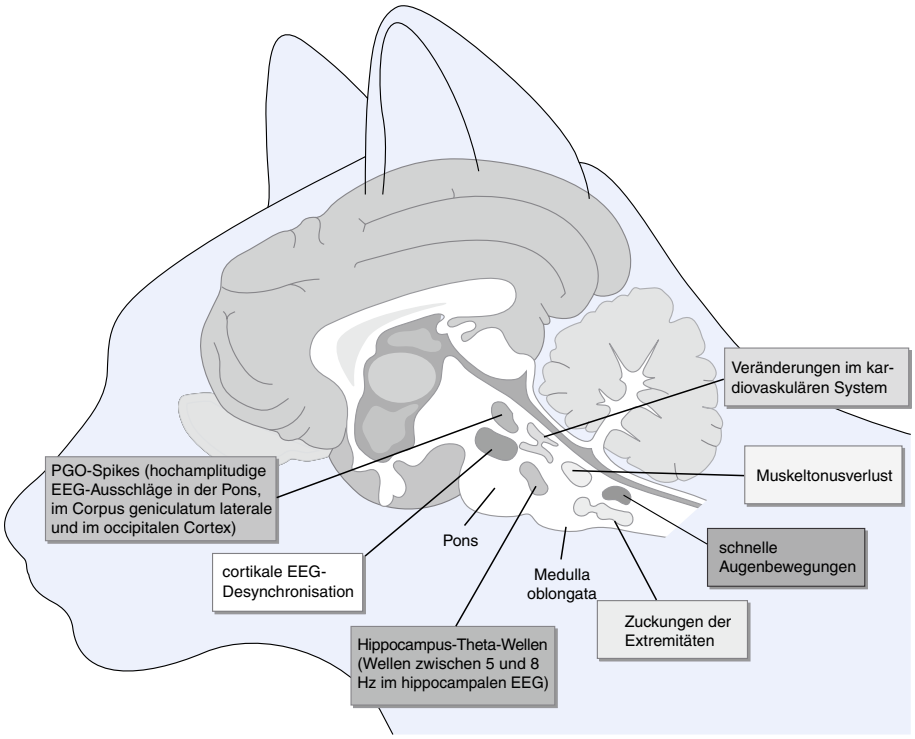


Abb. 5.41 Steuerzentren verschiedener REM-Schlaf-Charakteristika. Der schematische Sagittalschnitt durch den Hirnstamm der Katze zeigt die verschiedenen Areale, die, wie angegeben, zur REM-Schlaf-Steuerung beitragen. (Vertes 1983)

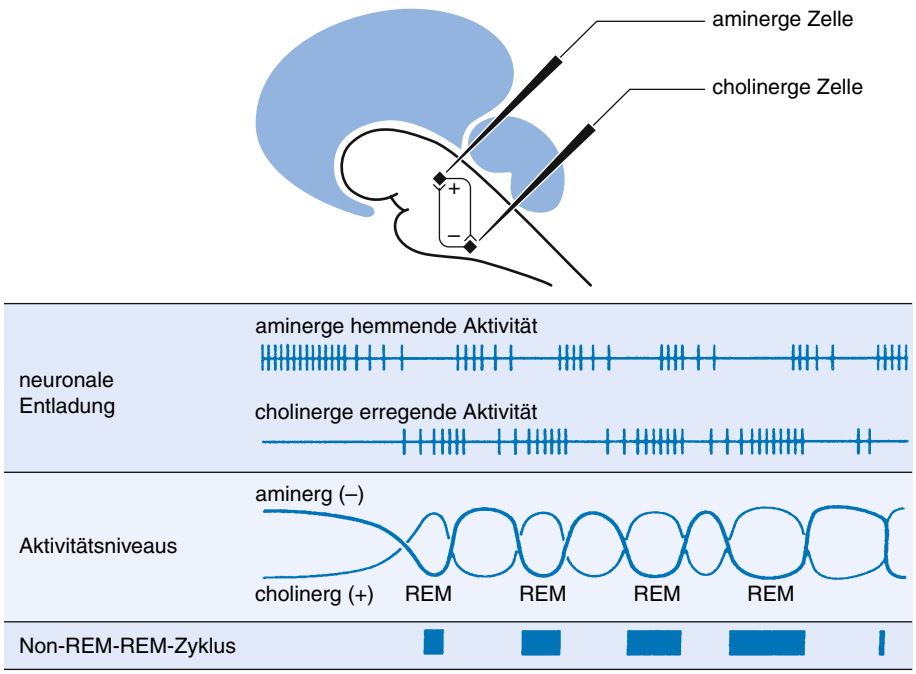


Abb. 5.42 Das reziproke Interaktionsmodell der Schlafstadiensteuerung (nach Hobson1994). Cholinerge (exzitatorische) und aminerge (inhibitorische) Neuronenpopulationen stellen zusammen einen im Gegentakt arbeitenden On-Off-Oszillator dar, der für den Wechsel von REM- und Non-REM-Schlaf verantwortlich ist. (Berger 1992, S. 33)

seitig (*oben*). Die Einzelableitungen (*Mitte*) zeigen, wie sich die Impulsraten der beiden Neuronenpopulationen im Wechsel vom Wachzustand über den Non-REM-Schlaf zum REM-Schlaf ändern. Solange die hemmend wirkenden (–) REM-Off-Neurone (wie im Wachzustand) aktiv sind, unterdrücken sie die REM-On-Zellen. In dem Maße, wie ihre Aktivität dann im Non-REM-Schlaf abnimmt, steigert sich die Aktivität der REM-On-Neurone (+). Dieser Prozess verläuft mehr oder weniger schnell, bis die von den REM-Off-Neuronen ausgehende Hemmung minimal ist und damit die REM-Off-Neurone ihre maximale Aktivität entfalten und es damit zu einer REM-Periode kommt, wie es in Abb. 5.42 *unten* dargestellt ist.

Die beiden Neuronengruppen besitzen unterschiedliche Eigenschaften. Die REM-Off-Zellen hemmen sich auch gegenseitig, wodurch über längere Zeit ein konstantes Niveau ihres Outputs gesichert wird. Die REM-On-Zellen haben dagegen eine selbsterregende Rückkopplung (+), was zu einer *salvenförmigen* Verstärkung ihrer Aktivität führt. Diese ungeordneten Salven neuronaler Erregung der cholinergen Neurone könnten dann im visuellen System des Thalamus und des Cortex die subjektiven

Exkurs 5.27

Genauer betrachtet: Die zirkadiane Uhr im Nucleus suprachiasmaticus

Gewissheit für den Sitz der zirkadianen Uhr für den Schlaf-Wach-Zyklus im Nucleus suprachiasmaticus (SCN) erbrachten die **Transplantationsexperimente** von Ralph et al. (1990), bei denen sie schnell und langsam laufende „Uhren" gegeneinander austauschten und damit auch gleichzeitig den Schlaf-Wach-Zyklus vertauschten. Aus den Feten einer Hamstermutante, die einen ungewöhnlich kurzen freilaufenden Schlaf-Wach-Zyklus von nur 20 h aufwies, entfernten sie beidseitig den SCN und implantierten die Kerne bei normalen adulten Hamstern, die bis dahin einen 25-stündigen Schlaf-Wach-Zyklus aufwiesen und deren eigene SCN sie gleichzeitig durch beidseitige Läsionen ausschalteten. Bei den so behandelten Tieren stellte sich nach Ausheilen der Operation der kürzer freilaufende Schlaf-Wach-Rhythmus der Spendertiere von 20 h ein. Ebenso hatten Transplantationen in umgekehrter Richtung, also von normalen Hamsterfeten in adulte Hamstermutanten, mit Läsionen ihrer SCN, genau den umgekehrten Effekt. Die Hamstermutanten entwickelten einen 25-stündigen freilaufenden Schlaf-Wach-Rhythmus, womit erwiesen war, dass der entscheidende zirkadiane Rhythmusgeber im SCN lokalisiert ist.

5

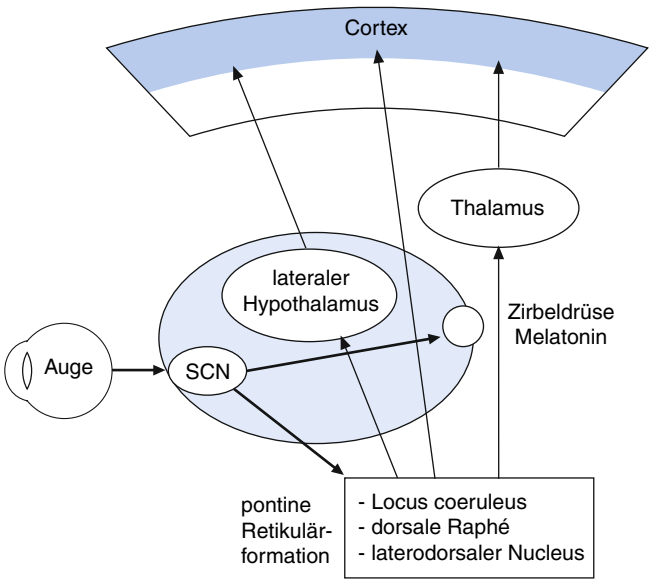
Vorstellungsbilder der **Träume** erzeugen, während die ▶ pontogeniculookzipitalen Wellen (PGO-Wellen), die mit den ebenfalls angestoßenen raschen Augenbewegungen (REM) einhergehen, den Verlust der willentlichen Kontrolle und den abrupten Szenenwechsel im Traum bewirken sollen.

Hobson und McCarley (1977) vermuten weiter, dass wegen der veränderten Aktivitätszustände im REM-Schlaf ein ganz anderes *Transmitterverhältnis* vorliegt als im Wachzustand und dass sich diese Unterschiede auch auf Funktionen wie Informationsverarbeiten oder Bewusstsein auswirken können.

Zirkadiane innere Uhr

Außer den Zentren, die für die Steuerung der ultradianen REM-Schlaf-Rhythmik verantwortlich sind, konnten im ventralen *medialen Hypothalamus* nun auch Hirnstrukturen identifiziert werden, die den **zirkadianen Schlaf-Wach-Zyklus**, auch in Abwesenheit von externen Zeitgebern, steuern. Hier waren es zunächst die Läsionsuntersuchungen von Richter (1967), die zeigten, dass die zirkadianen Fress- und Trinkaktivitätszyklen durch Ausschaltungen im medialen Hypothalamus zum völligen Erliegen kommen. Schließlich wurde der in diesem Gebiet liegende *Nucleus suprachiasmaticus* (*suprachiasmatic nucleus*, SCN) als entscheidende Struktur identifiziert, die die zirkadianen Zyklen der adrenergen Hormonausschüttung (Moore und Eichler 1972) sowie der Aktivitätsrhythmen (Stephan und Zucker 1972) wie auch etlicher anderer Rhythmen kontrolliert, wozu insbesondere auch der Schlaf-Wach-Rhythmus zählt (Rusak und Zucker 1979), was letztlich sogar durch Transplantationsexperimente (▶ Exkurs 5.27) sowie Läsionsstudien belegt werden konnte. So führt bilaterale Läsion des SCN bei Primaten zu einem völligen Verlust der Aktivitätsrhythmen einschließlich des Trinkrhythmus, wobei die Menge der aufgenommenen Flüssigkeit jedoch unverändert bleibt.

Wenngleich der SCN zwar die wichtigste zirkadiane Uhr darstellt, ist er nicht die einzige, denn es zeigte sich, dass nach bilateraler Läsion des SCN einige zirkadiane Rhythmen weiterbestehen, während andere gelöscht sind (Boulos und Terman 1980; Mistlberger 1993). So wird vor allem die Temperaturperiodik durch einen anderen Schrittmacher gesteuert (◘ Abb. 5.38). Nicht völlig geklärt ist jedoch, durch welche neuronalen Prozesse die exakten zirkadianen Signale erzeugt werden. Da auch einzelne Neurone, zum Beispiel aus dem Schneckenauge, die in Gewebekulturen gehalten werden, aber auch einzellige Meeresorganismen ihre zirkadiane neuronale Aktivität ohne äußeren Zeitgeber beibehalten (Michel et al. 1993), müssen zumindest in diesen Fällen intrazelluläre und damit wohl *molekulare Mechanismen* als innere Uhren (Oszillatoren) für die zirkadiane Rhythmik verantwortlich sein. Eine solche intrazelluläre molekulare Uhr wurde bisher nur bei bestimmten Mutanten der *Drosophila* (Fruchtfliege) nachgewiesen, wo der rhythmische Verlauf von einem angeborenen Rückkopplungskreis zweier Proteine zwischen Zellkern und Zellplasma gesteuert wird (Moore 1999).



◘ **Abb. 5.43 Funktionalanatomische Beziehungen** zwischen Nucleus suprachiasmaticus (SCN), der auch die Melatoninausschüttung in der Zirbeldrüse regelt, und anderen Hirnstrukturen, die an der Schlaf-Wach-Steuerung beteiligt sind

Triggerung beziehungsweise Mitnahme der inneren Uhr durch externe Zeitgeber

Wie sich schon früh vermuten ließ, enthält der SCN seine Informationen über den 24-h-Tag-Nacht-Rhythmus der Umwelt aus dem optischen System. Die wichtigste Verbindung verläuft, wie sich nachweisen ließ, über visuelle Axone, die in der Nähe des Chiasma opticum beidseitig vom Sehnerv abzweigen und als *retinohypothalamischer* Trakt (RHT) zum jeweiligen SCN projizieren und diesen mit Licht-Dunkel-Information (jeweils aus der kontralateralen peripheren Retina) versorgen. Die Triggerung des SCN erfolgt durch helles Licht über den RHT, und zwar nur während der subjektiven Nacht, das heißt der Zeit des 24 h-Ta-

ges, die man im Dunkeln mit Schlaf verbringt. Helle Kunstlichtbestrahlung von etwa 30 min Dauer in den späten Abendstunden der subjektiven Nacht bewirkt einen Phasenvorsprung (Rusak et al. 1990), das heißt eine Phasenbeschleunigung der zirkadianen Rhythmen. Helles Licht in den frühen Morgenstunden der subjektiven Nacht, also einige Zeit vor dem üblichen Aufwachen, führt zu einer Phasenverzögerung. Das heißt, der interne Rhythmus des SCN wird – in gewissen Grenzen – von den externen Zeitgebern mitgenommen und so an den externen 24 h-Tag-Nacht-Rhythmus angepasst. Der SCN selbst überträgt dann seinen endogenen Rhythmus über die gepulste Freisetzung von Hormonen sowie über rhythmische Entladungen seiner Neurone auf andere Kernstrukturen und Gewebe, so auch auf den bereits besprochenen, für den Schlaf-Wach-Zyklus mitverantwortlichen Bereich der pontinen Retikulärformation (◘ Abb. 5.43).

Werden der Schlaf-Wach-Rhythmus sowie die REM-Non-REM-Phasen einerseits von endogenen Oszillatoren gesteuert, so wirken diese ihrerseits wiederum fördernd oder hemmend sowohl auf verschiedene endokrine Systeme als auch auf das Immunsystem ein und bestimmen deren rhythmische Aktivitäten. Viele endokrine Systeme sind während des Nachtschlafes aktiver als im Wachzustand. Und manche Hormonausschüttungen, wie die des Kortisols, sind unter normalen Bedingungen an den REM-Non-REM-Zyklus gekoppelt. Daher wirken sich Veränderungen des Schlafrhythmus, Schlafunterbrechungen, Schlafdeprivation oder Schlafstörungen auch auf die physiologischen und hormonellen psychologischen Regulationsprozesse aus, wie dies im ► Exkurs 5.28 ausführlicher erörtert wird.

5.3.3 Schlaftheorien

Außer dem bereits betrachteten Aspekt der periodischen Erscheinungen des Schlafes gibt es aber auch noch einen weiteren, den homöostatischen Aspekt. Der Schlaf ist zugleich auch ein **restitutiver homöostatischer Prozess**, der – ähnlich wie beim Hunger – ein über die Zeit zunehmendes physiologisch-psychisches **Schlafbedürfnis** erzeugt.

Aus Erfahrung wissen wir, dass unser Schlafbedürfnis mit fortdauernder Wachzeit – auch unabhängig von geleisteter Arbeit – zunimmt. Dies gilt nicht nur für die Zeit am Tag, sondern auch für die Nacht, solange wir uns nicht schlafen legen. Wer lange nicht geschlafen hat, verspürt eine ständig zunehmende Müdigkeit, der er schließlich nicht mehr widerstehen kann. Diese Beobachtung führte schon früh (Piéron 1913) zu der Annahme, im Körper werde im Lauf der Wachzeit eine Substanz, ein **Hypnotoxin** (Schlafgift), allgemeiner später auch als Faktor S (Schlaf) bezeichnet, angereichert, die für das zunehmende Schlafbedürfnis verantwortlich sei und die durch den Schlaf wieder abgebaut oder ausgeschieden werde. Spätere Schlafentzugsexperimente, in denen Versuchspersonen über längere Zeit ohne Schlaf wach bleiben mussten, haben gezeigt, dass

1. der **Schlafentzug** in der dann anschließenden Erholungsnacht zu einer Vermehrung vornehmlich des Tiefschlafs (SWS) führt, von dem angenommen wird, dass er den Schlaffaktor S abbaut, und
2. die über den Tag variierende Müdigkeit mit der jeweils im anschließenden Schlaf auftretenden Menge von SWS-Schlaf korreliert.

Daher lässt sich (nach Borbély 1984) der EEG-Parameter SWS als Indikator der in der vorangehenden Wachdauer kumulierten **Schlafbereitschaft** (Faktor S) betrachten.

Eine zusammenfassende Theorie, die sowohl die Aspekte der verschiedenen restaurativen beziehungsweise homöostatischen Schlaftheorien als auch die der zirkadianen Theorien des Schlafes berücksichtigt, wurde von Borbély (1984) entwickelt. Sein „**Zwei-Prozess-Modell**“ (auch Zwei-Faktoren-Modell) kombiniert die Auswirkungen von zirkadianen Faktoren und homöostatischen Faktoren, wie sie in Schlafentzugsexperimenten beobachtet wurden. Das Grundprinzip des Modells wird in ► Exkurs 5.29 beschrieben.

Das Zwei-Prozess-Modell von Borbély besagt, dass der Schlaf-Wach-Vorgang sowie die erlebte Müdigkeit im Wesentlichen von zwei Faktoren gesteuert werden:

1. **Einem Prozess S, einer Schlafbereitschaft, die mit dem Wachzustand kumulativ ansteigt und im Schlaf wieder abgebaut wird, das heißt absinkt;**
2. **Einem Prozess C, einer Schlafbereitschaft, die, gesteuert durch die innere Uhr, eine regelmäßige zirkadiane Rhythmik zeigt und jeweils reziprok zur sinkenden Körpertemperatur ansteigt.**

Der erlebte Gesamtschlafdruck bestimmt sich durch die Summe beider Prozesse.

Eine alternative zusammenfassende Theorie, die ebenfalls den Schlaf-Wach-Vorgang und die damit variierende Müdigkeit erklären soll, wurde von Edgar und Dement (1992) vorgeschlagen. Ihr **Opponent-Process-Model** geht ebenfalls von zwei Komponenten, einem kumulativen und einem zirkadianen Prozess, aus, wobei letzterer jedoch als aktivierender Prozess verstanden wird.

Das Modell postuliert ein homöostatisches Schlafbedürfnis (*sleep drive*) als einen physiologischen Prozess, der bestrebt ist, die notwendige Menge Schlaf zu erhalten, die nötig ist, um die erforderliche stabile Tageswachsamkeit zu gewährleisten. Dieses Bedürfnis wird vor allem in der Nacht wirksam, baut sich aber – vergleichbar dem Faktor S von Borbély – kontinuierlich über die Tageswachzeit auf.

Der Uhr-abhängige Wachsamkeitsprozess (*clock-dependent alerting process*) wird von der internen zirkadianen biologischen Uhr gesteuert, die, wie wir sahen, auch eine Reihe anderer physiologischer und psychologischer Prozesse steuert und die selbst durch das helle Tageslicht getriggert wird.

Diese beiden Prozesse interagieren nach dem Opponent-Modell nun – ungleich dem Borbély Modell – in der Weise, dass es von der jeweiligen relativen Stärke der beiden Prozesse abhängt, ob wir wachen oder schlafen. Während des Tages setzt sich der Uhr-abhängige aktivierende Wachprozess gewöhnlich gegen das schwächere Schlafbedürfnis durch. Gegen Abend nimmt der zirkadiane Wachprozess ab und wird schließlich inaktiv, sodass nun das Schlafbedürfnis überwiegt.

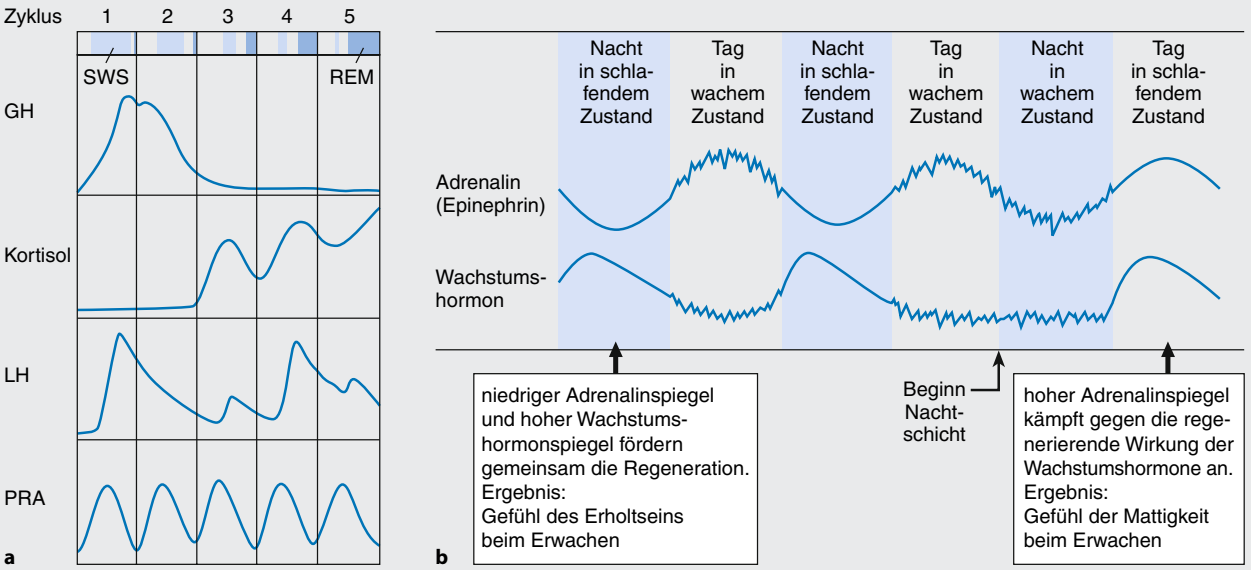
Exkurs 5.28

Genauer betrachtet: Endokrine Anbindungen

Viele endokrine Systeme haben ihre Hauptaktivitäten während des Nachtschlafes, wo sie offenbar von dem regelmäßigen Wechsel von Tiefschlaf (Non-REM) und REM-Schlaf angestoßen und ihre Reaktionsmuster dadurch zweckmäßig geregelt werden. Möglicherweise liegt in diesen Steuerungen der endokrinen sowie immunologischen Prozesse, aber auch der veränderten Verarbeitung kognitiver Prozesse, eine der wichtigsten Funktionen des Schlafes. In ◘ Abb. 5.44a sind einige solcher Anbindungen an die ultradiane zyklische Infrastruktur eines sieben- bis achtstündigen Schlafes dargestellt. Unter normalen Bedingungen wird das Wachstumshormon, GH (*growth hormon*), das für viele Wachstumsprozesse, auch für den Aufbau neuer Verbindungen zwischen Nervenzellen (Lernfähigkeit), von Bedeutung ist, nur während der ersten beiden Schlafzyklen, also während des Tiefschlafs, SWS (*slow wave sleep*), und bei niedrigem Kortisolspiegel ausgeschüttet. Die pulsatile Ausschüttung des adrenocorticotropen Hormons (ACTH) und von Kortisol beginnt dagegen erst mit dem dritten Schlafzyklus, zu einer Zeit also, zu der die GH-Ausschüttung bereits abgeschlossen ist. Sie wird während der REM-Phasen der zweiten Nachthälfte gebremst, nimmt aber in den Zwischenphasen des Non-REM-Schlafes bis zum Aufwachen ständig zu und bereitet den Organismus damit im Sinne einer **antizipatorischen Homöostase** auf die Anforderungen des kommenden Tages vor. Die Ausschüttung des luteinisierenden Hormons (LH) zeigt ihre Maxima vornehmlich nur während der Non-REM-Phasen, und die Plasma-Renin-Aktivität (PRA) pulsiert regelmäßig mit dem Beginn jedes Schlafzyklus.

Dieser geordnete Ablauf kann nun deswegen leicht in Unordnung geraten, weil es unterschiedliche Kopplungen gibt. In der Regel sind, wie in ◘ Abb. 5.44a dargestellt, die maximalen Ausschüttungen an die Schlafzyklen gebunden. Dies trifft aber, wie sich zeigte, nicht für das Wachstumshormon zu. Hier ist nicht der Tiefschlaf selbst – wie erwartet – der Auslöser, sondern der Einschlafzeitpunkt und damit der Beginn des ersten leichten Schlafes. Daher führt ein weit verzögerter Einschlafzeitpunkt (frühestens 2 Uhr) dazu, dass die GH-Freisetzung und die Kortisolpulse überlappend und gleichzeitig erfolgen, wobei sie sich möglicherweise in ihren Wirkungen behindern (Fehm et al. 1990).

Die Darstellung in ◘ Abb. 5.44b macht dieses Problem und seine Folgen für das Leistungsverhalten und die Befindlichkeit am Beispiel der **Nachtschichtarbeit** und dem Hormonausschüttungsverlauf von Adrenalin („Stresshormon") und dem Wachstumshormon (GH) deutlich. Vor der Nachtschicht, im Normalzustand, wechseln sich Erholung mit GH-Ausschüttung während des Schlafes und Leistung mit Adrenalinaktivität am Tag regelmäßig ab. Nach der Arbeitsnacht im wachen Zustand steigt der Spiegel des GH erst zu Beginn des Tagschlafes und erreicht hier zugleich mit der Adrenalinausschüttung seinen Höhepunkt, sodass beide Prozesse gegeneinander ankämpfen – mit dem Resultat der Mattigkeit am Morgen.



◘ **Abb. 5.44** **a** endokrine Aktivitätsanbindungen, **b** Auswirkung der Nachtschichtwachheit auf die Wachstumshormonausschüttung. (Birbaumer und Schmidt 1999)

5.3.4 Träumen, Traumtheorien und REM-Schlaf

Die Entdeckung, dass der REM-Schlaf eng mit dem Erleben lebhafter **Träume** verbunden ist, eröffnete erstmals die Möglichkeit, das Träumen gezielt und objektiver zu untersuchen. Denn man war nicht mehr auf **Traumberichte** angewiesen, die erst am Morgen, Stunden nach dem Traum, erfolgten, sondern konnte die Testschläfer direkt während ihres Traumerlebnisses oder kurz nach Abschluss desselben wecken und einen „frischen" Traumbericht erhalten, den man zudem mit den gleichzeitig erhobenen physiologischen Messungen vergleichen konnte (◘ Tab. 5.2 und ◘ Abb. 5.27).

Was wir träumen

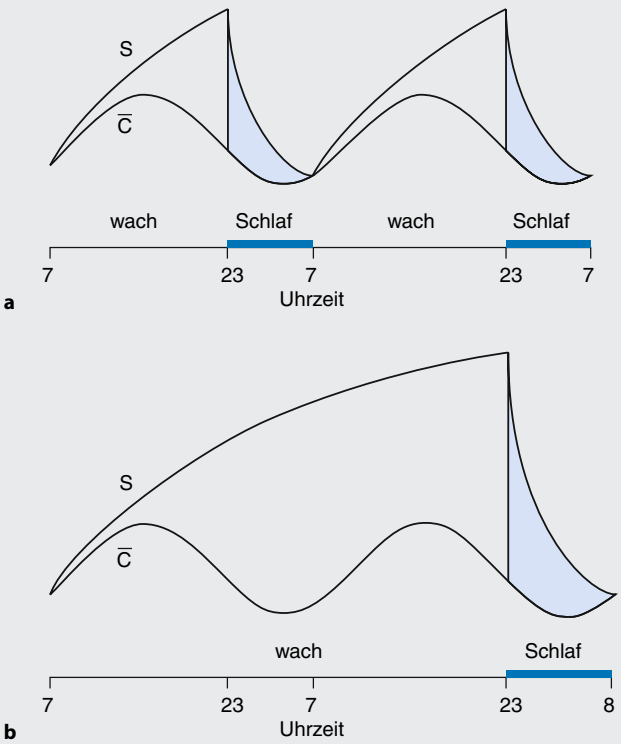
Das Träumen ist im Grunde ebenfalls ein *veränderter Bewusstseinszustand*, in welchem erinnerte Bilder und Fantasien in bunter Mischung mit realen Erfahrungen vermischt erlebt werden. Diese Mischung variiert offenbar in bestimmter Weise über den Verlauf einer Nacht. Aus dem REM-Schlaf geweckt, erinnerten sich die Testschläfer meist an lebhafte, fortlaufende Vorstellungs-

Exkurs 5.29

Genauer betrachtet: Zwei-Prozess-Modell von Borbély

Das Prinzip des von Borbély (1984) vorgeschlagenen Modells ist in ◘ Abb. 5.45 dargestellt. Der *Prozess S* entspricht der vom Schlaf-Wach-Verhalten abhängigen Schlafbereitschaft beziehungsweise der Schlaftiefe und bestimmt sich primär durch die Dauer des Wachzustands im Sinne einer kumulativen Schlafsubstanz. (Er wurde durch die spektralanalytisch ermittelte *Power* des Schlaf-EEG der Delta-Wellen (SWS) bestimmt.) Der Abfall des Tiefschlafanteils (abfallende Kurve) während des Schlafes entspricht somit dem Abbau einer hypothetischen Schlafsubstanz, die im Wachzustand aufgebaut wurde. Der zweite Faktor der Schlafbereitschaft, *Prozess C*, entspricht dem zirkadianen Rhythmus der Schlafbereitschaft, der von der vorausgegangenen Wachdauer unabhängig ist. Diese ist gegen 4 Uhr morgens – zu der Zeit, da es besonders schwer fällt, wach zu bleiben – am höchsten und nachmittags am tiefsten. Dieser Schlafbereitschaftsfaktor verläuft invers zum Verlauf der zirkadianen Körpertemperatur und hat somit sein Maximum beim Minimum der Körpertemperatur. Die in ◘ Abb. 5.45a dargestellte Kurve zeigt nun aber nicht den Prozess C selbst, sondern die reziproke Kurve $\bar{C}$ (und entspricht damit dem zirkadianen Temperaturoszillator, also der Temperaturkurve). Sie kann als Schwellenwert des Aufwachens betrachtet werden und spiegelt zugleich den zunehmenden REM-Druck in der zweiten Schlafhälfte wider. Das tatsächlich erlebte effektive Schlafbedürfnis, der **Gesamtschlafdruck**, bestimmt sich aus der Summe der Prozesse S und $\bar{C}$, was in der Abbildung dem Zwischenraum (der Differenz) der Kurven S und C entspricht.

Wie das Modell zeigt, ist das Schlafbedürfnis am Morgen und Vormittag recht niedrig (die Kurven liegen nahe beieinander). Am Nachmittag wird der Zwischenraum (der Schlafdruck) zunehmend größer bis zum Einschlafzeitpunkt. In der Schlafzeit verringert er sich bis zum morgendlichen Aufwachpunkt. Im Falle eines Schlafentzugs (durchwachte Nacht; ◘ Abb. 5.45b) steigt der Prozess S weiter an, und der anschließende Erholungsschlaf ist intensiver (größere Schlaftiefe zu Beginn), aber nicht viel länger als der gewöhnliche Schlaf. Die während des Wachens erlebte größte Müdigkeit entspricht der größten Differenz der beiden Kurven und liegt (wie bekannt) in den frühen Morgenstunden, wonach wir uns (auch ohne Schlaf) über Tag wieder wacher fühlen. Das Modell erklärt auch, warum uns das Einschlafen besser bei abfallender Körpertemperatur gelingt und nicht bei steigender. Versuchen wir bei steigender Temperaturkurve einzuschlafen (Ursache bestimmter Schlafstörungen), gelingt dies schwerlich, da der Gesamtschlafdruck bereits von sich aus im Abnehmen begriffen ist (verminderte Differenz zwischen den Kurven).



◘ **Abb. 5.45** Zwei-Prozess-Modell von Borbély. (Borbély 1984, S. 235, Abb. 12.2 © 1984 Deutsche Verlagsanstalt GmbH, Stuttgart)

bilder, die organisiert erscheinen und meistens ein zusammenhängendes Schauspiel ergeben. Die oft bizarren oder fantastischen Qualitäten der Handlung und des Szenenwechsels sowie die teils absolut unwirkliche Situation werden vom Schläfer als „natürlich" akzeptiert. Weckungen aus dem Non-REM-Schlaf zeigten, dass wir auch in diesen Phasen Traumerlebnisse haben. Diese sind jedoch von anderer Qualität und haben zuallermeist keine dramatischen Geschichten zum Inhalt. Die Non-REM-Berichte zeigen, wie Foulkes (1969) bereits feststellte, oft offenkundige Übereinstimmungen mit kürzlichen Erlebnissen der Versuchsperson. Hier werden häufiger Themen aus dem täglichen Leben, aus Schule und Arbeit behandelt und sind eher mit *Gedankenbruchstücken* angefüllt. Dadurch ergeben sie auch eher einen Sinn für den Träumer. Offenkundig weist unsere mentale Aktivität im REM- und im Non-REM-Schlaf deutliche Unterschiede aus.

Wir träumen alle

Obgleich es viele Menschen gibt, die behaupten, nie oder fast nie zu träumen, ließ sich das im Schlaflabor nicht bestätigen. Hier handelt es sich vielmehr um **Nichterinnerer**, die ihre Träume am Morgen nur nicht mehr erinnern können. Wie die Untersuchungen im Labor zeigten, träumen sie etwa ebenso viel wie die **Erinnerer**. Auch Personen, die behaupten, noch nie geträumt zu haben, können, wenn sie im REM-Schlaf geweckt werden, ihre Träume erinnern und berichten. Nichtträumer sind offenbar nur Nichterinnerer. Dies könnte verschiedene Gründe haben. Zum einen könnten Nichterinnerer einfach mehr Schwierigkeiten haben, sich am Morgen an ihre Träume zu erinnern. Zum anderen könnte es sein, dass Erinnerer häufiger und leichter im REM-Schlaf erwachen und sich darum an mehr Träume erinnern als die festen Schläfer. Wie Jovanović (1971) feststellen konnte, gehen die *Trauminhalte* bereits verloren, wenn sich an einen REM-Traum eine Non-REM-Phase von mindesten 5–10 min Dauer anschließt.

Es spricht vieles dafür, dass wir unsere Träume nur dann erinnern, wenn wir nach einem lebhaften Traum eine von weiterer Reizverarbeitung ungestörte Wachphase hatten, in welcher der Traum auch im Gedächtnis gespeichert werden konnte (Hobson 1988). Andernfalls geht er verloren.

Luzides Träumen

Manche Menschen sind in der Lage (und andere können es lernen), während des Traumes wahrzunehmen, dass sie träumen, und können dies durch eine Handbewegung oder einen Knopfdruck dem Versuchsleiter anzeigen, ohne dass dieses Bewusstwerden einen Einfluss auf den Traumverlauf nimmt (Salamy 1970). In solchen **luziden Träumen** ist es aber auch möglich, wie im Wachen in den Traum einzugreifen und zum Beispiel willentlich zu antworten oder Fragen zu stellen. Dabei ist sich der Träumende dessen bewusst, dass er gerade träumt und dass er den Traumverlauf beeinflussen kann. Es ist ein Wachsein im Traumzustand (Blackmore 1991). Luzide Träumer wie LaBerge (1986) berichten, dass sie auch Experimente während des Traumes machen können, um zu entscheiden, ob sie wachen oder schlafen, wobei es auch zu „falschem Erwachen" kommen kann, das heißt, auch das Erwachen wird geträumt, was aber erst nach dem wirklichen Erwachen bewusst wird. Nach Squier und Domhoff (1998) gibt es jedoch nur sehr wenige Personen, die mit einiger Regelmäßigkeit luzide träumen.

Traumtheorien

Die Frage, warum wir träumen, hat schon viele Generationen beschäftigt und zu vielen Hypothesen Anlass gegeben. Die bedeutendste und einflussreichste Darlegung ist zweifellos Freuds Buch *Die Traumdeutung* (Freud 1900), die er selbst auch als sein bedeutsamstes Werk bezeichnete. Das Werk umfasst ein Bündel von Einzelthesen, deren drei wichtigste wohl sind:

1. Traumsymbolik
2. Wunscherfüllung
3. Aufarbeitung der Tagesreste

Freuds Traumtheorie geht davon aus, dass **unbewusste Triebimpulse** unserer Psyche für den Traum verantwortlich sind und dass es Ziel und Zweck des Traumes sei, eine Art Triebbefriedigung oder Wunscherfüllung zu ermöglichen, die im Wachbewusstsein durch den Zensor, unser „Ich", verhindert wird. Träume bilden gewissermaßen das psychologische Sicherheitsventil, über welches sich unsere sonst unakzeptablen Gefühle entladen können (wobei für Freud das seinerzeit drängendste Tabuthema Sexualität im Vordergrund stand). Aber selbst im Traum ist nach Freud die **Wunscherfüllung** nicht völlig unzensiert, sondern nur *verstellt* möglich. Das heißt, die wahre Bedeutung des Traumes, ihr **latenter Inhalt**, wird nicht direkt ausgedrückt. Er wird vielmehr dramatisiert symbolisiert und verstellt zu dem, was von uns als **manifester Inhalt** erinnert wird. Nach Freud baut der Träumer den Traum, indem er Triebimpulse in akzeptable Form kleidet. Unausgesprochene Wünsche und Gedanken gestalten aus **Tagesresten** (Gedanken des Vortages) den manifesten Traum, wobei die Traumkonstruktion, die als **Traumarbeit** bezeichnet wird, sich bestimmter Mechanismen bedient:

1. **Kondensation** (Verdichtung): Ideen werden komprimiert, das heißt zum Beispiel, ein Wort steht für mehrere Bedeutungen.
2. **Verschiebung:** Sie erlaubt, dass ein Ding für ein anderes steht, das heißt, das Traumbild repräsentiert den latenten Inhalt nur indirekt (was der Deutung natürlich viele Möglichkeiten eröffnet).
3. **Symbolisierung** Hierbei kann es sich sowohl um universelle Symbole handeln (Hüte, Gebäudeschächte, Vase für Genitalorgane, Zimmer für Frauenzimmer, Zigarre oder Pistole als Penisrepräsentation), als auch um ganz private, persönliche Symbole.
   Allerdings kommt nicht allen Traumvorstellungen eine symbolische Bedeutung zu, denn es gibt eine Fülle von Traumepisoden, für welche die Betroffenen plausible und vollständig erscheinende Erklärungen abgeben können.

Nach Freud kommt dem Traum darüber hinaus auch eine **Schutzfunktion** zu, er ist **Hüter des Schlafes**, der dafür sorgt, dass unbefriedigte Wünsche den Schlaf nicht stören. Käme der wahre Inhalt dem Schläfer zu Bewusstsein, würden die Triebimpulse oft als intolerabel erlebt und zum Aufwachen führen. (Ähnliches gilt für unerledigte Tagesreste oder störende Außenreize (Wecker), die zu stimulierten Träumen führen können.) Bisweilen schafft der Traum diesen Schutz allerdings nicht, und wir erwachen doch mit Angst oder Schrecken, wie Freud (1900/1973, S. 371 f.) dies anhand einer Bilderserie aus dem ungarischen Witzblatt *Fidibusz* veranschaulicht (◘ Abb. 5.46).

Freuds Traumtheorie ist nach wie vor umstritten. Als bisher einleuchtendste Theorie gilt sie der psychoanalytischen Behandlung als wichtige Stütze, während sie andererseits aus Sicht der neurobiologischen Forschung von einigen Autoren (zum Beispiel Birbaumer und Schmidt 1999, S. 557) als widerlegt betrachtet wird. Zumindest werfen jedoch einige Ergebnisse der neueren Schlafforschung nicht übersehbare Zweifel auf. So hat sich gezeigt, dass die Traumphasen (REM) nicht von der Stärke oder Menge der (sexuellen) Triebimpulse gesteuert werden, sondern (1) regelmäßigen Rhythmen folgen und (2) vermehrt bei sehr jungen Kindern und Neugeborenen vorkommen, bei denen ein Sexualleben noch nicht entwickelt ist. Auch führt (3) eine *REM-*

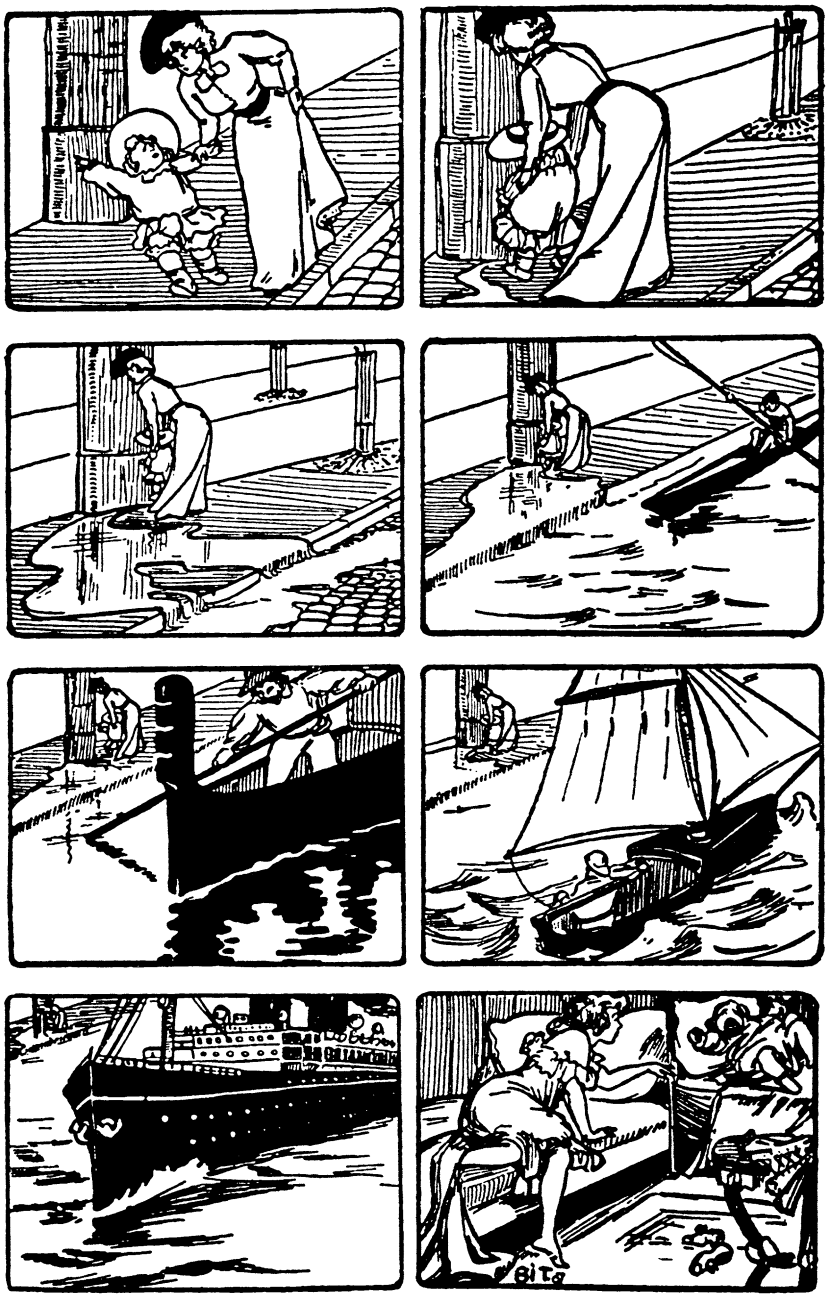


Abb. 5.46 Traum der französischen Bonne, der nach Freud die Hüterfunktion des Schlafes illustriert. Der schlafstörende Reiz ist hier das Schreien des Kindes, der zum Erwachen der Bonne führen soll, deren Bett, wie das letzte Bild der Serie zeigt, dicht bei dem Jungen steht. Der Traum vertauscht nun das Schlafzimmer mit der Situation auf einem Spaziergang, wobei die geforderte Handlung als bereits erledigt halluziniert wird (*zweites Bild*). Der Traum bestätigt so, dass alles in Ordnung ist. Je lauter das Kind nach der Kinderfrau schreit, desto stärker bestätigt der Traum, dass sie weiterschlafen könne, wobei die Dringlichkeit des Weckreizes in den Symbolbereich des „Bächlein-Machens" übersetzt wird, das zu einem mächtigen Strom (mit Schiffen) anschwillt und so zunehmend von der Aufwachnotwendigkeit ablenkt – bis der Weckreiz doch zum jähen Erwachen führt

Deprivation nicht zu einer Antriebsbereitschaft für sexuelle oder andere Triebregungen. Ferner ist es problematisch, den Traum als Hüter des Schlafes anzusehen, denn wir erwachen weit öfter aus dem Traumschlaf gegen Morgen als aus dem tiefen SWS-Schlaf.

Die Traumtheorie von Freud war zugleich auch Anlass zur Entwicklung neuer Theorien über das Träumen. So lässt sich der Traumschlaf als ein Prozess der **Informationsverarbeitung** verstehen, wie er bei Freud schon als Umschichtung von Erinnerungsspuren angedacht war, bei welcher das Gehirn, abgeschaltet von Einflüssen der Umwelt, gewissermaßen offline, Zeit hat, am Tag aufgenommene Informationen zu sichten, zu sortieren, zu interpretieren, zu verarbeiten und im Gedächtnis abzuspeichern. Nach Evans (1984) werden uns nur kleinste Teile des fortlaufenden Prozesses in Träumen bewusst, die daher unzusammenhängend und bizarr erscheinen. Als Indiz für derartige Verarbeitungsprozesse lässt sich anführen, dass es nach stressvollen Erlebnissen oder intensiven Lernphasen zu einer Zunahme des REM-Schlafes kommt (Palumbo 1978).

Aktivierung und Synthese der Traumentstehung

Eine Hypothese dazu wurde von Hobson und McCarley (1977) entwickelt. Sie gingen dabei von ihrem bereits beschriebenen reziproken Interaktionsmodell der Schlafsteuerung aus, auf welchem sie aufbauend ihre Traumentstehungshypothese formulierten. Vereinfacht besagt ihre *Rasterhypothese*, dass Träumen das subjektive Erleben der im Schlaf ablaufenden Hirnaktivität ist. Der Hirnstamm erzeugt im REM-Schlaf spontane Signale, unter anderem die PGO-Wellen, die sensorische Information enthalten. Hierbei reagiert der Hirnstamm jedoch nicht auf Außenreize wie im Wachzustand, sondern er *aktiviert* sich selbst

(Abb. 5.47). In dem Maße, wie diese Signale einzelne Sinneskanäle im Cortex stimulieren, wie dies sonst im Wachzustand durch Außenreize geschieht, werden, nach dieser Theorie, vom Cortex entsprechende Wahrnehmungsbilder (Erinnerungen) erzeugt, die dann assoziativ miteinander zum bizarren Traum verbunden werden. Diese *Synthese* kann jedoch nicht durch die logischen Regeln des Wachzustands kontrolliert werden (Freud sprach von der Kontrolle des Zensors des Ich). Dennoch versucht das Gehirn Sinn in die zunächst neuronale Zufallsaktivität zu bringen (Antrobus 1991; Hobson 1990), ähnlich wie durch neurochirurgische elektrische Cortexstimulation bei Patienten Halluzinationen ausgelöst werden können.

Viele Untersuchungsergebnisse sprechen dafür, dass die Traumphasen von Impulsen aus dem Hirnstamm gesteuert werden, die auf ihrem Weg neben anderen Wahrnehmungssystemen auch das optische Kreuzen und hier entsprechende gespeicherte „Erinnerungen" auszulösen vermögen. Diese werden von uns als Traumbilder erlebt.

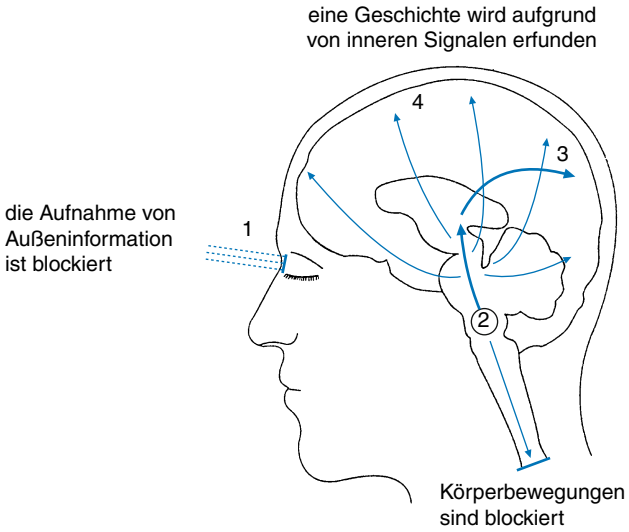


Abb. 5.47 Modellvorstellung zur Rasterhypothese der Traumentstehung im REM-Schlaf. Nicht aus den Sinneskanälen (**1**) stammende, sondern durch eigene spontane Aktivität des Hirnstammes (**2**) über den okzipitalen Cortex (**3**) geweckte Signale stimulieren die Sinnesbahnen des aktivierten Cortex (**4**) und rufen so Wahrnehmungen (Träume) hervor. (Nach Hobson 1990)

Wie bereits erwähnt, können wir am nächsten Morgen nur einen kleinen Bruchteil all der tatsächlich erlebten Träume erinnern. Dabei sind, wie Skeptiker wie Oswald (1969) vermuteten, diese morgendlichen **Traumerinnerungen** mehr eine Konstruktion als eine volle Erinnerung. So konnten Whithman et al. (1962) belegen, dass dem Versuchsleiter nachts beim Wecken aus dem REM-Schlaf durchaus eine Reihe von Träumen berichtet wurde, die der Therapeut am Tage gar nicht zu hören bekam. Der Vergleich der auf Tonband aufgenommenen Traumberichte ergibt weiter, dass beim zweiten Erzählen beim Therapeuten Träume oft erheblich entstellt wurden oder der Träumer sich für den Psychiater an Träume „erinnerte", wie Whithmann sagt, die der Versuchsleiter nachts nicht zu hören bekam.

REM-Schlaf und Gedächtniskonsolidierung

Während dem SWS, wie wir sahen, vor allem restitutive, auf körperliche Erholung ausgerichtete Funktionen zugeschrieben werden, gibt es seit einigen Jahren zunehmend Hinweise darauf, dass der REM-Schlaf in enger Beziehung zur **Gedächtniskonsolidierung** steht oder sogar eine entscheidende gedächtnisfördernde Rolle hat (McGrath und Cohen 1978). Solche Hinweise lieferten vor allem Tierexperimente (Pearlman und Greenberg 1973; Kesner 1977), aber auch Experimente, in denen die Versuchspersonen vor dem Schlafengehen beispielsweise ungewöhnliche Aussprüche (Phrasen) hörten oder schwer zu behaltende, tachistoskopisch-visuelle Bilder zu erkennen lernten. In der anschließenden Nacht wurden diese Personen dann entweder **REM-depriviert,** das heißt, sie wurden geweckt, sobald eine REM-Phase begann, oder sie wurden – als Kontrollpersonen – gleich oft im Non-REM-Schlaf geweckt. Am nächsten Morgen erinnerten die REM-Deprivierten deutlich weniger beziehungsweise zeigten keine Lernfortschritte im Gegensatz zu den während anderer Stadien Geweckten (Empson und Clarke 1970; Karni und Sagi 1994). Ähnliche Ergebnisse waren vorher auch schon beim Labyrinthlernen von Ratten nachgewiesen worden. Aufgrund dieser Ergebnisse bei einfachen Lernaufgaben wird angenommen, dass diese Bedeutung für die Gedächtniskonsolidierung bei komplexen Fähigkeiten (Skills) und Erinnerungen noch gravierender ist, bei denen neue Informationen mit bereits vorhandenen alten Gedächtnisinhalten verknüpft werden, wobei es zu Umschichtungen und Traumerlebnissen kommt, wie wir bereits besprochen haben (Ramachandran et al. 1996).

Während der Non-REM-Schlaf wohl eher den frischen Tageserinnerungen dient und sein Hauptgewicht mehr auf der biologisch-physiologischen Restitution liegt, laufen während der REM-Phasen, wie es scheint, Erinnerungs- und Erlebnisumschichtungen sowie Verarbeitungen ab, die für ein normales Funktionieren des Gedächtnisses von Bedeutung sind – sagt doch auch eine alte Weisheit, man solle eine wichtige Entscheidung erst noch einmal „überschlafen", ehe man sie endgültig fällt. Und in der Tat sehen die am Vortag durchdachten Inhalte am Morgen oft ganz anders aus, nämlich so, als wären sie überarbeitet.

5.3.5 Schlafentzug und seine Auswirkung

Die Frage nach dem Zweck und der Bedeutung des Schlafes beziehungsweise der verschiedenen Schlafstadien hat man schon früh dadurch zu beantworten versucht, dass man freiwillige Personen längere Zeit am Schlafen oder spezieller am REM- oder Non-REM-Schlaf hinderte und die Folgen beobachtete.

Schlafdeprivationsexperimente wurden bereits 1922 von Kleitman (1963) durchgeführt, auf die bis heute viele weitere folgten. Bei einem mehrtägigen völligen Schlafentzug kann es neben einer zunehmend stärker werdenden, fast unüberwindbaren Müdigkeit zu Stimmungsbeeinträchtigungen, starken emotionalen Schwankungen, Gereiztheit, Konzentrations- und Lernfähigkeitsstörungen kommen. Auch Wahrnehmungsstörungen und paranoide Halluzinationen wurden beobachtet. Diese Symptome verschwinden jedoch ausnahmslos, sobald der Betrof-

fene wieder schlafen darf. Bei Tieren führt totaler Schlafentzug allerdings nach durchschnittlich 16 Tagen zum Tode.

Den Weltrekord im **Dauerwachsein** erzielte 1965 ein Schüler namens Randy Gardner im Rahmen eines Wettbewerbs mit 264 h, 12 min (etwa 11 Tage), an dessen Ende er noch eine Pressekonferenz vor Reportern und Fernsehteams aus den ganzen USA gab, ohne Anzeichen von Unnormalitäten. In der ersten Nacht danach schlief er volle 14 h, nicht mehr, und in den nächsten Nächten wie üblich seine 8 h. Im *Guinness-Buch der Rekorde* wurde er 1977 von einer Frau mit einem Rekord von 18 Tagen und 17 h geschlagen, den sie in einem Marathonwettkampf im Schaukelstuhlschaukeln erzielte (nach Pinel 1997). Auch in Laboruntersuchungen zur Schlafdeprivation, bei denen eine Vielfalt von physiologischen, motorischen und kognitiven Tests durchgeführt wurden, waren die Ergebnisse recht konsistent. Sie ergaben kaum einen Anhaltspunkt dafür, dass längerer Schlafentzug irgendwelche bedeutenden physiologischen Veränderungen hervorruft (Karadžić 1973; Horne 1983). Anders sieht es allerdings mit Daueraufmerksamkeitsleistungen (Vigilanztests) aus, bei denen es schon bei wenigen Stunden Schlafentzug zu deutlichen Defiziten kommt (zum Beispiel Brendel et al. 1990).

Erstaunlicherweise gibt es offenbar keinen großen Schlafnachholbedarf, der sich in einer verlängerten Schlafdauer zeigt. Und das schien zunächst gegen die Theorien einer restitutiven Funktion des Schlafes zu sprechen. Dagegen gibt es eine Reihe von Befunden, die zeigen, dass es nach einem Schlafentzug zu einer Steigerung der **Schlafeffizienz** kommt. Diese ist definiert durch den Quotient aus effektiver Schlafdauer und der Gesamtschlafdauer, die auch die leichten Schlafstadien mitumfasst. So besteht der nur wenig verlängerte Schlaf nach einer Schlafdeprivation fast ausschließlich aus Schlafstadium 4 (Horne 1976; Borbély et al. 1981). **Schlafrestriktion**, also eine experimentelle Verkürzung der normalen Schlafdauer, führt zu einer Reduktion der Schlafstadien 1 und 2, während die Tiefschlafstadien 3 und 4 gleich lang bleiben (Mullaney et al. 1977; Müller 1996; Müller und Paterok 1999).

REM-Schlaf-Entzug

Bei den verschiedenen Experimenten zum **selektiven Schlafentzug**, bei denen der Schläfer nur am Schlaf ausgewählter Schlafphasen gehindert wurde, war der Entzug von REM-Schlaf wegen seiner Verbindung zum Träumen von besonderem Interesse. Selektiver REM-Schlaf-Entzug erfolgt im Labor zumeist dadurch, dass der Versuchsschläfer jedes Mal zu Beginn einer (im EEG sichtbaren) REM-Schlaf-Phase geweckt wird. Solcher REM-Schlaf-Entzug hat stets folgende zwei Auswirkungen:

1. Die Probanden müssen immer häufiger geweckt werden, denn nach dem Wiedereinschlafen kehren sie immer schneller wieder in den REM-Schlaf zurück (beispielsweise waren im Deprivationsexperiment von Webb und Agnew (1967), in der ersten Nacht 17, in der siebten Nacht 67 Weckungen nötig).
2. In den ersten ungestörten Nächten nach der Deprivation schlafen die Probanden ähnlich wie Babys mit einem deutlich erhöhten REM-Schlaf-Anteil. Dieser kann im Vergleich zu den normalen etwa 20 % bis zu 50 % ansteigen. Dieses Phänomen der **REM-Schlaf-Kompensation** wird als **REM-Rebound** (Rückschlag) bezeichnet. Es tritt ebenfalls auf, wenn REM-Schlaf unterdrückende Medikamente (zum Beispiel bestimmte Schlafmittel, Benzodiazepine, Beta-Blocker) plötzlich abgesetzt werden. Das Bestreben des Organismus, verlorene Schlafanteile nachzuholen, gilt in erster Linie für den REM-Schlaf und belegt, wie schon Dement (1978) aufgrund seiner Beobachtungen formulierte, dass ein gewisses Maß an Notwendigkeit zu träumen besteht.

Bei den bereits besprochenen Gesamtschlafentzugsexperimenten ist die erste Erholungsnacht neben der Zunahme der Gesamtschlafdauer dagegen charakterisiert durch eine Verlängerung der Schlafstadien 3 und 4 (Tiefschlaf). Dies wird auch als **Non-REM-Rebound** bezeichnet (Clarenbach et al. 1991). Eine Zunahme des REM-Schlafes trat bei Schlafentzug stets erst in der zweiten Nacht auf. Offenbar wird das Bedürfnis des Organismus nach traumlosem, restitutivem Tiefschlaf vorrangig vor dem Nachholbedürfnis nach REM-Schlaf befriedigt.

Kritisch hinterfragt

Wir haben bei der Besprechung der Aufmerksamkeitssteuerung die Rolle von Top-down und Bottom-up Prozessen erörtert und die Theorie der gelenkten Suche vorgestellt. Hier lässt sich *kritisch fragen*, was haben die dargestellten unterschiedlichen Experimente mit den Singletons-Distraktoren an Evidenz für deren Gültigkeit erbracht? Welche Bedingung muss erfüllt sein, damit diese Distraktoren überhaupt verhaltenswirksam werden? Und in wie weit lässt sich die „automatische" Verarbeitung durch die Ausrichtung der Aufmerksamkeit bzw. durch Aufmerksamkeits-Cues beeinflussen? Sie finden die Diskussion dieser Fragen in ► Exkurs 5.12 mit *Zusatztext online* und in ► Exkurs 5.5 und 5.6 mit *Zusatztext online* zu der Seite.

Zusammenfassung

Nur ein geringer Ausschnitt der zu jedem Zeitpunkt an den Sinnesorganen anliegenden Reizinformation wird beachtet. Man spricht auch davon, dass Aufmerksamkeit auf diese Reize gerichtet wird. Diese Reizinformationen erhalten eine hervorgehobene oder bevorzugte Verarbeitung, zum Beispiel im Sinne der Bewusstwerdung oder der Verwendung zur Steuerung von Handlungen.

Beachtete Reize rufen bereits in einer frühen Verarbeitungsphase stärkere Reaktionen in sensorischen Gehirnarealen hervor. Auch nicht zu beachtende Reize werden jedoch oftmals in gewissem Ausmaß kognitiv verarbeitet und semantisch entschlüsselt. Hierdurch ergeben sich Interferenzeffekte bei der Reaktion auf handlungsrelevante Reize.

Aufmerksamkeit kann auf spezifische Orte in der Reizumgebung, aber auch auf nicht-räumliche Merkmale oder Reizdimensionen gerichtet werden. Die Beachtung eines Merkmals eines Objekts führt zur bevorzugten Verarbeitung auch anderer Merkmale desselben Objekts.

Die Ausrichtung der Aufmerksamkeit wird durch das Zusammenwirken von Top-down- und Bottom-up-Prozessen gesteuert: Zum einen erfolgt die Reizselektion intentionsgeleitet, d. h. anhand

der aktuellen Verhaltensziele. Zudem sind allerdings bestimmte Reizereignisse in der Lage, Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen, wenn hierfür eine begünstigende Einstellung vorliegt. Top-down- und Bottom-up-Effekte werden durch unterschiedliche Hirnstrukturen vermittelt.

Der Begriff Bewusstsein wird in diversen Bedeutungen verwendet. Eine oftmals verwendete Bedeutung bezieht sich auf den Erlebnischarakter mentaler Repräsentationen, welcher sich von außen nicht beobachten lässt (phänomenales Bewusstsein). Untersuchungen zum phänomenalen Bewusstsein befassen sich mit Veränderungen des Wahrnehmungseindrucks, die sich ohne zugehörige Reizveränderung ergeben. Veränderte Bewusstseinszustände können auf diverse Weisen hervorgerufen werden und sich auf verschiedene Aspekte des Bewusstseins beziehen.

Für die allgemeine Wachheit und Reaktionsbereitschaft des Organismus spielt die Formatio reticularis eine herausgehobene Rolle.

Beim Schlafen werden verschiedene Stadien zyklisch durchlaufen, welche mit charakteristischen physiologischen Veränderungen einhergehen. Im Laufe eines Nachtschlafes vermindert sich die Dauer der Tiefschlafphasen, während sich die Dauer der REM-Phasen erhöht. Eine wichtige Funktion des Schlafes besteht vermutlich in der Gedächtniskonsolidierung.

Antworten auf die Einführungsfragen

1. In vielen Experimenten zur Untersuchung der selektiven Aufmerksamkeit werden Versuchspersonen instruiert, lediglich auf einen von zwei gleichzeitig dargebotenen Reizen zu reagieren (z. B. Shadowing eines Ohres bei dichotischer Stimulation). Dies gelingt in der Regel unabhängig davon, auf welchen der beiden Reize die Reaktion instruiert ist (Nachsprechen der dem linken oder der dem rechten Ohr dargebotenen Botschaft), auch dann, wenn die Versuchsperson nicht in der Lage ist, dem zu bearbeitenden Reiz durch eine begünstigende Ausrichtung der Sinnesorgane einen Verarbeitungsvorteil zu verschaffen. Selbst eine nachteilige Ausrichtung des Sinnesorgans lässt sich kompensieren. So gelingt es etwa, auf einen nur aus den Augenwinkeln gesehen Reiz zu reagieren, während man den Blick auf einen anderen, handlungsirrelevanten Reiz gerichtet hat, der einen Verarbeitungsvorteil durch eine höhere visuelle Auflösung erfährt. In diesen Fällen kommt es also zur verdeckten Auswahl eines Reizes zur Handlungssteuerung trotz gleichzeitiger Stimulation mit vergleichbarer oder höherer Stärke durch einen anderen Reiz.
2. Die Verarbeitung beachteter Reize lässt sich untersuchen, indem man Versuchspersonen instruiert, bestimmte Reaktionen bei Wahrnehmung dieser Reize auszuführen, und die Reaktionsleistung unter diversen Versuchsbedingungen analysiert. Diese Methode ist zur die Untersuchung nicht zu beachtender Reize nicht anwendbar, da die Instruktion zur Beachtung eben dieser Reize führen würde. Ein übliches Vorgehen der Forschung zur Untersuchung nicht zu beachtender Reize besteht darin, nicht zu beachtende Reize zusätzlich zu zu beachtenden Reizen darzubieten und aus dem Einfluss der zusätzlichen Reize auf die Reaktionsleistung die Art ihrer kognitiven Verarbeitung zu erschließen. Ergibt sich hierbei beispielsweise eine systematische Beeinflussung der Reaktionszeit, wenn der zu beachtende und der nicht zu beachtende Reiz in einer semantischen Beziehung zueinander stehen (ohne dass es eine weitere Beziehung zwischen ihnen gibt), so lässt sich folgern, dass es zu einer gewissen Entschlüsselung der Bedeutung des nicht zu beachtenden Reizes gekommen ist.
3. Die vorherrschende Erklärung der Erhöhung der Suchzeit durch eine größere Anzahl von Elementen beruht auf der Annahme, dass zum Erkennen des gesuchten Reizes ein Fokus visueller Aufmerksamkeit auf dessen Darbietungsort gerichtet werden muss. Befindet sich der gesuchte Reiz inmitten einer größeren Anzahl anderer Reize, so besteht eine höhere Wahrscheinlichkeit, dass der Fokus zunächst auf andere Orte (an denen sich andere Reize befinden) gerichtet wird. In bestimmten Fällen lassen sich konstant sehr kurze Zeiten für das Feststellen des Vorhandenseins des gesuchten Reizes beobachten (z. B. wenn sich der gesuchte Reiz in einem elementaren Merkmal von allen Hintergrundreizen unterscheidet). Prominente Annahmen zur Erklärung dieser Fälle sind, dass das Vorhandensein des entsprechenden Merkmals auch ohne Ausrichtung des Aufmerksamkeitsfokus auf den Ort des Reizes festgestellt werden kann oder dass der Reiz den Fokus der Aufmerksamkeit „ohne Umweg“ auf sich zieht.
4. In Experimenten, in denen Versuchspersonen instruiert werden, selektiv auf Reize zu reagieren, die an einem bestimmten Ort auftreten, zeigen sich schon in frühen Wahrnehmungsphasen (mitunter weniger als 100 ms nach dem Erscheinen eines entsprechenden Reizes) stärkere von der Kopfoberfläche abgeleitete sensorische Potenziale, wenn der Reiz am „handlungsrelevanten“ Ort als wenn er an einem anderen, ansonsten vergleichbaren Ort dargeboten wird. Ähnliche Befunde wurden auch hinsichtlich anderer perzeptueller Merkmale (z. B. Farbe des Reizes) beobachtet oder auch, wenn ein handlungsrelevanter Reiz an einem zu erwartenden Ort vs. an einem anderen Ort dargeboten wird (Cueing-Aufgaben). Darüber hinaus zeigen bildgebende Verfahren, dass Hirnregionen, die an der Verarbeitung bestimmter Arten von Reizen besonders beteiligt sind (z. B. bestimmte Regionen im Temporallappen für Gesichter) höhere Aktivität aufweisen, wenn eine aktuelle Aufgabe die Beachtung der entsprechenden Reize erfordert.
5. Der grundsätzlichen Subjektivitätsproblematik zum Trotz werden verschiedene empirische Methoden zur Erforschung der Bewusstheit von Denk- und Wahrnehmungsinhalten eingesetzt. Ein spezifischer Ansatz basiert auf der Darbietung von Reizmaterial, welches mit wechselnden Perzepten einhergeht, wie es z. B. beim Phänomen der binokularen Rivalität geschieht, bei dem zu demselben Zeitpunkt dem linken und dem rechten Auge unterschiedliche Bilder dargeboten werden. Instruiert man menschliche Versuchspersonen (oder trainiert man Versuchstiere darauf), eine jeweilige Veränderung des Wahrnehmungs-

inhalts anzuzeigen, so lassen sich hirnphysiologische Prozesse beim Wechsel des Perzepts, also des bewussten Wahrnehmungseindrucks, bestimmen, welche nicht auf Veränderungen der äußeren – konstant gehaltenen – Stimulation zurückgeführt werden können. Hierbei wird mit verschiedenen Methoden versucht sicherzustellen, dass Wechsel des Wahrnehmungsinhalts tatsächlich korrekt angezeigt werden. Zum Beispiel werden Durchgänge vorgegeben, in denen eines der dargebotenen Bilder in abgeschwächter Form präsentiert wird, was zu einer Dominanz des mit dem anderen Bild korrespondierenden Wahrnehmungseindrucks führen sollte.

6. Ein normaler Nachtschlaf ist durch abwechselnde Phasen von Non-REM und REM-Schlaf-Phasen charakterisiert. Die REM-Schlaf-Phasen folgen dabei auf das Durchlaufen von bis zu vier unterscheidbaren Stadien unterschiedlicher Schlaftiefe, zunächst in Richtung zunehmender Tiefe und dann umgekehrt. In einer normalen Nacht reihen sich vier bis fünf derartige Zyklen aus Non-REM- und REM-Schlaf-Phasen aneinander, wobei im Lauf der Nacht der Anteil des Tiefschlafes abnimmt und der Anteil des REM-Schlafes zunimmt. Werden Versuchspersonen gezielt aufgeweckt, berichten sie vornehmlich von intensivem Traumerleben, wenn das Wecken während oder kurz nach einer REM-Phase erfolgte.

Fragen zur Wiederholung und Denkanstöße

1. Wie groß ist unser momentaner Aufmerksamkeitsbereich?
2. Wie lässt sich die (aufgenommene) Informationsmenge messen?
3. Diskutieren Sie Pro und Kontra zum Flaschenhalsmodell der Wahrnehmung und zu dem der selektiven Aufmerksamkeit.
4. Was bedeutet konzeptgesteuerte Aufmerksamkeitsverteilung?
5. Welche anderen Arten der Aufmerksamkeitslenkung und Reizauswahl kennen Sie?
6. Was lässt sich mit der Methode des dichotischen Hörens untersuchen und erkennen?
7. Was versteht man unter dem Begriff der Handlungsbereitschaft?
8. Wie wird unsere Aufmerksamkeit durch Wertvorstellungen beeinflusst?
9. Wann kommt es zur selektiven Aufmerksamkeit und wann zur Wahrnehmungsverkennung?
10. Welche physiologischen Korrelate von Aufmerksamkeitszuständen kennen Sie?
11. Was besagt Sokolovs Modell der Orientierungsreaktion?
12. Welche Bewusstseinsgrade beziehungsweise -prozesse kennen Sie und wie lassen sie sich unterscheiden?
13. Diskutieren Sie den Zusammenhang zwischen Bewusstsein und physiologischer Aktivation.
14. Was versteht man unter konsensualer Validierung?
15. Wie kommt es zu veränderten Bewusstseinszuständen (ASC) und wo spielen sie eine Rolle?
16. Von den ASC werden die krankhaften Bewusstseinsveränderungen unterschieden. Nennen und erklären Sie die bekanntesten.
17. Wie viele und welche Schlafstadien werden beim Schlaf des Menschen unterschieden und wie verteilen sie sich beim gesunden Schläfer über den Schlaf einer Nacht?
18. Was versteht man unter zirkadianen Rhythmen, was unter ultradianen Rhythmen und welche kennen Sie?
19. Wann spricht man von freilaufenden Rhythmen; unter welchen Bedingungen sind sie beobachtbar?
20. Was versteht man unter Zeitgebern und wie wirken sie sich auf verschiedene Rhythmen aus?
21. Wie wirken sich Zeitverschiebungen oder Schichtarbeit auf die Feinstruktur des Schlafes (Schlafstadien- und Schafphasenabfolge) und die Leistungsfähigkeit aus?
22. Welche Hirnzentren sind für die Steuerung des Schlafgeschehens verantwortlich und welche Rolle spielt dabei der Nucleus suprachiasmaticus?
23. Was besagt das reziproke Interaktionsmodell von Hobson?
24. Welche Schlaftheorien kennen Sie und was erklärt das Zwei-Prozess-Modell von Borbély?
25. Welche Traumtheorien wurden besprochen und was besagen sie?
26. Was wissen wir über den Zusammenhang von REM-Schlaf und Gedächtniskonsolidierung?
27. Was versteht man unter Schlafeffizienz, was unter REM-Rebound?

Literatur

Andersen, S. K., Müller, M. M., & Hillyard, S. A. (2009). Color-selective attention need not be mediated by spatial attention. *Journal of Vision*, *9*, 1–7.

Anderson, E. (1942). Abnormal mental states in survivors, with special reference to collective hallucinations. *J. Roy. Nav. Med. Serv.*, *28*, 361–377.

Antrobus, J. (1991). Dreaming: Cognitive processes during cortical activation and high afferent thresholds. *Psychological Review*, *98*(1), 96–121.

Aschoff, J., & Wever, R. (1966). Circadian period and phase-angle difference in chaffinches (Fringilla coelebs). *Comparative Biochemical Physiology*, *3*, 97–104.

Aserinsky, E., & Kleitman, N. (1953). Regulary occuring periods of eye motility, and concomitant phenomena, during sleep. *Science*, *118*, 273–274.

Ashby, W. R. (1956). *Design for an intelligence amplifier. Automata studies*. Princeton.

Ashby, W. R. (1973). *An Introduction to Cybernetics*. London: Beccles and Colchester.

Ashley, W. R., Harper, R. S., & Runyon, D. L. (1951). The perceived size of coins in normal and hypnotically induced economic states. *American Journal of Psychology*, *64*, 564–572.

Atkinson, R. L., Atkinson, R. C., Hilgard, E. R. et al. ($1953^{1/}$ $1983_{/8}$ $/2000^{13}$). *(Hilgard's) Introduction to Psychology.* New York, San Diego, Chicago, San Francisco, Atlanta: Harcourt Brace Jovanovich, Inc. (deutsch 2001, *Hilgards Einführung in die Psychologie.* Spektrum: Akademischer Verlag).

Awh, E., & Pashler, H. (2000). Evidence for split attentional foci. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *26*, 834–846.

Bacon, W. F., & Egeth, H. E. (1994). Overriding stimulus-driven attentional capture. *Perception & Psychophysics*, *55*, 485–496.

Bargh, J. (2007). Social psychological approaches to consciousness. In P. D. Zelazo, M. Moscovich & E. Thompson (Hrsg.), *The Cambridge handbook of consciousness* (S. 555–570). New York: Cambridge University Press.

Baylis, G. C., & Driver, J. (1993). Visual attention and objects: Evidence for hierarchical coding of location. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *19*, 451–470.
Becker, S. I., Folk, C. L., & Remington, R. W. (2013). Attentional capture does not depend on feature similarity, but on target-nontarget relations. *Psychological Science*, *24*, 634–647.
Becker-Carus, C. (1976). Physiologische Psychologie. Psychophysiologische Methodik. In F. Dorsch (Hrsg.), *Psychologisches Wörterbuch*. Stuttgart: Huber.
Becker-Carus, C. (1980). Zustände des Bewußtseins. In W. Toman & W. F. Kugelmann (Hrsg.), *Fernstudien im Medienverbund, Studieneinheit Allgemeine Psychologie*. Erlangen-Nürnberg: (FIM) Fernstudium im Medienverbund.
Becker-Carus, C. (1981). *Grundriß der Physiologischen Psychologie*. Heidelberg: Quelle und Meyer.
Becker-Carus, C., Heyden, T., & Ziegler, G. (1979). *Psychophysiologische Methoden*. Stuttgart: Enke.
Becker-Carus, & Heyden (1979). Streß-Wirkungen in Labor- und Realsituationen in Abhängigkeit von REM-Schlaf und Psychophysiologischer Aktivation. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, *26*(1), 37–52.
Behrmann, M., Moscovitch, M., & Winocur, G. (1994). Intact visual imagery and impaired visual perception in a patient with visual agnosia. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *20*, 1068–1087.
Bennett, A. (1961). Sensory deprivation in aviation. In P. Solomon et al. (Hrsg.), *Sensory deprivation* (S. 161–173). Cambridge: Harvard.
Berger, H. (1929). Über das Elektroencephalogramm des Menschen. *Arch. Psychatr. Nerv. Krankenh.*, *87*, 527–570.
Berger, M. (Hrsg.). (1992). *Handbuch des normalen und gesunden Schlafs*. Berlin: Springer.
Berlucchi, G., Maffei, L., Moruzzi, G., & Strata, P. (1964). EEG and behavioral effects elicited by cooling of medulla and pons. *Archives Italiennes de Biologie, 102*, 37–392.
Bieri, P. (Hrsg.). (2007). *Analytische Philosophie des Geistes* (4. Aufl.). Weilheim: Beltz.
Birbaumer, N., & Schmidt, R. F. (1999). *Biologische Psychologie*. Berlin, Heidelberg: Springer.
Blackmore, S. (1991). Lucid dreaming: Awake in your sleep? *Sceptical Inquirer*, *15*, 362–370.
Borbély, A. (1984). *Das Geheimnis des Schlafs*. München: DTV. Orig. 1984, Deutsche Verlagsanstalt GmbH Stuttgart
Borbély, A. A., Baumann, F., Brandeis, D., Strauch, I., & Lehmann, D. (1981). Sleep deprivation: Effect on sleep stages and EEG power density in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *51*, 483–493.
Boucsein, W. (1992). *Electrodermal activity*. New York: Plenum Press.
Boulos, Z., & Terman, M. (1980). Food availability and daily biological rhythms. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *4*, 119–131.
Bowers, M. (1959). Friend or traitor. Hypnosis in the service of religion. *Intern J. of Clin. Exp. Hypnosis*, *7*, 205–217.
Bremer, F. (1936). Nouvelle recherches sur le mécanisme du sommeil. *Comptes Rendus de la Société de Biologie*, *22*, 460–464.
Brendel, D. H., Reynolds 3rd, C. F., Jennings, J. R., Hoch, C. C., Monk, T. H., Berman, S. R., Hall, F. T., Buysse, D. J., & Kupfer, D. J. (1990). Sleep stage physiology, mood, and vigilance responses to total sleep deprivation in healthy 80-year-olds and 20-year-olds. *Psychophysiology*, *27*, 677–685.
Broadbent, D. (1954). The role of auditory localisation in attention and memory span. *Journal of Experimental Psychology*, *47*, 191–196.
Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. New York: Pergamon.
Bruner, J. S., & Goodman, C. C. (1947). Value and Need as Organizing Factors in Perception. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, *42*, 33–44. Buchholtz, C. (1982). *Grundlagen der Verhaltensphysiologie.* Braunschweig: Vieweg.
Burney, C. (1952). *Solitary confinement*. New York: Coward-McCann.
Butter, C. M. (1968). *Neurophysiology: The study of brain and behavior*. Belmont: Brooks/Cole.
Byrd, R. (1938). *Alone*. New York: G. P. Putnam's Sons.
Cave, K. R., & Wolfe, J. M. (1990). Modeling the role of parallel processing in visual search. *Cognitive Psychology*, *22*, 225–271.
Chalmers, D. J. (1995). Facing up to the problem of consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, *2*, 200–219.
Chalmers, D. J. (1996). *The Conscious Mind*. Oxford: Oxford University Press.
Chalmers, D. J. (Hrsg.). (2002). *Philosophy of Mind: Classical and Contemporary Readings*. Oxford: Oxford University Press.
Cherry, E. C. (1953). Some experiments on the recognition of speech with one and two ears. *Journal of the Acoustic Society of America*, *25*, 975–979.
Churchland, P. M. (1985a). Reduction, qualia, and direct introspection of brain states. *Journal of Philosophy*, *82*, 8–28.
Churchland, P. M. (1985b). *Images of Science: Scientific Realism versus Constructive Empiricism*. Chicago IL: University of Chicago Press.
Clarenbach, P., Klotz, U., Koella, W. P., & Rudolf, G. A. E. (1991). *Schering Lexikon Schlafmedizin*. München: MMV Medizinverlag.
Coleman, R. M. (1986). *Wide Awake at 3:00 A. M*. New York: W. H. Freeman.
Coles, M. G. H., Gratton, G., Bashore, T. R., Eriksen, C. W., & Donchin, E. (1985). A psychophysiological investigation of the continuous flow of human information processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *11*, 529–552.
Conway, A. R. A., Cowan, N., & Bunting, M. F. (2001). The cocktail party phenomenon revisited: The importance of working memory capacity. *Psychonomic Bulletin & Review*, *8*, 331–335.
Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, *3*, 201–215.
Corbetta, M., Akbudak, E., Conturo, T. E., Snyder, A. Z., Ollinger, J. M., Drury, H. A., Linenweber, M. R., Petersen, S. E., Raichle, M. E., Van Essen, D. C., & Shulman, G. L. (1998). A common network of functional areas for attention and eye movements. *Neuron*, *21*, 761–773.
Corbetta, M., Patel, G., & Shulman, G. L. (2008). The re-orienting system of the human brain: From environment to theory of mind. *Neuron*, *58*, 306–324.
Corteen, R. S., & Wood, B. (1972). Autonomous responses to shock associated words in an unattended channel. *Journal of Experimental Psychology*, *94*, 308–313.
Cowen, E. L., & Beier, L. S. (1954). Threat-expectancy, word frequencies, and perceptual prerecognition hypotheses. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, *49*, 172–182.
Cutzu, F., & Tsotsos, J. K. (2003). The selective tuning model of attention: psychophysical evidence for a suppressive annulus around an attended item. *Vision Research*, *43*, 205–219.
Damasio, A. R. (1999). How the brain creates the mind. *Scientific American*, *281*(6), 74–79.
Davis, H. (1964). Enhencement of the evoced cortical potentials in humans related to a task requiring a decision. *Science*, *145*, 182–1183.
Dawson, G. D. (1947). Cerebral responses to electrical stimulation of peripheral nerve in man. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, *10*, 134–140.
Dement, W. C. (1978). *Some must watch while some must sleep*. New York: W. W. Norton.
Dennett, D. C. (1990). Quining qualia. In W. Lycan (Hrsg.), *Mind and Cognition* (S. 519–548). Oxford: Blackwell.
Dennett, D. C. (1994). *Philosophie des menschlichen Bewusstseins; übers. von Franz M. Wuketits*. Hamburg: Hoffmann und Campe. Original 1991: *Consciousness Explained*, Boston: Little, Brown
Dennett, D. C. (2003). *Freedom Evolves* (S. 519–548). New York: Viking.
Derbyshire, A. J., Rempel, B., Forbes, A., & Lampert, E. F. (1936). The effect of anesthetics on action potentials in the cerebral cortex of cats. *American Journal of Physiology*, *116*, 577–596.
Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*, *70*, 80–90.
Dijk, D. J., Duffy, J. F., & Czeisler, C. A. (2000). Contribiution of circadian physiology and sleep homeostasis to age related changes in human sleep. *Chronobiology international*, *17*(3), 285–311.
Dörner, D. & Selg, H. (Hrsg.) (1985). *Psychologie. Eine Einführung in ihre Grundlagen und Anwendungsfelder*. Stuttgart: Kohlhammer. [7]
Dorsch, H. (Hrsg.), *Psychologisches Wörterbuch.* Bern: Huber.
Dodds, E. (1963). *The greeks and the irrational*. Berkley, CA: University of California Press.
Dorsch, H. (Hrsg.), *Psychologisches Wörterbuch.* Bern: Huber.
Driver, J., & Baylis, G. C. (1989). Movement and visual attention: The spotlight metaphor breaks down. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *15*, 448–456.

Driver, J., Davis, G., Ricciardelli, P., Kidd, P., Maxwell, E., & Baron-Cohen, S. (1999). Gaze perception triggers reflexive visuospatial orienting. *Visual Cognition*, *6*, 509–540.

Duncan, J. (1984). Selective attention and the organization of visual information. *Journal of Experimental Psychology: General*, *114*, 501–517.

Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, *96*, 433–458.

Edgar, D. M., & Dement, W. C. (1992). Evidence for opponent processes in sleep/wake regulation. *Sleep Research*, *20A*, 2.

Egly, R., Driver, J., & Rafal, R. D. (1994). Shifting visual attention between objects and locations: Evidence from normal and parietal lesion subjects. *Journal of Experimental Psychology: General*, *123*, 161–177.

Eimer, M., Van Velzen, J., & Driver, J. (2002). Crossmodal interactions between audition, touch, and vision in endogenous spatial attention: ERP evidence on preparatory states and sensory modulations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*, 254–271.

Empson, J. A. C., & Clarke, P. R. F. (1970). Rapid eye movements and remembering. *Nature*, *227*, 287–288.

Epstein, S. (1972). The nature of anxiety with emphasis upun its relation to expectancy. In C. D. Spielberger (Hrsg.), *Anxiety current trends in theory and research*. New York: Academic Press.

Eriksen, C. W. (1995). The flanker task and response competition: A useful tool for investigating a variety of cognitive problems. *Visual Cognition*, *2*, 101–118.

Eriksen, C. W., Coles, M. G. H., Morris, L. R., & O'Hara, W. P. (1985). An electromyografic examination of response competition. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *23*, 165–168. Eriksen, B. A. & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics, 16*, 143–149.

Eriksen, C. W., & James, S. J. D. (1986). Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Perception & Psychophysics*, *40*, 225–240.

Evans, C. (1984). *Landscapes of the night. How and why we dream*. New York: Viking.

Eysenk, M. W., & Keane, M. T. (2010). *Cognitive Psychology. Hove*. New York: Psychology Press.

Fahrenberg, J. (1972). Psychophysiologie. In W. Arnold, H. J. Eysenck & R. Meili (Hrsg.), *Lexikon der Psychologie*. Freiburg: Herder.

Farthing, G. W. (1992). *The psychology of consciousness*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Fechner, G. T. (1860). *Elemente der Psychophysik*. Leipzig: Breitkopf und Hertel.

Fecteau, J. H., & Munoz, D. P. (2006). Salience, relevance, and firing: a priority map for target selection. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*, 382–390.

Fehm, H. L., Kern, W., Pietrowsky, R., & Born, J. (1990). Schlaf und Harmonie. In K. Meyer-Ewert & H. Schulz (Hrsg.), *Schlaf und Schlafstörungen*. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer.

Field, M. (1960). *Search for security: an ethnopsychiatric study of rural Ghana*. Evanstan: Northstern University Press.

Flechtner, H. S. (1968). *Grundbegriffe der Kybernetik*. Stuttgart: Wiss. Verlagsgesellschaft.

Floderus-Myrhed, B., Pedersen, N., & Rasmussen, I. (1980). Assessment of heritability for personality, based on a short form of Eysenck Personality Inventory: A study of 12.898 twin pairs. *Behavior Genetics*, *10*, 507–520.

Fodor, J. (1983). *The Modularity of Mind*. Cambridge, MA: MIT Press.

Folk, C. L., Remington, R. W., & Johnston, J. C. (1992). Involuntary covert orienting is contingent on attentional control settings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*, 1030–1044.

Foulkes, W. D. (1969). *Die Psychologie des Schlafes*. Frankfurt/M: Fischer. Orig. 1966, *The Psychology of sleep.* New York: Scribner's

Found, A., & Müller, H. (1996). Searching for unknown feature targets on more than one dimension: Investigating a „dimension-weighting" account. *Perception & Psychophysics*, *58*, 88–101.

Fox, E. (1995). Negative priming from ignored distractors in visual selection: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, *2*, 145–173.

French, J. D. (1957). The reticular formation. *Scientific American*, *5*, 191–198. Auch in: N. Chalmers, R. Crawley & S. P. R. Rose (Hrsg.) (1971), *The biological bases of behavior.* London: Harper & Row.

Freud, S. (1940/1972). Abriss der Psychoanalyse. (Gesammelte Werke Bd. 17), Frankfurt/M.: Fischer.

Freud, S. (1956). *Zur Psychopathologie des Alltagslebens*. Frankfurt/M: Fischer.

Freud, S. (1900/1973). *Die Traumdeutung* (Gesammelte Werke, Bd. 2/3). Frankfurt/M.: Fischer.

Friesen, C. K., & Kingstone, A. (1998). The eyes have it! Reflexive orienting triggered by nonpredictive gaze. *Psychonomic Bulletin & Review*, *5*, 490–495.

Fuster, J. M. (1958). Effects of stimulation of brain stem on tachistoscopic perception. *Science,*, *127*, 150.

Gibson, W. (1953). *The boat*. Boston: Riverside Press.

Gill, M., & Brennan, M. (1959). *Hypnosis and related states: Psychoanalytic studies in regression*. New York: International University Press.

Gusky, R. (1989). *Wahrnehmung*. Stuttgart: Kohlhammer.

Guttman, G. (1972). *Einführung in die Neuropsychologie*. Bern u. a.: Huber.

Hebb, D. (1949). *The organization of behavior: a neuropsychological theory*. New York: Wiley.

Heinze, H. J., Luck, S. J., Münte, T. F., Gös, A., Mangun, G. R., & Hillyard, S. A. (1994). Attention to adjacent and separate positions in space: An electrophysiological analysis. *Perception & Psychophysics*, *56*, 42–52.

Herbart, J. F. (1816). *Lehrbuch zur Psychologie*. Königsberg: Saur.

Hernandez-Peón, R., Scherrer, H., & Jouvet, M. (1956). Modification of electric activity in cochlear nucleus during attention in unanesthetized cats. *Science*, *123*, 331–332.

Heron, W. (1957). The pathology of boredom. *Scientific American*, *196*, 52–56.

Hillyard, S. A., & Anllo-Vento, L. (1998). Event-related brain potentials in the study of visual selective attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, *95*, 781–787.

Hillyard, S. A., Hink, R. F., Schwent, V. L., & Picton, T. W. (1973). Electrical signs of selective attention in the human brain. *Science*, *182*, 177–179.

Hobson, J. A. (1988). *The dreaming brain*. New York: Basic Books.

Hobson, J. A. (1990). *Schlaf, Gehirnaktivität im Ruhezustand*. Heidelberg: Spektrum. Orig. 1989, *Sleep.* New York: Freeman

Hobson, J. A. (1994). *The chemistry of consciousness states*. New York: Little, Brown.

Hobson, J. A., & McCarley, R. W. (1977). The brain as a dream state generator: An activation-synthesis hypothesis of the dream process. *American Journal of Psychiatry*, *134*, 1225–1348.

Hofstätter, P. R. (1964). *Psychologie*. Frankfurt: Fischerbücherei.

Hofstätter, P. R. (1966/1972). *Psychologie.* Frankfurt.

Hokanson, J. E. (1969). *The psychological basis of motivation*. New York: Wiley.

Horne, J. A. (1976). Recovery sleep following different visual conditions during total sleep deprivation in man. *Biological Psychology*, *4*, 107–118.

Horne, J. A. (1983). Mammalian sleep function with particular reference to man. In A. R. Mayes (Hrsg.), *Sleep mechanisms and functions in humans and animals* (S. 262–312). Wokinham: Van Nostrand Reinhold.

Husain, M., & Rorden, C. (2003). Non-spatially lateralized mechanisms in hemispatial neglect. *Nature Reviews Neuroscience*, *4*, 26–36. PMID:12511859.

Jackson, F. (1998). Postscript on qualia. In F. Jackson (Hrsg.), *Mind, Method and Conditionals*. London: Routledge.

Jaspers, K. (1913 / 1923). *Allgemeine Psychopathologie.* Berlin: Springer.

Jouvet, M. (1961). Telencephalic and rhombencephalic sleep in the cat. In G. E. W. Wolstenhome & C. M. O'Connor (Hrsg.), *The nature of sleep*. Boston: Little Brown.

Jouvet, M. (1967). Neurophysiology of the states of sleep. *Physiol. Rev.*, *47*, 117–177.

Jovanovic, N. (1971). *Normal sleep in man*. Stuttgart: Hippocrates.

Juola, J. F., Bowhuis, D. G., Cooper, E. E., & Warner, C. B. (1991). Control of attention around the fovea. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *15*, 315–330.

Karni, A., & Sagi, D. (1994). Dependence on REM sleep for overnight improvement of perceptual skills. *Science*, *265*, 679–682.

Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working memory capacity and the control of attention: the contribution of goal neglect, response competition, and task set to Stroop interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, *132*, 47–70.

Kant, I. (1781/1787). *Kritik an der reinen Vernunft*. (Hrsg.: K. Kehrbach). Leipzig: Reclam.

Karadžić, V. T. (1973). *Physiological changes resulting from total sleep deprivation*. 1st European Congress on Sleep Research, Basel, 1972. Basel: Karger.
Keidel, W. D. (1973). *Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie*. Stuttgart: Thieme.
Kesner, R. P. (1977). A neural system approach to the study of memory storage and retrieval. In Drucker-Colin (Hrsg.), *Neurobiology of sleep & memory*. New York: Academic Press.
Klein, K. E., Wegmann, H. M., & Hunt, B. M. (1972). Desynchronization of body temperature and performance circadian rhythm as a result of outgoing and home-going transmeridian flights. *Aerospace Medicine*, *43*, 119–132.
Kleitman, N. (1963). *Sleep and Wakefulness*. Chicago: University Press.
Klimowa, V. I. (1958). The properties of the components of some orientation reactions. In *The orientation reaction and orienting-investigation of activity*. Moscow: Academy of Pedagogical Science.
Knauth, P., & Rutenfranz, J. (1992). Störungen bei Verschiebungen des Schlaf-Wach-Zyklus. In M. Berger (Hrsg.), *Handbuch des normalen und gestörten Schlafs*. Berlin: Springer.
Koella, W. (1973). *Physiologie des Schlafes*. Stuttgart: Kohlhammer.
Kornhuber, H. H., & Deecke, L. (1965). Hirnpotentialänderungen bei Willkürbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferente Potentiale. *Pflüg. Arch.*, *284*, 1–17.
La Barre, W. (1962). *They shall take up serpents*. Minneapolis: University Press.
La Barre, W. (1964). *The peyote cult*. Hamden: Shoe String Press.
LaBerge, D. (1983). Spatial extent of attention to letters and words. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *9*, 371–379.
LaBerge, S. (1986). *Lucid dreaming*. New York: Ballantine.
LaBerge, D., & Brown, V. (1989). A model of perceptual classification in children and adults. *Psychological Review*, *96*, 125–144.
Lamb, M. R., Pond, H. M., & Zahir, G. (2000). Contributions of automatic and controlled processes to the analysis of hierarchical structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *26*, 234–245.
Lambert, W. W., Solomon, R. L., & Watson, P. D. (1949). Reinforcement and extinction as factors in size estimation. *Journal of experimental Psychology*, *39*, 637–641.
Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *21*, 451–468.
Lavie, N., Hirst, A., de Fockert, J. W., & Viding, E. (2004). Load theory of selective attention and cognitive control. *Journal of Experimental Psychology: General*, *133*, 339–354.
Legewie, H., & Ehlers, W. (1972). *Knauers moderne Psychologie* (1. Aufl.). München: Drömer Knaur.
Leopold, D. A., & Logothetis, N. K. (1996). Activity changes in early visual cortex reflect monkeys' percepts during binocular rivalry. *Nature*, *379*, 549–553.
Levine, J. (2001). *Purple Haze: The Puzzle of Conscious Experience*. Cambridge: The MIT Press.
Lewis, J. L. (1970). Semantic processing of unattended messages using dichotic listening. *Journal of Experimental Psychology*, *85*, 225–228.
Lexikon der Biologie. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag
Lindsley, D. B. (1958). The reticular system and perceptual discrimination. In H. H. Jasper (Hrsg.), *Reticular formation of the brain* (S. 513–534). Boston: Little Brown.
Lindsley, D. B. (1961). Common factors in sensory deprivation, sensory distortion, and sensory overload. In P. Salomon (Hrsg.), *Sensory deprivation* (S. 174–194). Cambridge, MA: Harvard University Press.
Lindsley, D. B., Bowden, J. W., & Magoun, H. W. (1949). Effect upon the EEG of acute injury to the brain stem activating system. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *1*, 475–486.
Logothetis, N. K. (2000). Das Sehen – ein Fenster zum Bewusstsein. *Spektrum der Wissenschaft*, *1*, 63–43.
Loomis, A. L., Harvey, E. N., & Hobart, G. H. (1937). Cerebral status during sleep as studied by human brain potentials. *Journal of Experimental Psychology*, *21*, 127–144.
Luck, S. J., Chelazzi, L., Hillyard, S. A., & Desimone, R. (1997). Neural mechanisms of spatial selective attention in areas V1, V2, and V4 of macaque visual cortex. *Journal of Neurophysiology*, *77*, 24–42.
Ludwig, A. (1965). Witchcraft today. *Disorders of the nervous system*, *26*, 288–291.
Ludwig, A. (1969). Altered states of consciousness. In C. T. Tart (Hrsg.), *Altered states of consciousness* (S. 9–22). New York: Wiley.
Ludwig, A., & Levine, J. (1966). Clinical effects of psychodelic agents. *Clinical Medicine*, *73*, 21–24.
Lumer, E. D., Friston, K. J., & Rees, G. (1998). Neural correlates of perceptual rivalry in the human brain. *Science*, *280*, 1930–1934.
Lydic, R., McCarley, R. W., & Hobson, J. A. (1983). The time-course of dorsal raphé discharche. PGO waves, and muscle tone averaged across multiple sleep cycles. *Brain Research*, *274*, 365–370.
MacDonald 3rd, A. W., Cohen, J. D., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2000). Dissociating the role of dorsolateral prefrontal and anterior cingulated cortex in cognitive control. *Science*, *288*, 1835–1838.
Magni, F., Moruzzi, G., Rossi, G. F., & Zanchetti, A. (1957). EEG arousal following inactivation of the lower brain stem by selective injection of barbiturate into the vertebral circulation. *Archives Italiennes de Biologie*, *95*, 33–46.
Mangun, G. R., & Hillyard Luck, S. A. S. (1993). Electrocortical substrates of visual selective attention. In D. E. Meyer & S. Kornblum (Hrsg.), *Attention and Performance XIV: Synergies in experimental psychology, artificial intelligence, and cognitive neuroscience* (S. 219–243). Cambridge, MA: MIT Press.
May, C. P., Kane, M. J., & Hasher, L. (1995). Determinants of negative priming. *Psychological Bulletin*, *118*, 35–54.
McGinnies, E. (1949). Emotionality and perceptual defense. *Psychological Review*, *56*, 244–251.
McGlinchey-Berroth, R., Milberg, W. P., Verfaellie, M., Alexander, M., & Kilduff, P. T. (1993). Semantic processing in the neglected visual field: Evidence from a lexical decision task. *Cognitive Neuropsychology*, *10*, 79–108.
McGrath, M. J., & Cohen, D. G. (1978). REM sleep fascilitation of adaptive waking behavior; A review of the literature. *Psychological Bulletin*, *85*, 24–57.
Michel, S., Geusz, M. E., Zaritsky, J. J., & Block, G. D. (1993). Circadian rhythm in membrane conductance expressed in isolated neurons. *Science*, *259*, 239–241.
Mistlberger, R. E. (1993). Circadian properties of anticipatory activity to restricted water access in suprachiasmatic-ablated hamsters. *American Journal of Physiology*, *263*, 22–29.
Moore, R. Y., & Eichler, V. B. (1972). Loss of a circadian adrenal corticosterone rhythm following suprachiasmatic lesions in the rat. *Brain Research*, *42*, 201–206.
Moore, R. Y. (1999). Circadian timing. In M. J. Zigmund et al. (Hrsg.), *Fundamental Neuroscience*. San Diego: Academic Press.
Morawetz, C., Holz, P., Baudewig, J., Treue, S., & Dechent, P. (2007). Split of attentional resources in human visual cortex. *Visual Neuroscience*, *24*, 817–826.
Moray, N. (1959). Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence of instruction. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *11*, 56–60.
Moruzzi, G., & Magoun, H. W. (1949). Brain stem reticular formation and activation of the EEG. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *1*, 455–473.
Mullaney, D. J., Johnson, L. C., Naitoh, P., Friedman, J. K., & Globus, G. G. (1977). Sleep during and after gradual sleep reduction. *Psychophysiology*, *14*, 237–244.
Müller, H. J., Heller, D., & Ziegler, J. (1995). Visual search for singleton feature targets within and across feature dimensions. *Perception & Psychophysics*, *57*, 1–17.
Müller, H. J., Reimann, B., & Krummenacher, J. (2003a). Visual search for singleton feature targets across dimensions: Stimulus- and expectancy-driven effects in dimensional weighting. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *29*, 1021–1035.
Müller, M. M., & Hübner, R. (2002). Can the spotlight of attention be shaped like a doughnut? Evidence from steady-state visual evoked potentials. *Psychological Science*, *13*, 119–124.
Müller, N. G., Bartelt, O. A., Donner, T. H., Villringer, A., & Brandt, S. A. (2003b). A physiological correlate of the „zoom lens" of visual attention. *The Journal of Neuroscience*, *23*, 3561–3565.
Müller, N. G., Mollenhauer, M., Rösler, A., & Kleinschmidt, A. (2005). The attentional field has a Mexican hat distribution. *Vision Research*, *45*, 1129–1137.
Müller, T. (1996). *Wieviel Schlaf braucht der Mensch? Auswirkung chronischer Schlafrestriktion*. Münster: Lit.
Müller, T., & Paterok, B. (1999). *Schlaftraining*. Göttingen: Hogrefe.
Murphy, J. (1964). Psychotherapeutic aspects of shamanism on St. Lawrence Island, Alaska. In A. Kiev (Hrsg.), *Magic faith and healing* (S. 53–83). New York: Free of Glencoe.

Myers, D. G. (19861/19985). *Psychology.* New York: Worth Publishers.
Myers, D. G. (2008, 2014). Psychologie. Heidelberg: Springer.
Nagel, T. (1974). What is it like to be a bat? *Philosophical Review*, *83*, 435–456.
Navon, D. (1977). Forest before trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, *9*, 353–383.
Neill, W. T., Valdes, L. A., & Terry, K. M. (1995). Selective attention and the inhibitory control of cognition. In F. N. Dempster & C. J. Brainerd (Hrsg.), *Interference and inhibition in cognition* (S. 207–261). San Diego, CA: Academic Press.
Neumann, P. (2001). *Grundlagen*. Markt- und Werbepsychologie, Bd. 1. Gräfelfing: Fachverl. Wirtschaftspsychologie.
Nolen-Hoeksema, S., Fredrickson, B. L., Loftus, G. R., & Lutz, C. (2014). *Atkinson & Hilgard's Introduction to Psychology*. Hampshire: Cengage Learning EMEA.
O'Craven, K., Downing, P., & Kanwisher, N. (1999). fMRI evidence for objects as the units of attentional selection. *Nature*, *401*, 584–587.
Norman, D. A. (1976). *Memory and Attention: An Introduction to Human Information Processing*. New York: Wiley. deutsch 1973, übersetzt nach 1. Aufl., *Aufmerksamkeit und Gedächtnis. Eine Einführung in die menschliche Informationsverarbeitung.* Weinheim: Beltz
Orme-Johnson, N., & Farrow, J. T. (1977). *Scientific research on the transcendental Meditation program*. Bd. 1. Fairfield, IOWA: Maharishi European University Press.
Oswald, I. (1969). Human brain protein, drugs, and dreams. *Nature*, *223*, 893–897.
Palumbo, S. R. (1978). *Dreaming and memory: A new information-processing model*. New York: Basic Books.
Pearlman, C., & Greenberg, R. (1973). Posttrial REM sleep: A critical period for consolidation of shuttlebox avoidance. *Animal Learning and Behaviour*, *1*, 49–51.
Piéron, H. (1913). *Le problème physiologique du sommeil*. Paris: Masson.
Pinel, P. J. (1997). *Biopsychologie – eine Einführung*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
Pinel, J. P. J. (2000). *Biopsychology* (4. Aufl.). Needham Heights: Allyn and Bacon. deutsch: Pinel, P. J. (1997). Biopsychologie – eine Einführung. Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag.
Popper, K. R. & Eccles, J. C. (19771/1982/1985). *Das Ich und sein Gehirn.* München: Piper.
Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *32*, 3–25.
Posner, M. I., Snyder, C. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, *109*, 160–174.
Posner, M. I., Walker, J. A., Friedrich, F. J., & Rafal, R. D. (1984). Effects of parietal injury on covert orienting of attention. *Journal of Neuroscience*, *4*, 1863–1874.
Putnam, H. (1975). Philosophy and our mental life. In H. Putnam (Hrsg.), *Mind Language and Reality: Philosophical Papers* Bd. 2 Cambridge: Cambridge University Press.
Qualtrochi, J. J., Mamelak, A. N., Madison, R. D., Macklis, J. D., & Hobson, J. A. (1989). Mapping neuronal inputs to REM sleep introduction sites with carbachol-fluorescent microspheres. *Science*, *245*, 984–986.
Ralph, M. R., Foster, T. G., Davis, F. C., & Menaker, M. (1990). Transplantic suprachiasmatic nucleus determines circadian period. *Science*, *247*, 975–978.
Ramachandran, V. S., Levi, L., Stone, L., & Rogers-Ramachandran, D. (1996). Illusions of body image: What they reveal about human nature. In R. R. Llinas & P. S. Churchland (Hrsg.), *The mind-brain continuum: Sensory processes* (S. 29–60). Cambridge, MA: MIT Press.
Rechtschaffen, A., & Kales, A. (1968). *A manual of standardized terminology, techniques and scoring systems for sleep stages of human subjects*. Washington, DC: U. S. Government Printing Office.
Richter, C. P. (1967). Sleep and activity: Their relation to the 24-hour clock. *Proceedings of the Association for Research on Nervous and Mental disorders*, *45*, 8–27.
Rohracher, H. (1971). Leib-Seele-Problem. In W. Arnold et al. (Hrsg.), *Lexikon der Psychologie*. Freiburg: Herder.
Rubinstein, S. L. (1971). *Grundlagen der allgemeinen Psychologie*. Berlin: VEB Volk und Wissen.
Ruch, F. L., & Zimbardo, P. G. (1974). *Lehrbuch der Psychologie*. Berlin: Springer.
Rusak, B., & Zucker, I. (1979). Neural regulation of circadian rhythms. *Psychological Reviews*, *59*, 449–528.
Rusak, B., Robertson, H. A., Wisden, W., & Hunt, S. (1990). Light pulses that shift rhythms induce gene expression in the suprachiasmatic nucleus. *Science*, *248*, 1237–1240.
Salamy, J. (1970). Instrumental responding to internal cues associated with REM sleep. *Psychonomic Science*, *18*, 342–343.
Sargant, W. (1957). *Battle for the mind*. Garden City, New York: Doubleday.
Searle, J. (1980). Minds, Brains and Programs. *The Behavioral and Brain Sciences*, *3*.
Sheinberg, D. L., & Logothetis, N. K. (1997). The role of temporal cortical areas in perceptual organization. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, *94*, 3408–3413.
Simons, D. J., & Chabris, C. F. (1999). Gorillas in our midst: sustained inattentional blindness for dynamic events. *Perception*, *28*, 1059–1074.
Sokolov, E. N. (1960). Neuronal models and the orienting reflex. In M. A. Brazier (Hrsg.), *The central nervous system and behaviour*. New York: Josiah Macy.
Sperling, G. A. (1967). Successive Approximations to a Model for Short-term Memory. *Acta Psychologica*, *27*, 285–292.
Spoerri, T. (1965). *Kompendium der Psychiatrie*. Frankfurt/M: Akademische Verlagsanstalt.
Squier, L. H. & Domhoff, G. W. (1998*). The presentation of dreaming and dreams in introductory psychology textbooks: A critical examination.* Unveröffentlichtes Manuskript.
Steinbuch, K. (1961). *Automat und Mensch*. Heidelberg: Springer.
Steiner, R. (1904/1972). *Wie erlangt man Erkenntnisse höherer Welten?* Dornach/Schweiz: Gesamtausgabe.
Stephan, F. K., & Zucker, I. (1972). Circadian rhythms in drinking behaviour and locomotor activity of rats are eliminated by hypothalamic lesions. *Proceedings of the National Academy of Science (USA)*, *60*, 1583–1586.
Tart, C. T. (1969). *Altered states of consciousness*. New York: Wiley.
Tart, C. T. (1972). Scientific foundation for the study of altered states of consciousness. *Journal of Transpersonal Psychology*, *3*, 93–124.
Theeuwes, J. (1991). Exogenous and endogenous control of attention: The effect of visual onsets and offsets. *Perception & Psychophysics*, *49*, 83–90.
Theeuwes, J. (1992). Perceptual selectivity for color and form. *Perception & Psychophysics*, *51*, 599–606.
Thomson, R. F. (1975). *Introduction to physiological psychology*. New York: Harper & Row.
Thigpen, C. H., & Cleckley, H. A. (1954). Case of multiple personality. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, *49*(1), 135–144.
Thigpen, C. H., & Cleckley, H. A. (1957). *The three faces of eve*. New York: McGraw-Hill. Tinbergen, N. (1956).*Instinktlehre.* Hamburg: Parey. Original: 1951. *The Study of Instinct.* London: Oxford University Press
Tinbergen, N. (1966). *Tiere und ihr Verhalten. Life, Wunder der Natur*. Amsterdam, Nederland: Time-Life International.
Tipper, S. P. (1985). The negative priming effect: Inhibitory priming by ignored objects. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, *37A*, 571–590.
Tipper, S. P., & Driver, J. (1988). Negative priming between pictures and words in a selective attention task: evidence for semantic processing of ignored stimuli. *Memory & Cognition*, *16*, 64–70.
Tootell, R. B., Hadjikhani, N., Hall, E. K., Marrett, S., Vanduffel, W., Vaughan, J. T., & Dale, A. M. (1998). The retinotopy of visual spatial attention. *Neuron*, *21*, 1409–1422.
Treisman, A. M. (1960). Contextual cues in selective listening. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *12*, 242–248.
Treisman, A. M. (1986). Features and objects in visual processing. *Scientific American*, *254*, 114–125.
Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, *12*, 97–136.
Trulson, M. E., & Jacobs, B. L. (1979). Raphe unit activity in freely moving cats: Correlation with level of behavioural arousal. *Brain research*, *163*, 135–350.
Vertes, R. P. (1983). Brainstem control of the events of REM sleep. *Progress in Neurobiology*, *22*, 241–288.
Walter, W. G., Cooper, R., Aldridge, V. J., McCallum, W. C., & Winter, A. L. (1964). Contingent negative variation: an electric sign of sensorimotor association and expectancy. *Nature*, *203*, 380–384.
Webb, W. B., & Agnew Jr., H. W. (1967). Sleep cycling within the twenty-four hour period. *Journal of Experimental Psychology*, *74*, 167–169.

Webb, W. B., & Bonnet, M. H. (1978). The sleep of „morning" and „evening" types. *Biological Psychology*, *7*, 29–35.
Von Weizsäcker, C. F. (1988, 1991). Bewusstseinswandel. München: Hanser.
Westheide, W., & Rieger, R. (2006). *Spezielle Zoologie. Teil 1: Einzeller und Wirbellose Tiere*. Heidelberg: Spektrum.
Wever, R. (1973). Die Tagesperiodik des Menschen. Grundlagen und Probleme. *Betriebsärztliches*, *1*, 1–32.
Wever, R. (1980). Die Tagesperiodik des Menschen. Grundlagen und Probleme. *Betriebsärztliches*, *1*, 1–32.
Wever, R. (1979). *The Circadian System of Man*. New York: Springer.
Wever, R. (1989). Light effects on human circadian rhythms: a review of recent Andechs experiments.
Whitman, R. M., Pierce, C. M., & Maas, J. W. (1962). The dreams of the experimental subject. *Journal of Nervous & Mental Disease*, *134*(5), 431–439.
Wickelgren, W. A. (1968). Effect of state of arousal on click evoked responses in cats. *Journal of Neurophysiology*, *31*, 757–768.
Williams, G. (1958). Hypnosis in perspective. In L. Le Cron (Hrsg.), *Experimental hypnosis* (S. 4–21). New York: Mac Millan.
Wolfe, J. M. (1994). Guided Search 2.0: A Revised Model of Visual Search. *Psychonomic Bulletin & Review*, *1*, 202–238.
Wolfe, J. M. (1998). Visual Search. In H. Pashler (Hrsg.), *Attention* (S. 13–68). London: University College London Press.
Wundt, W. (1874). *1893). Grundzüge einer physiologischen Psychologie*. Leipzig: Engelmann.
Zimbardo, & Ruch (1971). *Psychology and Life* (8. Aufl.). Brief. Copyright © 1971,1967 by Scott, Foresman and Company, Glenview, Illinois 60025, USA (deutsch: Zimbardo & Ruch (1978) Lehrbuch der Psychologie (3. Auflage). Berlin: Springer.)
Zulley, J. (1979). *Der Einfluß von Zeitgebern auf den Schlaf des Menschen*. Frankfurt: Rita G. Fische. Dissertation Tübingen
Zulley, J. (1993). *Schlafen und Wachen als biologischer Rhythmus*. Regensburg: Roderer.
Zulley, J. (2002/ 2000). Zirkadiane Rhythmen und Schlaf beim Menschen. In: H. Schulz (Hrsg.), *Kompendium Schlafmedizin.* Landsberg: ecomed.

Handlungssteuerung

Christian Becker-Carus, Mike Wendt

6.1 Physiologische Grundlagen der Motorik – 265
6.1.1 Messung motorischer Aktivität – 265

6.2 Steuerung, Programmierung und Regelung – 265

6.3 Wechselwirkung zwischen Handlung und Wahrnehmung – 269
6.3.1 Reiz-Reaktions-Kompatibilität – 269
6.3.2 Sensorische Handlungskonsequenzen als Handlungsziele – 271

6.4 Mehrfachtätigkeiten/Doppelaufgaben – 272
6.4.1 Theorien der Aufteilung zentraler Verarbeitungskapazität (*graded capacity sharing*) – 275
6.4.2 Theorien multipler Ressourcen – 275
6.4.3 Theorien zentraler Engpässe und die Psychologische Refraktärperiode (PRP) – 276
6.4.4 Crosstalk-Theorien – 277

6.5 Exekutive Funktionen/Kognitive Kontrolle – 279
6.5.1 Aufrechterhalten aufgabenrelevanter Informationen – 281
6.5.2 Umstellung zwischen Aufgaben – 281
6.5.3 Handlungsüberwachung und -regulation – 284

Literatur – 287

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Becker-Carus, M. Wendt, *Allgemeine Psychologie,* DOI 10.1007/978-3-662-53006-1_6

Movement provides the only means we have to interact with both the world and other people. (Wolpert et al. 2001)

? 1. Wie lassen sich Prozesse der Handlungsplanung untersuchen?
2. Werden Reize zur Steuerung von Bewegungen genutzt, die nicht bewusst wahrgenommen werden?
3. Warum können sich systematisch unterschiedliche Reaktionsleistungen in Aufgaben ergeben, die dieselben Reize (und Wahrnehmungsbedingungen) und Reaktionsalternativen umfassen?
4. Warum gelingt die Durchführung einer Aufgabe zumeist weniger gut, wenn zum selben Zeitpunkt eine weitere Aufgabe bearbeitet werden muss, auch wenn beide Aufgaben auf unterschiedliche Sinneskanäle und motorische Effektoren zurückgreifen?
5. Welche Befunde sprechen dafür, dass es nicht möglich ist, Handlungen für zwei verschiedene Aufgaben zum gleichen Zeitpunkt auszuwählen?
6. Inwiefern lässt sich kognitive Kontrolle als indirekter Einfluss auf die Informationsverarbeitung verstehen?

Durch Handeln interagieren wir mit der Welt um uns, und durch Handeln setzen wir unsere Ziele und Wünsche in die Praxis um. Handeln unterscheidet sich damit von einfachen motorischen Bewegungen wie Laufen, Werfen oder Flöte spielen. In der Psychologie werden solche Bewegungen, erst wenn sie auf ein bestimmtes Ziel ausgerichtet sind, als Handlungen bezeichnet. Handlungen resultieren aus Handlungsabsichten oder Intentionen, wobei unterschiedliche Bewegungen eingesetzt werden können, um dasselbe Handlungsziel zu erreichen. In der Regel erfolgt beim Handeln währenddessen oder danach eine Kontrolle und Bewertung der Zielerreichung, die zu weiterer Tätigkeit führen kann, wenn das Ziel nicht erreicht wurde.

Handlungen

Handlungen sind motorische Aktivitäten, um einen angestrebten Zielzustand zu verwirklichen.

Unter **Handlungssteuerung** oder auch Handlungsplanung versteht man die Vorbereitung und Planung eines zielgerichteten Verhaltens. Dabei kann es sich sowohl um eine einzelne motorische Bewegung handeln (z. B. eine Taste drücken) als auch um eine Folge von verschiedenen Bewegungen, die zum Ziel führen (z. B. Kaffee kochen für einen Gast). So stellt das Öffnen eines Fensters eine Handlung dar, wenn damit das Ziel verfolgt wird, frische Luft zu bekommen.

Handlungssteuerung

Bezeichnet die Vorbereitung und Planung eines zielgerichteten Verhaltens.

Einen Überblick über das Zusammenspiel der verschiedenen angenommenen Elemente der Handlungssteuerung veranschaulicht ◘ Abb. 6.1 (s. auch ◘ Abb. 3.1). Ausgehend von den Zielen und Intentionen eines Individuums werden die situativen wahrgenommenen Merkmale der Umwelt und die der eigenen Lage in Betracht gezogen, und entsprechend wird eine *Auswahl* der auszuführenden Bewegungen aus der Menge der möglichen Reaktionen getroffen. Dann werden die Merkmale der Bewegung festgelegt, es wird ein *Handlungsplan* codiert, und anschließend werden die motorischen Bewegungen *initiiert*, wobei einzelne Bewegungsabläufe auch ohne Kognition (ohne Bewusstwerdung) gleichsam im Autopilotmodus ablaufen können. (ausführlichere Übersicht in *Zusatztext online*).

Die Durchführung gezielter Bewegungen steht in der Regel in engem Zusammenhang mit Prozessen der Wahrnehmung. Um die Parameter der nötigen Muskelkontraktionen korrekt einzustellen, müssen der jeweiligen Reizumgebung die Informationen über die Lage von Zielobjekten und Hindernissen entnommen werden. Wahrnehmungsprozessen kommt eine besondere Bedeutung zu, wenn eine Bewegung „schiefläuft" und korrigiert oder an sich während ihrer Durchführung verändernde Umgebungsbedingungen angepasst werden muss.

Vor der Sicherstellung der korrekten Bewegungsausführung steht jedoch zunächst die Entscheidung, welche der unzähligen möglichen Bewegungen in einer gegebenen Situation zweckmäßig ist und realisiert werden soll.

Oftmals lässt sich dasselbe Handlungsziel durch verschiedene Bewegungen erreichen, wobei verschiedene Bewegungen mit unterschiedlichem Aufwand und unterschiedlichen „Kosten" (z. B. hinsichtlich der für Planung und Durchführung der Bewegung erforderlichen neuronalen Aktivität) einhergehen können. Die Prozesse der Auswahl spezifischer Bewegungen gehen dabei oftmals ohne bewusstes Nachdenken vonstatten, beispielsweise wenn man bei Erreichen einer bestimmten Fortbewegungsgeschwindigkeit quasi von selbst vom Gehen zum Laufen übergeht.

Nach Elsner und Prinz (2012) sollen psychologische **Modelle der Handlungssteuerung** erklären, wie der Geist auf den Körper wirkt, weshalb nicht nur motorische, sondern auch sensorische und insbesondere auch kognitive Prozesse hierfür betrachtet werden müssen. So gehen kognitive Theorien der Handlungssteuerung davon aus, dass das Handlungsziel mental (geistig) repräsentiert ist (es wird antizipiert) und dass eine Aktivierung einer solchen mentalen Repräsentation (eines Handlungsschemas) zur Ausführung der Handlung führt. Dabei wird in neueren Modellen angenommen, dass wahrgenommene Ereignisse und geplante Handlungen gemeinsam und in gleicher Form kognitiv repräsentiert sind (Common Coding; Prinz 1990) und keine Übersetzung zwischen sensorischen und motorischen Repräsentationen erforderlich ist, wie früher angenommen wurde. Vielmehr werden Reize und Reaktionen mit ähnlichen Merkmalen automatisch mit aktiviert (Hommel et al. 2001).

Darüber hinaus gibt es neuere Befunde der kognitiven Neurowissenschaft, die darauf hinweisen, dass unser Handlungssystem nicht nur in der Lage ist, eigene Aktionen zu steuern und auszuführen, sondern auch genutzt werden kann, um Bewegungsabläufe anderer Personen zu verstehen (soziale Kognition) und leicht nachzuahmen. So fällt die Ausführung eines (vielleicht komplizierten) Bewegungsablaufs meist leichter, wenn die Möglichkeit gegeben ist, die Bewegung bei anderen Personen zu sehen und nachzuahmen (▶ Abschn. 7.6). Unterstützt wird diese

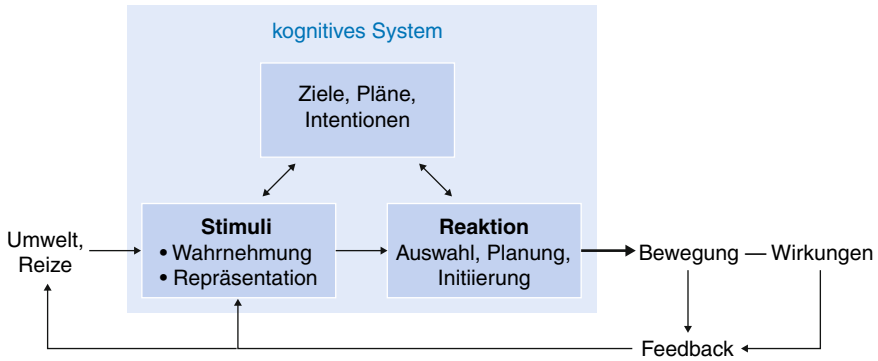


Abb. 6.1 Übersicht zu kognitiven Teilprozessen bei der Planung, Ausführung und Kontrolle von Bewegung und Handlung

Beobachtung durch den neurowissenschaftlichen Nachweis der Aktivität sogenannter Spiegelneurone (*mirror neurons*). Diese im prämotorischen Cortex von Rhesusaffen entdeckten Neurone feuern sowohl, wenn wir eine bestimmte Bewegung ausführen, als auch, wenn wir beobachten, wie eine andere Person diese Bewegung ausführt (Rizzolatti et al. 2001; Bauer 2011). Dies bedeutet, dass kognitive Handlungsrepräsentationen zugleich (1) motorische Informationen über die Bewegung als auch (2) sensorische Informationen über die wahrnehmbaren Äußerungen enthalten (Elsner und Hommel 2001).

Befassen wir uns nun zunächst mit den physiologischen Grundlagen der Handlungssteuerung.

6.1 Physiologische Grundlagen der Motorik

In ▶ Kap. 2 hatten wir spinale Reflexbögen als die einfachste Form der Bewegungssteuerung kennengelernt. Der Dehnungsreflex stellt hierfür einen exemplarischen Fall dar. Die Stimulation einer Muskelspindelendigung führt über eine monosynaptische Verschaltung im Rückenmark zur Aktivierung eines Motoneurons, welches eine der Dehnung des Muskels entgegenwirkende Kontraktion auslöst.

Es ist auch bereits dargelegt worden, dass willkürliche Bewegungen ihren Ursprung in der Aktivität des *motorischen Cortex* haben (Abb. 2.13 und 2.22), welcher durch absteigende Nervenbahnen im Rückenmark Muskelkontraktionen der jeweils kontralateralen Körperhälfte steuert. Für einen wesentlichen Teil der Handlungsplanung und Handlungssteuerung ist zunächst jedoch vor allem der *präfrontale Cortex* verantwortlich, der die eingehenden sensorischen Signale in Zusammenhang mit Gedächtnisinhalten und emotionalen Bewertungen verarbeitet (Genaueres in *Zusatztext online*).

6.1.1 Messung motorischer Aktivität

Ortsveränderungen eines Körpers oder von Teilen eines Körpers, wodurch Bewegungen charakterisiert sind, lassen sich offen beobachten und in Form eines Diagramms darstellen, in welchem die Position im Raum zu verschiedenen aufeinanderfolgenden Zeitpunkten abgetragen wird. Doch schon vor dem Beginn einer Bewegung stellen sich systematische physiologische Indikatoren ein. So lassen sich mittels auf der Haut angebrachter Elektroden Potenzialschwankungen darunter liegender Muskeln ableiten, die aus den Aktionspotenzialen der die Muskelfasern innervierenden Motoneurone resultieren (Oberflächenelektromyogramm). In Übereinstimmung mit der beschriebenen Steuerung von Willkürbewegungen durch den motorischen Cortex finden sich zudem bereits zu einem früheren Zeitpunkt systematische Effekte insbesondere an über frontalen Hirnbereichen angebrachten EEG-Elektroden. Hierbei zeigt sich im ereigniskorrelierten Potenzial (EKP) (▶ Exkurs 9.11) eine langsame Negativierung, welche einige Hundert Millisekunden vor der Bewegungsausführung beginnt und als **Bereitschaftspotenzial** bezeichnet wird (Kornhuber und Deecke 1965). Bei Handlungen mit einem einseitigen Körperteil wie z. B. der rechten Hand oder des linken Fußes zeigt das Bereitschaftspotenzial eine asymmetrische Ausprägung mit höherer Amplitude über der kontralateral gegenüber der ipsilateral zum Körperteil gelegenen Hemisphäre. Die Differenz zwischen dem EKP an einer kontralateralen und der homologen ipsilateralen Elektrode wird als **lateralisiertes Bereitschaftspotenzial** bezeichnet (De Jong et al. 1988; Gratton et al. 1988).

6.2 Steuerung, Programmierung und Regelung

Bei der Handlungsplanung bzw. bei der Durchführung einer zielgerichteten Handlung lassen sich grundsätzlich zwei Vorgehensweisen unterscheiden: Steuern und Regeln. Wenn wir einen feststehenden Gegenstand ergreifen wollen, z. B. einen Apfel auf einem Teller, so können wir, nachdem wir den Gegenstand einmal gesehen und „geortet“ haben, gewissermaßen blindlings in die gespeicherte Richtung und Entfernung greifen und werden den Apfel erreichen. Die intendierte Bewegung läuft nach einem vorher festgelegten motorischen Programm ab.

Diese Art der Handlungsplanung wird (aus der Kybernetik kommend) als **Steuerung** oder auch als **Programmsteuerung** bezeichnet. Bei ihr ist der Handlungsablauf vorprogrammiert. Sie reicht aber nicht aus in Fällen, in denen sich die Relationen zwischen dem Handelnden und dem Zielobjekt verändern können, z. B. wenn das Objekt oder der Handelnde sich in Bewegung befindet. Dann bedarf es einer ständigen Nachregulierung, damit das Ziel nicht verfehlt wird. Diese Nachregulierung ist nur möglich, wenn wir eine ständige sensorische Rückmeldung (Feedback) über die relative Lage von Ziel und tätiger Hand haben, beispielsweise wenn wir mit dem Stift eine vorgegebene Linie

Exkurs 6.1

Genauer betrachtet: Vorbereitende Teilspezifikation

Eine systematische Untersuchung von Handlungsvorbereitungsprozessen kann mittels Versuchsanordnungen vorgenommen werden, in denen Versuchspersonen auf ein Startsignal eine Bewegung durchführen, die durch verschiedene zu spezifizierende Merkmale bestimmt ist, welche der Versuchsperson in unterschiedlichem Ausmaß bekannt sind, bevor das Startsignal erfolgt. In einer Arbeit von Rosenbaum (1980) führten Versuchspersonen in jedem Durchgang eine Zielbewegung zu einer Markierung aus. Die Bewegung erfolgte entweder mit dem linken oder dem rechten Arm, in eine von zwei Richtungen, und die Zielmarkierung konnte nah oder weit entfernt liegen. Vor dem Startsignal wurden entweder keines, eines, zwei oder alle drei dieser Merkmale durch einen Hinweisreiz spezifiziert. Je mehr Merkmale vorab bekannt waren, desto schneller wurde die Bewegung auf das Startsignal hin ausgeführt. Verschiedene vorangekündigte Merkmale führten dabei zu ähnlichen Beschleunigungen. Hieraus lässt sich ableiten, dass die Programmierung der einzelnen Parameter einer Bewegung offenbar nicht in einer festgelegten Reihenfolge ablaufen muss. Zudem konnte gezeigt werden, dass die invalide Ankündigung von Bewegungsmerkmalen (z. B. Ankündigung einer Bewegung mit der linken Hand, wenn in Wahrheit das Startsignal eine Bewegung mit der rechten Hand fordert) die Bewegungsinitiierungszeit erhöht. Diese Erhöhung fällt umso stärker aus, je mehr Merkmale inkorrekt angekündigt werden (Lépine et al. 1989). Eine naheliegende Erklärung hierfür ist, dass noch vor Bewegungsbeginn eine Reprogrammierung der aufgrund der Ankündigung inkorrekt eingestellten Parameter vorgenommen wird.

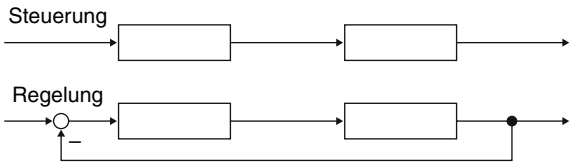


Abb. 6.2 Der Unterschied zwischen Steuerung und Regelung. Steuerung verläuft linear, ohne Schleife (*open-loop*), Regelung erfolgt über eine geschlossene Rückmeldeschleife (*closed-loop*)

nachzeichnen wollen. Das wird durch das bekannte Prinzip der Rückkopplung in einem *Regelkreis* realisiert, der bei der Hungermotivation genauer besprochen wird (▶ Exkurs 11.2). Dies wird als **geregelte Bewegung** (oder auch **Feedbacksteuerung**) bezeichnet, bei der es eine Rückmeldeschleife gibt (Abb. 6.2). Aus dem Englischen wurde hierfür die Bezeichnung **Closed-Loop-Kontrolle** (*closed-loop control*) übernommen, bisweilen fälschlicherweise auch Closed-Loop-Steuerung. Entsprechend wird die gerichtete Programmsteuerung als **Open-Loop-Kontrolle** (oder -Steuerung) bzw. **Feedforward-Steuerung** bezeichnet.

Regelung bzw. Regeln ist ein Vorgang, bei dem durch den fortlaufenden Vergleich des erreichten Bewegungszustands mit dem angestrebten Zielzustand (negative Rückkopplung) die Abweichung von Soll- und Ist-Wert reduziert und möglichst minimiert wird. Der Grundplan dieses Verhaltensablaufs, der den meisten menschlichen Handlungen zugrunde liegt, wurde auch als **TOTE-Prinzip** beschrieben (Abb. 11.4). Dagegen wird bei der Programmsteuerung das motorische Handlungskommando aus einem inneren, im Gedächtnis gespeicherten Handlungsmodell abgeleitet und verläuft linear.

Die experimentalpsychologische Forschung hat sowohl Hinweise auf Prozesse vorbereitender Handlungsplanung als auch auf die Nutzung sensorischen Feedbacks zur Bewegungssteuerung hervorgebracht. Evidenz für vorbereitende Handlungsplanung ist zum Beispiel darin zu sehen, dass kompliziertere oder eine größere Anzahl von Teilschritten umfassende Bewegungen nicht nur mit längeren Ausführungszeiten, sondern zudem mit längeren Zeiten der *Bewegungsinitiierung* auf ein Startsignal hin einhergehen (Henry und Rogers 1960; Sternberg et al. 1978). Es ist naheliegend, die Verlängerung der Handlungsinitiierungszeit auf die Dauer von handlungsvorbereitenden Prozessen wie der Programmierung einer Sequenz spezifischer motorischer Kommandos zurückzuführen. Zudem existieren diverse Befunde über den Einfluss von erst später auszuführenden Elementen einer Bewegungssequenz auf zeitlich vorausgehende Teilhandlungen, die wir noch besprechen werden. Diese Antizipationseffekte zeigen, dass die erst zu einem späteren Zeitpunkt durchzuführenden Handlungsschritte bereits in früheren Handlungsphasen in gewisser Weise berücksichtigt werden.

So beschreibt das Phänomen der **Koartikulation** die Anpassung der Aussprache eines Phonems an ein darauffolgendes Phonem (beispielsweise hört sich [m] in „Mond“ anders an als in „Meer“, da im ersteren Fall die Lippen bereits gerundet werden). Als Spoonerismus bezeichnete Versprecher wie „It's roaring with pain“ oder „Wave the sails“ (statt „It's pouring with rain“ und „Save the whales“) sowie abstraktere Vorwegnahmen wie eine vorgezogene Buchstabenverdoppelung (z. B. „Verdooplung“) bei der Produktion von Schriftsprache können als besonders deutliche Demonstrationen für bereits vor der Ausführung einer (Teil-)Handlung vorliegende motorische Spezifikationen angesehen werden.

Deutliche Antizipationseffekte sind bei Greifhandlungen zu beobachten. Hier kommt es bereits während der Transportbewegung der Hand zum zu greifenden Objekt zu einer Anpassung der Griffweite an die Objektgröße. Dabei erfolgt die Öffnung des Griffs in zunächst überschießender Weise, sodass während der Bewegung eine maximale Griffweite realisiert wird, die bis zum Kontakt mit dem Zielobjekt wieder verringert wird. Das zwischenzeitliche Maximum weist dabei eine ausgeprägte Korrelation mit der Größe des Zielobjekts auf (Abb. 6.3).

Darüber hinaus gibt es Belege dafür, dass es zur mentalen Vorwegnahme des Endzustands einer auszuführenden Bewegung kommen kann, was Einfluss auf die Handlungsauswahl nimmt. So besteht eine Tendenz, zugunsten eines bequemeren Endzustands eine Handlung auszuwählen, die mit einer unbequemeren Anfangsposition einhergeht (**End-State-Comfort-Effekt**; Rosenbaum et al. 1992). Eine weitere Methode zur Erfassung von Handlungsplanungsprozessen und deren wesentlichsten Ergebnisse finden sich in ▶ Exkurs 6.1.

Die mentale Repräsentation von (Teil-)Bewegungen ist oftmals bereits im Vorfeld der Bewegungsausführung nachweisbar.

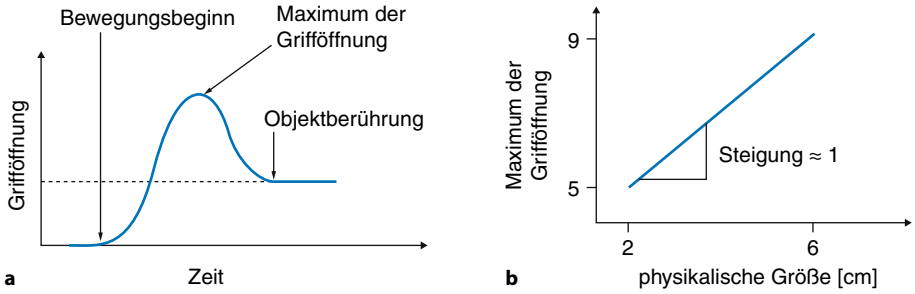


Abb. 6.3 Schematische Darstellung der Veränderung der Griffweite im Laufe einer Greifbewegung (**a**) sowie der Abhängigkeit der maximalen Grifföffnung von der Größe des Zielobjekts (**b**). (Gegenfurtner et al. 2000, S. 21, Fig. 1)

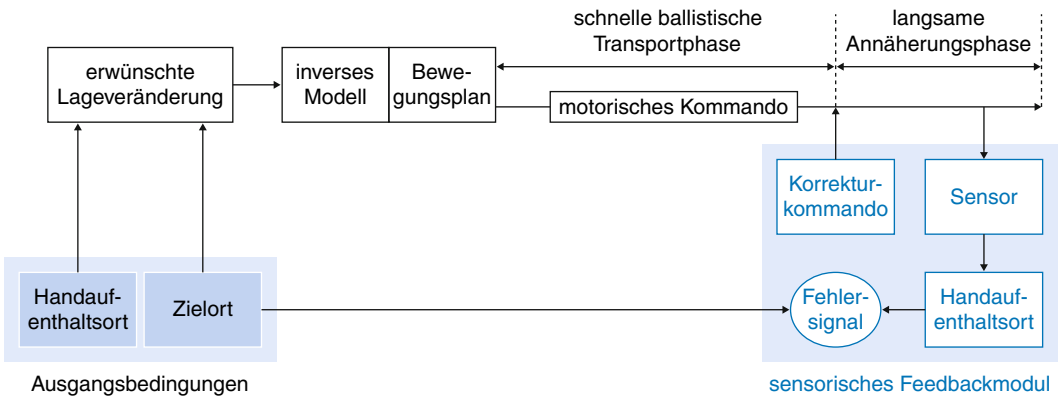


Abb. 6.4 Das klassische duale Modell schneller Zielbewegungen. (Desmurget und Grafton 2000, S. 425, Fig. 1)

Exkurs 6.2

Selbstexperiment: Zielbewegungen

Versuchen Sie einmal, Ihren Zeigefinger so schnell wie möglich an Ihre Nasenspitze zu führen. Vermutlich ergibt sich für Sie dabei der Eindruck zweier trennbarer Bewegungsphasen: Auf eine erste Transportphase, in der der Zeigefinger in ballistischer Weise in die Nähe der Nasenspitze befördert wird, folgt eine langsamere Annäherungsphase, die Korrekturen anhand des Abgleichs von erreichter und intendierter Position beinhaltet. Derartige Beobachtungen sprechen für eine Zweiphasigkeit, wie sie das „klassische Modell" rascher Zielbewegungen darstellt.

Während langsam auszuführende feinmotorische Tätigkeiten wie das Einfädeln eines Nähfadens in spürbarer Weise des fortwährenden Vergleichens von Ist-Zustand (Position von Fadenende und Öse) mit dem vom Handlungsziel vorgegebenen Soll-Wert bedürfen, ist die Nutzung sensorischen Feedbacks bei schnellen Zielbewegungen weit weniger offensichtlich. Zweifel an einer solchen Nutzung ergeben sich vor allem mit Blick auf den hierfür nötigen Zeitbedarf, der eine Nutzung zur Korrektur einer schnell ablaufenden Bewegung fraglich macht. Ergebnisse früher Untersuchungen weisen auf eine mit zunehmender Geschwindigkeit der Bewegung abnehmende Nutzung sensorischen Feedbacks hin. Woodworth (1899) ließ Versuchspersonen einen Stift zwischen zwei Ziellinien hin und her bewegen, wobei die Geschwindigkeit der Bewegung durch ein Metronom vorgegeben wurde. Zur Überprüfung der Rolle visuellen Feedbacks führten die Versuchspersonen die Bewegungen entweder mit offenen oder mit geschlossenen Augen aus. Bei langsamen Bewegungen ergab sich eine deutlich höhere Zielgenauigkeit mit offenen Augen. Diese Überlegenheit verminderte sich allerdings kontinuierlich, wenn höhere Bewegungsgeschwindigkeiten gefordert wurden. Bei einer Geschwindigkeit von etwa einem halben Meter pro Sekunde entsprachen sich die Leistungen bei offenen und geschlossenen Augen. Für rasche Zielbewegungen dagegen, die keiner externen Timing-Kontrolle unterliegen, wird oftmals angenommen, dass es erst in einer relativ späten Phase zur Nutzung eines sensorischen Feedbacks kommt (▶ Exkurs 6.2). Eine solche Zweiphasigkeit charakterisiert das „klassische Modell" rascher Zielbewegungen (Abb. 6.4).

Offensichtlich notwendig wird die Nutzung sensorischen Feedbacks, wenn es darum geht, eine zielgerichtete Bewegung in Richtung eines Objekts auszuführen, welches seinen Aufenthaltsort in nicht vorherzusehender Weise ändern kann. Für ein erfolgreiches Handeln ist es hier nötig, die Zielkoordinaten der Bewegung rechtzeitig an die veränderte Objektposition anzupassen. Experimentelle Untersuchungen zeigen, dass derartige Anpassungen vorgenommen werden können, ohne dass es zu einer sichtbaren Unterbrechung einer bereits begonnenen Bewegung kommen muss – und ohne dass sich ein Bewusstsein für die Durchführung der Korrektur einstellen muss.

In sogenannten **Double-Step-Aufgaben** werden Versuchspersonen instruiert, rasche Bewegungen zu einer aufleuchtenden Leuchtdiode auszuführen. In einigen Durchgängen wird hierbei der Zielort der Bewegung plötzlich verändert, indem nach Beginn der Bewegung die Diode erlischt und stattdessen eine leicht versetzt positionierte Diode zu leuchten beginnt. Der Wechsel der Zielmarkierung kann unter bestimmten Bedingungen für die Versuchsperson unbemerkt bleiben. Dies ist der Fall, wenn er genau zu dem Zeitpunkt erfolgt, zu dem die Versuchsperson eine Blickbewegung (Sakkade) ausführt. Während dieser Augenbewegung ist die Aufnahme visueller Informationen stark eingeschränkt – ein Effekt, der als **sakkadische Suppression** bezeichnet wird. Tatsächlich berichten Versuchspersonen, dass sie eine Zielortverschiebung um wenige Zentimeter, die während einer Sakkade vorgenommen wird, nicht bemerken. Dennoch

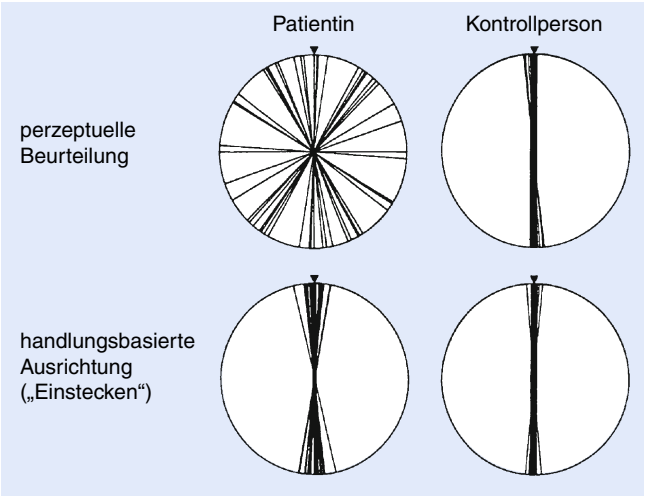


Abb. 6.5 Orientierung der Karte beim Anzeigen der Neigung des Einsteckspaltes (*oben*) sowie Orientierung der Karte in der „Einsteck-Aufgabe“ (*unten*). Der linke Teil der Abbildung zeigt die Leistungen der Patientin, der rechte Teil die einer Kontrollperson. In der Abbildung sind alle Orientierungen der Karte relativ zu einem vertikal ausgerichteten Spalt dargestellt. In der tatsächlichen Untersuchung wurde der Spalt in diversen Orientierungen dargeboten. (Goodale und Humphrey 1998, S. 190, Fig. 3)

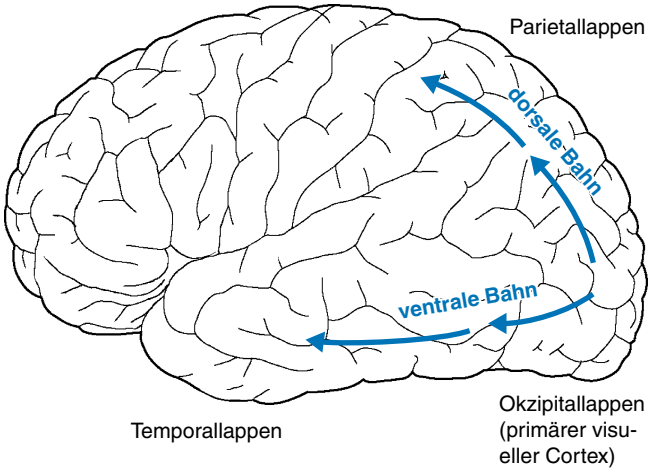


Abb. 6.6 Dorsaler und ventraler Prozesspfad. Vom Okzipitallappen verläuft eine Verarbeitungsbahn über mehrere synaptische Umschaltungen zum Parietellappen, eine weitere zum Temporallappen

erfolgt zumeist eine effiziente Anpassung der Bewegung an die veränderten Bedingungen. Die Hand wird mit quasi unverminderter Geschwindigkeit und Präzision zum neuen Zielort geführt (Goodale et al. 1986; Prablanc und Pélisson 1990). Die zielgemäße Nutzung sensorischer Informationen während einer Bewegungsausführung erfolgt in diesen Fällen offenbar ohne zugehörige bewusste Wahrnehmung.

Dissoziationen zwischen der Nutzung sensorischer Informationen zur Handlungssteuerung und der bewussten Wahrnehmung der zugehörigen Reizereignisse treten auch in anderen Kontexten auf. Besonders eindringliche Beispiele stammen aus Untersuchungen von hirngeschädigten Patienten. Während bestimmte Schädigungen die Wahrnehmung von Objekten und räumlichen Beziehungen weitgehend intakt lassen, aber mit Beeinträchtigungen der Ausführung von zielgerichteten Bewegungen einhergehen (Ataxien), kann nach anderen Schädigungen das Ausführen von Greifhandlungen unauffällig bleiben, obwohl die Patienten nicht in der Lage sind, bewusste Wahrnehmungsurteile über die zu greifenden Objekte abzugeben. So berichten Goodale et al. (1991) den Fall einer Patientin, die infolge einer Kohlenmonoxidvergiftung mit bilateralen Schädigungen in der ventralen Okzipitalregion unter schwerer visueller Agnosie litt. Der Patientin gelang es nicht, visuell dargebotene Objekte zu benennen oder einfache Strichzeichnungen zu kopieren. Auch scheiterte sie daran, die Orientierung einer Linie oder eines Spaltes in der fronto-parallelen Ebene (mithilfe einer in die entsprechende Orientierung zu haltenden Karte) anzuzeigen (Abb. 6.5). Dagegen hatte sie keine Probleme, die Karte in den Spalt einzuführen, unabhängig davon, in welcher Orientierung sich dieser befand. Ebenso zeigte sie die typischen Anpassungen der Griffweite (Abstand von Daumen und Zeigefinger), wenn sie Greifbewegungen auf Objekte verschiedener Größe ausführte (▶ Abschn. 6.2). Bei der Aufgabe, die Größen derselben Objekte mit Daumen und Zeigefinger anzuzeigen, ergab sich dagegen keine Korrelation zwischen der realen Objektgröße und dem Fingerabstand.

Derartige Befunde führten zu der Vorstellung, dass visuelle Reizinformationen im Gehirn in zwei getrennten Prozesspfaden verarbeitet werden (Goodale und Milner 1992; Milner und Goodale 1995). Ein **ventraler Pfad** vom visuellen Cortex zum Temporallappen ist diesem Modell zufolge verantwortlich für die bewusste Wahrnehmung visueller Merkmale, wie sie für das Erkennen von Objekten erforderlich ist. Dagegen beruht die räumliche Steuerung von Bewegungen auf Berechnungsprozessen, die entlang einem **dorsalen Pfad** vom visuellen Cortex zum posterioren Parietallappen erfolgen. Der dorsale Pfad soll danach nicht nur den genauen Aufenthaltsort eines Reizes vermitteln, sondern auch weitere Merkmalsinformationen, die zur gezielten Handlung mit Objekten berücksichtigt werden müssen, wie z. B. der Art der Bewegung eines Objekts. Basierend auf dieser Vorstellung wurde der dorsale Pfad auch als **Wie-Pfad** bezeichnet; der ventrale Pfad dagegen als **Was-Pfad** (Abb. 6.6; Genaueres in *Zusatztext online*).

Auch Experimente mit gesunden Versuchspersonen lieferten Ergebnisse, die im Einklang mit der Annahme getrennter Verarbeitungspfade zur perzeptuell-kognitiven Analyse und zur Steuerung aktueller Handlungen stehen. Insbesondere schlugen sich verschiedene auf die wahrgenommene Größe von Objekten bezogene visuelle Täuschungen nicht in entsprechend fehlerhaften Griffweiten nieder, wenn Versuchspersonen aufgefordert wurden, die Objekte zu greifen, deren Größe sie falsch einschätzten (Aglioti et al. 1995). Zum Vergleich der Wahrnehmung der Position eines Reizes und der von auf diese Position gerichteten Handlungen, verwendeten Bridgeman et al. (1997) eine Versuchsanordnung, in der ein Reiz an verschiedenen Orten auf einem Bildschirm dargeboten werden konnte. Durch einen zusätzlich dargebotenen Rahmen wurde eine visuelle Täuschung hervorgerufen, die den jeweiligen Reiz weiter links oder rechts erscheinen ließ, als er sich tatsächlich befand. Während in einer Versuchsbedingung ein reines Wahrnehmungsurteil über die Reizposition verlangt wurde, galt es, in einer weiteren Versuchsbedingung, einen

Exkurs 6.3

Experiment: Reiz-Reaktions-Kompatibilität im Experiment

In einer klassischen Versuchsserie verwendeten Fitts und Deininger (1954) eine ringförmige Anordnung von acht Lämpchen als Reize. Die Reaktionen erfolgten mittels eines Stifts, der von einer Ausgangsposition zu einer von acht Kontaktstellen geführt werden konnte, die ebenfalls ringförmig um die Ausgangsposition angeordnet waren (in derselben räumlichen Anordnung wie die Lämpchenreize). Die Versuchspersonen führten verschiedene Aufgaben aus, bei denen in jedem Durchgang jeweils eines der acht Lämpchen aufleuchtete und mit einer Bewegung zu einer bestimmten Position beantwortet werden musste. Waren die Reaktionen den Reizen in räumlich korrespondierender Weise zugeordnet (z. B. Lämpchen links → Bewegung nach links, Lämpchen rechts → Bewegung nach rechts), so erfolgten die Reaktionen schneller und fehlerfreier, als wenn eine arbiträre Zuordnung von Reizen und Reaktionen verwendet wurde.
Ein ähnliches Ergebnis zeigte sich auch, wenn Ziffernreize statt der Lämpchen verwendet wurden und die Reaktionen entweder räumlich mit durch die Ziffern symbolisierten Uhrzeigerstellungen korrespondierten (z. B. 3:00 → Stift nach rechts, 9:00 → Stift nach links) oder wiederum in arbiträrer Weise den Ziffern zugeordnet waren. Allerdings fielen die Reaktionszeiten bei korrespondierender Zuordnung mit Ziffernreizen nicht so schnell aus wie bei korrespondierender Zuordnung mit Lämpchen und in der arbiträren Zuordnung mit Ziffernreizen nicht so langsam wie in der arbiträren Zuordnung mit Lämpchen.

drehbaren Zeiger auf den dargebotenen Reiz hin auszurichten. Die Wahrnehmungsurteile waren, wie erwartet, von der Täuschung betroffen. Dagegen zeigte sich kein entsprechender Einfluss des Rahmens auf die Zeigebewegung – allerdings nur, wenn diese sofort ausgeführt werden konnte. Verlangte die Aufgabe dagegen, erst mit einer Verzögerung von einigen Sekunden zu reagieren, ließ sich auch hierbei ein Täuschungseffekt verzeichnen. Dieses Ergebnismuster deutet darauf hin, dass die dorsale Route vornehmlich die Steuerung von Handlungen anhand aktueller Reizinformationen vermittelt. Muss dagegen auf Gedächtnisinformationen zurückgegriffen werden, so werden hierfür offenbar über die ventrale Route vermittelte Informationen herangezogen.

Visuelle Reizinformationen werden in unterschiedlicher Weise verarbeitet, je nachdem ob sie zum Erkennen von Objekten oder Merkmalen oder zur Handlungssteuerung herangezogen werden.

6.3 Wechselwirkung zwischen Handlung und Wahrnehmung

In vielen Alltagssituationen ist die Wahrnehmung von Reizinformationen nicht nur zur Spezifikation offener Parameter einer Bewegung, z. B. Zielkoordinaten und Griffstärke, erforderlich. Vielmehr entscheidet die Beschaffenheit eines auftretenden Reizes darüber, welche Handlung die angemessene ist. So stellt das rote Licht einer Verkehrsampel oder ein vor das Auto rollender Ball eine eindringliche Aufforderung zur Ausführung einer Bremsreaktion dar. Ebenso ist das Winken eines Passanten, bei dessen erstem Anblick man sich nicht sicher war, ob man ihn kennt, ein deutlicher Hinweis darauf, dass es angebracht ist zurückzuwinken. In psychologischen Laboren wurden unzählige Experimente mit Wahlreaktionsaufgaben durchgeführt, in denen Versuchspersonen instruiert wurden, in Abhängigkeit vom Auftreten bestimmter Reize bestimmte Reaktionen durchzuführen, z. B. auf einen Ton einer bestimmten Höhe hin eine bestimmte Taste zu drücken und auf einen Ton einer anderen Höhe hin eine andere Taste. Es ist anzunehmen, dass in dieser messbaren Reaktionszeit, vom Beginn der Reizdarbietung bis zur erfolgten Reaktion, Prozesse der **Reizidentifikation**, der **Reaktionsauswahl** und der **Reaktionsausführung** ablaufen. Während klassische Modelle dies als serielle Abfolge aufeinander aufbauender Verarbeitungsstufen konzipierten, haben genauere Betrachtungen deutlich gemacht, dass eine scharfe Trennung der einzelnen Stufen voneinander kaum möglich ist, da beispielsweise die Reaktionsauswahl bereits beginnt, bevor die Reizidentifikation abgeschlossen ist, d. h., dass partielle Reizinformationen zur Aktivierung von mit ihnen verbundenen Reaktionen führen (Eriksen und Schulz 1979; Miller 1982).

Ein Grundbefund aus Wahlreaktionsaufgaben ist der Anstieg der Reaktionszeit mit der Anzahl möglicher Wahlalternativen. Je mehr mögliche Reize per Instruktion mit zugehörigen Reaktionen verbunden sind, desto länger dauert es, bis die Versuchsperson nach der Darbietung eines der Reize die entsprechende Reaktion ausführt. Eine auf einen Reiz auszuführende Reaktion wird also später abgegeben, wenn der Aufgabenkontext eine größere Anzahl anderer Reize umfasst, die weiteren Reaktionen zugeordnet sind. Die Reaktionszeit steigt dabei logarithmisch mit der Anzahl der Alternativen. Dieser Zusammenhang wird als **Gesetz von Hick und Hyman** bezeichnet.

6.3.1 Reiz-Reaktions-Kompatibilität

Die Leistung in Wahlreaktionsaufgaben wird von diversen weiteren Faktoren beeinflusst, wie Erkennbarkeit und Diskriminierbarkeit der verwendeten Reize sowie der motorischen Anforderungen der Reaktionen, sodass die Schwierigkeit einer Aufgabe maßgeblich von den zum Einsatz kommenden Reizen und Reaktionen abhängt. Jedoch können auch zwei Aufgaben, welche dieselben Reize und Reaktionsalternativen umfassen, unterschiedlich schwierig ausfallen, je nachdem, auf welche spezifische Weise die Reize den Reaktionen zugeordnet werden.

Werden die Reaktionen den Reizen in räumlich gleicher Weise zugeordnet (z. B. beide rechts), so erfolgen die Reaktionen schneller und fehlerfreier (► Exkurs 6.3).

Diese Beobachtungen lassen sich dadurch erklären, dass die Wahrnehmung der räumlichen Position eines zu bearbeitenden Reizes, unabhängig von der genauen Aufgabenregel, eine Bewegung in eine damit korrespondierende Richtung aktiviert. Diese Aktivierung ist förderlich im Fall der Übereinstimmung mit der durch die Aufgabe geforderten Reaktion, aber hinderlich, wenn es gilt, eine andere Bewegung auszuführen.

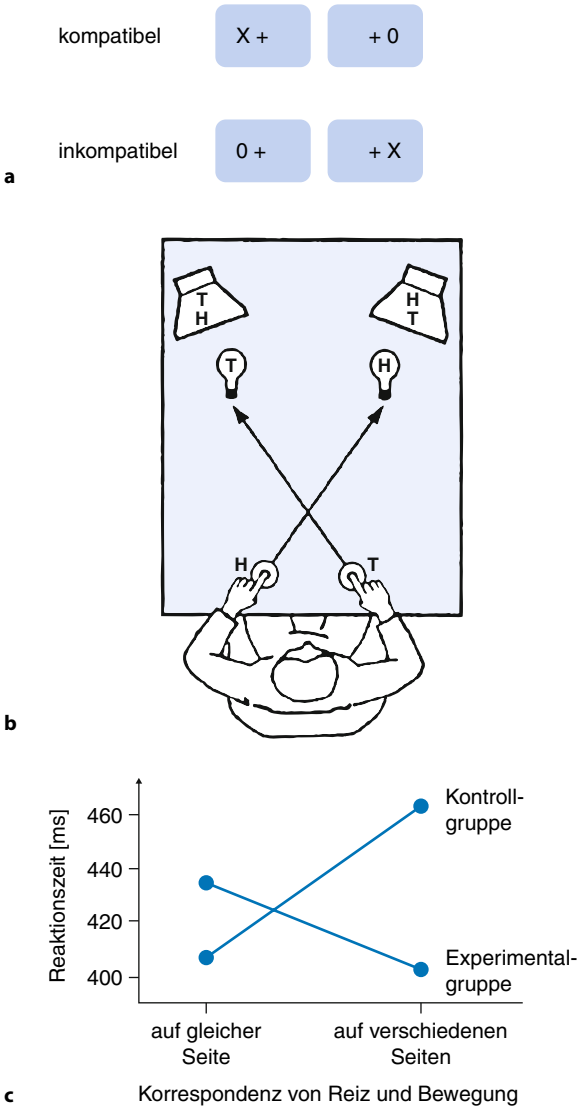


Abb. 6.7 **a** Beispiele für kompatible und inkompatible Reize für eine Simon-Aufgabe, bei der die Versuchsperson instruiert ist, das Erscheinen des Zeichens X mit einer linksseitigen Reaktion und das Erscheinen des Zeichens O mit einer rechtsseitigen Reaktion zu beantworten, **b** Versuchsaufbau, bei dem Probanden auf Tonreize von rechts oder links mit einem Tastendruck reagieren sollen, der ein Licht auf der gegenüberliegenden Seite einschaltet., **c** Reaktionszeiten in Abhängigkeit von der räumlichen Korrespondenz zwischen Reiz- und Bewegungsseite. Instruktion der Experimentalgruppe: so schnell wie möglich die entsprechende Lampe zu schalten, ohne Hinweis auf Hände; Kontrollgruppeninstruktion: so schnell wie möglich die durch den Ton angezeigte Taste zu drücken. (**b** und **c** aus Aschersleben 2008)

Leistungsbegünstigende Reiz-Reaktions-Zuordnungen werden als kompatibel, nachteilige Reiz-Reaktions-Zuordnungen als inkompatibel bezeichnet. Die räumliche Korrespondenz zwischen Reizen und Reaktionen stellt einen besonders starken Faktor der Kompatibilität dar. Aber auch andere perzeptuelle oder konzeptuelle Korrespondenzbeziehungen können die Reaktionsleistung in ähnlicher Weise beeinflussen.

Der Einfluss räumlicher Reiz-Reaktions-Korrespondenz ist nicht auf Fälle beschränkt, in denen der Darbietungsort eines Reizes Relevanz für die intendierte Reaktionsauswahl aufweist. Führen Versuchspersonen eine Wahlreaktionsaufgabe aus, in der ein nichträumliches Reizmerkmal wie Farbe oder Form die korrekte Reaktion anzeigt, so fällt es dennoch im Allgemeinen leichter, eine räumlich korrespondierende als eine nicht korrespondierende Reaktion auszuführen. Gilt es beispielsweise, einen weißen Reiz mit dem Drücken einer linksseitigen Taste und einen schwarzen Reiz mit dem Drücken einer rechtsseitigen Taste zu beantworten, so ergeben sich schnellere Reaktionszeiten und weniger Fehler bei linksseitiger Darbietung des weißen Reizes oder rechtsseitigen Darbietung des schwarzen Reizes als umgekehrt – auch wenn der Darbietungsort rein zufällig ausgewählt wird. Dieser Effekt wurde ursprünglich mit auditivem Reizmaterial gefunden (Simon und Rudell 1967) und wird als **Simon-Effekt** bezeichnet (Abb. 6.7).

Der Effekt lässt sich nicht dadurch umkehren, dass die Aufgabe mit gekreuzten Händen ausgeführt wird. Auch in diesen Fällen behalten die räumlich korrespondierenden Reiz-Reaktions-Beziehungen ihre Überlegenheit bei. Es fällt also nicht leichter, mit der linken Hand auf einen linksseitigen Reiz und mit der rechten Hand auf einen rechtsseitigen Reiz zu reagieren, was auf anatomisch kürzere Leitungsbahnen zurückgeführt werden könnte, da aufgrund des Aufbaus der Sehbahn visuelle Reize in die kontralaterale Hirnhälfte projiziert werden, welche ja die gegenüberliegende Körperhälfte steuert. Vielmehr handelt es sich offenbar um einen Effekt der räumlichen Repräsentation der Reize und Reaktionen.

In aktuellen Modellen (De Jong et al. 1994; Hommel 1993a) wird der Simon-Effekt durch die Annahme der parallelen Verarbeitung unterschiedlicher auf den Prozess der Handlungsauswahl Einfluss nehmender Reizinformationen erklärt. Einer der Verarbeitungswege besteht in der Identifikation des aufgabenrelevanten Reizmerkmals und der Übersetzung dieser Reizinformation in die zugehörige Reaktion gemäß der instruierten Vorschrift. Diese Verarbeitung wird einer als *kontrolliert* oder *indirekt* bezeichneten Verarbeitungsroute zugeschrieben. Zudem erfolgt eine Aktivierung der räumlich mit dem Darbietungsort des Reizes korrespondierenden Reaktion über eine als *automatisch* oder *direkt* bezeichnete Verarbeitungsroute. Im Falle der Konvergenz der durch beide Verarbeitungspfade ausgelösten Reaktionsaktivierung kann die Reaktion schnell erfolgen. Im Fall der Aktivierung unterschiedlicher Reaktionen, wie es bei inkompatiblen Reize anzunehmen ist, treten die beiden Reaktionsalternativen in einen Wettbewerb, und es dauert länger, bis die endgültige Entscheidung zugunsten einer der Reaktionen fällt. (In einem gewissen Anteil der Fälle geht der Wettbewerb zugunsten der falschen, durch den Darbietungsort des Reizes aktivierten Reaktion aus; Beleguntersuchungen in ▶ Exkurs 6.4).

Räumliche Kompatibilität beschleunigt die Verarbeitung auch dann, wenn die Position des zu bearbeitenden Reizes für die gegebene Aufgabe ohne Belang ist. Evidenz aus Verhaltens- und elektrophysiologischen Untersuchungen deutet darauf hin, dass die für die Aufgabe relevante Reizinformation und die Reizposition in *getrennten Prozessrouten* verarbeitet werden.

Exkurs 6.4

Genauer betrachtet: Belege für die Aktivierung räumlich korrespondierender Reaktionen entlang der direkten Route

Belege für die Aktivierung räumlich korrespondierender Reaktionen entlang der direkten Route finden sich in Untersuchungen mit Erhebung des lateralisierten Bereitschaftspotenzials (z. B. De Jong et al. 1994). Wie in ▶ Abschn. 6.1 ausgeführt, besteht das lateralisierte Bereitschaftspotenzial in einer der Reaktion vorausgehenden stärkeren Negativierung an kontralateral gegenüber ipsilateral zur Antworthand über motorischen Steuerungsarealen angebrachten Elektroden. Diese Aktivierungsasymmetrie, die als Vorbereitung der Reaktionsbewegung interpretiert wird, fällt in kompatiblen und inkompatiblen Bedingungen in aufschlussreicher Weise unterschiedlich aus. Zum einen lässt sich in inkompatiblen Durchgängen gegenüber kompatiblen Durchgängen ein verzögertes Auftreten der erhöhten Aktivierung kontralateral zur Antworthand beobachten. Zudem findet sich in inkompatiblen Durchgängen oftmals kurz nach der Reizdarbietung eine umgekehrte Asymmetrie, d. h. eine stärkere Negativierung an kontralateral zur anderen Hand (welche mit dem Darbietungsort des Reizes korrespondiert) liegenden Elektroden, bevor sich im weiteren Verlauf der Verarbeitung die beschriebene verzögerte zur korrekten Antworthand gehörende Aktivierung einstellt.

Dieses Ergebnismuster deutet darauf hin, dass es in inkompatiblen Durchgängen zunächst zu einer Aktivierung der mit der Reizposition korrespondierenden Reaktion über die direkte Route kommt, die erst nach einer gewissen Zeit von der durch die indirekte Route vermittelten Verarbeitung überwogen wird. Belege für unterschiedliche und trennbare Zeitcharakteristika der beiden angenommenen Verarbeitungsrouten finden sich auch in reinen Verhaltensexperimenten. So zeigen Versuche, in denen der Zeitbedarf der Übersetzung des relevanten Reizmerkmals in die zugehörige Reaktion – also die Verarbeitung entlang der indirekten Route – variiert wurde, z. B. indem die Erkennbarkeit der Reize durch geringeren Kontrast erschwert wurde, einen immer geringer werdenden Simon-Effekt, je länger die Verarbeitung über die indirekte Route dauert (Hommel 1993a). Dies lässt sich durch die Annahme erklären, dass die über die direkte Route vermittelte schnelle Reaktionsaktivierung nicht dauerhaft aufrechterhalten wird, sondern rasch wieder abfällt, sodass sie geringeren Einfluss nimmt, wenn die kritischen Phasen der Reaktionsentscheidung erst zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen.

6.3.2 Sensorische Handlungskonsequenzen als Handlungsziele

Besonders schnelle Reaktionen ergeben sich bei Auslösereizen, die den sensorischen Effekten der Reaktion entsprechen, wie es zum Beispiel beim Nachsprechen eines vorgesprochenen Wortes der Fall ist (Greenwald 1970). In diesen Fällen ist die Reaktion von einer sensorischen Konsequenz gefolgt, welche dem Reiz ähnelt, durch den sie initiiert wurde. Derartige Entsprechungen zwischen Reaktionskonsequenzen und Reizen werden als **ideomotorische Kompatibilität** bezeichnet. Auch einfache Tastendruckreaktionen können durch ideomotorische Kompatibilität beschleunigt werden. Das Niederdrücken einer Reaktionstaste ruft als sensorischen Effekt eine Druckempfindung an der Fingerkuppe hervor. Verwendet man eine Vorrichtung zur Stimulation, die Druckreize auf einzelne Finger ausübt, und instruiert man Versuchspersonen, jeweils so schnell wie möglich denjenigen Finger niederzudrücken, der eine entsprechende Reizung erfährt, so finden sich wiederum extrem kurze Reaktionszeiten (ten Hoopen et al. 1982).

Erklären lassen sich diese Effekte mittels der als **ideomotorische Hypothese** bezeichneten Annahme, dass die Initiierung von Handlungen durch die Antizipation ihrer sensorischen Konsequenzen ausgelöst wird. Diese Idee wurde bereits im 19. Jahrhundert zur Erklärung zielgerichteter Handlungen entwickelt (Hoffmann et al. 2007). Eine zugrunde liegende Annahme besagt, dass die Erfahrung der sensorischen Konsequenzen eigener Bewegungen – wie der Klang eines ausgesprochenen Wortes, die Druckempfindung bei Betätigung einer Taste, aber eventuell auch distalere Wirkungen wie das Aufleuchten einer Lampe nach der Betätigung des Lichtschalters – assoziativ mit den entsprechenden Bewegungen verknüpft werden, wodurch sich im Laufe der individuellen Lerngeschichte ein immenser Vorrat an Verbindungen von Handlungen und sensorischen Konsequenzen im Gedächtnis ergibt. Führt man sich vor Augen, dass die Ziele einer Handlung zumeist den wahrnehmbaren Handlungsfolgen entsprechen – wir betätigen den Lichtschalter, um Licht zu erhalten, wir öffnen das Fenster, um frische Luft zu spüren –, so liegt es nahe anzunehmen, dass zweckmäßige Handlungen, d. h. Bewegungsmuster, die in der Lage sind, erwünschte sensorische Konsequenzen zu verursachen, bei Vorliegen eines Handlungsziels über die gelernten Assoziationen aktiviert werden.

Die ideomotorische Hypothese besagt damit, dass die Initiierung einer Handlung mit der Antizipation ihrer sensorischen Konsequenzen einhergeht. Experimentelle Belege für diese Annahme konnten in Untersuchungen mit Wahlreaktionsaufgaben gefunden werden, in denen nach der Ausführung einer Reaktion ein weiteres Reizereignis als sensorische Handlungskonsequenz dargeboten und systematisch variiert wurde (▶ Exkurs 6.5). Die beschriebenen Effekte ideomotorischer Kompatibilität lassen sich nun dadurch erklären, dass die Antizipation der sensorischen Konsequenzen einer Handlung durch die Darbietung eines ähnlichen äußeren Reizereignisses unterstützt wird. Hiermit stimmen Ergebnisse von Untersuchungen überein, in denen neuartige Handlungs-Effekt-Kombinationen erworben werden (z. B. Elsner und Hommel 2001). Die Versuchsperson wird in einer initialen Übungsphase aufgefordert, verschiedene Tasten in frei gewählter Weise häufig zu betätigen. Jede Taste löst dabei die Darbietung eines spezifischen Reizes aus, z. B. folgt auf das Drücken einer linksseitigen Taste ein hoher Ton und auf das Drücken einer rechtsseitigen Taste ein tiefer Ton. In einer darauffolgenden Testphase des Experiments werden dieselben Töne dann als Reize vorgegeben, auf welche eine bestimmte Reaktion zu erfolgen hat. Der typische Befund in solchen Experimenten ist, dass es Versuchspersonen leichter fällt, in der Testphase einen gegebenen Reiz mit jeweils der Reaktion zu beantworten, die in der Trainingsphase den Reiz hervorgerufen hatte, als gemäß einer anderen Reiz-Reaktions-Zuordnungsvorschrift zu handeln. Im Beispiel oben würden die Reaktionen in der Testphase schneller erfolgen, wenn ein hoher Ton mit dem Drücken der linksseitigen Taste und ein tiefer Ton mit dem Drücken der rechtsseitigen Taste zu beantworten ist, als umgekehrt. Diese Befunde belegen das Erlernen des Zusammen-

Exkurs 6.5

Experiment: Belege für die Antizipation sensorischer Handlungskonsequenzen

Reaktionszeitvorteile von Handlungsreaktionen auf Auslösereize, welche in einer zuvor durchgeführten Trainingsphase als sensorische Effekte derselben Handlungen fungierten, stellen einen Nachweis für die Ausbildung von Assoziationen zwischen Handlungen und Effekten (in der Trainingsphase) dar. Allerdings belegen sie, für sich genommenen, noch nicht die Annahme der *Antizipation* der sensorischen Konsequenzen einer zu initiierenden Handlung, wie es von der ideomotorischen Hypothese postuliert wird. Schließlich könnte alleine das Vorliegen der gelernten Assoziation ausreichen, um eine Bahnung der Handlung durch die Wahrnehmung dieses Reizes hervorzurufen und damit die Ausführung der entsprechenden Handlung zu begünstigen. Um die Antizipation der sensorischen Konsequenzen einer geplanten Handlung zu belegen, bedarf es einer ausgeklügelteren Methodik. Kunde (2001) verwendete hierfür eine Vierfachwahl-Reaktionsaufgabe, die darin bestand, dass in jedem Durchgang in der Mitte des Bildschirms eine von vier Farben vorgegeben wurde und die Versuchsperson eine von vier von links nach rechts angeordneten Tasten drückte, z. B. die linke für Blau, die daneben liegende für Rot etc. Im Anschluss an die Reaktion erschien jedes Mal ein weiterer Lichtreiz an einer von vier möglichen Stellen am Bildschirm, die räumlich mit den Positionen der Reaktionstasten korrespondierten. Dieser zusätzliche Lichtreiz wies für die Aufgabe keinerlei Relevanz auf, denn diese erforderte lediglich die Identifikation des am Anfang jeden Durchgangs dargebotenen Farbreizes, völlig unabhängig von der auf die Reaktion folgenden Reizdarbietung.
Zwei verschiedene Versuchsbedingungen wurden realisiert. In einer Bedingung erschien der der Reaktion folgende Reiz immer an dem Ort, der räumlich mit der auf den Farbreiz zu gebenden Reaktion korrespondierte. In einer anderen Bedingung wurden räumlich nicht korrespondierende Beziehungen zwischen Handlung und darauffolgendem Lichtreiz realisiert. Davon abgesehen, waren die Versuchsbedingungen identisch. Es ergaben sich überlegene Reaktionsleistungen in der Bedingung mit räumlicher Korrespondenz zwischen Reaktion und sensorischem Effekt.
Die genauen Ursachen für die Leistungsbegünstigung durch räumliche Korrespondenz zwischen Handlung und Effekt sollen an dieser Stelle nicht diskutiert werden. Hier geht es nur um die Feststellung, dass die Reaktionsleistung durch ein später auftretendes, vorhersehbares Ereignis beeinflusst wird, welches eine sensorische Konsequenz der ausgeführten Handlung darstellt. Um diesen Einfluss zu erklären, muss angenommen werden, dass die mentale Repräsentation des Effekts bereits zu einem früheren Zeitpunkt – vor oder während der Handlungsausführung – vorhanden ist.

hangs von Handlungen und ihren sensorischen Handlungskonsequenzen. Sie belegen auch die spätere Wirksamkeit der erlernten Zuordnungen bei der Auswahl einer spezifischen Handlung als Reaktion auf einen wahrgenommenen Auslösereiz.

Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass bei herkömmlichen Wahlreaktionsaufgaben mit manuell auszuführenden Tastendruckreaktionen die sensorischen Handlungseffekte vornehmlich im propriozeptiven Empfinden des Drucks an der Fingerkuppe und eventuell einem wahrnehmbaren Klickgeräusch beim Schließen des Kontakts bestehen. Diese Reizereignisse fallen räumlich mit dem Ort der Reaktion zusammen. Dies wirft die Frage auf, ob die beschleunigte Verarbeitung, die im Fall räumlich korrespondierender Reize und Reaktionen beobachtet wird (räumliche Kompatibilität; ▶ Abschn. 6.3.1), in Wahrheit auf die Korrespondenz von Reizen und Handlungseffekten (und somit Handlungszielen) zurückgeht.

Zur Überprüfung dieser Frage erweiterte Hommel (1993b) eine klassische Simon-Aufgabe durch das Hinzufügen eines weiteren auffälligen Handlungseffekts, dem Aufleuchten einer Lampe. Die Aufgabe der Versuchsperson bestand darin, mittels Druck auf eine Reaktionstaste die Höhe eines Tones zu klassifizieren, der in jedem Durchgang zufällig durch einen auf der linken oder der rechten Seite der Versuchsperson aufgestellten Lautsprecher dargeboten wurde. Wie in typischen Simon-Experimenten befand sich eine Reaktionstaste auf der linken und eine auf der rechten Seite der Versuchsperson, sodass Reiz und Reaktion eines Durchgangs räumliche Korrespondenz aufweisen konnten oder nicht. Der Druck auf eine Taste führte zudem immer zum Aufleuchten einer Lampe auf der gegenüberliegenden Seite. Das Experiment wurde von zwei verschiedenen Versuchsgruppen durchgeführt, die unterschiedlich instruiert waren. Eine Gruppe bekam die „herkömmliche" Instruktion, entsprechend der Höhe des Tones die zugehörige Taste zu drücken. Die andere Gruppe wurde dagegen angewiesen, mittels des Tastendrucks die (gegenüberliegende) Lampe einzuschalten. Beide Gruppen reagierten also auf dieselben Reize entsprechend derselben Reiz-Reaktions-Zuordnung. Während die herkömmlich instruierte Gruppe einen normalen Simon-Effekt produzierte, ergab sich für die andere Gruppe ein umgedrehter Simon-Effekt. Für diese Gruppe traten also schnellere Reaktionen auf, wenn der Ort der Reizdarbietung räumlich mit der nicht zu gebenden Reaktion – dafür aber mit dem visuellen Effekt der Reaktion – korrespondierte (vergl. ◘ Abb. 6.7b und 6.7c). Entscheidend für die Beschleunigung der Reaktionsgabe war folglich nicht die Korrespondenz zwischen Reizen und Reaktionen, sondern zwischen Reizen und den angestrebten Effekten.

Weitere Befunde, die auf die Bedeutung von Verhaltenszielen in Form (antizipierter) sensorischer Effekte für die Handlungssteuerung hinweisen, stammen aus Untersuchungen zur bimanuellen Koordination, die wir im Selbstexperiment vorstellen (▶ Exkurs 6.6).

Die Initiierung von Handlungen geht mit der Antizipation ihrer sensorischen Konsequenzen einher. Diese Antizipation kann sich, je nach Passung zur geplanten Handlung oder zu den sensorischen Konsequenzen einer simultan durchzuführenden Handlung, förderlich oder hinderlich auf die Bewegungsdurchführung auswirken.

6.4 Mehrfachtätigkeiten/Doppelaufgaben

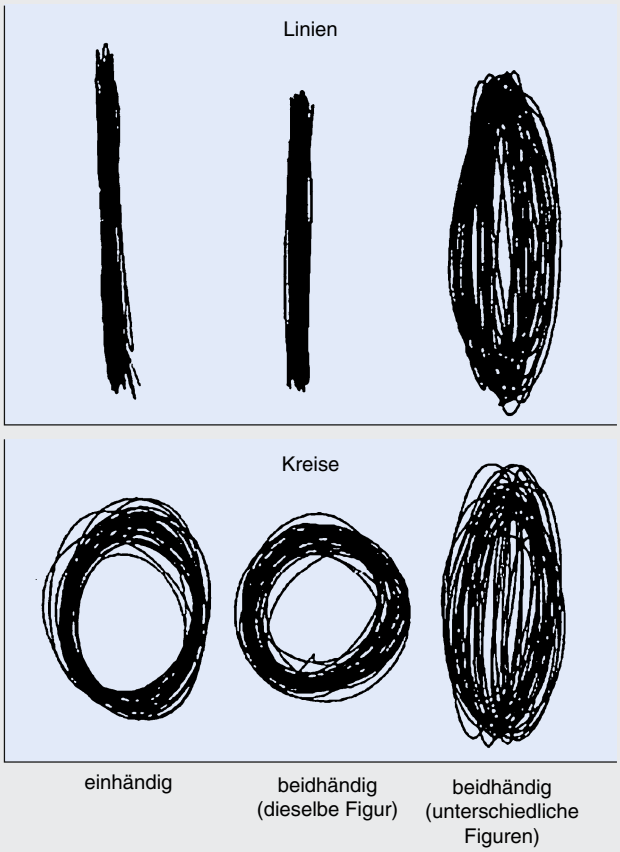
Obgleich in höheren Organismen zu jedem Zeitpunkt eine Unzahl simultaner Prozesse in koordinierter oder zumindest in einander nicht nennenswert beeinträchtigender Weise abläuft, kommt es mitunter zu erheblichen Leistungseinbußen, wenn man versucht, zwei verschiedene Handlungen zum selben Zeitpunkt oder in großer zeitlicher Nähe auszuführen. In vielen Fällen ist dies offensichtlichen Begrenztheiten unserer Sinnes-

Exkurs 6.6

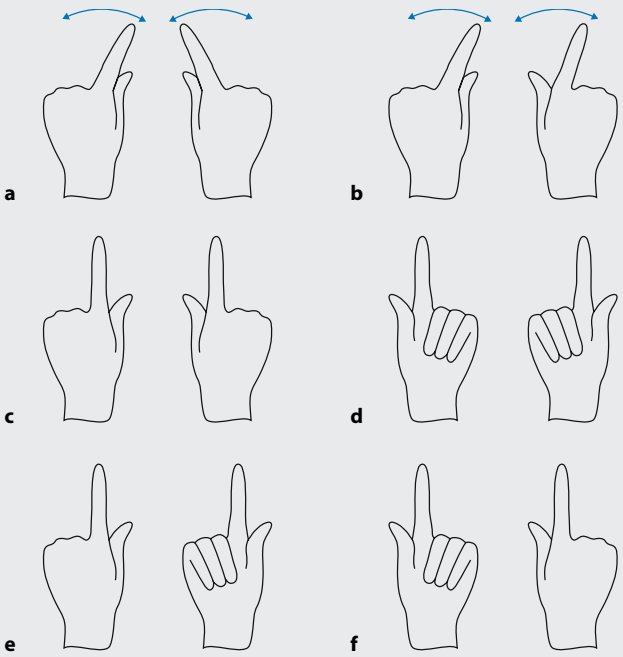
Experiment: Selbstversuche und Befunde zur bimanuellen Koordination

Ein kleiner Selbstversuch: Fertigen Sie gleichzeitig mit beiden Händen Zeichnungen an, indem Sie symmetrische und asymmetrische Bewegungen mit Zeichenstiften auf zwei Zeichenblöcken ausführen. Für die symmetrischen Bewegungen zeichnen Sie zum einen zwei vertikale Linien durch synchrones, repetitives Auf- und Abführen der beiden Stifte sowie zwei Kreisfiguren durch gegenläufiges Kreisen der beiden Stifte. Die Zeichnungen werden sicher nicht perfekt, aber die intendierte Linien- bzw. Kreishaftigkeit der beiden Figuren wird aller Wahrscheinlichkeit nach weit deutlicher erkennbar sein als in Vergleichsbedingungen, in denen Sie versuchen, mit der einen Hand eine Linie durch wiederholtes Auf-und-ab-Führen des Stiftes und simultan einen Kreis mit der anderen Hand durch repetitives Kreisen des Stiftes zu erstellen (◘ Abb. 6.8). In diesen Bedingungen produzieren Sie vermutlich zwei einander nicht unähnliche eiförmige Figuren (Franz et al. 1991).

In diversen Aufgaben konnte eine Überlegenheit der simultanen Ausführung spiegelsymmetrischer gegenüber asymmetrischen Bewegungen festgestellt werden. Eine naheliegende Erklärung für diese Überlegenheit liegt in der Annahme eines geringeren Aufwands an kognitiver Handlungsplanung für spiegelsymmetrische Bewegungen, da homologe (gegenüberliegende) Muskelgruppen in gleichartiger Weise aktiviert werden. Auch hierbei konnte jedoch gezeigt werden, dass den Handlungszielen in Form der antizipierten sensorischen Effekte eine stärkere Bedeutung zukommt als den ausgeführten Bewegungen. Entkoppelt man die Form der Bewegung von den sichtbaren Effekten der Bewegung, zum Beispiel, indem man Links-Rechts-Bewegungen der Finger beider Hände betrachtet (◘ Abb. 6.9), so finden sich Vorteile der Ausführung von Bewegungen, die mit spiegelsymmetrischen Effekten einhergehen, auch wenn die Bewegungen selbst asymmetrisch sind (Mechsner et al. 2001).



◘ **Abb. 6.8** Zeichnungen von Linien und Kreisen unter Bedingungen unimanueller und bimanueller Ausführung. (Zelaznik und McCabe 1991, S. 142, 143, Fig. 1, 2)



◘ **Abb. 6.9** Beispiele für Bewegungen mit spiegelsymmetrischen und -asymmetrischen visuellen Effekten. (Aus Mechsner et al. 2001, S. 69, Fig. 1)

organe oder ausführenden Effektoren geschuldet. So können wir nicht in zwei verschiedene Richtungen gleichzeitig blicken oder dieselbe Hand zugleich in verschiedene Richtungen bewegen, wodurch bestimmte simultane Tätigkeitsanforderungen zu Leistungsbeeinträchtigungen führen müssen. Weitere Einbußen mögen in nicht ganz so offensichtlicher Weise aus körperlichen Beschränkungen folgen, z. B. wenn man versucht, zugleich einen Ball zu werfen und ein Getränk zu sich zu nehmen. Hierzu sind zwar verschiedene Effektoren nutzbar, die jedoch in funktioneller Weise „zusammenhängen", sodass es beispielsweise für eine Wurfbewegung von Vorteil ist, wenn der andere Arm eine Schwingbewegung durchführen kann.

In der psychologischen Laborforschung sind jedoch diverse Beispiele für Beeinträchtigungen bei der simultanen Bewältigung zweier Aufgaben – im Vergleich zur jeweiligen Aufgabenleistung unter Einzelbearbeitungsbedingungen – gefunden worden, die

Exkurs 6.7

Genauer betrachtet: Autofahren und Telefonieren

Eine Frage der Vereinbarkeit verschiedener kognitiver Tätigkeiten von alltagspraktischer Relevanz bezieht sich auf das Telefonieren am Steuer eines Autos. Basierend auf einer Auswertung des Telefonierverhaltens von mehreren Hundert Autofahrern, die in einen Verkehrsunfall verwickelt waren, schätzten Redelmeier und Tibshirani (1997), dass sich das Risiko, in einen Verkehrsunfall verwickelt zu werden, durch das Telefonieren am Steuer um das Vierfache erhöht. Entgegen der Annahme, dass die Fahrleistung in erster Linie durch die manuelle Handhabung des Telefons beeinträchtigt werde, fiel die geschätzte Risikoerhöhung bei Telefonaten mit Freisprechanlage nicht geringer aus als bei Telefonaten mit in der Hand gehaltenen Geräten.

Strayer und Johnston (2001) wiesen darauf hin, dass derartige Befunde nicht unbedingt im Sinne einer Verursachung von Verkehrsunfällen durch Telefonate interpretiert werden müssen, da der Zusammenhang durch verborgene Drittvariablen zustande kommen mag, wie zum Beispiel dadurch, dass Personen, die am Steuer telefonieren, generell zu riskanterem Verhalten neigen und somit vermehrt Unfälle verursachen könnten. Um den Einfluss simultanen Telefonierens auf die Leistung in perzeptuell-motorischen Aufgaben experimentell zu untersuchen, gaben Strayer und Johnston Versuchspersonen eine Tracking-Aufgabe vor, in der ein Cursor auf einem Bildschirm mittels eines Joysticks möglichst nahe an einer sich bewegenden Zielmarke gehalten werden sollte. Zudem verfärbte sich die Zielmarke zu nicht vorhersehbaren Zeitpunkten. Nahm sie eine rote Farbe an, so galt es, eine „Bremsreaktion" (Tastendruck) durchzuführen, färbte sie sich grün, sollte dagegen keine Reaktion erfolgen. Im Vergleich zur alleinigen Durchführung der Tracking-Aufgabe erhöhte das zusätzliche Führen eines Telefonats sowohl die Wahrscheinlichkeit des Verpassens eines Bremssignals als auch die Reaktionszeit für erfolgreiche Bremsreaktionen. Hierbei ergaben sich keine Unterschiede zwischen Versuchspersonen, die mit einem in der Hand zu haltenden Handy telefonierten, und Versuchspersonen, die eine Freisprechanlage nutzten. In einer Kontrollgruppe, die, statt ein Telefonat zu führen, eine Radiosendung verfolgte, kam es dagegen zu keinen Leistungseinbußen gegenüber der alleinigen Ausführung der Tracking-Aufgabe.

In einem zweiten Experiment wurde die Schwierigkeit der Tracking-Aufgabe variiert und die Güte der Tracking-Leistung als abhängige Variable verwendet. Wiederum wurden Bedingungen der alleinigen Durchführung dieser Aufgabe verglichen mit Bedingungen zusätzlicher Tätigkeiten. Die zusätzlichen Tätigkeiten bestanden entweder in einer Beschattungsaufgabe (▶ Abschn. 5.1.3) oder einer Wortgenerierungsaufgabe, in der auditiv vorgegebene Wörter mit dem Aussprechen eines weiteren Wortes zu beantworten waren, welches jeweils mit dem Endbuchstaben eines vorgegebenen Wortes begann. Beide zusätzliche Aufgaben wurden mittels eines in der Hand zu haltenden Handys durchgeführt. Die Tracking-Leistung unterschied sich nicht zwischen den Bedingungen alleiniger Ausführung der Tracking-Aufgabe und zusätzlicher Beschattung. Die Wortgenerierungsaufgabe ging dagegen mit schlechterer Tracking-Leistung einher und dies deutlicher, wenn die Tracking-Aufgabe eine höhere Schwierigkeit aufwies.

Spence und Read (2003) kombinierten eine Beschattungsaufgabe mit einer Fahraufgabe in einem Fahrsimulator. Auch hier fand sich keine Beeinträchtigung der Fahrleistung durch simultanes Beschatten. Allerdings war ein Abfall der Beschattungsleistung zu verzeichnen, wenn zusätzlich die Fahraufgabe durchzuführen war. In diesem Experiment wurden immer zwei Botschaften dargeboten. Die zu beschattende Botschaft wurde entweder in einem frontal oder in einem seitlich zur Versuchsperson angebrachten Lautsprecher präsentiert, während die irrelevante Botschaft durch einen dazwischen positionierten Lautsprecher vorgegeben wurde. (Um die Beschattungsaufgabe weiter zu erschweren, wurde mittels eines vierten Lautsprechers ein Störrauschsignal dargeboten.) Interessanterweise fiel die Beschattungsleistung besser aus, wenn die nachzusprechenden Wörter durch einen frontal angebrachten Lautsprecher im Vergleich zu einem seitlich angebrachten Lautsprecher präsentiert wurden, und dieser Unterschied zeigte sich stärker unter Doppelaufgabenbedingungen (Fahren und Beschatten). Dieses Ergebnis lässt sich durch die Annahme der Kopplung der Ausrichtung der Aufmerksamkeit in der visuellen und auditiven Modalität erklären. Unter Fahrbedingungen hatten die Versuchspersonen vornehmlich auf vor ihnen erscheinende visuelle Reize zu achten, was zur Folge hatte, dass auch auditiven Reizen aus dieser Richtung ein Verarbeitungsvorteil zuteilwurde.

In einer Studie von Strayer und Drews (2007) wurde die Wirkung von über eine Freisprechanlage geführten Telefonaten auf die Leistung in einem Fahrsimulator mittels eines überraschend im Anschluss an die simulierte Fahrt vorgegebenen Wiedererkennungstests überprüft. Dieser Test enthielt diverse Objekte, die von den Fahrern während der Fahrt fixiert worden waren. Versuchspersonen, die während der Fahrt kein Telefonat geführt hatten, wiesen eine mehr als doppelt so hohe Wahrscheinlichkeit auf, sich an ein während der Fahrt angeblicktes Verkehrszeichen zu erinnern. Unterschiede in der Gedächtnisleistung fanden sich dabei sowohl für in der jeweiligen Verkehrssituation unwichtige wie auch für verkehrssicherheitsrelevante Objekte.

In einer weiteren Fahrsimulationsstudie fanden Levy et al. (2006) eine deutliche Verlangsamung von Bremsreaktionen auf das rot aufleuchtende Rücklicht eines vorausfahrenden Wagens, wenn Versuchspersonen zum selben Zeitpunkt ein visueller oder auditiver Reiz für eine einfache Zusatzaufgabe dargeboten wurde. Im Vergleich zur Darbietung des Reizes der Zusatzaufgabe zu einem früheren Zeitpunkt (350 ms vor dem Aufleuchten des Bremslichts) verzögerte sich die Bremsreaktion um 174 ms (*PRP-Effekt*; s. unten).

Zusammengenommen weisen die Ergebnisse darauf hin, dass das Telefonieren am Steuer zu sicherheitsrelevanten Beeinträchtigungen der Fahrleistung führen kann, auch wenn es über eine Freisprechanlage erfolgt.

sich nicht auf periphere Ursachen wie die Unmöglichkeit der optimalen Ausrichtung eines Sinnesorgans auf verschiedene Reizquellen oder der simultanen bidirektionalen Bewegung einer Gliedmaße zurückführen lassen, sondern durch Interferenzen zwischen den aufgabenspezifischen Operationen auf zentralerer Informationsverarbeitungsebene hervorgerufen werden. So zeigten sich in einer Untersuchung von Shaffer (1975) auch nach ausgedehnten Übungsphasen erhebliche Leistungsbeeinträchtigungen beim gleichzeitigen Schreiben nach Diktat und Vorlesen einer geschriebenen Nachricht, welche bei entgegengesetzter Verknüpfung der Reiz- und Reaktionsmodalitäten (Abtippen eines schriftlich dargebotenen Textes und Nachsprechen einer gehörten Nachricht) nahezu völlig verschwanden. Da sowohl die geforderten motorischen Tätigkeiten (nämlich Sprechen und Schreiben) wie auch die perzeptuellen Anforderungen (Lesen und Hören) in beiden Versuchsbedingungen identisch waren, lassen sich derartige Einbußen zumindest hierdurch nicht erklären.

Leistungsbeeinträchtigungen bei der zeitlich überlappenden Durchführung zweier Aufgaben werden als **Doppelaufgabenkosten** (*dual-task costs*) bezeichnet. Doppelaufgabenkosten lassen sich bei einer großen Vielzahl unterschiedlicher Kom-

Exkurs 6.8

Genauer betrachtet: Flexible Gewichtung bei Doppelaufgaben

In einer Untersuchung von Wickens und Gopher (1977) sollten Versuchspersonen gleichzeitig eine Nachführaufgabe (Bewegung eines Steuerknüppels, um eine sich stetig bewegende Markierung auf einem Referenzpunkt zu halten) und eine einfache Wahlreaktionsaufgabe (fortlaufendes Drücken auf Tasten, die einer dargebotenen Zahl zwischen 0 und 9 entsprachen) bearbeiten und dabei entweder einer der beiden Aufgaben volle Priorität geben oder die Bearbeitung der beiden Aufgaben in verschiedenen Verhältnissen gewichten (70:30, 50:50 oder 30:70). Je nach instruierter Gewichtung änderten sich die Bearbeitungsleistungen der beiden Aufgaben. Wie man es bei der Aufteilung einer begrenzten Ressource vermuten würde, ging eine Verbesserung in einer Aufgabe stets mit einer Verschlechterung in der anderen Aufgabe einher.

binationen von Aufgabentypen beobachten (Neumann 1992; Pashler 1994; Wickens 1980). Sie finden sich oftmals auch bei Kombination zweier äußerst einfacher Aufgaben, welche weitestgehend auf einander nicht störende periphere Prozesse der Reizaufnahme und Reaktionsbewegungen zurückgreifen. Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass die Suche nach einer einheitlichen Ursache von Doppelaufgabenkosten nicht gerechtfertigt, und es stattdessen angemessener sein mag, hochspezifische Interferenzen für verschiedene Aufgabenkombinationen anzunehmen. Dennoch ist denkbar, dass es bestimmte fundamentale Beschränkungen der Informationsverarbeitung gibt, die sich quasi in allen möglichen Fällen von Doppelbelastungen, eventuell zusätzlich zu aufgabenkombinationsspezifischen Interferenzen, zeigen. Besondere Relevanz erlangt das Thema Doppelaufgabenkosten, wenn es um sicherheitsrelevante Fragen geht (► Exkurs 6.7).

Doppelaufgabenkosten

Leistungsbeeinträchtigungen, die bei der zeitlich überlappenden Durchführung zweier Aufgaben entstehen, werden als Doppelaufgabenkosten (*dual-task costs*) bezeichnet.

Das Zustandekommen von Doppelaufgabenkosten wurde im Rahmen verschiedener theoretischer Ansätze erklärt:

1. Aufteilung zentraler Verarbeitungskapazität.
2. Multiple Ressourcen.
3. Zentrale Informationsverarbeitungsengpässe.
4. Crosstalk.

6.4.1 Theorien der Aufteilung zentraler Verarbeitungskapazität (*graded capacity sharing*)

Eine Klasse von Theorien führt *Doppelaufgabenkosten* auf das simultane Zugreifen zeitgleich zu bearbeitender Aufgaben auf eine zentrale Informationsverarbeitungskapazität zurück, welche nur in begrenztem Ausmaß vorhanden ist (z. B. Kahneman 1973). Übersteigt der Kapazitätsbedarf das momentan vorhandene Ausmaß, so kommt es zu Einbußen in der Durchführungsqualität oder -geschwindigkeit in mindestens einer der beteiligten Aufgaben. Zu dieser Konzeption passen zwei gängige Alltagsbeobachtungen: Zum einen werden Leistungsbeeinträchtigungen unter Doppeltätigkeitsbedingungen oftmals erst dann spürbar, wenn die Schwierigkeit einer der beiden Aufgaben ein bestimmtes Maß übersteigt, was bedeuten könnte, dass die vorhandene Kapazität für die simultane Bewältigung einfacherer Bearbeitungen ausreicht. Einige Laborexperimente konnten dementsprechend eine Erhöhung der Doppelaufgabenkosten bei steigender Aufgabenschwierigkeit zeigen. So fand Sullivan (1976), dass bei der simultanen Durchführung einer Nachsprechaufgabe und einer zusätzlichen Aufgabe, die darin bestand, bestimmte Wörter in einer zweiten Botschaft zu entdecken, die Verwendung informationshaltigerer Texte in der Nachsprechaufgabe zur Verringerung der Detektionsleistung führte.

Zum Zweiten scheint es möglich, zwei simultan durchzuführende Tätigkeiten flexibel zu gewichten, d. h. die vorhandene Kapazität nach Gutdünken auf die Aufgaben aufzuteilen. Auch hierfür gibt es eine experimentelle Bestätigung (► Exkurs 6.8).

Einen gewichtigeren Faktor für die Höhe von Doppelaufgabenkosten als die Schwierigkeit der beteiligten Aufgabe stellt allerdings die strukturelle Ähnlichkeit dar (Duncan 1979; McLeod 1977; Neumann 1992; Segal und Fusella 1970). Zum Beispiel fand McLeod (1977) stärkere Beeinträchtigungen der Leistung in einer visuell-manuellen Nachführaufgabe, wenn in einer simultan zu bearbeitenden Wahlreaktionsaufgabe auf manuelle, als wenn auf vokale Weise zu reagieren war, obwohl beide Aufgabenversionen für sich genommen einen vergleichbaren Schwierigkeitsgrad aufwiesen.

6.4.2 Theorien multipler Ressourcen

Eine naheliegende Reaktion auf Befunde struktureller Ähnlichkeit ist die Annahme eines Pools verschiedener, spezialisierter Verarbeitungsressourcen, die jeweils nur für bestimmte Aufgabenanforderungen einsetzbar sind und benötigt werden:

» […] the human system is probably not a single-channel mechanism but rather a complicated system with many units, channels, facilities. Each may have its own capacity […] Each specific capacity can be shared by several concurrent processes, thus it constitutes a distributable resource. Different tasks may require those different types of resources in various compositions. (Navon und Gopher 1979, S. 233)

Theorien multipler Ressourcen nehmen dementsprechend an, dass zwei gleichzeitig zu bewältigende Aufgaben in dem Ausmaß miteinander interferieren, in dem sie auf dieselben Ressourcen zurückgreifen (z. B. Wickens 1980). Strukturell unterschiedlichere Aufgaben sollten weniger – im Extremfall gar keine – gemeinsamen Ressourcen benötigen und einander aus diesem Grund weniger stark gegenseitig stören.

6.4.3 Theorien zentraler Engpässe und die Psychologische Refraktärperiode (PRP)

Während Theorien der Aufteilung zentraler Verarbeitungskapazität davon ausgehen, dass Verarbeitungsressourcen in gewisser Weise auf verschiedene Aufgaben aufgeteilt werden können, zeichnen sich Theorien zentraler Verarbeitungsengpässe durch die Annahme aus, dass bestimmte zentrale Verarbeitungsprozesse eine nicht zwischen Aufgaben aufteilbare Ressource darstellen und damit eine Serialisierung der Verarbeitung bedingen, wenn sie von verschiedenen Aufgaben zur selben Zeit benötigt werden. Derartige Prozesse werden als Engpass oder als „Flaschenhals" (*bottleneck*) bezeichnet.

> » Stating that some mental process *a* represents a bottleneck simply means that when process *a* occurs in one task, process *a* cannot occur in any other task at the same time. (Pashler 1994, S. 223)

Das simultane Zugreifen auf den Flaschenhals führt somit zur Unterbrechung der Verarbeitung einer der Aufgaben. Diese „Wartezeiten" schlagen sich maßgeblich in Doppelaufgabenkosten nieder. Diese theoretischen Annahmen sind eng mit einem Reaktionszeiteffekt verknüpft, der als **Psychologische Refraktärperiode (PRP)** bezeichnet wird. Der PRP-Effekt wurde erstmals in einer Arbeit von Telford (1931) berichtet. Er beschreibt die Beobachtung, dass die Reaktion auf einen Reiz, der kurzzeitig nach einem anderen (ebenfalls zu bearbeitenden) Reiz dargeboten wird, deutlich erhöht ausfällt, wenn das Intervall zwischen den Reizdarbietungen (**Stimulus Onset Asynchrony, SOA**) sehr gering ist. Mit zunehmender SOA beschleunigt sich die Bearbeitung des zweiten Reizes, bis sie einen asymptotischen Wert erreicht. Der PRP-Effekt wurde in einer großen Anzahl von Aufgabenstellungen für die beiden Reize, mit verschiedenen Reaktionswahlanforderungen, Stimulus- und Reaktionsmodalitäten beobachtet (für einen Überblick siehe Pashler 1994).

Im Gegensatz zur Beeinträchtigung der Reaktion auf den Reiz der zweiten Aufgabe bleibt die Reaktionszeit auf den kurz zuvor präsentierten Reiz der ersten Aufgabe oftmals nahezu unbeeinflusst durch die Länge der SOA. Theorien zentraler Verarbeitungsengpässe erklären dieses Befundmuster durch die Annahme, dass die Bearbeitung der ersten Aufgabe zuerst die Stufe erreicht, auf der auf den Flaschenhalsprozess zugegriffen wird. Für die Dauer dieses Zugriffs kann der Prozess nicht für die auf den zweiten Reiz auszuführende Aufgabe verwendet werden; die Wartezeit bis zum Freiwerden des Flaschenhalses verlängert demgemäß selektiv die Reaktionszeit der zweiten Aufgabe. Wird der Reiz der zweiten Aufgabe erst mit einer gewissen Verzögerung dargeboten, so erreicht die Bearbeitung der zweiten Aufgabe die den Flaschenhals benötigende Stufe erst später, d. h. zu einem Zeitpunkt, an dem die Bearbeitung der ersten Aufgabe bereits weiter vorangeschritten ist und das Warten auf das Freiwerden des Flaschenhalses sich entsprechend verkürzt. Ist die SOA lang genug, so wird der Flaschenhals in Aufgabe 2 erst benötigt, wenn Aufgabe 1 ihn bereits wieder freigegeben hat, und es entstehen keine Kosten der Bearbeitung mehr. PRP-Paradigmen haben sich als äußerst fruchtbar für die Forschung zu Doppelaufgabenkosten erwiesen, da sie im Gegensatz zu fortlaufend zu bearbeitenden Aufgabenkombinationen ein hohes Maß an Kontrolle über das Timing der einzelnen Verarbeitungsprozesse der beiden Aufgaben ermöglichen. In Untersuchungen mit fortlaufender Bearbeitung zweier Aufgaben ist es dagegen denkbar, dass Versuchspersonen eine Strategie der Aufgabenkoordination finden, welche ohne simultane Zugriffe auf den Flaschenhals auskommt, sodass sich überhaupt keine Doppelaufgabenkosten ergeben (Broadbent 1982). In diesem Fall bestünde die Gefahr, fälschlicherweise das Nichtvorhandensein von Flaschenhälsen zu schlussfolgern.

Zudem lassen sich innerhalb der Flaschenhalskonzeption durch vergleichsweise einfache Überlegungen klare Voraussagen für Variationen des PRP-Effekts machen. Derartige Voraussagen wurden vornehmlich zu dem Zweck erstellt, den Ort des Flaschenhalses innerhalb der Kette von Verarbeitungsschritten einer Aufgabe zu lokalisieren.

Abb. 6.10 zeigt schematisch einige einfache Voraussagen für die Auswirkung von Manipulationen, die mit einer Verlängerung der Dauer des Flaschenhalsprozesses selbst sowie der Dauer von Prä- und Post-Flaschenhalsprozessen in einer der Aufgaben einhergehen, auf den PRP-Effekt.

In ▶ Abschn. 6.3 hatten wir bei der Besprechung von Wahlreaktionsaufgaben, die Annahme dargelegt, dass sich in der messbaren Reaktionszeit die drei Verarbeitungsstufen *Reizidentifikation*, *Reaktionsauswahl* und *Reaktionsausführung* unterscheiden lassen.

Eine ganze Reihe von Ergebnissen aus PRP-Experimenten lässt sich gut mit der Ansicht vereinbaren, dass vornehmlich die Stufe der Reaktionsauswahl einen Flaschenhals konstituiert. Das heißt, dass die Bearbeitung zweier Aufgaben während der Reizidentifikations- und Reaktionsausführungsphasen in einer oder in beiden Aufgaben weitgehend ohne gegenseitige Beeinträchtigung ablaufen kann, wohingegen es nicht möglich ist, die Zuordnung eines Reizes zu seiner zugehörigen Reaktion für mehrere Aufgaben gleichzeitig vorzunehmen. Zwei Beispiele werden in ▶ Exkurs 6.9 besprochen.

Die Gesamtbefundlage zum PRP-Effekt stellt sich allerdings als kompliziert dar. Zum einen gibt es Hinweise auf andere Flaschenhälse als den der Handlungsauswahl. So finden sich PRP-Effekte mitunter auch dann, wenn eine der beteiligten Aufgabe gar keine motorische Reaktion zum Zeitpunkt der Aufgabenüberschneidung verlangt. Beispielsweise interferiert die Aufnahme visueller Reize zur kurzzeitigen Bereithaltung (Aufgabe 1) mit einer Tonhöhenidentifikationsaufgabe (Aufgabe 2) umso stärker, je mehr visuelle Informationen aufzunehmen sind (Jolicoeur und Dell'Acqua 1998). Zum anderen muss darauf hingewiesen werden, dass die beschriebenen Interpretationen des PRP-Effekts auf der Annahme basieren, dass sich die vorgenommenen Aufgabenmanipulationen tatsächlich in der angenommenen Weise selektiv auf einzelne Aufgabenverarbeitungsstufen auswirken. Dies lässt sich im Einzelfall allerdings kaum belegen. So ist es zum Beispiel durchaus denkbar, dass eine Erhöhung der Anzahl der Reiz-Reaktions-Zuordnungen nicht allein die Stufe der Reaktionsauswahl, sondern zudem auch Prozesse der Reizidentifikation verlängert.

Während wir in der bisherigen Betrachtung Flaschenhälse als eine fundamentale Beschränkung des Informationsverarbei-

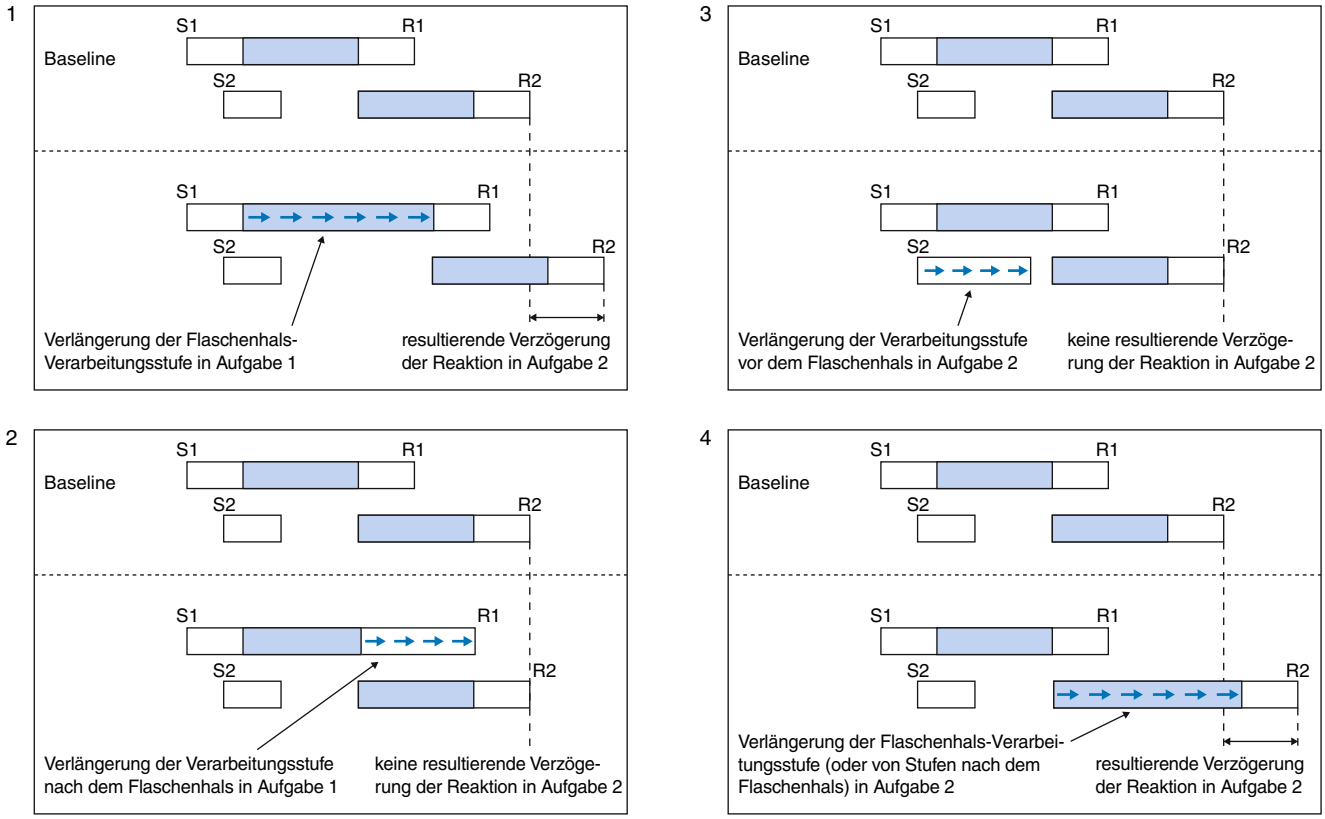


Abb. 6.10 Schematische Darstellung der Auswirkung der Verlängerung von Flaschenhalsprozessen (*blauer Bereich*) sowie von zeitlich vor oder nach dem Flaschenhals gelagerten Prozessen auf den PRP-Effekt. S1 markiert das Auftreten des Reizes der ersten Aufgabe und R1 das der Reaktion auf diesen Reiz. S2 markiert das Auftreten des Reizes der zweiten Aufgabe und R2 das der Reaktion auf diesen Reiz. In Beispiel 1 führt eine Verlängerung der Dauer des Flaschenhalses in Aufgabe 1 nicht nur zur Erhöhung der Reaktionszeit in dieser Aufgabe, sondern durch die Verlängerung der Wartezeit zu einer ebensolchen Erhöhung der Reaktionszeit für Aufgabe 2. In Beispiel 2 wirkt sich die Verlängerung von dem Flaschenhals nachgelagerten Prozessen in Aufgabe 1 lediglich auf die Reaktionszeit für diese Aufgabe, nicht dagegen für Aufgabe 2 aus. Beispiel 3 zeigt eine Verlängerung der Dauer eines vor dem Flaschenhals angesiedelten Prozesses in Aufgabe 2, die sich, da sie komplett in die Wartezeit fällt, überhaupt nicht auf die Reaktionszeiten der beiden Aufgaben auswirkt. Die Verlängerung des Flaschenhalsprozesses von Aufgabe 2 in Beispiel 4 führt zu einer selektiven Erhöhung der Reaktionszeit dieser Aufgabe. (Pashler 1994, S. 225, 226, Fig. 3, publisher: APA, reprinted with permission; APA is not responsible for the accuracy of this translation)

tungssystems („strukturelle Flaschenhälse“) aufgefasst haben, ist auch die Ansicht vertreten worden, dass es sich um Unterbrechungen einer Aufgabe aus strategischen Gründen handeln könnte (Allport 1993; Meyer und Kieras 1997). Derartige Engpässe sollten prinzipiell aufhebbar sein. Ein plausibler Grund für eine strategische Serialisierung der Verarbeitung kann in der Vorbeugung fälschlicher Zuordnungen von Operationen einer Aufgabe auf Informationsrepräsentationen der anderen Aufgabe gesehen werden.

6.4.4 Crosstalk-Theorien

Die Gefahr derartiger Falschzuordnungen wird von Theorien betont, die Doppelaufgabenkosten auf eine nicht hinreichende Trennung der Informationsverarbeitungsströme simultan zu bearbeitender Aufgaben zurückführen. Ähnlich wie bei eng benachbarten Telefonleitungen, die zwar für sich genommen ausreichend Kapazität für die parallele Übermittlung von Gesprächen besitzen, aber durch das Überspringen von Botschaften Signalbeeinträchtigungen erleiden können, werden Störungen der Bearbeitung einer Aufgabe durch „outputs, throughputs, or side effects“ (Navon und Miller 1987, S. 435) der anderen Aufgabe angenommen. In Anlehnung an die Metapher der unvollständigen Isolierung von Telefonleitungen wird hierfür der Begriff **Crosstalk** (Übersprechen) herangezogen.

Tatsächlich finden sich deutliche Belege dafür, dass es bei der Bearbeitung zweier verschiedener Aufgaben zu Crosstalk kommen kann. So kommt es zu Leistungseinbußen, wenn die semantischen Inhalte zweier Aufgaben „vermengt“ werden. (▶ Exkurs 6.10)

Tatsächlich lassen sich sogar „Rückwärts-Kompatibilitätseffekte“, d. h. Auswirkungen der Korrespondenz der in der zweiten Aufgabe zu gebenden Reaktion mit der Reaktion in der ersten Aufgabe auf die Reaktion in der ersten Aufgabe, beobachten (Hommel 1998), was belegt, dass die Reaktionsauswahl der ersten Aufgabe zumindest noch nicht vollständig abgeschlossen ist, wenn bereits eine Aktivierung der in der zweiten Aufgabe zu gebenden Reaktion vorliegt.

Doppelaufgabenkosten sind bei der Kombination diverser auch sehr einfacher Aufgaben zu beobachten. Zur Erklärung dieser Leistungseinbußen sind verschiedene Rahmenmodelle vorgeschlagen worden.

Exkurs 6.9

Genauer betrachtet: Zentrale Engpässe

Sehen wir uns zwei Beispiele an, die sich aus Abb. 6.10 ableiten lassen. Beispiel 1 bezieht sich auf eine Verlängerung der Dauer des Flaschenhalsprozesses in Aufgabe 1. Eine Manipulation, die eine solche Verlängerung bewirkt, sollte sowohl die Reaktionszeit in Aufgabe 1 erhöhen als auch die Wartezeit in Aufgabe 2 entsprechend verlängern. Ein dementsprechendes Ergebnismuster fanden Karlin und Kestenbaum (1968) durch eine Erhöhung der Anzahl der Reiz-Reaktions-Zuordnungen in der ersten Aufgabe – einer Manipulation, die sich vornehmlich auf die Dauer der Reaktionsauswahl in Aufgabe 1 auswirken sollte. Manipulationen der Reaktionsauswahldauer in Aufgabe 2 führen dagegen gemäß Beispiel 4 aus Abb. 6.9 zur selektiven Erhöhung der Reaktionszeit für Aufgabe 2, während die Reaktionszeit für Aufgabe 1 unberührt bleibt (McCann und Johnston 1992).

Besonders interessant erscheint vielleicht die aus Beispiel 3 in Abb. 6.10 abgeleitete Voraussage, dass eine offensichtliche Erschwerung von Aufgabe 2 durch eine Verlängerung der Dauer eines Prä-Flaschenhalsprozesses bei kurzer SOA folgenlos für die Reaktionszeit dieser Aufgabe bleiben sollte, da sie komplett in die Wartezeit auf den frei werdenden Flaschenhals fällt und somit keine Verlängerung der Bearbeitung bewirkt. Tatsächlich fand sich ein entsprechendes Ergebnismuster in einem Experiment, in dem die Identifikation der Reize der zweiten Aufgabe durch eine Abschwächung ihrer Intensität erschwert und vermutlich verzögert wurde (Pashler und Johnston 1989). Während diese Manipulation bei langer SOA zu einer Erhöhung der Reaktionszeiten der zweiten Aufgabe führte, blieb diese Erhöhung bei kurzer SOA vollständig aus. Die Aufgabe konnte also auch mit weniger gut sichtbaren Reizen ebenso schnell bearbeitet werden wie mit besser sichtbaren, wenn sie sehr schnell nach dem Reiz der ersten Aufgabe dargeboten wurde (Abb. 6.11).

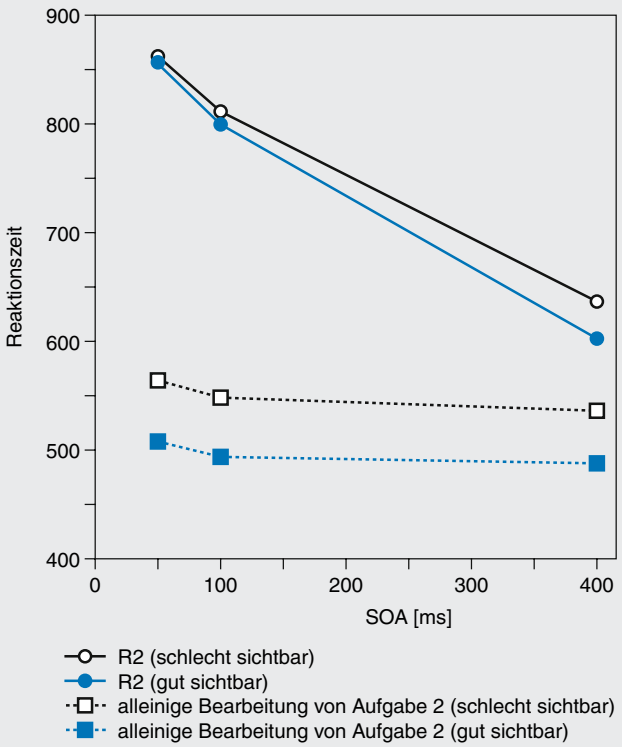


Abb. 6.11 Reaktionszeiten in einem PRP-Experiment mit Variation der Intensität der Reize der zweiten Aufgabe. Eine Verschlechterung der Sichtbarkeit der Reize führt bei langer SOA, nicht aber bei kurzer SOA, zur Erhöhung der Reaktionszeit in der zweiten Aufgabe; die Reaktionszeit der ersten Aufgabe wird nicht beeinflusst. Die unteren beiden (*gestrichelten*) Linienzüge zeigen die Reaktionszeiten in der zweiten Aufgabe unter Einzelaufgabenbedingungen. Wie in der Doppelaufgabenbedingung erschien auch hier zuerst der Reiz für die erste Aufgabe. In diesem Fall war auf diesen Reiz jedoch keine Reaktion auszuführen. Unter diesen Bedingungen zeigt sich nur ein vernachlässigbarer PRP-Effekt, und weniger gut sichtbare Reize gehen durchweg mit langsameren Reaktionen einher. (Aus Pashler und Johnston 1989)

Exkurs 6.10

Genauer betrachtet: Leistungsbeeinträchtigungen bei Crosstalk

Navon und Miller (1987) fanden Leistungsbeeinträchtigungen, wenn sie die semantischen Inhalte zweier Aufgaben „vermengten". In einem ihrer Experimente hatten Versuchspersonen ein Paar wechselnder Wörter kontinuierlich auf das Auftreten von Männernamen sowie ein weiteres Paar wechselnder Wörter auf das Auftreten von Städtenamen zu überprüfen. Die Leistung z. B. in der Städtenamen-Aufgabe fiel ab, wenn in den Wörtern der Männernamen-Aufgabe ein Städte- oder Ländername (als Distraktor) auftauchte, also ein Objekt, das mit den Zielreizen der anderen Aufgabe verbunden war.

Ebenfalls finden sich deutliche Kompatibilitätseffekte zwischen den Reizen der einen Aufgabe und den Reaktionen der anderen Aufgabe, z. B. schnellere Reaktionen in der zweiten Aufgabe eines PRP-Experiments, wenn die räumliche Orientierung des Reizes in der ersten Aufgabe mit der räumlichen Position der in der zweiten Aufgabe zu gebenden Reaktion übereinstimmt, obwohl letztere anhand eines ganz anderen Reizes auszuwählen ist und nicht mit der Orientierung des Reizes der ersten Aufgabe korreliert (Koch und Rumiati 2006).

6.5 Exekutive Funktionen/Kognitive Kontrolle

Unter dem Begriff „exekutive Funktionen“ oder „exekutive kognitive Kontrolle“ bei der Handlungssteuerung subsumieren unterschiedliche Forscher unterschiedliche kognitive Mechanismen, die dazu beitragen, Handlungsabfolgen bei auftretenden Schwierigkeiten zu optimieren. Dies kann in Situationen erforderlich sein, in denen automatisch aktivierte Handlungsabfolgen unzureichend erscheinen, wie zum Beispiel in Situationen, in denen

- die Handlungsabfolge in einem neuartigen Kontext erfolgt;
- die erforderliche Handlungsabfolge nicht gut gelernt ist oder neue Sequenzen erfordert;
- die Handlung besonders gefährlich oder technisch schwierig ist;
- die vorgesehene Handlung sich gegen eine andere starke, habituelle automatisch aktivierte Handlungsreaktion durchsetzen muss (z. B. Stroop-Aufgabe; ▶ Exkurs 6.11);
- mehrere verschiedene geforderte Handlungen koordiniert werden müssen (z. B. Doppeltätigkeiten).

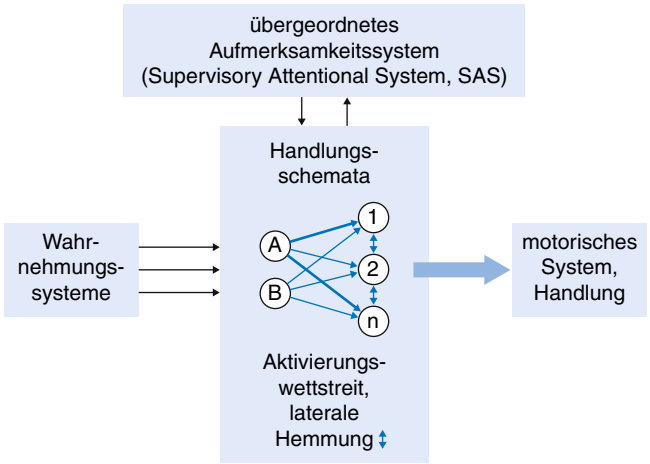
Die Gesamtheit der kognitiven Prozesse, die dies ermöglichen, werden auch als „exekutive Kontrollprozesse“ bezeichnet. Sie werden den bereits gelernten, eher automatisch ablaufenden Handlungsprozessen gegenübergestellt. Sie laufen in der Regel langsamer ab als automatische Handlungsprozesse. Sie sollen flexibler einsetzbar sein und beanspruchen mehr kognitive Aufmerksamkeitskapazität für die Bewegungsplanung. So greifen Probanden z. B. schneller und auch genauer nach bekannten als nach unbekannten Zielobjekten (Li et al. 2009).

Nach Baddeley (1986) können diese im Gehirn ablaufenden **exekutiven Funktionen** folglich definiert werden als komplexe kognitive Prozesse, durch welche ein Individuum seine Handlungsweisen in Situationen optimiert, in denen das Tätigwerden mehrerer Prozesse erforderlich ist. Nach Elsner und Prinz (2012): sind exekutive Funktionen kognitive Prozesse, die für die zielbezogene Kontrolle von Handlungen erforderlich sind.

Exekutive Funktionen

Kontrollprozesse, die ein Individuum befähigen, seine Handlungsdurchführung in Situationen zu optimieren, die das Koordinieren und Tätigwerden mehrerer kognitiver Basisprozesse erfordern, werden als exekutive Funktionen bezeichnet. (Ward 2010)

Zum Verständnis des Zusammenspiels zwischen automatischen und kontrollierten Prozessen bei der Handlungssteuerung beziehungsweise von exekutiven Mechanismen und Aufmerksamkeit wurden verschiedenen Modellvorstellungen entwickelt. Als derzeit gängigstes Rahmenmodell betrachten wir hier das **Supervisory Attentional System** (SAS), das von Norman und Shallice (1986) beschrieben wurde. Nach diesem Modell werden Verhaltensakte durch drei verschiedene Mechanismen gesteuert (■ Abb. 6.12); mehr zu exekutiven Funktionen in *Zusatztext online*.



■ **Abb. 6.12** Rahmenmodell der kognitiven Handlungskontrolle, das SAS-Modell. (Adaptiert nach Norman und Shallice 1986)

1. **Automatische Bewegungssteuerung:** Sie erfolgt durch Aktivierung gelernter Schemata, die im Langzeitgedächtnis gespeichert sind. Sie enthalten auch die jeweiligen Regeln, wie eine Handlung auf den jeweiligen auslösenden Reiz (Input) auszuführen ist. Durch die Wahrnehmung einer entsprechenden Auslösebedingung (z. B. Aufleuchten einer roten Verkehrsampel) werden die in den Schemata enthaltenen motorischen Bewegungen (z. B. Bremse betätigen, Fuß vom Gas) verschieden stark aktiviert und beim Erreichen einer „Aktivationsschwelle“ auch ausgeführt. Letztere ist u. a. auch abhängig von der Gebrauchshäufigkeit der Bewegung (geübt/ungeübt, Fahranfänger) sowie von der Auffälligkeit des Reizes und weiteren Faktoren (z. B. Entfernung von der Verkehrsampel).
2. **Automatische Kontrolle und Koordination mehrerer konkurrierender Reaktionsschemata:** Nach dem Prinzip der lateralen Inhibition hemmen sich, ohne zusätzliche Aufmerksamkeit, gleichzeitig aktivierte Handlungsschemata gemäß ihrer Aktivationsstärke, sodass zunächst nur die am stärksten aktivierte Handlung ausgeführt wird. Dieser Mechanismus verhindert z. B., dass nicht gleichzeitig Gas gegeben und der Gang eingelegt wird. Durch die Annahme dieser beiden Mechanismen lässt sich ein Großteil der Verhaltensweisen in Routinesituationen erklären.

Aufmerksamkeitskontrollierte Handlungssteuerung: Die bisher beschriebenen Mechanismen bieten jedoch keine Möglichkeit, flexibel auf neuartige, nicht routinemäßig zu bewältigende Situationen einzugehen. Es würden immer wieder die – in der Lerngeschichte des Individuums in der jeweiligen Situation – am häufigsten aktivierten (eingeübten) Handlungen ausgeführt. Ein solches System könnte demgemäß nicht adäquat auf Aufgaben reagieren, in denen von gelernten Reaktionsweisen abgewichen werden muss, wie zum Beispiel in der bekannten Stroop-Aufgabe, bei der das Benennen der Druckfarbe eines in anderer Farbe gedrucktes Farbwortes zu Schwierigkeiten führt (▶ Exkurs 6.11).

Solche Situationen weisen darauf hin, dass ein weiterer Mechanismus existieren muss, der es erlaubt, dennoch das Handlungsschema für die Farbbenennung auszuführen und nicht das für die Wortbenennung.

Exkurs 6.11

Genauer betrachtet: Störung der Handlungssteuerung durch habituelle Tendenzen und ihre exekutive Überwindung – der Stroop-Effekt

In der Stroop-Aufgabe (Stroop 1935; Überblick bei MacLeod 1991) gilt es, die Druckfarbe von Wörtern zu benennen, welche selbst eine Farbe bezeichnen. Hierbei können Druckfarbe und Wortbedeutung übereinstimmen (z. B. ROT in roter Farbe; kongruente Bedingung), oder die Wortbedeutung kann sich auf eine andere Farbe als die des Wortes beziehen (z. B. BLAU in roter Farbe; inkongruente Bedingung). Ein Grundbefund in dieser Aufgabe ist, dass die Benennung kongruenter Stimuli schneller und weniger fehlerbehaftet erfolgt als die Benennung inkongruenter Stimuli. Dieser **Stroop-Effekt** (Abbildung und Selbstexperiment in *Zusatztext online*/ Farbtafel ■■) wird darauf zurückgeführt, dass es zu einer Störung der aufgabengemäßen Handlungsauswahl kommt, wenn der Stimulus eine andere als die korrekte Reaktion nahelegt. Diese Störung resultiert aus der aufgrund langjähriger Übung im Lesen von Wörtern automatisch erfolgenden semantischen Verarbeitung des für die Bearbeitung der Aufgabe eigentlich irrelevanten Wortes, die zu einer Tendenz führt, die Bedeutung des Wortes auszusprechen. (Die Tendenz, ein gelesenes Wort auszusprechen, wird hierbei sicherlich durch den Kontext der instruierten Aufgabe begünstigt, die ja fordert, eine Benennungsreaktion auszuführen. Es muss nicht angenommen werden, dass auch unter anderen Bedingungen das Lesen eines Wortes automatisch zur Aktivierung entsprechender Sprechprozesse führt.)

Abb. 6.13 zeigt schematisch ein weiteres einflussreiches Modell zur Erklärung des Stroop-Effekts (Cohen et al. 1990): Dies **konnektionistische Netzwerkmodell** ist in der Lage, die Farben Rot und Grün sowie die entsprechenden Wörter ROT und GRÜN als Reize aufzunehmen. Zu diesem Zweck verfügt es über entsprechende Farb- und Worteinheiten in einer Eingabeschicht. Zudem enthält es zwei Antworteinheiten in einer Ausgabeschicht, die es ihm ermöglichen, in jedem Versuchsdurchgang mit „rot" oder „grün" zu antworten. (Eine Antwort gilt als gegeben, wenn der Aktivierungswert einer der Reaktionen einen bestimmten Schwellenwert überschreitet.) Die Darbietung des Wortes ROT in roter Farbe würde mit einer Aktivierung der ersten und dritten Eingabeeinheit (von links), die Darbietung des Wortes GRÜN in roter Farbe mit der Aktivierung der ersten und der vierten Eingabeeinheit erfolgen. Die Darbietung der Reize löst durch Verbindungen zwischen der Eingabe- und Ausgabeschicht Aktivierungen der Antworteinheiten aus. Wie in Abb. 6.13 zu erkennen ist, existieren Verbindungen der Antworteinheiten sowohl mit den entsprechenden Farb- als auch mit den entsprechenden Worteingabeeinheiten. Sobald die Aktivierung einer der beiden Antworteinheiten eine definierte Schwelle überschreitet, gilt dies als Antwort auf den aktuellen Reiz. (Die hierfür benötigte Zeit – genauer: die Anzahl von „Berechnungszyklen", die zum Überschreiten der Schwelle benötigt wird – modelliert die Reaktionszeiten menschlicher Versuchspersonen.) Während sich im Fall eines kongruenten Reizes quasi eine zweifache Aktivierung derselben, nämlich der korrekten Antworteinheit ergibt – wodurch deren Aktivierung schnell ihre Schwelle überschreiten kann –, wird diese Antworteinheit im Fall eines inkongruenten Reizes allein durch die Farbeinheit aktiviert (abgesehen von gewissen Zufallsprozessen, die in derartigen Modellen als Rauschen hinzugefügt werden). Ein weiterer Nachteil gegenüber der kongruenten Situation ergibt sich dadurch, dass im inkongruenten Fall die Worteinheit die falsche Antwort aktiviert. Aufgrund einer hemmenden Verschaltung der beiden Antworteinheiten ergibt sich so ein Reaktionskonflikt: Die Aktivierung der einen Antwort wirkt der Aktivierung der anderen entgegen. In der Summe dauert es dadurch länger, bis die Aktivierung der korrekten Antwort ihre Schwelle überschreiten kann. Aufgrund des eingebauten Zufallsrauschens kann es sogar dazu kommen, dass die falsche Antwort zuerst über die Schwelle steigt. Im Vergleich zum kongruenten Fall unterlaufen dem Modell im inkongruenten Fall dadurch mehr Fehlbenennungen, und die korrekten Antworten erfolgen langsamer.

Die Verbindungen zwischen den Farbeingabeeinheiten und den Reaktionen im Modell sind weniger stark ausgeprägt als die Wort-Reaktions-Verbindungen. Dies soll die Wirkung der ausgedehnten Übung des Lesens im Laufe der individuellen Lerngeschichte von Personen widerspiegeln. Würde das Modell lediglich die Verbindungen der Eingabeeinheiten zu den Reaktionseinheiten aufweisen, würde es aufgrund der stärkeren Ausprägung der Wort-Reaktions- als der Farb-Reaktions-Verbindungen bei Vorgabe eines inkongruenten Stimulus zumeist nicht dessen Farbe, sondern dessen Wortbedeutung benennen. Im Hinblick auf menschliche Versuchspersonen wäre dies ein unrealistisches Verhalten, denn trotz spürbarer Schwierigkeiten gelingt es uns ja in den allermeisten Fällen, korrekterweise die Farbe zu benennen. Auch dem Modell gelingt dies trotz der Asymmetrie der Farb-Reaktions- und Wort-Reaktions-Verbindungen, da es über zusätzliche „Aufmerksamkeitseinheiten" verfügt, welche selektiv die Verarbeitung der Farbe oder des Wortes verstärken können, je nach gegebener Aufgabe. Handelt es sich um die übliche Stroop-Aufgabe des Farbbenennens, bewirkt dieser Top-down-Einfluss eine Überlegenheit der Farb- gegenüber der Wortverarbeitung; das Modell gibt in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle die korrekte Reaktion. Dennoch ergibt sich – wie bei menschlichen Versuchspersonen – ein Stroop-Effekt, d. h. Leistungseinbußen bei der Benennung der Farbe inkongruenter Reize, da die (stark ausgeprägten) Wort-Reaktions-Verbindungen in diesem Fall zu einer Aktivierung der falschen Reaktion führen, die in Konflikt mit der Aktivierung der korrekten Reaktion entlang der Farb-Reaktions-Verbindungen tritt.

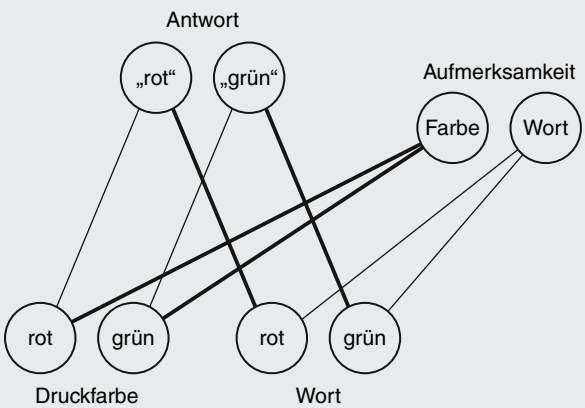


Abb. 6.13 Struktur des konnektionistischen Modells zur Erklärung des Stroop-Effekts von Cohen et al. (1990)

Für die **Ausübung dieser Kontrollfunktion** wird nach Norman und Shallice (1986) ein übergeordnetes Aufmerksamkeitssystem (SAS, supervisory attention system) angenommen. Dieses wirkt steuernd auf die Bewegungsauswahl, indem es Schemata, die mit übergeordneten Zielen (Aufgaben) übereinstimmen, zusätzlich aktiviert und inadäquate Schemata hemmt. Dies ist insbesondere in Situationen erforderlich, die sich durch Neuigkeit, erhöhte Schwierigkeit oder Gefahr bei Fehlern auszeichnen.

Als ein Beleg für die Existenz und Funktion eines solchen SAS wird auch die Feststellung angesehen, dass Patienten mit Läsionen im präfrontalen Cortex oftmals Planungs- und Kontrollprobleme aufweisen, sodass anzunehmen ist, dass derartige exekutive Funktionen (und die Ausrichtung der exekutiven Aufmerksamkeit) in diesem Gehirnbereich lokalisiert sind.

Wenngleich das inzwischen mehrfach veränderte (Shallice und Burges 1996) SAS-Modell als allgemeines Rahmenmodell zur Erklärung der exekutiven Funktionen der Handlungssteuerung durch Aufmerksamkeitsprozesse gelten kann, gibt es weiterhin viele offene Fragen (Hagendorf et al. 2011). So wird unter anderem diskutiert, ob von einer einheitlichen Kontrollstruktur auszugehen ist oder ob mehrere Teilsysteme verschiedene exekutive Funktionen (wie Zielsetzung, Schemaauswahl, Unterdrückung nichtadäquater Funktionen) übernehmen (Duncan und Owen 2000). Für eine gewisse Spezialisierung bestimmter Areale im präfrontalen Cortex sprechen Ergebnisse mit bildgebenden Verfahren (▶ Exkurs 10.4), wonach der linke präfrontale Cortex besonders für die Schemaauswahl verantwortlich ist und der rechte für die Überwachung der Effektivität (Ward 2010).

Eine herausragende Rolle für die Forschung zu exekutiven Funktionen spielt die Analyse der Leistung in sogenannten **Konflikt-** oder **Interferenzaufgaben**, insbesondere der Stroop-Aufgabe (▶ Exkurs 6.11).

6.5.1 Aufrechterhalten aufgabenrelevanter Informationen

Eine bedeutende Rolle in Theorien exekutiver Funktionen spielt das Arbeitsgedächtnis (▶ Kap. 8), in welchem für eine aktuelle Aufgabe relevante Informationen aufrechterhalten und manipuliert werden können. Eine prominente Methode zur Untersuchung des Arbeitsgedächtnisses stellt die **N-Back-Aufgabe** dar. Bei dieser Aufgabe wird Versuchspersonen eine lange Sequenz von Symbolen, z. B. Buchstaben, präsentiert. (Jedes Symbol wird einzeln dargeboten und verschwindet vor oder mit der Darbietung des folgenden.) Die Aufgabe der Versuchsperson besteht darin zu reagieren, wenn ein bereits dargebotenes Symbol erneut erscheint, allerdings nach einer vorher spezifizierten Anzahl (N) von Darbietungen anderer Symbole. Es muss also bei jedem dargebotenen Symbol festgestellt werden, ob es sich um das Symbol handelt, das N Darbietungen zuvor präsentiert worden war. Durch die Manipulation von N lässt sich die Anforderung an das Arbeitsgedächtnis systematisch variieren, da mit größer werdendem N immer mehr Symbole (und ihre Darbietungsreihenfolge) bereitgehalten werden müssen. Diverse Untersuchungen mit bildgebenden Verfahren wie auch Studien mit Einzelzellableitungen bei Affen zeigen eine erhöhte Aktivierung präfrontaler Areale, wenn zielrelevante Informationen aufrechterhalten werden müssen. Die Aktivierung dorso-lateral präfrontaler Regionen korreliert mit der Höhe der Arbeitsgedächtnisbelastung in der N-Back-Aufgabe (Braver et al. 1997).

Die Bedeutung des Arbeitsgedächtnisses für selektive Verarbeitung zielrelevanter Reizinformationen konnten Lavie et al. (2004) zeigen. Im Gegensatz zur Verminderung von Distraktor-Interferenz-Effekten bei Erhöhung der perzeptuellen Aufgabenanforderungen(*perceptual load*; ▶ Exkurs 5.7), kommt es bei Erhöhung der Arbeitsgedächtnisbelastung während der Bearbeitung einer Aufgabe zur selektiven Aufmerksamkeit zu stärkerer Distraktorinterferenz. Nach Lavie et al. (2004) führt die Belastung des Arbeitsgedächtnisses zu Einbußen in der Aufrechterhaltung der Verarbeitungsprioritäten (Targets vs. Distraktoren), welche ebenfalls vom Arbeitsgedächtnis geleistet wird. Hieraus resultiert eine relativ erhöhte Verarbeitung irrelevanter auf Kosten von aufgabenrelevanten Reizinformationen.

Eine Erhöhung der perzeptuellen Anforderungen führt zu selektiverer Reizverarbeitung. Eine Erhöhung der Belastung des Arbeitsgedächtnisses geht mit verminderter Verarbeitungsselektivität einher.

6.5.2 Umstellung zwischen Aufgaben

Der Unterschiedlichkeit der in ▶ Abschn. 6.4 vorgestellten Ansätze zur Erklärung der Leistung in Doppelaufgaben zum Trotz verweisen alle angeführten Erklärungen auf die zeitliche Überschneidung der Bearbeitung der beiden Aufgaben als Ursache der Beeinträchtigung. Eine zeitlich entkoppelte, nacheinander erfolgende Darbietung zweier Aufgaben sollte demnach keine vergleichbaren Kosten hervorrufen. Tatsächlich besteht einer der Hauptbefunde von PRP-Untersuchungen ja in der deutlichen Beschleunigung der zweiten Aufgabe, wenn die Reize der beiden Aufgaben mit einer langen SOA dargeboten werden, im Extremfall der Reiz der zweiten Aufgabe erst nach der Reaktion auf den Reiz der ersten Aufgabe präsentiert wird. Experimente zum **Aufgabenwechsel**, in denen zwei oder mehrere verschiedene Aufgaben streng nacheinander vorgegeben werden, zeigen jedoch, dass es – von Ausnahmefällen abgesehen – auch hierbei zu deutlich messbaren Leistungseinbußen gegenüber der repetitiven Bearbeitung derselben Aufgabe kommt (Überblick bei Kiesel et al. 2010; Vandierendonck et al. 2010). Werden zwei Aufgaben in häufigem Wechsel vorgegeben, sodass sich Durchgänge von Aufgabenwiederholungen (Bearbeitung derselben Aufgabe im Vordurchgang) und Aufgabenwechseln (Bearbeitung der anderen Aufgabe im Vordurchgang) unterscheiden lassen, so fällt die Leistung in letzteren üblicherweise schlechter aus, zumindest dann, wenn beide Aufgaben auf dieselben Reize zurückgreifen. Dies gilt für diverse Aufgabenkombinationen, beispielsweise wenn in jedem Durchgang eine farbige geometrische Form als Reiz dargeboten wird und abwechselnd Farb- und Formklassifikationen durchzuführen sind, wenn in jedem Durchgang ein Reiz an einer variierenden Stelle auf dem Bildschirm dargeboten wird, der entweder hinsichtlich seiner vertikalen Position oder hinsichtlich seiner horizontalen Position zu beurteilen ist, oder

Exkurs 6.12

Genauer betrachtet: Perseverativen Verhalten nach Hirnschädigung

Verschiedene Arten von Hirnschädigungen gehen mit einer deutlichen Einschränkung der Handlungsflexibilität einher, die sich in einer Tendenz äußert, ein zuvor gezeigtes Verhalten zu wiederholen. Sogenannte Perseverationen sind allgemein definiert als die Fortsetzung oder das Wiederauftreten einer Erfahrung oder Aktivität in Abwesenheit eines zugehörigen Stimulus (Sandson und Albert 1984, 1987). Sandson und Albert (1984, 1987) unterscheiden hierbei zwischen drei Kategorien. Bei „continuous perseverations" handelt es sich um das unangemessene kontinuierliche Fortführen einer Tätigkeit. Exemplarisch für diese Kategorie beschreibt Luria (1966) einen Patienten, der das Abschleifen eines Stücks Holz so lange fortführt, bis nichts mehr davon übrig ist, und daraufhin mit der darunterliegenden Arbeitsplatte weitermacht. Die zweite Kategorie, als „recurrent perseveration" bezeichnet, bezieht sich auf die Wiederholung einer zuvor gegebenen Verhaltensreaktion bei Darbietung eines neuartigen Reizes. Luria (1966) beschreibt hierzu einen Patienten, der zuerst auf Aufforderung seinen Namen niederschreibt und dies im Anschluss ein weiteres Mal tut, obwohl er aufgefordert wurde, eine Figur zu zeichnen. Perseverationen werden auch für abstraktere Handlungsschemata oder Task-Sets beobachtet, insbesondere bei Patienten mit Schädigungen des präfrontalen Cortex. Man spricht hier von „stuck-in-set perseverations". Ein verbreitetes Untersuchungsverfahren zur Feststellung dieser Art von Perseverationen ist der **Wisconsin Card Sorting Test**, in welchem ein Patient einen Stapel Karten nach einer Zuordnungsregel sortieren soll, die er aus den Richtig- und Falsch-Rückmeldungen des Untersuchers erschließen muss. Jede der Karten enthält jeweils ein bis vier gleichartige geometrische Formen, die alle in einer von vier Farben dargestellt sind. Die Karten lassen sich also nach Anzahl, Form oder Farbe der Figuren sortieren. Nach einer bestimmten Anzahl von Durchgängen, in denen der Untersucher die erste Zuordnungshypothese des Patienten bekräftigt, ändert sich die Zuordnungsregel (z. B. von Farbe nach Form). Patienten mit Schädigungen des präfrontalen Cortex zeigen besondere Schwierigkeiten bei der geforderten Umstellung (Milner 1963).

wenn in jedem Durchgang eine Ziffer dargeboten wird, die in der einen Aufgabe als gerade vs. ungerade und in der anderen Aufgabe als größer vs. kleiner als ein Vergleichswert zu klassifizieren ist.

Aufgabenwechselkosten

Unter Aufgabenwechselkosten versteht man Leistungseinbußen, die beim (schnellen) Aufgabenwechsel auftreten im Vergleich zur repetitiven Bearbeitung derselben Aufgabe.

Wie lassen sich diese **Wechselkosten** erklären? Zunächst ist es naheliegend anzunehmen, dass eine gewisse Umkonfigurierung des kognitiven Systems vorgenommen werden muss, um einen Aufgabenwechseldurchgang korrekt bearbeiten zu können, da bei Beibehaltung der im vorhergehenden Durchgang angenommenen Einstellung ein weiteres Mal die vorhergehende Aufgabe durchgeführt werden würde. Dieser Ansicht zufolge muss zunächst eine passende Einstellung angenommen werden, um den Aufgabenreiz gemäß der neuen Aufgabe zu bearbeiten. Diese aufgabenspezifische Einstellung wird oftmals als **Task-Set** bezeichnet. In der Literatur wird des Öfteren die Vagheit des Konzepts des Task-Sets beklagt. Exemplarisch sei eine viel zitierte Formulierung von Rogers und Monsell (1995, S. 208) angeführt: „[…] to adopt a task-set is to select, link, and configure the elements of a chain of processes that will accomplish a task." Tatsächlich ist weitgehend ungeklärt, wodurch Task-Sets genau konstituiert werden. Verschiedene Prozesse werden diskutiert, z. B. Sensitivierung für aufgabenrelevante Reize oder Reizmerkmale (wie Form vs. Farbe), Aktivieren aufgabenrelevanter Reaktionsdispositionen und mentale Kopplung von Reizen und Reaktionen gemäß der jeweiligen Aufgabeninstruktion. Unstrittig ist jedoch, dass die Umkonfigurierung zur Annahme eines benötigten Task-Sets mit einem gewissen Zeitbedarf einhergehen sollte. Dies könnte sich in Form von Aufgabenwechselkosten niederschlagen.

Bisweilen, insbesondere bei bestimmten Hirnschädigungen, kann es zu einem Versagen der Handlungssteuerung kommen, welches den Wechsel zwischen Tätigkeiten stark beeinträchtigt. Statt der ziel-/situationsangemessenen Handlung wird eine zuvor ausgeführte wiederholt. Dies wird als **Perseveration** bezeichnet (► Exkurs 6.12).

In Übereinstimmung mit der Annahme der Umkonfigurierung vor der Ausführung eines Aufgabenwechsels vermindern sich die Wechselkosten, wenn Versuchspersonen vor einem Wechsel zu einer anderen Aufgabe hierüber informiert werden, und zwar umso stärker, je mehr Zeit zwischen dem Hinweis und der Präsentation des zu bearbeitenden Reizes liegt (hierbei werden üblicherweise Intervalle zwischen 100 und 2000 ms variiert). Offenbar kann diese Vorbereitungszeit zur Einstellung auf die kommende Aufgabe genutzt werden. Allerdings verschwinden die Wechselkosten so gut wie nie vollständig, sondern es bleibt eine als residuale Wechselkosten bezeichnete Reaktionszeiteinbuße auch nach ausgiebiger Vorbereitungsmöglichkeit bestehen. Zur Erklärung dieser residualen Wechselkosten wurden verschiedene Vorschläge gemacht.

Eine Erklärung basiert auf der Annahme, dass die aufgabenspezifische Umkonfigurierung nicht vollständig innerhalb der Vorbereitungszeit durchgeführt werden kann, da ein die Umstellung abschließender Kontrollprozess nur exogen, d. h. durch die Wahrnehmung des zu bearbeitenden Aufgabenreizes, aktiviert werden kann. Dieser exogene Kontrollprozess erfolgt somit nach der Wahrnehmung des Reizes, aber vor der eigentlichen Aufgabenbearbeitung. Da er nur bei Aufgabenwechseln und nicht bei Aufgabenwiederholungen nötig ist, verlängert er die Reaktionszeiten in Aufgabenwechseldurchgängen und bestimmt die residualen Wechselkosten (Rogers und Monsell 1995; ◘ Abb. 6.14). Andere Erklärungen verneinen die Existenz eines derartigen stufenartig in die Bearbeitung von Aufgabenwechseln eingeschobenen Prozesses und gehen davon aus, dass sich die Prozesskette bei Aufgabenwiederholungen und -wechseln im Prinzip nicht unterscheidet, dass aber bestimmte Teilprozesse bei Aufgabenwechseln zeitlich verlängert ausfallen (Allport et al. 1994). Diese Verzögerung ist durch Nachwirkungen der vorangehenden Aufgabenbearbeitung bedingt, die allgemein als **proaktive Interferenz** bezeichnet werden. Mittlerweile wurde eine große Anzahl von Untersuchungen durchgeführt, um die Pro-

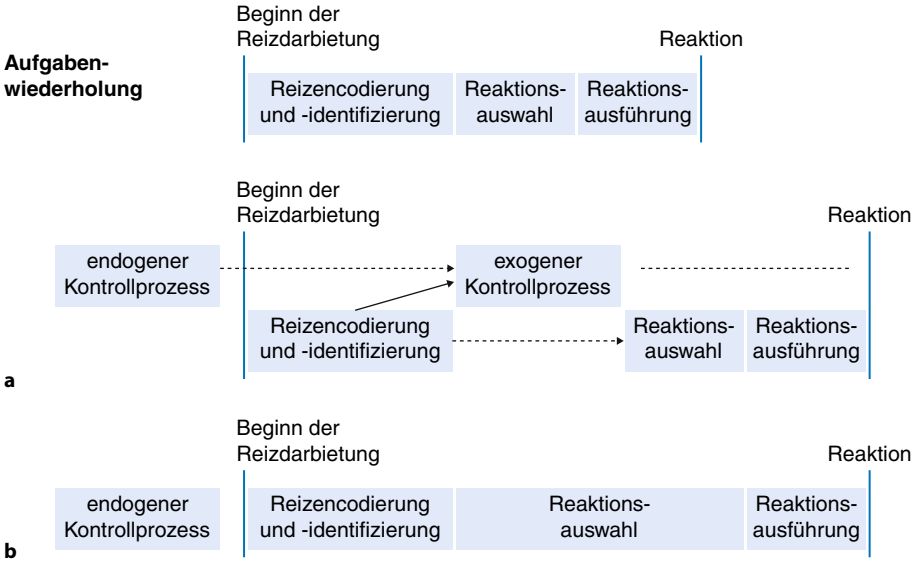


Abb. 6.14 Erklärungsmodelle für Aufgabenwechselkosten. **a** Aufgabenwechsel nach Modell mit exogener Umkonfigurierung, **b** Aufgabenwechsel nach Modell proaktiver Interferenz. (Adaptiert nach Monsell et al. 2000, S. 254, Fig. 2)

zesse der Aufgabenvorbereitung und -ausführung unter Wechselbedingungen näher zu spezifizieren (für weitere theoretische Ansätze vgl. Kiesel et al. 2010; Vandierendonck et al. 2010).

Dabei haben sich einige Befunde ergeben, welche die Annahme proaktiver Interferenz unterstützen. Auf ein in diesem Zusammenhang besonders diskutiertes Ergebnis, das der **asymmetrischen Wechselkosten**, wollen wir im Folgenden näher eingehen. Insgesamt lässt sich sagen, dass sich für die Annahme, residuale Aufgabenwechselkosten spiegelten die Dauer eines exogenen Kontrollprozesses wider, keine überzeugende Evidenz ergeben hat und die aktuelle Forschung eher damit beschäftigt ist, die genauen Bestandteile der proaktiven Interferenz zu analysieren.

Asymmetrische Wechselkosten im Sinne höherer Kosten beim Wechsel zu einer einfacheren Aufgabe ergeben sich zum Beispiel, wenn Versuchspersonen zwischen der klassischen Stroop-Aufgabe (Benennen der Druckfarbe von Farbwörtern) und dem Benennen des jeweils dargebotenen Wortes (unabhängig von seiner Druckfarbe) hin und her wechseln. Hierbei zeigt sich ein deutlicherer Leistungsunterschied zwischen den Wiederholungs- und Wechseldurchgängen für die Wortbenennungsaufgabe als für die Farbbenennungsaufgabe. (Allerdings bleibt es bei einem generellen Vorteil des Wortbenennens gegenüber dem Farbbenennen, auch wenn dieser in den Wechseldurchgängen geringer ausfällt als in den Wiederholungsdurchgängen; Allport et al. 1994; Allport und Wylie 1999). Aus Sicht der Annahme eines exogenen Kontrollprozesses ist dieses Muster schwer zu erklären: Warum sollte dieser Umstellungsprozess länger dauern, wenn auf die einfachere Aufgabe gewechselt wird? Eine plausible Erklärung ergibt sich dagegen, wenn man annimmt, dass im Fall der Farbbenennungsaufgabe spezielle Maßnahmen ergriffen werden, um eine fälschliche Durchführung der anderen, „dominanten" Aufgabe der Wortbenennung zu verhindern. Diese Maßnahmen könnten in einer gezielten Inhibition der Lesefähigkeit bestehen. Nimmt man weiter an, dass eine solche Hemmung in einen folgenden Durchgang persistiert, so sollte dies als spezifische Leistungsbeeinträchtigung beim Wechsel auf die Wortbenennungsaufgabe sichtbar werden. Da es bei der Durchführung der Wortleseaufgabe kaum zu Störungen durch „Farbbenennungstendenzen" kommt, ist eine Inhibition des Task-Sets der Farbbenennung nicht erforderlich, weswegen der Wechsel zur Farbbenennungsaufgabe mit geringeren Kosten einhergeht. Die persistierende Inhibition des Wortbenennungs-Task-Sets wäre ein Beispiel für eine spezielle Art proaktiver Interferenz. Im Einklang mit der Annahme der Inhibition eines dominanten Konkurrenten fanden sich weitere Wechselkostenasymmetrien, beispielsweise höhere Kosten bei der Benennung von Reizen in der Muttersprache als in einer später erlernten Zweitsprache (Meuter und Allport 1999). Allerdings scheinen asymmetrische Wechselkosten auf spezifische Aufgabenkombinationen mit besonders ausgeprägtem „Dominanzgefälle" beschränkt zu sein (Yeung und Monsell 2003).

Deutliche Evidenz für inhibitorische Prozesse beim Wechsel zwischen Aufgaben zeigt sich in einem weiteren Effekt, der auftritt, wenn zwischen mehr als zwei Aufgaben gewechselt wird. Werden drei Aufgaben verwendet und wird in jedem Durchgang zufällig eine der beiden Aufgaben vorgegeben, die im letzten Durchgang nicht bearbeitet wurde, so können zwei verschiedene Formen von Aufgabensequenzen unterschieden werden. Einerseits Sequenzen, in denen nach einmaliger Ausführung einer bestimmten Aufgabe auf die davor bearbeitete Aufgabe zurückgewechselt wird (ABA), und andererseits Sequenzen, in denen in drei aufeinanderfolgenden Durchgängen alle drei Aufgaben zum Einsatz kommen (CBA). Die Reaktionszeit im letzten dieser jeweiligen drei Durchgänge fällt dabei in ABA-Sequenzen höher aus als in CBA-Sequenzen (Mayr und Keele 2000). Dies ist nicht zuletzt deswegen bemerkenswert, da die Verlangsamung der Bearbeitung eintritt, obwohl die letztmalige Ausführung der aktuellen Aufgabe im ABA-Fall zeitlich weniger weit zurückliegt als im CBA-Fall und damit einen Verarbeitungsvorteil aufgrund weniger stark verfallener Aktivierung der beteiligten Prozesse aufweisen könnte. Erklären lässt sich der Effekt durch die Annahme, dass beim Wechsel zu einer neuen Aufgabe das Task-Set der zuvor ausgeführten Aufgabe inhibiert wird. Ein solcher Mechanismus könnte einen wichtigen Faktor bei der Verhinderung von Perseverationen darstellen. Nimmt man wiederum eine ge-

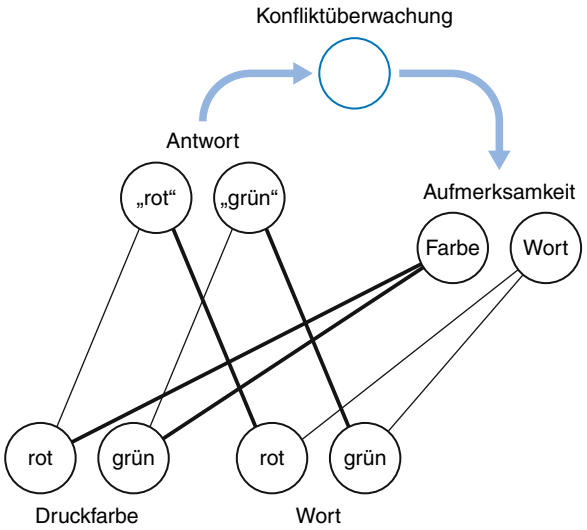


Abb. 6.15 Konfliktüberwachung und Regulation in konnektionistischer Modellierung des Stroop-Effekts. (Nach Botvinick et al. 2001)

wisse zeitliche Persistenz des inhibierten Zustands an, so sollte eine eben verlassene Aufgabe weniger gut reaktivierbar sein, wenn sie kurz darauf erneut zur Durchführung ansteht. Der Effekt wird als „Rückwärtshemmung“ (**Backward Inhibition**) bezeichnet.

Der Wechsel auf eine neue Aufgabe profitiert von der Möglichkeit, sich auf die Aufgabe vorzubereiten. Beim Wechseln zwischen Aufgaben, die auf dasselbe Reizmaterial zurückgreifen, verbleiben jedoch Verhaltenskosten auch nach ausgiebiger Vorbereitungszeit.

6.5.3 Handlungsüberwachung und -regulation

In aktuellen Modellen wird die Wirkweise kognitiver Kontrolle oftmals als indirekter Eingriff in die Reiz-Reaktions-Übersetzung aufgefasst, der den Wettstreit zwischen verschiedenen zur Anwendung strebenden Prozessen zugunsten der zielführenden Prozesse beeinflusst (siehe das zu Beginn von ▶ Abschn. 6.5 dargestellte SAS-Modell). In diesem Sinne begünstigt die auf ein nicht mehr relevantes Task-Set ausgeübte Rückwärtshemmung die Durchführung der neuen Aufgabe durch die Herabsetzung der Konkurrenz durch das zuvor aktive Task-Set.

Ein treffendes Beispiel für diese Auffassung von kognitiver Kontrolle ist das in ▶ Exkurs 6.11 vorgestellte konnektionistische Modell zur Erklärung des Stroop-Effekts. In diesem Modell liegen sowohl strukturelle Prozesspfade der Farbbenennung als auch der Wortbenennung vor. Dabei sind die Reiz-Reaktions-Verbindungen der Wortbenennung übungsbedingt stärker ausgeprägt, was ohne weiteres Zutun zum Vorherrschen von Wortbenennungsreaktionen führen würde. Die Ausübung kognitiver Kontrolle erfolgt durch die separaten Aufmerksamkeitseinheiten, welche durch eine besondere Aktivierung des Farbbenennungspfads die Konkurrenz zugunsten der Farbbenennung beeinflussen, ohne dabei die Struktur der Prozesspfade selbst zu verändern.

Botvinick et al. (2001) erweiterten diese Modellierung um einen Regulationsprozess, der die Verarbeitung kontinuierlich an sich verändernde Kontextbedingungen anpasst. Motiviert wurde diese Erweiterung durch Ergebnisse aus Experimenten mit der Stroop-Aufgabe (und auch mit anderen Konfliktaufgaben), die zeigen, dass der Stroop-Effekt vermindert ausfällt, wenn im direkten Vorfeld ein Konfliktreiz (also ein inkongruentes Farbwort) dargeboten wurde oder auch wenn der Anteil inkongruenter Farbwörter gegenüber kongruenten Farbwörtern erhöht wird. Eine naheliegende Erklärung für diese Befunde ist die Annahme, dass Versuchspersonen nach dem „Erleben“ von konflikthaltiger Reizverarbeitung ihre Aufmerksamkeit stärker auf das für die zu bewältigende Aufgabe notwendige Reizattribut (die Farbe) richten, wodurch das irrelevante Reizattribut (die Wortbedeutung) weniger Einfluss auf die Reaktion ausüben kann (■ Abb. 6.15).

In der Konzeption von Botvinick et al. (2001) fungieren derartige Konflikte, die als maßgebliche Ursache der Reaktionsverlangsamung bei inkongruenten Reizen angesehen werden (▶ Exkurs 6.11), als Signale für Regulationsbedarf. Im Modell wird der Konflikt als das Ausmaß der simultanen Aktivierung verschiedener Reaktionen operationalisiert. Starker Konflikt tritt auf, wenn nicht nur die korrekte Reaktion, sondern zusätzlich auch die andere Reaktion in gewissem Ausmaß aktiviert wird. Starker Konflikt indiziert daher ein hohes Maß an Unsicherheit hinsichtlich der zu gebenden Reaktion und letztlich eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für Handlungsfehler. Der Theorie zufolge wird die Stärke des Konflikts in einer Konfliktüberwachungseinheit (■ Abb. 6.15) detektiert und an die den Informationsfluss regulierenden Aufmerksamkeitseinheiten weitergeleitet. In diesen Einheiten kommt es daraufhin zu einer Neuverteilung der Aufmerksamkeitsgewichte. Wird von der Überwachungseinheit starker Konflikt gemeldet, so wird das Aufmerksamkeitsgewicht für die Verarbeitung der Farbe erhöht und das für die Verarbeitung des Wortes reduziert, sodass sich eine besonders ausgeprägte Fokussierung der Aufmerksamkeit auf das relevante Reizattribut ergibt. Ist die Konfliktstärke dagegen gering – wie es bei kongruenten Farbwörtern der Fall sein sollte, da hier die korrekte Reaktion durch beide Reizattribute aktiviert wird und Aktivierung der falschen Reaktion allein durch unsystematische Zufallsprozesse zustande kommt –, führt dies zu einer gewissen Defokussierung. Der Grad der Fokussierung ist im Modell nicht nur durch den Konflikt im aktuellen Durchgang determiniert, sondern ebenfalls durch Konflikte in früheren Durchgängen (wobei der Einfluss mit zunehmendem zeitlichen Abstand immer geringer ausfällt). Als Resultat ergeben sich die beschriebenen Befunde der Verminderung des Stroop-Effekts infolge eines direkt vorhergehenden Konfliktreizes oder eines erhöhten Anteils von Konfliktreizen.

Das Modell passt damit den Grad seiner Aufmerksamkeitsfokussierung an seine Erfahrung an. Besteht diese aus kürzlichen und/oder häufigen Störungen der aufgabengemäßen Verarbeitung durch das irrelevante Reizattribut, erfolgt eine Erhöhung der Verarbeitungsselektivität zugunsten des relevanten Reizattributs. Bleibt diese Erfahrung aus, so wird dem irrelevanten Reizattribut ein stärkerer Einfluss auf die Reaktionsaktivierung zugestanden. Aufgrund verschiedener Ergebnisse aus bildgebenden Untersuchungen (Überblick bei Botvinick et al. 2004)

wird angenommen, dass sich die Konfliktüberwachungseinheit in einer frontal-medialen Hirnstruktur (anteriorer Anteil des Gyrus cinguli) befindet, während die Aufmerksamkeitseinheiten in lateral-präfrontalen Hirnregionen angesiedelt sind.

Eine ähnliche Zuordnung von Konfliktverarbeitung auf der einen und Einstellung auf die Verarbeitung spezifischer Reizattribute auf der anderen Seite fand sich in einer fMRT-Untersuchung von MacDonald 3rd et al. (2000). Hierbei wurden Farbwörter in verschiedenen Farben dargeboten, und Versuchspersonen wechselten häufig zwischen der Stroop-Aufgabe des Farbbenennens und einer Wortbenennungsaufgabe. Messungen der Aktivität in fronto-medialen und auch in lateral-präfrontalen Bereichen wurden sowohl während der Verarbeitung des jeweiligen Aufgabenreizes als auch in der Vorbereitung auf die jeweilige Aufgabe durchgeführt. Bei der Reizverarbeitung zeigte sich eine erhöhte fronto-mediale Aktivierung, wenn der aktuelle Reiz inkongruent im Vergleich zu kongruent war. Dagegen zeigte der lateral-präfrontale Cortex keine unterschiedliche Reaktion auf dieses Auftreten von Konflikt. Hier fiel dafür die Aktivität bei der Vorbereitung auf die (schwierigere) Stroop-Aufgabe höher aus als bei der Vorbereitung auf die (leichtere) Wortbenennungsaufgabe, während sich fronto-medial keine entsprechenden Unterschiede zeigten.

Kognitive Kontrollprozesse werden insbesondere angenommen, um die Vermeidung von Handlungsfehlern unter Bedingungen, die eine unangemessene Reaktion auf einen aktuellen Stimulus nahelegen, zu erklären. Das Auftreten eines Handlungsfehlers zeigt damit ein Versagen der Kontrollfunktionen an. Wie reagiert das kognitive System auf ein derartiges Versagen? Seit den 1960er Jahren ist bekannt, dass fehlerhafte Reaktionen in einer Wahlreaktionsaufgabe dazu führen, dass die Reaktionszeit in einem nachfolgenden Durchgang erhöht ausfällt (Rabbitt 1966). Dieses **Post-Error Slowing** wird zumeist auf eine vertiefte Verarbeitung des auf einen Fehler folgenden Reizes zurückgeführt. Besonders überzeugend ist diese Sichtweise, wenn die Reaktionsverzögerung mit einer im Vergleich zu Durchgängen, die nicht auf einen Fehler folgen, verminderten Fehlerwahrscheinlichkeit einhergeht. In diesem Fall spricht man von einem **Geschwindigkeits-Genauigkeits-Austausch** (*speed-accuracy trade-off*). In EEG-Untersuchungen findet sich im direkten Anschluss an eine fehlerhafte Reaktion eine charakteristische Negativierung, die als **Error-related Negativity** (**ERN** oder **Ne**) bezeichnet wird (Falkenstein et al. 1991; Gehring et al. 1990). Es gibt einige Hinweise darauf, dass diese Komponente in fronto-medialen Hirnregionen generiert wird. Ihre genaue Funktionalität ist Gegenstand aktueller Diskussion. Während sie ursprünglich als Erkennen der Fehlerhaftigkeit der ausgeführten Reaktion interpretiert wurde, handelt es sich einer alternativen Auffassung zufolge um ein Konfliktsignal, welches aus der simultanen Aktivierung der falschen Reaktion sowie der verspäteten (und nicht mehr ausreichenden) Aktivierung der korrekten Reaktion resultiert (Yeung et al. 2004).

Aktuelle Modelle der kognitiven Kontrollprozesse nehmen an, dass das kognitive System eine kontinuierliche Überwachung seiner Tätigkeiten durchführt und Ereignisse wie das Auftreten von Fehlern oder Konflikt zum Anlass nimmt, eine Anpassung der Verarbeitung durchzuführen.

Kognitive Kontrolle kann auch im Sinne der Koordination von Prozessen unterschiedlicher Teilsysteme benötigt werden. Insbesondere die verteilte Verarbeitung von Informationen im Gehirn legt eine solche Notwendigkeit nahe. ▶ Exkurs 6.13 stellt einen Forschungsansatz vor, der die Koordination der Informationsverarbeitung der beiden Großhirnhälften zum Gegenstand hat.

Kritisch hinterfragt

Wir haben gesehen, unter Handlungssteuerung wird die Vorbereitung und Durchführung eines zielgerichteten Verhaltens verstanden, wie es etwas ausführlicher in ◘ Abb. 6.1 schematisch dargestellt ist. Dann haben wir in diesem Kapitel die wichtigsten Teilaspekte kennengelernt einschließlich der kognitiven Kontrolle exekutiver Funktionen. Dabei lässt sich nun *kritisch fragen,* reicht das auch aus, um erfolgreiches zielgerichtetes Handeln zu verstehen? Sind bei der Planung und Vorbereitung nicht auch noch andere Faktoren mit im Spiel? Handlungssteuerung gelingt nicht ohne ein gewisses Maß an Motivation, das Ziel zu erreichen. Auch Ausdauer, Wille, Selbstüberwindung oder Durchsetzungskraft gehören dazu. Bei der Planung und Vorbereitung ist zumeist auch ein Verständnis oder Erlernen der jeweiligen Sachzusammenhänge erforderlich, um zielgerichtet vorgehen zu können. So ist es vielfach auch zunächst erforderlich, die verschiedenen möglichen Schritte oder Wege zu analysieren, die zum Ziel führen können – siehe *Zusatztext online*.

Es ließe sich kritisch nur zum Nachdenken auch Folgendes fragen: Die Theoriebildung zu Mehrfachtätigkeiten (z. B. Doppelaufgaben und Aufgabenwechsel) basiert zum großen Teil auf Laborforschung, in der zumeist auf einfache kognitive Aufgaben mit einer geringen Anzahl von Reizen und einer geringen Anzahl möglicher Verhaltensreaktionen zurückgegriffen wird. Inwiefern lassen sich Ergebnisse aus derartigen Untersuchungen auf alltagsrelevante Kontexte übertragen? Sehen Sie generelle Einschränkungen hinsichtlich praxistauglicher Voraussagen, zum Beispiel über die Folgen einer spezifischen Umstrukturierung des Ablaufs einer Bürotätigkeit? Wie ließe sich auf solche Schwierigkeiten reagieren?

Zusammenfassung

Handlungen werden danach unterschieden, ob zur Ausführung der zugehörigen Bewegung sensorisches Feedback genutzt wird (Closed-Loop-Kontrolle), oder ob die Bewegung unabhängig von ihren sensorischen Effekten in einer zuvor festgelegten Form abläuft (Open-Loop-Kontrolle).

Belege für Planungsprozesse von Handlungen finden sich in Form verzögerter Initiierung von komplizierteren gegenüber einfachen Bewegungen sowie von Beschleunigungen des Bewegungsbeginns durch die Spezifikation von Bewegungsparametern im Vorfeld. Das Auftreten diverser Antizipationseffekte (Beeinflussung

Exkurs 6.13

Genauer betrachtet: Interhemisphärische Kontrolle

In ▶ Kap. 2 haben wir auf die unterschiedlichen Spezialisierungen der Großhirnhälften hingewiesen. Angesichts der umfassenden Wahrnehmungs- und Handlungssteuerungsfunktionen, welche jede Hemisphäre für sich genommen aufweist, stellt sich die Frage, auf welche Weise die kognitive Aktivität der beiden Hemisphären koordiniert wird, um ein kohärentes Verhalten im Alltag hervorzubringen. Eine Methode, die zur Erforschung des Zusammenwirkens der Hemisphären eingesetzt wird, besteht darin, die Leistung von Versuchspersonen zu vergleichen, wenn die zur Bewältigung einer Aufgabe zu verarbeitenden Stimuli einer einzelnen Hemisphäre oder beiden Hemisphären dargeboten werden. Hierzu bedient man sich der in ▶ Kap. 2 beschriebenen Methode der Reizdarbietung im geteilten Gesichtsfeld und bietet die relevanten Reize kurzzeitig entweder in einer der beiden Gesichtsfeldhälften oder über beide Gesichtsfeldhälften verteilt – einen Reiz links und einen Reiz rechts – dar (Monaghan und Pollmann 2003). Bei einfachen Vergleichsaufgaben wie der Entscheidung, ob zwei dargebotene Buchstaben identisch oder unterschiedlich sind, findet sich oftmals eine überlegene Leistung, wenn beide Reize in demselben Gesichtsfeld dargeboten werden. Die schlechtere Leistung bei beidseitiger Darbietung wird auf die Anforderung interhemisphärischer Kommunikation zurückgeführt, welche in diesem Fall nötig ist, da jede Hemisphäre einen der beiden zu vergleichenden Reize erhalten hat. Bei schwierigeren Aufgaben wie der Entscheidung, ob zwei Buchstaben dem Namen nach gleich oder ungleich sind (hier wäre für die physikalisch unterschiedlichen Reize „a" und „A" die Antwort „gleich" zu geben), ergibt sich dagegen ein Vorteil bei beidseitiger Darbietung (*bilateral distribution advantage*; Monaghan und Pollmann 2003; vgl. auch Weissman und Banich 2000). Dies kann durch die Annahme erklärt werden, dass bei schwierigen Aufgaben die (durch die Notwendigkeit interhemisphärischen Informationsaustauschs) entstehenden Verhaltenskosten durch die Erhöhung der kognitiven Verarbeitungskapazität überwogen werden, die sich aus dem Zusammenwirken der Hemisphären ergibt.

Eine andere Untersuchungsmethode vergleicht Aufgabenleistungen bei unilateraler Reizdarbietung mit der Leistung bei bilateral-redundanter Darbietung, d. h. wenn derselbe Reiz in beiden Gesichtsfeldhälften dargeboten und somit beiden Hemisphären zugleich verfügbar gemacht wird. Verwendet man hierbei eine Aufgabe, welche deutliche Unterschiede in der Bearbeitung bei Darbietung der linken und rechten Hirnhälfte zeigt, so lässt sich untersuchen, inwiefern die Leistung der überlegenen Hirnhälfte durch die zusätzliche Verarbeitung des Reizes in der unterlegenen Hirnhälfte beeinflusst wird. Hellige et al. (1989) (vgl. auch Hellige et al. 1995) präsentierten Drei-Buchstaben-Silben und fanden unterschiedliche Antwortmuster bei unilateraler links- und rechtshemisphärischer Darbietung, die darauf hindeuteten, dass die linke Hemisphäre die Buchstaben eines Reizes in paralleler Weise identifiziert, während die rechte Hemisphäre einen seriellen Verarbeitungsmodus verwendet. Bilateral-redundante Darbietungen wiesen die besten Erkennungsleistungen auf, allerdings ergab sich auch hier das Antwortmuster, welches bei unilateral rechtshemisphärischer Darbietung gefunden wurde. Hatten beide Hemisphären direkten Zugriff auf den Reiz, so kam es also zu einer Dominanz des Verarbeitungsmodus der für die Aufgabe unterlegenen Hemisphäre. Eine mögliche Erklärung hierfür ist die Annahme, dass es bei bilateral-redundanter Darbietung zu einer Zusammenarbeit der beiden Hemisphären kommt und dass diese Zusammenarbeit günstiger gestaltet werden kann, wenn beide Hemisphären denselben Verarbeitungsmodus anwenden. Nimmt man an, dass die linke Hemisphäre in der Lage ist, sowohl im parallelen als auch im seriellen Modus zu arbeiten, während die rechte Hemisphäre lediglich über die Möglichkeit serieller Verarbeitung verfügt, so erscheint es zweckmäßig, dass bei gemeinsamer Aufgabenbearbeitung die linke Hemisphäre auf ihren bei alleiniger Bearbeitung bevorzugten Verarbeitungsmodus verzichtet.

von Teilhandlungen durch die Beschaffenheit von im Anschluss durchzuführenden weiteren Handlungsschritten) belegt zudem die mentale Vorwegnahme von späteren Handlungsmerkmalen zu einem früheren Zeitpunkt.

Dissoziationen zwischen der bewussten Wahrnehmung und Handlungssteuerung bei hirngeschädigten Patienten wie auch bei gesunden Versuchspersonen legen nahe, dass visuelle Reizinformationen in unterschiedlicher Weise zur perzeptuellen Erfassung wie Größen- oder Orientierungsschätzung auf der einen und der Steuerung von Greifhandlungen auf der anderen Seite verarbeitet werden.

Bestimmte Zuordnungen von Reizen zu Reaktionen lassen sich leichter realisieren als andere; ein besonders deutlicher Effekt ist die Überlegenheit von Handlungen unter Bedingungen räumlicher Korrespondenz zwischen Auslösereiz und Reaktion (räumliche Reiz-Reaktions-Kompatibilität).

Die Durchführung von Handlungen geht mit der Antizipation ihrer sensorischen Konsequenzen einher. Der ideomotorischen Hypothese zufolge basiert die Initiierung von Willkürhandlungen auf derartigen Effektantizipationen.

Die Bearbeitung zeitlich überlappender Aufgaben führt zu Leistungseinbußen, zu deren Erklärung diverse Vorschläge gemacht wurden. Oftmals wird angenommen, dass eine begrenzte Verarbeitungsressource durch den simultanen Zugriff im Rahmen zweier verschiedener Aufgabenbearbeitungen überlastet wird, oder dass ein bestimmter Prozess (Flaschenhals) zu einem Zeitpunkt nur von einer der beteiligten Aufgaben genutzt werden kann. Prozesse der Organisation und Koordination von Aufgaben sowie der Anpassung der Informationsverarbeitung an spezifische Kontextbedingungen zur Optimierung der Bearbeitungsleistung werden als Exekutive Funktionen bezeichnet.

Der Wechsel zwischen Aufgaben, welche mit denselben Stimuli durchzuführen sind, geht mit Verhaltenskosten einher, die durch eine Aufgabenvorbereitung reduziert werden können.

Aktuelle Modelle der Informationsverarbeitung gehen von einer kontinuierlichen Überwachung der kognitiven Aktivität aus und nehmen an, dass die Detektion kritischer Ereignisse zur Adaptation der Verarbeitungsstrategie führt.

Antworten auf Eingangsfragen

1. Eine gängige Methode besteht darin, die Abhängigkeit der Initiierungszeit von auf ein Startsignal hin auszuführenden Handlungen unter Bedingungen unterschiedlicher, für die Versuchsperson vorhersehbarer Handlungsanforderungen zu erfassen. Verzögert sich die Initiierungszeit bei komplizierteren Handlungen, so ist dies ein Indiz für die Einbeziehung der entsprechenden Aspekte in die Planung der Handlung. Eine andere Methode besteht in der Vorabspezifikation ausgewählter Handlungsaspekte. Ergeben sich hierbei beschleunigte Initiierungszeiten, kann angenommen werden, dass die vorab spezifizierten Aspekte in

die Handlungsplanung einbezogen werden. Zur direkten Erfassung von handlungsbezogenen Prozessen, die bereits vor der Initiierung der Bewegung ablaufen, kann zudem auf physiologische Maße wie das Bereitschaftspotenzial zurückgegriffen werden.

2. Verschiedene Untersuchungsmethoden haben Belege dafür erbracht, dass Reizinformationen zur Steuerung von Handlungen herangezogen werden, für die sich kein bewusster Wahrnehmungseindruck ergibt. Dies gilt z. B. für die Anpassung einer laufenden Bewegung an eine Verschiebung ihres Zielortes (wenn diese Verschiebung nicht bemerkt wird, da sie während der Augenbewegung der Versuchsperson erfolgt) oder für Greifhandlungen bei Patienten mit Agnosie für Objektmerkmale, die für das Ergreifen des Objekts von Relevanz sind.
3. Ein wichtiger Faktor für die Leistung in einer Reiz-Reaktions-Aufgabe ist die Zuordnungsregel zwischen den möglichen Reizen und Reaktionen. Bestimmte Zuordnungen erlauben eine schnellere oder weniger störungsanfällige Reiz-Reaktions-Übersetzung als andere. Begünstigende Zuordnungen werden als kompatibel bezeichnet. Kompatibilitätseffekte können theoretisch verschiedene Ursachen haben, beispielsweise angeborene Tendenzen, auf bestimmte Reize in einer bestimmten Weise zu reagieren, oder übungsbedingte Reiz-Reaktions-Assoziationen.
4. Zur Erklärung derartiger zentraler Doppelaufgabeninterferenz wurden verschiedene Theorien vorgeschlagen. Während einige Ansätze Leistungseinbußen darauf zurückführen, dass eine oder mehrere begrenzte Verarbeitungsressourcen nicht zeitgleich in vollem Umfang für verschiedene Aufgaben zur Verfügung stehen, wird in anderen Ansätzen von im Prinzip ausreichender Verarbeitungskapazität für die unbeeinträchtigte simultane Ausführung zweier Aufgaben ausgegangen. Doppelaufgabenkosten entstehen hier durch wechselseitige Störungen der beiden Verarbeitungsströme oder strategische Eingriffe, welche die Aufgabenbearbeitung verlangsamen können.
5. Mehrere Auswirkungen von Aufgabenmanipulationen, die auf die Verlängerung ausgewählter Verarbeitungsstufen abzielen, auf den PRP-Effekt stimmen mit Voraussagen überein, welche auf der Annahme eines Flaschenhalses auf der Stufe der Reaktionsauswahl basieren. Ein besonders plastisches Ergebnis ist das Ausbleiben verlängerter Reaktionszeiten trotz erschwerter Reizwahrnehmung (Verlängerung eines vor Auftreten des Flaschenhalses durchzuführenden Prozesses), wenn der Reiz der entsprechenden Aufgabe sehr kurzzeitig nach dem Reiz einer anderen Aufgabe dargeboten wird.
6. In aktuellen Modellen der Informationsverarbeitung wird angenommen, dass verschiedene Handlungsrepräsentationen in einem Wettbewerb miteinander stehen, welcher in Routinesituationen von der situationsangemessensten Handlung gewonnen wird. Um auch in Situationen erfolgreich zu handeln, in denen dieser Wettbewerb Gefahr läuft, zugunsten einer unangemessenen Handlung entschieden zu werden, werden Top-down-Einflüsse angenommen, die für den Wettbewerb relevante Gewichtungen so verändern, dass sich wiederum ein Vorteil für kontextangemessene Handlungen ergibt. Kognitive Kontrolle besteht in diesen Modellen nicht darin, dass eine übergeordnete Entscheidungsinstanz selbst eine Handlung auswählt, sondern darin, dass günstige Konkurrenzbedingungen für zielgemäße Handlungen im jeweiligen Kontext geschaffen werden.

Fragen zur Wiederholung, Denkanstöße

Was bezeichnet der Begriff: lateralisiertes Bereitschaftspotenzial? Wie lässt sich diese EKP-Komponente zur Erforschung von Handlungsprozessen nutzen?

Wodurch sind programmgesteuerte, wodurch geregelte Bewegungen charakterisiert?

Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Geschwindigkeit, mit der eine Handlung ausgeführt wird, und der Nutzung sensorischen Feedbacks?

Welche experimentellen Befunde zeigen, dass Bewegungen flexibel an veränderte Reizbedingungen angepasst werden können?

Welche Funktionen werden dem ventralen, welche dem dorsalen Verarbeitungspfad zugeschrieben?

Was besagt der Simon-Effekt, und wie lässt er sich erklären?

Was besagt die ideomotorische Hypothese, und welche experimentellen Befunde belegen die Antizipation sensorischer Handlungskonsequenzen?

Welche theoretischen Ansätze gibt es zur Erklärung von Doppelaufgabenkosten?

Welches sind die wesentlichen Befunde zur Vereinbarkeit von Autofahren und Telefonieren?

Was besagt der Stroop-Effekt, und wie lässt er sich erklären?

Skizzieren Sie zwei Möglichkeiten der Erklärung für das Auftreten residualer Aufgabenwechselkosten.

Welche Befunde sprechen dafür, dass es beim Wechsel zwischen Aufgaben zur Inhibition aktuell nicht relevanter Task-Sets kommt?

Inwiefern wird dem Auftreten von Konflikten in der Informationsverarbeitung eine funktionale Rolle zugeschrieben?

Literatur

Aglioti, S., DeSouza, J. F. X., & Goodale, M. A. (1995). Size-contrast illusions deceive the eye but not the hand. *Current Biology*, *5*, 679–685.

Allport, D. A., & Wylie, G. (1999). Task-switching: Positive and negative priming of task-set. In G. W. Humphreys, J. Duncan & A. Treisman (Hrsg.), *Attention, space, and action: Studies in cognitive neuroscience* (S. 273–296). Oxford, UK: Oxford University Press.

Allport, A. (1993). Attention and control: Have we been asking the wrong questions? A critical review of twenty-five years. In E. Meyer & S. Kornblurn (Hrsg.), *Synergies in Eperimental Psychology, Artificial Intelligence, and Cognitive Neuroscience* Attention and performance, (Bd. XVI, S. 182–218). Cambridge, MA: M.I.T. Press.

Allport, A., Styles, E. A., & Hsieh, S. (1994). Shifting intentional set: Exploring the dynamic control of tasks. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Hrsg.), *Conscious and nonconscious information processing* Attention and performance, (Bd. XV, S. 421–452). Cambridge, MA: M.I.T. Press.

Aschersleben, G. (2008). Handlung und Wahrnehmung. In J. Müsseler (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie* (S. 766–793). Berlin, Heidelberg: Spektrum.
Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. Oxford UK: Oxford University Press.
Bauer (2011). *Warum ich fühle was du fühlst*. München: Heyne.
Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, *108*, 624–652.
Botvinick, M. M., Cohen, J. D., & Carter, C. S. (2004). Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update. *Trends in Cognitive Science*, *8*, 539–546.
Braver, T. S., Cohen, J. D., Nystrom, L. E., Jonides, J., Smith, E. E., & Noll, D. C. (1997). A parametric study of prefrontal cortex involvement in human working memory. *Neuroimage*, *5*, 49–62.
Bridgeman, B., Peery, S., & Anand, S. (1997). Interaction of cognitive and sensorimotor maps of visual space. *Perception and Psychophysics*, *59*, 456–469.
Broadbent, D. E. (1982). Task combination and selective intake of information. *Acta Psychologica*, *50*, 253–290.
Cohen, J. D., Dunbar, K., & McClelland, J. L. (1990). On the control of automatic processes: A parallel distributed processing model of the Stroop effect. *Psychological Review*, *97*, 332–361.
De Jong, R., Liang, C.-C., & Lauber, E. (1994). Conditional and unconditional automaticity: A dual-process model of effects of spatial stimulus-response correspondence. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *20*, 731–750.
De Jong, R., Wieda, M., Mulder, G., & Mulder, L. J. M. (1988). Use of partial stimulus information in response processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *14*, 682–686.
Desmurget, M., & Grafton, S. (2000). Forward modeling allows feedback control for fast reaching movements. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 423–431.
Duncan, J. (1979). Divided attention: The whole is more than the sum of its parts. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *5*, 216–228.
Duncan, J., & Owen, A. M. (2000). Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands. *Trends in Neurosciences*, *23*, 475–483.
Elsner, B., & Hommel, B. (2001). Effect anticipation and action control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *27*, 229–240.
Elsner, B., & Prinz, W. (2012). Psychologische Modelle der Handlungssteuerung. In H.-O. Karnath & P. Thier (Hrsg.), *Kognitive Neurowissenschaften* (S. 367–375). Berlin Heidelberg: Springer.
Eriksen, C. W., & Schultz, D. W. (1979). Information processing in visual search: A continuous flow conception and experimental results. *Perception and Psychophysics*, *25*, 249–263.
Falkenstein, M., Hohnsbein, J., Hoormann, J., & Blanke, L. (1991). Effects of crossmodel divided attention on late ERP components. II. Error processing in choice reaction tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *78*, 447–455.
Fitts, P. M., & Deininger, R. L. (1954). S-R compatibility: Correspondence among paired elements within stimulus and response codes. *Journal of Experimental Psychology*, *48*, 483–492.
Franz, V. H., Gegenfurtner, K. R., Bülthoff, H. H., & Fahle, M. (2000). Grasping visual illusions: No evidence for a dissociation between perception and action. *Psychological Science*, *11*, 20–25.
Franz, E. A., Zelaznik, H. N., & McCabe, G. (1991). Spatial topological constraints in a bimanual task. *Acta Psychologica*, *77*, 137–151.
Gegenfurtner, et al. (2000). Grasping visual illusions: no evidence for a dissociation between perception and action. *Psychological Science*, *11*, 20–25.
Gehring, W. J., Coles, M., Meyer, D., & Donchin, E. (1990). The error-related negativity: an event-related brain potential accompanying errors. *Psychophysiology*, *27*, 34.
Goodale, M. A., & Humphrey, G. K. (1998). The objects of action and perception. *Cognition*, *67*, 181–207.
Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, *15*, 20–25.
Goodale, M. A., Milner, A. D., Jakobson, L. S., & Carey, D. P. (1991). A neurological dissociation between perceiving objects and grasping them. *Nature*, *349*, 154–156.
Goodale, M. A., Pélisson, D., & Prablanc, C. (1986). Large adjustments in visually guided reaching do not depend on vision of the hand or perception of target displacement. *Nature*, *320*, 748–750.
Gratton, G., Bosco, C. M., Kramer, A. F., Coles, M. G. H., Wickens, C. D., & Donchin, E. (1990). Eventrelated brain potentials as indices of information extraction and response priming. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *75*, 419–432.
Gratton, G., Coles, M. G. H., Sirevaag, E. J., Eriksen, C. W., & Donchin, E. (1988). Pre- and poststimulus activation of response channels: a psychophysiological analysis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *14*, 331–344.
Greenwald, A. G. (1970). A choice reaction time test of ideomotor theory. *Journal of Experimental Psychology*, *86*, 20–25.
Hagendorf, H., Krummenacher, J., Müller, H.-J., & Schubert, T. (2011). *Wahrnehmung und Aufmerksamkeit*. Berlin, Heidelberg: Springer.
Hellige, J. B., Cowin, E. L., & Eng, T. (1995). Recognition of CVC syllables from LVF, RVF, and central locations: Hemispheric differences and interhemispheric interaction. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *7*, 258–266.
Hellige, J. B., Taylor, A. K., & Eng, T. L. (1989). Interhemispheric interaction when both hemispheres have access to the same stimulus information. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *15*, 711–722.
Henry, F. M., & Rogers, D. E. (1960). Increased response latency for complicated movements and a memory drum theory of neuromotor reaction. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *31*, 448–458.
Hoffmann, J., Butz, M. V., Herbort, O., Kiesel, A., & Lenhard, A. (2007). Spekulationen zur Struktur ideo-motorischer Beziehungen. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, *14*, 95–103.
Hommel, B. (1993a). The relationship between stimulus processing and response selection in the Simon task: Evidence for a temporal overlap. *Psychological Research*, *55*, 280–290.
Hommel, B. (1993b). Inverting the Simon effect by intention: Determinants of direction and extent of effects of irrelevant spatial information. *Psychological Research*, *55*, 270–279.
Hommel, B. (1998). Automatic stimulus-response translation in dual-task performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *24*, 1368–1384.
Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The theory of event coding (TEC) A framework for perception and action planning. *Behavior and Brain Science*, *24*, 849–937.
ten Hoopen, G., Akerboom, S., & Raaymakers, J. (1982). Vibrotactile choice reaction time, tactile receptor systems, and ideomotor compatibility. *Acta Psychologica*, *50*, 143–157.
Jolicoeur, P., & Dell'Acqua, R. (1998). The demonstration of short-term consolidation. *Cognitive Psychology*, *36*, 138–202.
Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
Karlin, L., & Kestenbaum, R. (1968). Effects of number of alternatives on the psychological refractory period. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *20*, 167–178.
Kiesel, A., Steinhauser, M., Wendt, M., Falkenstein, M., Jost, K., Philipp, A. M., & Koch, I. (2010). Control and interference in task switching – A review. *Psychological Bulletin*, *136*, 849–874.
Koch, I., & Rumiati, R. I. (2006). Task-set inertia and memory-consolidation bottleneck in dual tasks. *Psychological Research*, *70*, 448–458.
Kornhuber, H. H., & Deecke, L. (1965). Hirnpotentialänderungen bei Willkürbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferente Potentiale. *Pflügers Archiv für die gesamte Psychologie*, *284*, 1–17.
Kunde, W. (2001). Response-effect compatibility in manual choice reaction tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *27*, 387–394.
Lavie, N., Hirst, A., De Fockert, J. W., & Viding, E. (2004). Load theory of selective attention and cognitive control. *Journal of Experimental Psychology: General*, *133*, 339–354.
Lépine, D., Glencross, D., & Requin, J. (1989). Some experimental evidence for and against a parametric conception of movement programming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *15*, 347–362.
Levy, J., Pashler, H., & Boer, E. (2006). Central interference in driving – is there any stopping the psychological refractory period? *Psychological Science*, *17*, 228–235.
Li, Y., Randerath, J., Bauer, H., Marquardt, C., Goldenberg, G., & Hermsdörfer, J. (2009). Object properties and cognitive load in the formation of associative memory during precision lifting. *Behavioural Brain Research*, *196*, 123–130.
Luria, A. R. (1966). *Higher cortical functions in man*. New York: Basic Books.

MacDonald 3rd, A. W., Cohen, J. D., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2000). Dissociating the role of dorsolateral prefrontal and anterior cingulated cortex in cognitive control. *Science*, *288*, 1835–1838.

MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*, *109*, 163–203.

Mayr, U., & Keele, S. W. (2000). Changing internal constraints on action: The role of backward inhibition. *Journal of Experimental Psychology: General*, *129*, 4–26.

McCann, R. S., & Johnston, J. C. (1992). Locus of the single-channel bottleneck in dual-task interference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*, 471–484.

McLeod, P. D. (1977). A dual task response modality effect: Support for multiprocessor models of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *29*, 651–667.

Mechsner, F., Kerzel, D., Knoblich, G., & Prinz, W. (2001). Perceptual basis of bimanual coordination. *Nature*, *414*, 69–73.

Meuter, R. F. I., & Allport, A. (1999). Bilingual language switching in naming: Asymmetrical costs of language selection. *Journal of Memory and Language*, *40*, 25–40.

Meyer, D. E., & Kieras, D. E. (1997). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part 1. Accounts of psychological refractory-period phenomena. *Psychological Review*, *104*, 749–791.

Miller, J. (1982). Discrete versus continuous models of human information processing: In search of partial output. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *8*, 273–296.

Milner, B. (1963). Effects of different brain lesions on card sorting. *Archives of Neurology*, *9*, 90–100.

Milner, A. D., & Goodale, M. A. (1995). *The visual brain in action*. Oxford: Oxford Press.

Monaghan, P., & Pollmann, S. (2003). Division of labor between the hemispheres for complex but not simple tasks: An implemented connectionist model. *Journal of Experimental Psychology: General*, *132*, 379–399.

Monsell, S., Yeung, N., & Azuma, R. (2000). Reconfiguration of task-set: Is it easier to switch to the weaker task? *Psychological Research*, *63*, 250–264.

Navon, D., & Gopher, D. (1979). On the economy of the human information processing system. *Psychological Review*, *86*, 214–255.

Navon, D., & Miller, J. O. (1987). Role of outcome conflict in dual-task interference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *13*, 438–448.

Neumann, O. (1992). Theorien der Aufmerksamkeit: Von Metaphern zu Mechanismen. *Psychologische Rundschau*, *43*, 83–101.

Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behaviour. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz & D. Shapiro (Hrsg.), *Consciousness and self-regulation: Advances in research and theory* (S. 1–18). New York: Plenum Press.

Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*, *116*, 220–244.

Pashler, H., & Johnston, J. C. (1989). Chronometric evidence for central postponement in temporally overlapping tasks. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *41*, 19–45.

Prablanc, C., & Pélisson, D. (1990). Gaze saccade orienting and hand pointing are locked to their goal by quick internal loops. In M. Jeannerod (Hrsg.), *Attention and performance* (Bd. XIII, S. 653–676). Hillsdale, NJ: L. Erlbaum Associates.

Prinz, W. (1990). A common coding approach to perception and action. In O. Neumann & W. Prinz (Hrsg.), *Relationships between perception and action: current approaches*. Heidelberg: Springer.

Rabbitt, P. (1966). How old and young subjects monitor and control responses for accuracy and speed. *Journal of Experimental Psychology*, *71*, 264–272.

Redelmeier, D. A., & Tibshirani, R. J. (1997). Association between cellular-telephone calls and motor vehicle collisions. *The New England Journal of Medicine*, *336*, 453–458.

Rizzolatti, G., Fogassi, L., & Galese, V. (2001). Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nat. Rev. Neurosci*, *2*, 661–670.

Rogers, R., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, *124*, 207–231.

Rosenbaum, D. A. (1980). Human movement initiation. *Journal of Experimental Psychology: General*, *109*, 444–474.

Rosenbaum, D. A., Barnes, H. J., Vaughan, J., & Jorgensen, M. J. (1992). Time course of movement planning: Selection of handgrips for object manipulation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *18*, 1058–1073.

Sandson, J., & Albert, M. L. (1984). Varieties of perseveration. *Neuropsychologia*, *22*, 715–732.

Sandson, J., & Albert, M. L. (1987). Perseveration in behavioral neurology. *Neurology*, *37*, 1736–1741.

Segal, S. J., & Fusella, V. (1970). Influence of imaged pictures and sounds on detection of visual and auditory signals. *Journal of Experimental Psychology*, *83*, 458–464.

Shaffer, L. H. (1975). Multiple attention in continuous verbal tasks. In P. M. A. Rabbitt & S. Dornic (Hrsg.), *Attention and Performance* (Bd. V, S. 157–167). New York: Academic Press.

Shallice, T., & Burges, P. (1996). The domain of supervisory process and temporal organization of behavior. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, *351*, 1405–1412.

Simon, J. R., & Rudell, A. P. (1967). Auditory S-R compatibility: The effect of an irrelevant cue on information processing. *Journal of Applied Psychology*, *51*, 433–435.

Spence, C., & Read, L. (2003). Speech shadowing while driving: On the difficulty of splitting attention between eye and ear. *Psychological Science*, *14*, 251–256.

Sternberg, S., Monsell, S., Knoll, R. L., & Wright, C. E. (1978). The latency and duration of rapid movement sequences: Comparisons of speech and typewriting. In G. E. Stelmach (Hrsg.), *Information processing in motor control and learning* (S. 117–152). New York: Academic Press.

Strayer, D. L., & Drews, F. A. (2007). Cell-phone-induced driver distraction. *Current Directions in Psychological Science*, *16*, 128–131.

Strayer, D. L., & Johnston, W. A. (2001). Driven to distraction: Dual-task studies of simulated driving and conversing on a cellular phone. *Psychological Science*, *12*, 462–466.

Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, *18*, 643–662.

Sullivan, L. (1976). Selective attention and secondary message analysis: A reconsideration of Broadbent's filter model of selective attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *28*, 167–178.

Telford, C. W. (1931). The refractory phase of voluntary and associative response. *Journal of Experimental Psychology*, *14*, 1–35.

Vandierendonck, A., Liefooghe, B., & Verbruggen, F. (2010). Task Switching: Interplay of Reconfiguration and Interference Control. *Psychological Bulletin*, *136*, 601–626.

Ward, J. (2010). *The Student's Guide to Cognitive Neuroscience*. Hove and New York: Psychology Press.

Weissman, D. H., & Banich, M. (2000). The cerebral hemispheres cooperate to perform complex but not simple tasks. *Neuropsychology*, *14*, 41–59.

Wickens, C. D. (1980). The structure of attentional resources. In R. S. Nickerson (Hrsg.), *Attention and Performance* Bd. VIII Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Wickens, C. D., & Gopher, D. (1977). Control theory measures of tracking as indices of attention allocation strategies. *Human Factors*, *19*, 249–366.

Wolpert, D. M., Ghahramani, Z., & Flanagan, J. R. (2001). Perspectives and problems in motor learning. *Trends in Cognitive Sciences*, *5*, 487–494.

Woodworth, R. S. (1899). The accuracy of voluntary movement. *Psychological Review*, *3*(Monograph Suppl), 1–119.

Yeung, N., & Monsell, S. (2003). Switching between tasks of unequal familiarity: The role of stimulus-attribute and response-set selection. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*, 455–469.

Yeung, N., Botvinick, M. M., & Cohen, J. D. (2004). The neural basis of error detection: Conflict monitoring and the error-related negativity. *Psychological Review*, *111*, 931–959.

Zelaznik, & McCabe (1991). Spatial topological constraints in a bimanual task. *Acta Psychologica*, *77*, 137–151.

Lernen

Christian Becker-Carus, Mike Wendt

7.1 Aspekte des Lernens – 292
7.1.1 Zur Definition des Begriffs „Lernen“ – 293
7.1.2 Der Lernprozess – 293

7.2 Habituation und Sensitivierung – 294

7.3 Klassische Konditionierung – 296
7.3.1 Gesetzmäßigkeiten der klassischen Konditionierung – 298
7.3.2 Akquisition oder Erwerb – 299
7.3.3 Generalisation und Diskrimination – 300
7.3.4 Extinktion (Löschung) und Spontanerholung – 304
7.3.5 Anwendungsbeispiele – 306
7.3.6 Kognitive Faktoren und neuere Entwicklungen – 309
7.3.7 Modelle klassischer Konditionierung – 312
7.3.8 Biologische Einschränkungen – 313
7.3.9 Neuronale Basis elementarer Lernprozesse und *Aplysia*-Modell – 313

7.4 Operante Konditionierung – 317
7.4.1 Thorndikes Gesetz des Effekts – 317
7.4.2 Skinners experimenteller Ansatz – 318
7.4.3 Generalisierte Verstärker und Verstärkerpläne – 320
7.4.4 Konditionierung autonomer Funktionen und Biofeedback – 329
7.4.5 Kognitive Faktoren, Kontrolle und Erwartung – 329
7.4.6 Biologische Einschränkungen – 331

7.5 Komplexes und kognitives Lernen – 335
7.5.1 Einsichtslernen – 335
7.5.2 Implizites Lernen, Lernen von Fertigkeiten – 336
7.5.3 Latentes Lernen und kognitive Landkarten – 340

7.6 Imitationslernen – 342
7.6.1 Komplexe soziale Lernprozesse – 342
7.6.2 Grundprinzipien des Imitationslernens – 343
7.6.3 Wie wird man zum Modell? – 345
7.6.4 Modelllernen in der Praxis – 345

Literatur – 349

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Becker-Carus, M. Wendt, *Allgemeine Psychologie,* DOI 10.1007/978-3-662-53006-1_7

Nichts wissen ist keine Schande, aber Nichts lernen wollen.
(Dionysius Cato)

Wenn man der Jugend reine Wahrheit sagt,
Die gelben Schnäbeln keineswegs behagt,
Sie aber hintendrein nach Jahren
Das alles derb an eigner Haut erfahren,
Dann dünkeln sie, es käm aus eignem Schopf.
(J. W. v. Goethe, Faust II, Mephistopheles)

? 1. Die Stimulation der Hornhaut des Auges durch einen Luftstrom löst einen Lidschlagreflex aus. Wird diese Stimulation eine gewisse Anzahl von Malen durchgeführt und geht dem Luftstrom dabei immer kurzzeitig ein Ton oder ein Lichtblitz voraus, so lässt sich der Lidschlag danach auch durch die Darbietung des Tones oder Lichtblitzes allein auslösen. Wie lässt sich diese Reaktion erklären?
2. Inwiefern generalisiert eine im Zusammenhang mit einem spezifischen Auslösereiz gelernte Verhaltensreaktion auf andere Reize?
3. In welcher Weise ist die Aneignung einer Verhaltensreaktion abhängig von den auf das entsprechende Verhalten folgenden Konsequenzen?
4. Wie kann man Tieren Verhaltensweisen antrainieren, die nicht Teil ihres natürlichen Verhaltensrepertoires sind?
5. Lassen sich beliebige Reiz-Reaktions-Zuordnungen erlernen?
6. Gibt es eine allgemeingültige Form des Verlaufs der Leistungsverbesserung durch Übung?

7.1 Aspekte des Lernens

Eines der zentralen Phänomene menschlichen und tierischen Verhaltens ist die Fähigkeit, aus früheren Erfahrungen zu lernen, um den Anforderungen einer sich ständig verändernden Umwelt zu entsprechen. Tatsächlich bedeutet für die meisten Organismen die Fähigkeit, zu lernen und zu erinnern, die Fähigkeit zum Überleben. Bereits einfache einzellige Organismen, wie das Pantoffeltierchen, können von einmal gemachten Erfahrungen profitieren, zum Beispiel beim Aufspüren von Nahrungsquellen. Diese Fähigkeit, Verhalten durch Erfahrung zu verändern, nimmt in der Rangfolge der phylogenetischen Stammesentwicklung bis hin zum Menschen rapide zu. Bei Fischen und Vögeln, aber auch bei höheren Säugetieren, ist ein Gutteil des Verhaltens von Geburt an mit dem Erbgut mitgegeben. Ihr Verhalten ist noch in großen Teilen „vorprogrammiert".

Wenn ein Frosch als Kaulquappe aus dem Ei schlüpft, weiß diese „instinktmäßig", wie sie sich bewegen und wohin sie schwimmen muss, um Nahrung zu finden oder um sich vor Feinden im tieferen Wasser zu schützen. Das Gleiche gilt für den ausgebildeten Frosch. Frisch geschlüpfte Vogelküken „erkennen" den Anflug der futterbringenden Elterntiere und sperren nur bei diesen den Rachen auf, um gefüttert zu werden. Später erkennen sie die Alttiere an ganz bestimmten, einfachen Merkmalen, die sie nie zu lernen brauchten. Zugvögel „wissen", zu welcher Jahreszeit sie aufbrechen und welche Route sie fliegen müssen, um von oder zu ihren angestammten Brutgebieten zu gelangen. Aber auch sie sind bis zu einem gewissen genetisch festgelegten Grad dazu in der Lage, in diese weitgehend vorprogrammierten Verhaltensverläufe hineinzulernen.

So setzt die ortsgebundene Brutpflege der Vögel **Lerndispositionen** voraus, die der Orientierung dienen. Sie müssen sich Landmarken oder Himmelsorientierungen merken können, um ihr Nest wiederzufinden. Koloniebrütende Vögel müssen ihre eigenen Jungen an bestimmten Merkmalen von anderen unterscheiden lernen. Doch erst bei den höheren Tieren in der Phylogenie wird das für niedere Formen typische stereotype Verhalten wandelbarer und durch Erfahrung flexibler.

Die wohl höchste **Flexibilität** erreicht das Lernen beim Menschen, der von Natur aus nur mit geringsten vorprogrammierten Verhaltensmustern ausgestattet ist und insofern unverzichtbar auf Lernen angewiesen ist. Wir lernen, was wir zu fürchten oder was wir zu meiden haben. Wir lernen sprechen, singen, tanzen, rechnen; wir lernen, mit unseren Gefühlen umzugehen oder komplexe Aufgaben zu lösen. Lernen und frühe Erfahrungen verändern unser Fühlen, Denken und Handeln, aber auch unsere Motivationen und Emotionen. Wir sind so in der Lage, die Verhaltensmuster und Reaktionen unseres Nervensystems durch Lernerfahrungen zu modifizieren, denn Erbanlagen realisieren sich weitgehend erst im engen Zusammenhang mit den wirkenden Umwelt- und Lebensbedingungen. Darüber hinaus sind wir durch Lernprozesse in der Lage, existierende Umweltbedingungen zu verändern oder zu kontrollieren, anstatt dieser Kontrolle unterworfen zu bleiben.

Zwar stößt praktiziertes Lernen in konkreten Situationen immer wieder auf Hindernisse, doch kann man grundsätzlich davon ausgehen, dass das, was lernbar ist, auch gelehrt beziehungsweise unterrichtet werden kann. Darauf bauen viele unserer Institutionen und Praktiken auf, wie Schulen, Kindererziehung, Trainingskurse und so weiter. Andererseits ist auch das, was einmal gelernt wurde, in gewissen Grenzen durch Lernen wieder veränderbar, worauf Verhaltensmodifikationsprogramme und Psychotherapie oder Umschulungslehrgänge aufbauen. Lernen ist andererseits zumeist auch mit Vergessen verbunden, was wir in ► Kap. 8, Gedächtnis, behandeln werden.

Die **potenzielle Änderungsfähigkeit** menschlichen Verhaltens scheint fast grenzenlos.

1. Wir lernen aus den Wirkungen eigenen Verhaltens (*Konditionierung*).
2. Wir lernen aus der Beobachtung des Verhaltens anderer (*Modelllernen*).
3. Wir lernen durch Manipulieren von Symbolen (*Sprache*) und Objekten (*Handfertigkeiten).* Bei solchen Manipulationen lernen wir abstrakte Beziehungen, geistige Zusammenhänge sowie Welt- und Funktionsgesetzmäßigkeiten, sodass wir heute in der Lage sind, Funktionen menschlicher Intelligenz in Computerprogrammen zu simulieren sowie quasiintelligente Maschinen zu entwickeln.

Die psychologische Untersuchung des Lernens umfasst folgerichtig nicht nur unser akademisches und schulisches Lernen, sondern befasst sich auch mit den fundamentalen Problemen emotionalen und motivationalen Lernens sowie des motorischen

und handlungsorientierten Lernens. In Computersimulationen lassen sich Funktionen menschlicher Intelligenz bis hin zu motorischen Fertigkeiten modellieren und in zunehmendem Maße durch „intelligente Maschinen“ ausführen.

7.1.1 Zur Definition des Begriffs „Lernen“

Die Bedeutung des Begriffs „Lernen“ in der wissenschaftlichen Psychologie unterscheidet sich in gewissem Maße von der in der Alltagssprache, in der Lernen zumeist den Erwerb von Wissen sowie motorischen und sprachlichen Fertigkeiten bezeichnet. In der Psychologie versteht man unter **Lernen** die durch Erfahrung entstandenen, relativ überdauernden Verhaltensänderungen.

Lernen kann somit als ein Prozess verstanden werden, der lebende Organismen, jedoch auch technische Anlagen (zum Beispiel Automaten), befähigt, aufgrund früherer Erfahrungen und durch organische Eingliederung weiterer Erfahrungen situationsangemessen zu reagieren. In einfacher Weise wird Lernen daher zumeist wie folgt definiert:

Lernen

Lernen bezeichnet eine relativ permanente Veränderung des Verhaltens als Folge von vorausgehender Erfahrung (Atkinson et al. 2000; Myers 2008).

Ausgeschlossen werden dabei Verhaltensänderungen, die auf andere Ursachen, wie Reifungsprozesse oder temporäre Bedingungen des Organismus (Drogen, Ermüdung, Krankheit) zurückzuführen sind. Praktisch ist die Abgrenzung zu *Entwicklungs-* und *Reifungsprozessen* (also genetischen Ursachen) oft recht schwer zu treffen, zumal in vielen Fällen Erb- und Umwelteinflüsse zusammenwirken. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte und unter dem Ausschluss von Reifung, Entwicklung und Ermüdung wurde folgende allgemeine Begriffsdefinition vorgeschlagen:

Lernen

Lernen bezeichnet eine Änderung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens bestimmter Verhaltensweisen in bestimmten Reizsituationen (oder des Verhaltenspotenzials), wobei es sich um eine direkte Folge früherer Begegnungen mit dieser oder einer ähnlichen Reizsituation handelt (Angermeier 1972).

Die durch Lernen bewirkte Verhaltensänderung wird heute meistens nicht mehr deterministisch, sondern (wie hier) als Änderung der Wahrscheinlichkeit des Verhaltens definiert. Darüber hinaus ist vielen Autoren auch die Eigenschaft der Reversibilität ein wichtiges Merkmal gelernten Verhaltens: Durch einen anderen Lernprozess (Gegenkonditionierung) muss das gelernte Verhalten auch wieder rückgängig gemacht werden können. Damit wird das Lernen von dem Vorgang der *Prägung* abgegrenzt, die per definitionem nicht reversibel ist. – Schließlich sollte zum besseren Verständnis nicht unerwähnt bleiben, dass „Lernen“ ähnlich wie andere Begriffe in der Psychologie (vergleiche Motivation) nicht direkt beobachtbar ist, sondern aus beobachtbaren Veränderungen des Verhaltens erschlossen werden muss, wobei diese Verhaltensänderungen unter Umständen auch erst sehr viel später in Erscheinung treten können (vergleiche latentes Lernen sowie implizites Lernen). Dem wird durch die Aufnahme des Begriffs „Verhaltenspotenzial“ in der Definition Rechnung getragen.

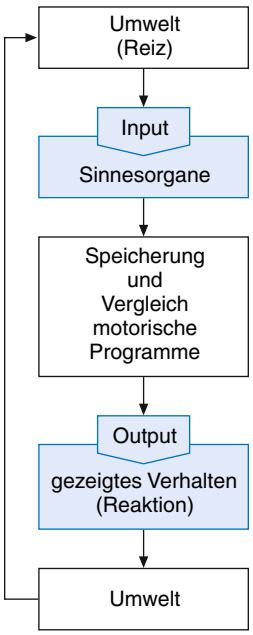


Abb. 7.1 Vereinfachtes Flussdiagramm zum Verlauf des Lernprozesses

7.1.2 Der Lernprozess

Lernen geschieht also in ständiger Wechselwirkung mit der Umwelt, das heißt zwischen handelndem Subjekt und den verschiedenartigen Umweltbedingungen. Dabei umfasst der Prozess des Lernens global folgenden Verlauf:

Der Organismus nimmt einerseits Informationen aus der Umwelt auf (*Input*), die er mit bereits gespeicherten Informationen vergleicht, verknüpft und im Gedächtnis abspeichert. Die gespeicherten Informationen können dann in einer anderen, zumeist ähnlichen Situation abgerufen werden (*Output*) und unser Verhalten (Reaktion) bestimmen, dessen Folgen wiederum Einfluss auf den Lernprozess nehmen können (Abb. 7.1).

Der zunächst in dieser Weise global umrissene Lernprozess beinhaltet jedoch verschiedene, voneinander zu unterscheidende Lernarten, wie sich im Laufe der fortschreitenden Gedächtnisforschung herausstellte. Je nach den als Lernparadigmen gewählten Forschungsansätzen wurden so bestimmte Gesetzmäßigkeiten des Lernens gefunden. Sie lassen sich in sechs Kategorien gruppieren, die wir nachfolgend im Einzelnen besprechen werden:

1. **Habituation** Wohl die einfachste Form des Lernens. Sie bezeichnet die Gewöhnung an einen Reiz, der bei seinem ersten Auftreten eine Verhaltensreaktion auslöst, bei wiederholter Darbietung aber nicht mehr.
2. **Klassische Konditionierung** (Lernen von Signalen) Die assoziative Verknüpfung einer Reaktionsweise mit einem zuvor neutralen, nun aber das Verhalten auslösenden Reiz.

Exkurs 7.1

Experiment I: Musterunterscheidung durch Habituation

Ein bekanntes Untersuchungsbeispiel zum Habituationslernen stammt aus der Entwicklungspsychologie, wo man sich fragte, wie gut Neugeborene verschiedene Gesichter oder überhaupt Formen erkennen können. In ihren Untersuchungen präsentierten Slater et al. (1988) sieben Stunden alten Neugeborenen unterschiedliche Stimulusmuster wie in Abb. 7.2 gezeigt. Wenn ein solcher Stimulus zum ersten Mal dargeboten wurde, blickten die Neugeborenen für durchschnittlich 41 s intensiv auf die Vorgabe. Bei wiederholter Vorgabe des gleichen Musters schwand ihr Interesse aber sehr schnell. Wurde das Muster dann um 90° in eine neue Position gedreht und gleichzeitig mit dem bekannten präsentiert, so betrachteten die Babys dies Muster dreimal solange wie das bereits bekannte. Die Babys müssen also das erste Muster erinnert haben, um es von dem neuen unterscheiden zu können. In gleicher Weise ließ sich das Unterscheidungsvermögen mithilfe des Habituationsphänomens auch für Unterschiede (Farben, Töne) nachweisen.

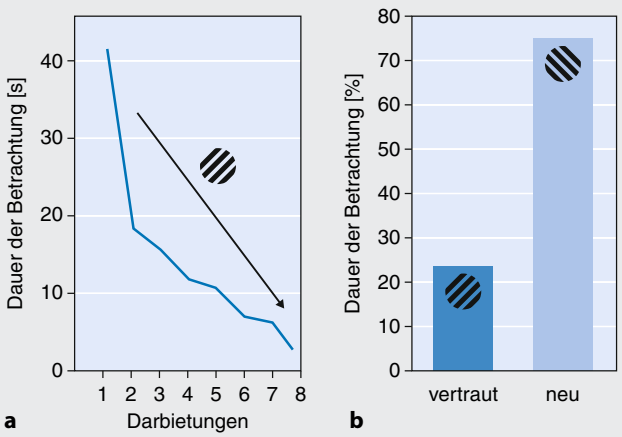


Abb. 7.2 **a** Habituation. Eine wiederholt dargebotene Reizvorlage interessiert Neugeborene zunehmend weniger. Sie blicken weniger hin, **b** Neuigkeitsbevorzugung. Nach Habituation an eine alte Reizvorlage löst eine neue, nur wenig veränderte Reizvorlage bei Neugeborenen erneut häufiges Zuwenden aus

3. **Operante Konditionierung** (instrumentelle Konditionierung): Lernprozess, bei dem das aktiv gezeigte Verhalten durch die Art der nachfolgenden Bekräftigung gefestigt oder gemindert wird.
   Klassische und operante Konditionierung werden zusammenfassend auch als **Assoziationslernen** bezeichnet.
4. **Verbales Lernen:** Einprägen von Symbolzuordnungen, wie Wörtern, Zeichen und Silben, in Sequenzen oder paarweise durch Assoziationsbildung. Der Bereich des assoziativen Lernens wird üblicherweise (so auch hier) unter dem Aspekt der Gedächtnisforschung (► Kap. 8) abgehandelt.

Dieser wissenschaftsgeschichtlich früheste Bereich der Lernforschung wurde ursprünglich als „Gedächtnispsychologie" bezeichnet, neben welche erst später die vom Behaviorismus begründete, die Verhaltenskonditionierung untersuchende „Lernpsychologie" trat. Daher wird das Einprägen und Reproduzieren verbaler Inhalte, wie es von Ebbinghaus (1885). untersucht wurde, auch heute zumeist unter dem Thema (Wissens-) Gedächtnis abgehandelt.

5. **Komplexes und kognitives Lernen:** Lernen von Begriffen und Konzepten sowie die Bildung von mentalen kognitiven Strukturen der Wirklichkeitsrepräsentation (Regellernen). Auch dieser Aspekt wird in ► Kap. 8 weiter vertieft.
6. **Modelllernen** (Imitations-, Beobachtungs-, Nachahmungslernen): Aneignung und Übernahme neuer Verhaltensweisen aufgrund der Beobachtung erfolgreichen fremden Verhaltens.

7.2 Habituation und Sensitivierung

Die Verhaltensänderung durch **Habituation** (Gewöhnung) ist wohl die einfachste Art von Lernen. Sie besteht darin, dass wir automatisch lernen, einen zunächst erregenden Reiz zu ignorieren, der uns durch häufige Wiederholung vertraut geworden ist und der keine für uns ernstlichen Konsequenzen hat. Andererseits gibt es auch den umgekehrten Fall, dass durch häufige Wiederholung einer Reizung, insbesondere wenn auf sie ein erschreckender oder schmerzvoller Reiz erfolgt, eine erhöhte Empfindlichkeit und Reaktionsbereitschaft hervorgerufen werden. Dies bezeichnet man als **Sensitivierung**, deren neuronale Basis wir in ► Abschn. 7.3.9 besprechen werden.

Wie bereits für Aufmerksamkeitsprozesse dargestellt, reagiert unser Organismus auf neue, ungewohnte oder unerwartete Reize spontan mit einer deutlichen Orientierungsreaktion. Tritt dieser Reiz oder ein sehr ähnlicher in der Folge mehrfach auf, so kommt es je nach Reizbedingungen mehr oder weniger schnell zu einem Abfall der Reaktionsstärke, bis diese schließlich völlig ausbleibt, es sei denn, wir messen dem Reiz irgendeine besondere Bedeutung zu. So lernen wir zum Beispiel sehr schnell, das Ticken einer neuen Uhr oder das Schlagen der Turmuhr an einem neuen Wohnsitz zu ignorieren, wenn es für uns keine Bedeutung hat. **Habituationslernen** ist von der nachfolgend zu besprechenden **Konditionierung** insbesondere dadurch unterschieden, dass hier keine Assoziationen geknüpft werden und auch keine Bekräftigung oder Belohnung erfolgt. Zur Illustration dieses einfachen Lernvorgangs, der in der neueren physiologischen Gedächtnisforschung erste Erkenntnisse

Exkurs 7.2

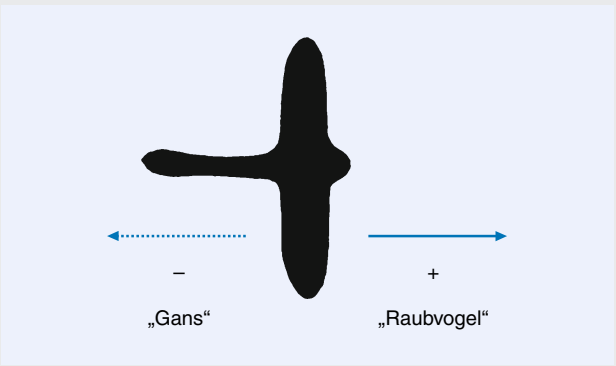
Genauer betrachtet: Feinderkennung durch Gewöhnung?

Zur Bedeutung des Habituationslernens gibt es eine bemerkenswerte Untersuchung über das auf den ersten Blick verblüffend kenntnisreiche Fluchtverhalten von Hühnervögeln. Truthühner, aber auch Gänse, reagieren im Freien normalerweise mit deutlichen Fluchtreaktionen und Ausstoßen von Warnlauten, wenn sich Raubvögel am Himmel zeigen. Sie zeigen dieses Verhalten jedoch nicht, wenn es sich um andere, auch große Vögel, wie ziehende Gänse und Ähnliches, handelt. Um zu überprüfen, ob es sich hierbei um ein gelerntes oder aber angeborenes Verhalten handelt, haben Ethologen Beobachtungsuntersuchungen mit so genannten Luftfeind-Attrappen durchgeführt. Dabei werden zweidimensionale Pappattrappen, die der Silhouette eines fliegenden Vogels entsprechen, über das Gehege der zu untersuchenden Tiere „wie im Fluge gezogen" und dabei das Verhalten der Tiere beobachtet. Für die Untersuchung wurde unter anderem die in ◘ Abb. 7.3 dargestellte Attrappe verwendet, die, je nachdem, in welcher Bewegungsrichtung sie über das Gehege gezogen wird, entweder die Silhouette eines Raubvogels (kleiner Kopf, langer Schwanz) oder eines Gänsevogels (langer Hals, kurzer Schwanz) simuliert. Bei den im Freiland aufgewachsenen Hühnervögeln lösen sie je nach Bewegungsrichtung entweder (wie ein Raubvogel) Fluchtverhalten oder, in entgegengesetzter Richtung bewegt („gänseartig"), kein Fluchtverhalten aus. Bei den Untersuchungen zeigt sich zunächst ein grundlegender Unterschied in der Reaktion, je nachdem, ob die Tiere im Freiland aufgezogen waren oder ob sie während der Aufzucht nie fliegende Objekte gesehen hatten.

1. Bei Aufzucht im Freien erfolgt die Fluchtreaktion recht spezifisch nur auf Flugattrappen von verschiedenen Raubvögeln (Luftfeindattrappen).
2. Bei Aufzucht unter abgedecktem Himmel (selektiver Erfahrungsentzug), also ohne dass die Hühnervögel je fliegende Objekte gesehen haben, erfolgt die Fluchtreaktion auf jede der vorgegebenen Attrappenformen.

Um zu überprüfen, ob dieser signifikante Verhaltensunterschied auf einen Habituationseffekt zurückzuführen ist, unternahm Schleidt (1961) einen einfachen Versuch. Er zeigte seinen unter selektivem Erfahrungsentzug (abgedeckter Himmel) aufgezogenen Versuchstieren verschiedene ausgewählte Attrappen mit unterschiedlicher Häufigkeit, indem er zum Beispiel eine der Attrappenformen täglich mehrmals über das Gehege hinwegbewegte, andere dagegen seltener und manche gar nicht. Zunächst wurde jede der Attrappen von den unerfahrenen Truthühnerküken gleich stark mit Flucht beantwortet. Dann zeigte sich, dass die häufig gebotenen Attrappen sehr bald an Wirksamkeit verloren und schließlich kaum noch Fluchtverhalten oder Warnlaute auslösten, während die selten vorüberbewegten Attrappen, ähnlich wie zuvor nicht gezeigte, unverändert das Ausstoßen von Warnlauten sowie Fluchtverhalten auslösten. Dieses Ergebnis passt zu den natürlichen Lebensbedingungen, denn üblicherweise sind ziehende Raubvögel nur selten am Himmel zu sehen, im Gegensatz zur Vielzahl der anderen Vögel. – Eine Bekräftigung des gelernten Verhaltens ließ sich nicht nachweisen.

◘ **Abb. 7.3** Silhouettenförmige Flugattrappe



zum Lernprozess lieferte, geben wir in ► Exkurs 7.1 ein einfaches Beispiel.

Ein verhaltensbiologisches Untersuchungsbeispiel zu beiden Aspekten des Habituationslernens gibt ► Exkurs 7.2. Es zeigt zugleich, dass eine Bekräftigung des gelernten Verhaltens nicht erforderlich ist (mehr zur Habituation in *Zusatztext online*).

Beim Habituationslernen gibt es, ähnlich wie wir es bei anderen Lernarten noch genauer besprechen werden, offenbar genetisch bedingte, artspezifische **biologische Einschränkungen** oder **Constraints** der Lernbereitschaft beziehungsweise der Lernfähigkeit. Bekannt ist das Beispiel der Habituation an rasche Geräusche. Während Hunde, die zunächst auch eine Orientierungsreaktion auf raschelndes Laub zeigen, sehr bald habituieren und das Rascheln ignorieren, gelingt das Habituieren an ein solches Rascheln bei Hasen so gut wie überhaupt nicht. Selbst bei bis zu 240 Wiederholungen des gleichen Geräuschs zeigten die untersuchten Hasen keinerlei Habituation. Dieser artspezifische Unterschied erklärt sich biologisch aus dem normalen Verhaltensrepertoire des auf Gefahrenreize hin nicht angreifenden, sondern stets flüchtenden Hasen.

Eine weitere interessante Besonderheit des Habituationslernens ist die Beobachtung, dass Habituationsprozesse offenbar schon früh in der Entwicklung des Organismus einsetzen können, und zwar auch dann schon, wenn der Organismus infolge seines Entwicklungszustands zunächst noch gar nicht auf einen später „normalerweise" auslösenden Reiz reagiert. Ab einem bestimmten Alter zeigen bekanntlich Katzen üblicherweise ein mehr oder weniger stark ausgeprägtes Beutefangverhalten gegenüber Mäusen oder Ratten, das ihnen wie ein **angeborener Auslösemechanismus** ererbtermaßen und ohne Lernerfahrung zur Verfügung steht. Werden nun aber im Experiment Katzen von früh auf zusammen mit Mäusen oder Ratten aufgezogen (also ehe das Beutefangverhalten ausgebildet ist), kommt es offenbar zu einer Habituation dieser sonst das Fangverhalten auslösenden



Abb. 7.4 Ivan R. Pawlow (1848–1936), russischer Physiologe und Nobelpreisträger, beschrieb als einer der Ersten das Phänomen des klassischen Konditionierens

Reize. Die erwachsenen Katzen greifen die natürlichen Beutetiere nicht mehr an und zeigen ihnen gegenüber kein Beutefangverhalten.

Es spricht vieles dafür, obgleich es noch keine gesicherten Belege gibt, dass auch beim Menschen durch derartige Habituationsprozesse selektive Vorlieben oder Aggressionshemmungen aufgebaut und durch später möglich werdende, zusätzliche positive Konditionierungen bekräftigt oder überformt werden. Sicher spielen Habituationsprozesse zum Beispiel auch bei sozialen Interaktionsentwicklungen, wie Freund-Feind-Denken zwischen sozialen oder ethnischen Gruppen, Koedukation, vermiedene Rassentrennung, dem Bemühen um Völkerverständigung durch Schüleraustausch eine zentrale Rolle.

Habituation (Gewöhnung)

Habituation bezeichnet die allmähliche Abschwächung einer Verhaltensreaktion auf einen Reiz, die auftritt, wenn der Reiz mehrfach nacheinander wiederholt wird. Nach wiederholten Habituationsdurchgängen kann die erzielte Habituation wochenlang andauern (Carew et al. 1972).

Wenngleich der entgegengesetzte Prozess der Sensitivierung nicht eigentlich zum Bereich des Lernens zählt, wird auch hier etwas gelernt.

Sensitivierung

Sensitivierung (*sensitiziation*) bezeichnet einen Prozess, bei dem der Organismus lernt, eine Reaktion auf einen Reiz zu intensivieren, wenn diesem ein bedrohlicher oder schmerzhafter Reiz folgt.

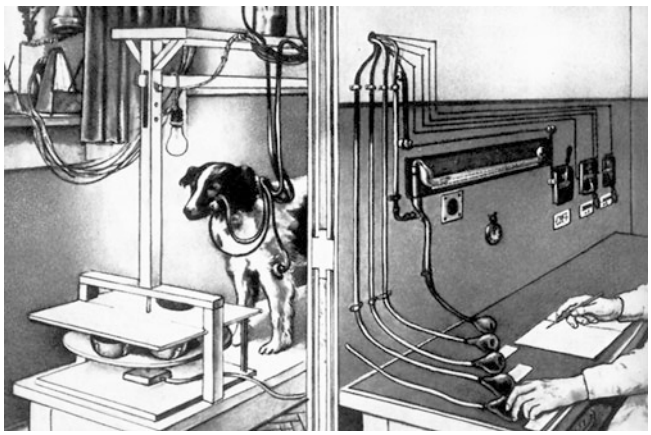


Abb. 7.5 Pawlows Experimentiereinrichtung. *Links*: Versuchstierseite. *Rechts*: Experimentatorseite des Doppelzimmers

7.3 Klassische Konditionierung

Das klassische Konditionieren ist ein Lernprozess, in dessen Verlauf ein zuvor neutraler Reiz mit einem anderen Reiz (der ein Verhalten auslöst) durch wiederholtes gemeinsames Auftreten assoziiert wird.

Die Entdeckung und Untersuchung dieses grundlegenden Prinzips des Lernens geht wie viele große Entdeckungen auf eine Zufallsbeobachtung zurück. Als der russische Physiologe Ivan Pawlow (Abb. 7.4) sich 1904 auf seine Reise nach Stockholm vorbereitete, um dort den Nobelpreis entgegenzunehmen, war er mehr besorgt als glücklich. Er hatte eine Methode entwickelt, mit der man die Funktion der an der Verdauung beteiligten Drüsen bei Tieren untersuchen konnte.

Er hatte seinen Versuchstieren (Hunden) sogenannte Fisteln (Schläuche) direkt in die Speicheldrüsen oder in die Magengegend implantiert und konnte so die Sekretion während des Verdauungsprozesses beobachten (Abb. 7.5). Bei seinen Experimenten bekamen die Hunde Fleischpulver ins Maul, woraufhin sie Speichel absonderten. Doch schon sehr bald zeigten sich überraschende Probleme: Nachdem diese Prozedur mehrfach wiederholt worden war, erfolgte die Speichelabsonderung schon bevor das Fleischpulver ins Maul gelangte. Zunächst trat der Speichelfluss bereits auf, wenn die Tiere das Futterpulver sahen, dann bereits, wenn die Tiere den Versuchsleiter, der das Futter brachte, sahen, und schließlich sogar schon, wenn sie die Schritte des Versuchsleiters auf dem Gang zum Versuchsraum hörten. Pawlows Assistenten waren bemüht, diesen Effekt zu unterbinden, da er eine Fehlerquelle für die physiologischen Experimente bedeutete. Aber jeder Reiz, der regelmäßig der Fleischpulververarbeitung voranging, löste dieselbe Reaktion aus wie das Fleischpulver selbst. Pawlow war von diesem *psychischen Prozess* sehr beeindruckt, stellte sein Forschungsvorhaben um und widmete sich der Untersuchung dieser grundlegenden Form des Lernens. Das Auftreten dieser antizipatorischen (vorwegnehmenden) Reaktion, das Pawlow als „konditionierten Reflex" bezeichnete, wurde in der Folge als „klassisches Konditionieren" systematisch weiter untersucht.

Pawlow nannte die erste ungelernte Reaktion, die Auslösung des Speichelflusses durch das ins Maul verbrachte Fleischpul-

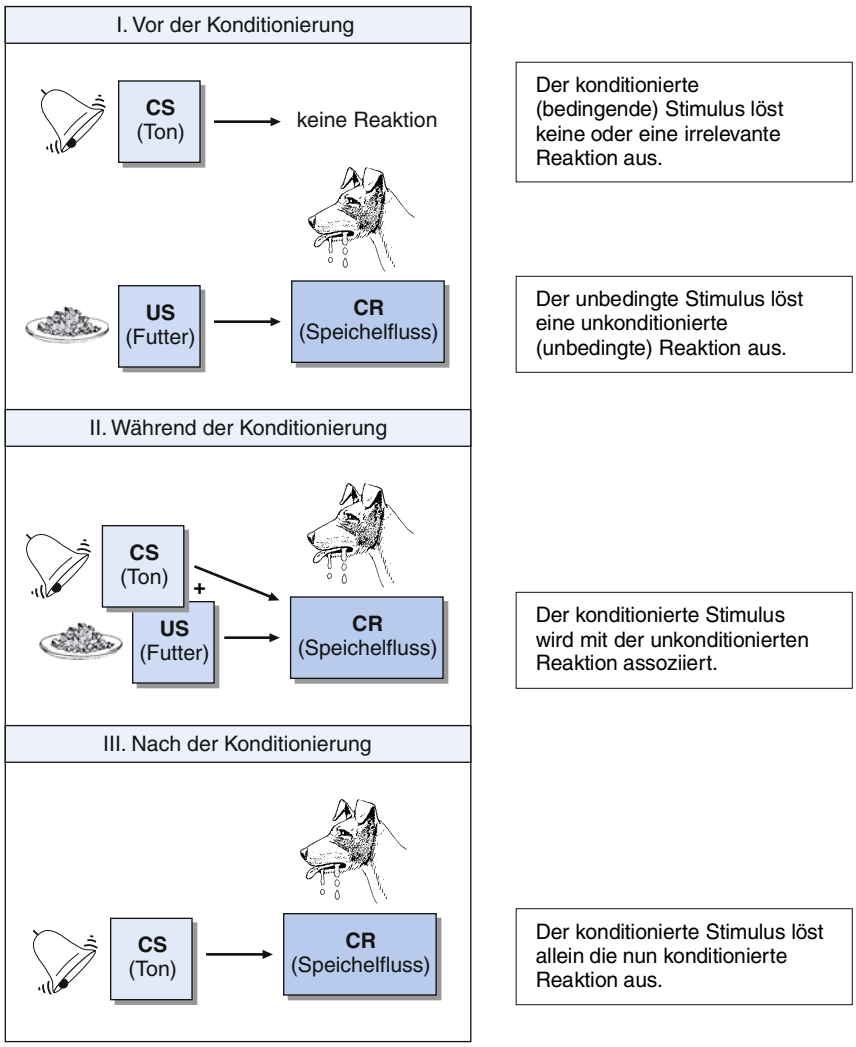


Abb. 7.6 Pawlows klassisches Experiment, bei dem der Speichelfluss gemessen wurde. Pawlow präsentierte zunächst einen neutralen Reiz (einen Ton) kurz vor einem unkonditionierten Reiz (Futter ins Maul). Der neutrale Reiz wurde nach mehrmaliger Wiederholung zum konditionierten Reiz, der die konditionierte Reaktion (Speichelfluss) auslöste

ver, eine **unkonditionierte Reaktion** (*unconditioned response*), abgekürzt **UCR** oder **UR**, da für diese reflexartig ausgelöste (unbedingte) Verhaltensweise kein Lernen notwendig ist. Entsprechend bezeichnete er den originär auslösenden Stimulus, das Fleischpulver, als **unkonditionierten Reiz** (*unconditioned stimulus*, **UCS** oder **US**). Wie bereits Pawlow in vielen Experimenten nachweisen konnte, kann der Speichelfluss ebenso auch durch verschiedene andere Reize, zum Beispiel Licht oder Ton, ausgelöst werden, wenn diese nur mehrmals in regelmäßigem zeitlichen Abstand der Futtergabe vorausgehen. Pawlow bezeichnete einen solchen zunächst neutralen Reiz, wenn er nach mehrfacher Paarung schließlich allein den Speichelfluss auslösen kann, als **konditionierten Reiz** (*conditioned stimulus*, **CS**) und die dadurch ausgelöste Reaktion (Speichelfluss) als **konditionierte Reaktion** (*conditioned response*, **CR**). Die klassische Konditionierung besteht danach in einer Stimulus-Response-(S-R-)Assoziation und führt dazu, dass der unkonditionierte Stimulus durch einen fast beliebigen neutralen Reiz ersetzt werden kann, der damit zum konditionierten Stimulus wird. Die mehrfache zeitliche Koppelung von CS und nachfolgendem US wird auch als **Verstärkung** oder **Reinforcement** bezeichnet (Abb. 7.6); vor der Konditionierung kann ein neutraler Reiz, zum Beispiel ein Glockenton, durchaus eine allgemeine Aufmerksamkeitsreaktion auslösen (Orientierungsreaktion), aber nicht die unkonditionierte Reaktion.

In der Regel ist die CR der ursprünglichen UR ähnlich, wenn auch nicht völlig identisch, sodass manche Forscher auch von einer Reizsubstitition (Ersetzung) sprechen, weil der Organismus auf den CS so reagiert, als sei es der US. Alternativ wird argumentiert, dass der CS nur Information auf den jetzt erfolgenden US liefert (z. B. Rescorla 1988) und damit die CR eine Vorbereitung auf den US ist und nicht eine Reaktion auf ihn. So ließe sich erklären, dass die CR in manchen Fällen durchaus nicht der unkonditionierten Reaktion entspricht. Insofern wird die klassische Konditionierung eher als eine Assoziationsbildung zwischen US und CS verstanden (mehr dazu in *Zusatztext online*).

Klassische Konditionierung

Form des Lernens, bei der der Organismus durch wiederholte, zeitlich kontingente Darbietung von einem zunächst neutralen Reiz (CS) und einem bereits eine Reaktion auslösendem (unkonditionierten) Stimulus (US) eine Assoziation (Verknüpfung) zwischen diesen bildet, sodass der CS die Reaktion schließlich auch allein auslöst.

Exkurs 7.3

Genauer betrachtet: Konditionierungsbeispiele

1. Ein bekanntes Beispiel für die Wirksamkeit klassischer Konditionierung dürfte die verbreitete Angst vor dem *Zahnarztbesuch* sein. Das Bohren des Zahnarztes führt häufig zu Schmerzen und zu der Angst, dass es weiter wehtun könnte. In zeitlicher Nähe sehen wir kurz vorher den Bohrer und hören die Bohrgeräusche (CS), mit denen sich das nachfolgende Schmerzempfinden (UR) koppelt, sodass schon sehr bald der Schmerz erlebt wird, ehe der Bohrer angesetzt wurde. Oder die Angst wird weiter vorangehenden Reizen (weißer Kittel des Arztes, Wartezimmer) assoziiert, die dann selbst angstauslösend wirken. In manchen Fällen kann auch das Wort „Zahnarzt" und die damit verbundene Vorstellung ein Schaudern über den Rücken auslösen.
2. Ein anderes Beispiel ist die Auslösung von *Asthmaanfällen* durch „eigentlich" nicht allergisch wirkende Gegenstände. Häufig beginnt Asthma als relativ einfache allergische Reaktion (UR) auf spezifische, allergen wirkende Substanzen wie Staub, Katzenhaare oder Pollen. Wenn diese Allergene wiederholt von einem nicht allergenen Reiz begleitet werden, kann die allergische Reaktion auf diesen konditioniert werden, sodass dieser gleichermaßen allergisch wirkt (CS). Allein der Anblick einer Katze im Nachbarraum oder sogar nur des Bildes von einer Katze kann bei einem Allergiker Atemprobleme auslösen, ebenso ein sommerlicher Himmel mit lauen Lüften, wenn er denn mit dem Pollenflug eines Kornfeldes assoziiert wurde. – Manchmal sind asthmatische Reaktionen auch so heftig, dass der Patient in Angst oder Panik gerät, die in extremen Fällen dann auch schon durch das verbale Erwähnen von Katzen oder Pollenflug ausgelöst werden können.
3. In der *Fernsehwerbung* sieht man häufig eloquente, sympathische Männer, attraktive, ansprechende Frauen oder auch eine idyllische Szene, die eine unwillkürliche Zuwendereaktion und bestimmte Gefühlserlebnisse (UR) auslösen. Durch wiederholte Darbietung dieser mit bisher neutralen Reizen, wie Produkten oder Markennamen (CS), gelingt es, diese bei einer großen Population mit ganz spezifischen emotionalen Erlebnissen zu verbinden, sodass später allein die Begriffe beziehungsweise Produktnamen das Wohlempfinden auslösen. Eine optimale Bindung wird weiter dadurch erreicht, dass möglichst viele in gleiche Richtung weisende Reize (optisch, akustisch, taktil) einbezogen werden. So erhält jedes „Markenprodukt" ein eigenes, möglichst besonderes Erlebnisflair (mehr zur klassischen Konditionierung im Alltag in *Zusatztext online*).

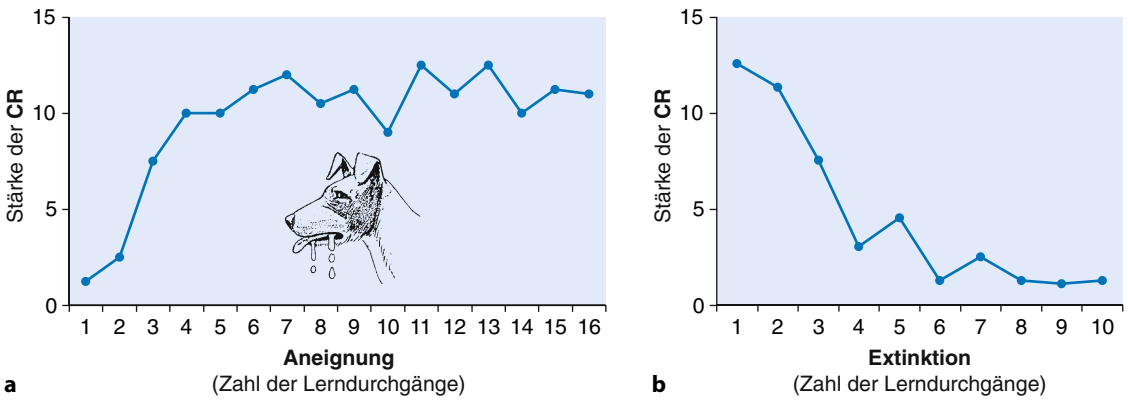


Abb. 7.7 Lernkurven der klassischen Konditionierung. a Aneignung (Akquisition) einer konditionierten Reaktion (*CR*). Aufgetragen ist die Anzahl der gemessenen Speicheltropfen, die als Reaktion auf den *CS* hin ausgeschieden werden, ehe der *US* einsetzt. Nach 16 solcher Akquisitionsdurchgänge wird nur noch der *CS* allein dargeboten, **b** Extinktionsdurchgänge. Die Speichelsekretion nimmt wieder ab. (Nach Pawlow 1927)

Dieser grundlegende Vorgang eines mehr oder weniger passiven Lernens spielt auch in unserem Leben eine große Rolle, wofür ▶ Exkurs 7.3 einige Beispiele gibt.

7.3.1 Gesetzmäßigkeiten der klassischen Konditionierung

Pawlows Experimente sind in der Folgezeit von Psychologen in vielfältiger Weise variiert und wiederholt worden, wobei eine ganze Reihe weiterer Gesetzmäßigkeiten und Erkenntnisse zu diesem grundlegenden Lernparadigma gewonnen wurde. Die wichtigsten fundamentalen Prinzipien, die aus der jahrelangen Forschung an vielen unterschiedlichen Tierarten, wie auch am Menschen, mit unterschiedlichen Reizmerkmalen und Reaktionsweisen gewonnen wurden, sollen im Folgenden kurz dargestellt werden. Sie geben Antwort auf die Fragen: Wie beeinflusst die zeitliche Folge zwischen US und CS den Erfolg des klassischen Konditionierens? Wie robust ist das Gelernte? Wie präzise sind die Assoziationen?

Im Wesentlichen lassen sich in zeitlicher Folge drei **Phasen der klassischen Konditionierung** unterscheiden, die wir anschließend ausführlicher besprechen werden:

1. **Erwerb (Akquisition)** Während dieser Phase wird durch wiederholte Paarung von CS (Licht) und UCS (Fleischpulver) eine Assoziation zwischen den beiden Stimuli gebildet, und jede weitere Wiederholung führt zu einer Verstärkung (Reinforcement) der Verbindung.
2. **Löschung (Extinktion) oder Abschwächung** Wird der CS wiederholt allein dargeboten, ohne ein Reinforcement durch den UCS, so erlischt die gelernte Reaktion auf den CS allmählich (siehe ◘ Abb. 7.6 unten und 7.7).
3. **Spontanerholung:** Die bis zum Verschwinden gelöschte Reaktion kann nach einer Ruhephase durch einen erneut verabfolgten CS spontan wieder ausgelöst werden.

Exkurs 7.4

Genauer betrachtet: Zeitliche Relation bei der Akquisition

Es zeigte sich, dass die Konditionierung im Allgemeinen am effektivsten ist, wenn der Beginn des CS dem Beginn des US um etwa 0,5 s vorangeht. Mit zunehmendem Zeitintervall nimmt die Effektivität immer weiter ab. Wie physiologische Untersuchungen zeigten, ist offenbar die Nervenleitgeschwindigkeit mitverantwortlich für die jeweils optimale Zeitdauer. So zeigte sich, dass im Gegensatz zu den meist untersuchten skelettalen Reaktionen (willentlichen motorischen Bewegungen) bei der Konditionierung viszeraler Reaktionen (von lateinisch *viscera* für „Eingeweide") ein Zeitintervall von 2–5 s optimal ist. Das entspricht der langsameren vegetativen Nervenleitgeschwindigkeit. Noch längere optimale Zeitintervalle wurden für die Konditionierung der Speichelsekretion (bis 10 s) oder der Furchtreaktion (zum Teil über 60 s) gefunden.

7.3.2 Akquisition oder Erwerb

Die Phase der Akquisition ist links in der Abb. 7.7. dargestellt. Bei wiederholter ständiger Paarung von CS und US nimmt die Häufigkeit bzw. die Intensität der Verhaltensweise (z. B. Speichelfluss) allmählich zu, bis die Assoziation gelernt ist. Für diesen Prozess ist die zeitliche Verknüpfung der Reize von besonderer Bedeutung.

Zeitlicher Zusammenhang In der Regel findet diese klassische Konditionierung nur dann statt, wenn CS und US in relativ engem zeitlichen Zusammenhang zueinander stehen. Diese zeitliche **Kontiguität** betrachtete Pawlow als den kritischen Faktor für den Aufbau der assoziativen Verbindung. Belegt wurde dies durch Experimente, in denen das Zeitintervall zwischen der Präsentation des CS und des UCS variiert wurde (▶ Exkurs 7.4).

Unabhängig von möglichen physiologischen Erklärungen werden in der Literatur vier beziehungsweise fünf zeitliche Konditionierungsmuster unterschieden:

1. Die **Simultankonditionierung**, bei der CS und US annähernd gleichzeitig auftreten (siehe Abb. 7.8).
2. Die **verzögerte Konditionierung** (*delayed conditioning*), bei der der CS zeitlich früher beginnt als der US.
3. Die **Spurenkonditionierung** (*trace conditioning*), bei der der CS ebenfalls zeitlich früher beginnt, aber bereits vor dem US aufhört, so dass zwischen beiden ein zeitliches Intervall existiert.
4. Die **Rückwärtskonditionierung** oder auch rückwirkende Konditionierung (*backward conditioning*), bei der der CS erst zeitlich nach dem US erfolgt. Diese Art der Konditionierung ist nur in seltenen Fällen möglich.
5. Die **temporal bedingte Reaktion:** Sie stellt eine Sonderform dar und wird auch meist gesondert abgehandelt. Sie besteht darin, dass selbst das Zeitintervall zwischen wiederholten CS-CS lernbar ist. Wird eine Konditionierung mit in zeitlich gleichen Abständen wiederholtem CS durchgeführt, lernt der Organismus bereits vor Einsetzen des CS, die dann konditionierte Reaktion CR auszuführen. Beispiele aus unserem täglichen Leben sind die automatische Schwimmbaddusche oder Wasserhähne, bei denen der durch Knopfdruck angeschaltete Wasserstrom nach kurzer Zeit automatisch ausgeschaltet und durch einen weiteren Knopfdruck erneut wieder aktiviert wird. Hier lernen wir sehr bald bei wiederholter Betätigung, jeweils automatisch rechtzeitig den Knopf zu drücken, ehe das Ventil von sich aus abschalten würde, und erhalten als Reinforcement einen gleichmäßigen, ununterbrochen fließenden Wasserstrom.

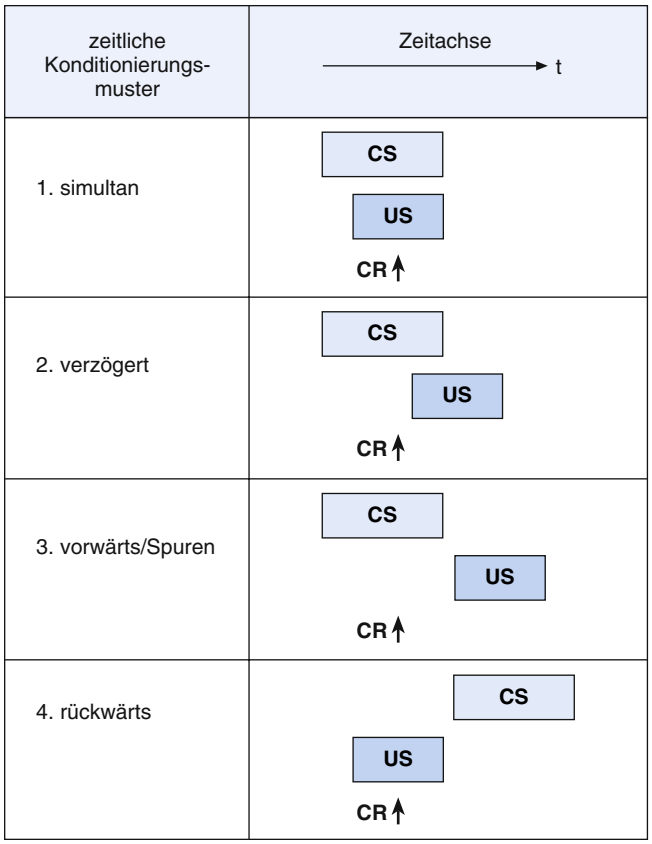


Abb. 7.8 Bezeichnung der vier zeitlichen Konditionierungsmuster und Konditionierungsreize sowie Einsetzen der gelernten Reaktion (CR)

Am besten und effektivsten gelingt in der Regel die verzögerte oder Spurenkonditionierung, während die Simultankonditionierung generell zu geringeren Lernergebnissen führt. Dies macht auch von einer mehr kognitiven Interpretation aus Sinn, wenn wir klassische Konditionierung als Vorhersagelernen interpretieren, das heißt, der CS wird als Prädiktor für den Erhalt des US (Nahrung) verstanden, der auch hier als Verstärker (Reinforcer) angesehen wird. Am schlechtesten sind die Lernergebnisse bei der **Rückwärtskonditionierung**, die sich bisweilen nach einigen ersten paarweisen Darbietungen von US und CS zeigt. Die Lernprobleme verschwinden jedoch sehr bald bei der Fortdauer des Trainings. Hier, wie bei der Simultankonditionierung, bei der die Konditionierungserfolge ebenfalls schwach ausfallen, wird als Begründung angegeben, dass der konditionierte Reiz keinen konkreten Signalwert für das Einsetzen des US hat (mehr zur klassischen Konditionierung in *Zusatztext online*).

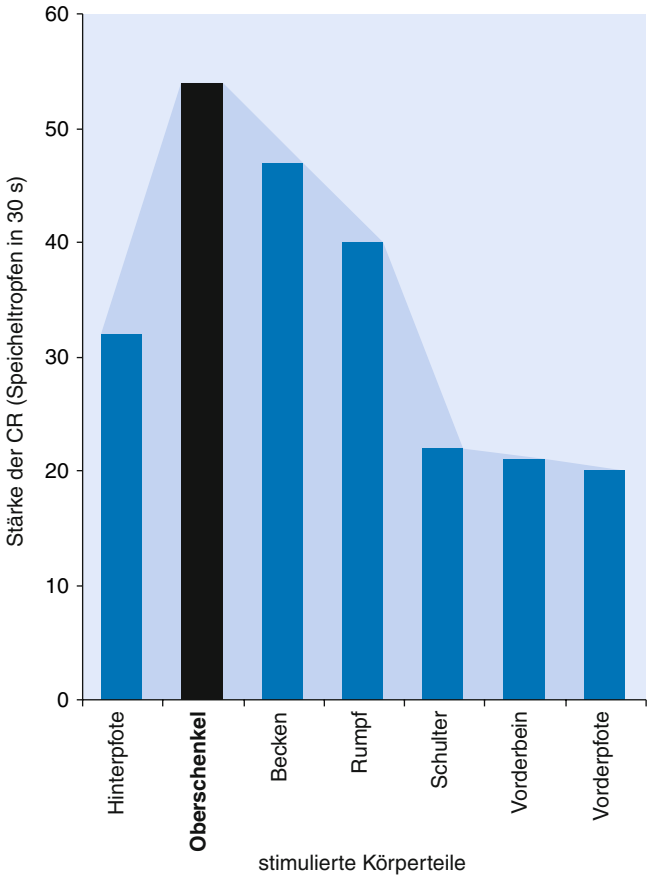


Abb. 7.9 Reizgeneralisation. Pawlow demonstrierte die Reizgeneralisation, indem er einem Hund an verschiedenen Körperstellen Vibratoren auf die Haut setzte. Nachdem er die Speichelsekretion auf die Reizung des Oberschenkels konditioniert hatte, konnte er die so konditionierte Reaktion auch durch die Stimulation an anderen Körperabschnitten auslösen. Je näher diese zum Oberschenkel waren, desto stärker war die ausgelöste CR

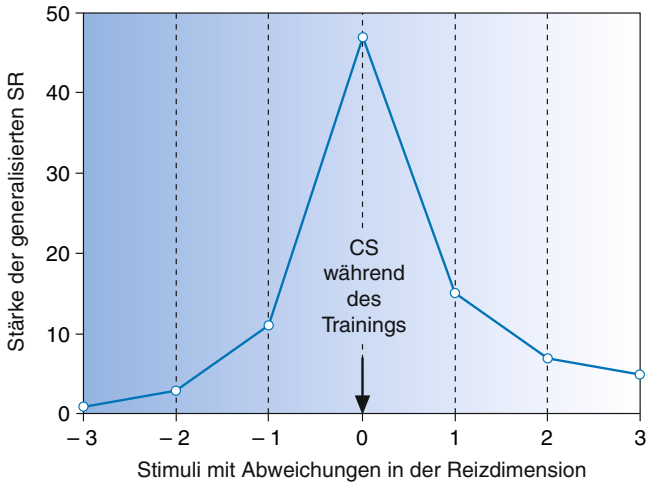


Abb. 7.10 Generalisationsgradient. Der Stimulus bei 0 bezeichnet den Ton, auf den beispielsweise die EDA (elektrodermale Hautreaktion) anspricht. Die Stimuli 1 bis 3 repräsentieren Testtöne, deren Tonhöhe stetig zunimmt (*hellerer Bereich*). Die Stimuli –3 bis –1 repräsentieren Töne niedrigerer Tonlage (*dunklerer Bereich*). Beachte, dass die Stärke der Generalisation abnimmt, je größer der Unterschied zwischen konditioniertem Ton (bei 0) und Testton ist

7.3.3 Generalisation und Diskrimination

Bei der klassischen Konditionierung gibt es noch einige Besonderheiten, die wir nachfolgend besprechen wollen und die uns die Wirkungsweise dieses Lernparadigmas noch weiter differenzieren. Es handelt sich um die Phänomene der Generalisation und der Diskrimination.

Reizgeneralisation

Wenn durch Konditionierung eine feste Assoziation zwischen CS und CR aufgebaut ist, das heißt die konditionierte Reaktion zuverlässig durch einen konditionierten Stimulus ausgelöst wird, können auch andere Stimuli, die dem Original-CS ähnlich sind, die gleiche konditionierte Reaktion auslösen. Angenommen, eine Person ist darauf konditioniert worden, auf einen bestimmten Glockenton (zum Beispiel Pausenglocke in der Schule) mit einer vielleicht angenehmen „emotionalen Reaktion" zu reagieren, die durch die elektrodermale Reaktion (Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit der Haut) gemessen werden kann. Diese Person wird dann auch auf einen etwas höheren oder niedrigeren Glockenton mit der gleichen emotionalen Reaktion beziehungsweise dem gleichen elektrodermalen Aktivitätsausschlag reagieren, ohne darauf gesondert konditioniert worden zu sein. Allgemeiner ausgedrückt: Ähnliche Reize gleicher Modalität, wie verschiedene Tonhöhe, unterschiedliche Lautstärke, unterschiedliche Lichtintensität, Farbqualität oder aber auch die Reizung verschiedener Körperstellen (Abb. 7.9), können die gleiche CR auslösen. Dabei ist ihre Effektivität umso höher, je ähnlicher sie dem originalen CS sind. Dieses Prinzip wird als Reizgeneralisation bezeichnet. Es hat, wie sich leicht erkennen lässt, einen hohen Evolutions- beziehungsweise Anpassungswert für das jeweilige Individuum, um auch in neuen, ähnlichen Situationen gleich erfolgreich zu reagieren.

Diese Generalisation der Wirksamkeit auf andere Reize ist von deren Ähnlichkeit mit dem konditioniertern Reiz abhängig Trägt man die Reaktionsstärke für jeden einzelnen Stimulus einer Reihe zunehmend unterschiedlicher Reize entlang der gegebenen Dimension einer Grafik auf (Abb. 7.10), so erhält man den sogenannten **Generalisationsgradienten**, der die Stärke der Generalisation grafisch darstellt. Generalisationsgradienten können sehr unterschiedlich steil sein für einzelne Modalitäten, aber auch bei verschiedenen Individuen hinsichtlich derselben Modalität. So wird man bei Pedanterie eine geringe Generalisationsbereitschaft (steiler Generalisationsgradient) finden, während Neurotiker auf alle möglichen, kaum noch ähnlichen Reize (flacher Generalisationsgradient) unverhältnismäßig stark reagieren.

Wenngleich diese im Labor gefundenen Gesetzmäßigkeiten auf den ersten Blick recht abstrakt erscheinen, bestimmen sie in vielen Situationen fast unbemerkt unser Verhalten mit. In der Straßenverkehrsordnungstechnik wird dieses Prinzip der Generalisation in den letzten Jahren zunehmend berücksichtigt, zum Beispiel wird das Orange bei der Gelbphase von Verkehrsampeln zunehmend als Rotorange ausgebildet, sodass fast automatisch die generalisierende, auf Rot konditionierte Bremsverhaltensweise mit aktiviert wird. Einen ähnlichen, die Aufmerksamkeit auf sich lenkenden Effekt durch Generalisation dürften die punktförmig, bläulich-weiß glänzenden Scheinwerfer schneller Autos haben, die sich in dem Generalisationsbereich unserer Vorsichtsreaktion auf polizeiliches „Blaulicht" ansiedeln.

Bei der Reizgeneralisation zeigen Reize, die dem CS ähnlich sind, nach erfolgter Konditionierung entsprechend ihrem Ähnlichkeitsgrad die Tendenz, die Reaktion ebenfalls auszulösen: Die Wirksamkeit des CS generalisiert auf ähnliche Reize.

Reaktionsgeneralisation

Insbesondere bei aversiver Konditionierung, wie sie noch vielfach in der Erziehung praktiziert wird, bei der die Konditionierung mit negativen Stimuli (Schmerzreizen) durchgeführt wird, kann es zu einer generalisierenden Reaktion des Organismus kommen. Ein schmerzvoller konditionierter Stimulus (US) auf die Pfote eines Hundes oder die Hand eines Menschen bewirkt das Zurückziehen der Extremität. Wird vor jeder Schmerzstimulation ein Tonsignal (CS) gegeben, so wird das Zurückziehen der Pfote schon bald allein auf den Glockenton hin erfolgen. Diese Reaktion wird aber zugleich von Reaktionen des autonomen Nervensystems begleitet, wie Veränderungen der Herzfrequenz, der Atmung und des elektrischen Hautwiderstands. Auch der ganze Körper kann auf den CS hin mit einer allgemeinen Abwehrreaktion reagieren (Culler et al. 1935). Insofern kann die konditionierte Reaktion (CR) durchaus anders aussehen als die ursprüngliche unkonditionierte Reaktion (UR). Es wird also in diesen Fällen nicht nur eine spezifische Muskelreaktion konditioniert, sondern es entsteht eine generalisierte konditionierte Furchtreaktion. Bei einer solchen **Reaktionsgeneralisation** werden auch emotionale Komponenten mit konditioniert, wobei die Konditionierung bereits aufgrund einer einzigen Kopplung des neutralen mit dem furchterregenden Reiz stattfinden kann, wenn es sich um stark traumatische Ereignisse handelt.

Reaktionsgeneralisation Tendenz, dass bei der Konditionierung einer bestimmten Reaktion andere Reaktionen mit aktiviert und mit konditioniert werden; die Reaktion generalisiert.

Von der Reaktionsgeneralisation ist die **generalisierte Erregbarkeit** zu unterscheiden, die in der Regel bei Konditionierungen mit aversiven Reizen (zum Beispiel elektrischem Stromstoß) auftritt und die die eigentlich konditionierten Reaktionen überlagern kann.

Reizdiskrimination

Zur Generalisation gibt es auch einen komplementären Vorgang, der als Diskrimination bezeichnet wird. Der Organismus lernt, zwischen verschiedenen Reizen zu unterscheiden. Genauer: Er lernt auf Reize, die sich vom ursprünglichen CS in irgendeiner Dimension (zum Beispiel Tonhöhe oder Farbton) unterscheiden, nicht oder anders zu reagieren. Diese konditionierte Diskrimination wird durch selektive **Verstärkung** und **Extinktion** erreicht. Werden zwei CS (zum Beispiel ein hoher Ton CS 1 und ein tiefer Ton CS 2) abwechselnd und hintereinander dargeboten und wird nur der CS 1 von einem UCS (zum Beispiel von Lärm oder einem elektrischen Schock) gefolgt, so reagiert der Organismus nach mehreren solchen Durchgängen nur noch auf den CS 1. Abb. 7.11 zeigt ein solches Beispiel für die Hautwiderstandsänderung (EDA) bei der Diskrimination zweier Töne. Zu Beginn des Diskriminationstrainings erfolgt die EDA-Reaktion auf beide Töne. Während der

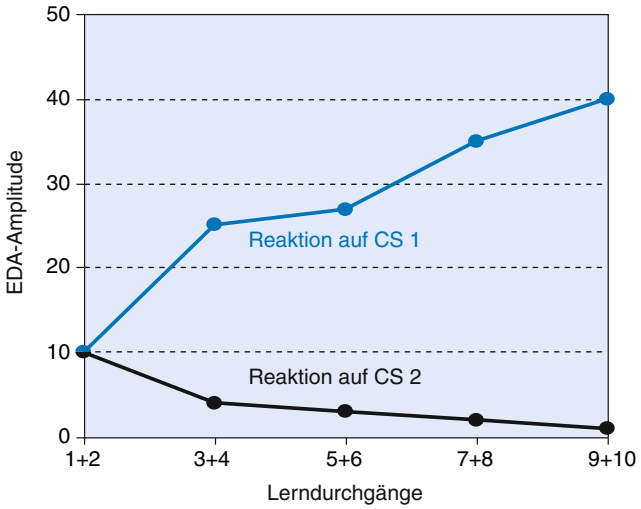


Abb. 7.11 Reizdiskrimination. Werden zwei CS, zum Beispiel ein hoher Ton CS 1 und ein tiefer Ton CS 2, abwechselnd und hintereinander dargeboten und nur der CS 1 mit einem US (beispielsweise Lärm) gepaart, so reagiert der Organismus nach mehreren solchen Durchgängen nur noch auf den CS 1. *EDA* Hautwiderstandsänderung

Diskriminationskonditionierung steigt dann die EDA-Amplitude auf den CS 1 kontinuierlich an, während die EDA-Amplitude der Antwort auf den CS 2 schließlich völlig erlischt. So lernt der Organismus durch den Prozess des **differenziellen Reinforcements**, zwischen CS 1 und CS 2 zu unterscheiden. Der tiefere Ton wird damit zu einem Signal, die gelernte Reaktion zu unterdrücken.

Generalisation und Diskrimination sind gegenläufige Prozesse, die sich gegenseitig ergänzen und die in unserem Alltagsleben eine nicht zu unterschätzende Rolle spielen. Wird ein Kind zum Beispiel von einem Hund erschreckt und gebissen, so führt das in der Regel dazu, dass das Kind zunächst vor allen Hunden Angst erlebt (Generalisation). Durch weitere Begegnungen mit anderen, nicht beißenden Hunden und differenzieller Verstärkung dieser Begegnungen lernt das Kind schließlich, nur noch vor angreifenden Hunden Angst zu empfinden (Diskrimination).

Reizdiskrimination kann auch überlebenswichtig sein. So müssen wir beim Autofahren oder generell im Straßenverkehr lernen, bei einer roten Verkehrsampel zu bremsen oder anzuhalten, nicht dagegen bei einer grünen. Blinde dagegen müssen die parallel geschalteten Summertöne oder Klickgräusche diskriminieren lernen (▶ Exkurs 7.5).

Bei der Reizdiskrimination lernt der Organismus auf Reize, die dem ursprünglich konditionierten Reiz ähnlich sind, nicht mehr mit der konditionierten Verhaltensreaktion zu reagieren. Die Diskriminationsfähigkeit wird geschärft.

Konditionierung höherer Ordnung (*second order conditioning*)

Von großer Bedeutung ist die Tatsache, dass ein einmal gefestigter, installierter CS für eine weitere Konditionierung die Rolle des ursprünglichen US übernehmen kann. Ist im klassischen Pawlow'schen Beispiel die Speichelabsonderung (CR) auf einen Tonreiz hin (CS 1) bereits fest gelernt, dann kann das Tier nun in

Exkurs 7.5

Genauer betrachtet: Sicherheitswert bei Reizdiskrimination

In vielen Fällen kann auch an die Stelle eines distinkten Reizes eine ganze Reizsituation treten. So lernen wir, dass bestimmte Verhaltensweisen und Verhaltensreaktionen nur in einer bestimmten, jedoch nicht in anderen Situationen akzeptabel sind. Hierbei können bestimmte Reizsituationen (zum Beispiel „nicht in der Versuchsbox", „nicht in der Schule") einen bestimmten **Sicherheitswert** erlangen und zu Signalen für die Abwesenheit eines aversiven US werden. Damit wird zum Beispiel eine temporäre Angst-Entlastung bewirkt (nur in der Schule ist die Missbilligung oder Bestrafung durch den Lehrer zu erwarten). Der Einfluss der Situation oder der Umgebung auf Lernen und Gedächtnis wird als „zustandsabhängiges Lernen" in ▶ Abschn. 10.5.2 genauer besprochen.

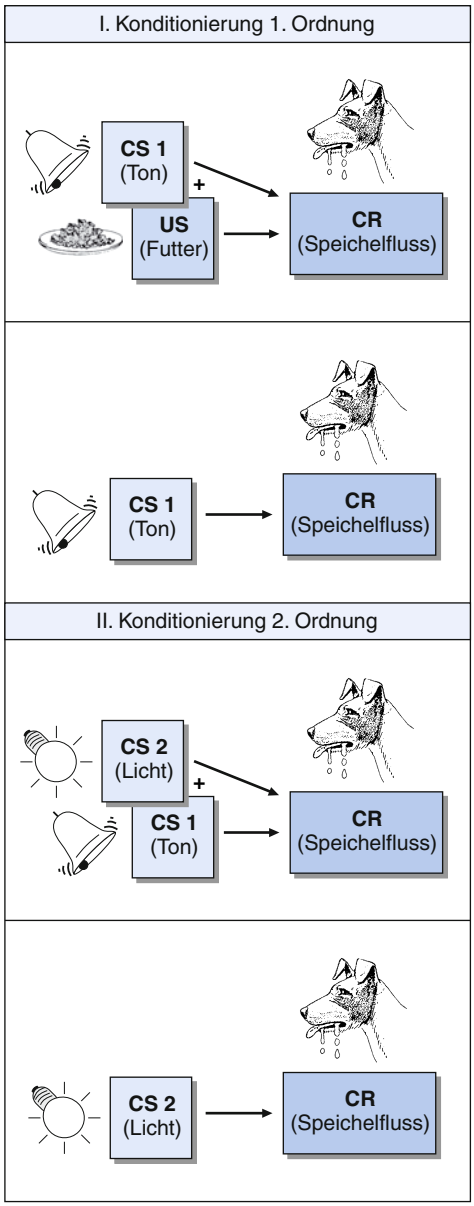


Abb. 7.12 Schematische Darstellung der Verknüpfungen beim Paradigma der Konditionierung höherer Ordnung

einem zweiten Schritt weiterkonditioniert werden, auf einen zweiten, ebenfalls zunächst neutralen Stimulus (CS 2), zum Beispiel Licht, mit der Speichelabsonderung zu reagieren, ohne dass der ursprüngliche US (Futter) anwesend sein muss. Dem Tier wird jetzt vor dem Erscheinen des CS 1 (Ton) immer kontingent ein Lichtreiz (CS 2) geboten. Nach einigen Durchgängen wird schließlich das Licht allein die unkonditionierte Reaktion (Speichelfluss) auslösen,

Exkurs 7.6

Genauer betrachtet: Konditionierung zweiter Ordnung

Wirksame assoziative Verknüpfungen entstehen also nicht nur bei der Kopplung mit biologisch wirksamen oder signifikanten Ereignissen, sondern auch bei der zeitlich kontingenten Verknüpfung zwischen beliebigen, ursprünglich neutralen Stimuli. Bereits Krylow (ein Kollege Pawlows) beschrieb solche zunächst unverständlich erscheinenden, zwanghaft wirkenden Verhaltensweisen: Morphiuminjektionen führen in vielen Fällen bei Tieren, aber auch bei Menschen, zu Übelkeit und Erbrechen. Bei seinen Untersuchungen beobachtete Krylow, dass bereits allein durch den Anblick der Injektionsnadel Übelkeit oder Erbrechen ausgelöst wurde, und weiter, dass auch viele andere kontingent vorangehende Reize das gleiche Verhalten auslösen konnten, wie zum Beispiel das Aufbringen des Alkohols auf die Haut zur Reinigung vor der Injektion. Schließlich löste bereits das Betreten des Laborzimmers Übelkeit aus.
Auch bei der heute häufig bei Krebspatienten angewandten Chemotherapie kommt es leicht zu derartigen ungewollten Konditionierungen. Die bei der Chemotherapie injizierten toxischen Substanzen erzeugen per se vielfach starke Übelkeit und Magenbeschwerden. Nach einer Reihe von Behandlungssitzungen tritt die Übelkeit bereits beim Betreten des Behandlungsraumes auf oder verbindet sich assoziativ mit gleichzeitig ablaufenden Geräuschen oder kognitiven Assoziationen, die dann auch in anderer Umgebung ebenfalls Übelkeitsanfälle auslösen können.

ohne dass das Licht je direkt mit dem Futter gepaart wurde. Es ist also möglich, mit einem bereits etablierten konditionierten Stimulus einen weiteren neutralen Reiz zu konditionieren. Dies wird als Konditionierung zweiter Ordnung, bei weiteren Reizen allgemein als Konditionierung höherer Ordnung bezeichnet (▶ Exkurs 7.6). Allerdings ist es nötig, zwischenzeitlich in weiteren Durchgängen den ursprünglichen ersten Konditionierungsschritt vor der Löschung (▶ Abschn. 7.3.4) zu bewahren, indem der Ton zwischenzeitlich erneut wieder mit dem Futter gepaart werden muss (■ Abb. 7.12).

Durch die Aufdeckung dieser Konditionierung zweiter Ordnung hat sich der Erklärungswert der klassischen Konditionierung wesentlich erweitert.

Konditionierte Furchtreaktion

Eine besondere Bedeutung kommt der klassischen Konditionierung bei der Entwicklung von emotionalen Reaktionen zu, insbesondere der Entwicklung unbegründeter irrationaler Furchtreaktionen, wie sie bei Menschen schon oft in der frühen Kindheit beobachtet werden. Wie die Entwicklung einer solchen unbegründeten Furcht oder auch phobischen Reaktion vor bestimmten Gegenständen oder Situationen auf der Basis der klassischen Konditionierung verstanden werden kann, zeigt eine bekannte und bereits 1920 durchgeführte Untersuchung von Watson und Rayner (1920; ▶ Exkurs 7.7).

Exkurs 7.7

Genauer betrachtet: Klein Alberts Konditionierung

In der Untersuchung wurden einem elf Monate alten Kind, dem *kleinen Albert*, zunächst einige Objekte zum Spielen vorgelegt: eine weiße Ratte, ein Hase, ein Pelzmantel, ein Ball aus weichem Stoff. Diese Objekte, mit denen er gerne spielte, waren im Sinne der klassischen Konditionierung zunächst neutrale Reize, die keine aversive Verhaltensreaktion auslösten (Abb. 7.13).
In einer zweiten Phase wurde dann, wenn der kleine Albert seine Hand nach der Ratte ausstreckte, ein lauter aversiver, metallener Gongschlag erzeugt, der den kleinen Albert erschreckt zurückzucken ließ. Auf dieses Erlebnis hin wurde das Erscheinen der Ratte noch siebenmal von dem aversiven Geräusch (US) gefolgt, welches Weinen und heftige Abwendung (UR) auslöste. Das hatte, wie zu erwarten, die Folge, dass der kleine Albert bei jedem weiteren Erscheinen der weißen Ratte (CS) Angst- und Furchtreaktionen zeigte, auch wenn keine Geräusche mehr vorhanden waren. Nach einer Woche stellte sich heraus, dass die konditionierte Furchtreaktion sich auch auf den Hasen übertragen hatte und dann auch auf den Pelzmantel, dessen Anblick nun ebenfalls Furchtreaktionen und eine Abwendung auslöste. Durch diese Abwendung und das Fliehen vor dem **aversiven Stimulus** kommt zu der *emotionalen Konditionierung* eine weitere Komponente, nämlich eine *Verhaltenskonditionierung*. Klein Albert lernte nämlich auch, dem gefürchteten Reiz zu entfliehen, was durch eine Verringerung seiner Furcht belohnt wurde – hierbei kommt das erst später zu besprechende Paradigma der operanten Konditionierung mit ins Spiel. Die weitere Untersuchung erbrachte ferner, dass der kleine Albert keine Angst vor Bauklötzen oder anderen Objekten hatte, die nicht zur Reizdimension „pelzig" beziehungsweise „pelzähnlich" gehörten. Das heißt, hier hat eine Reizgeneralisation auf der Dimension „pelzartig" stattgefunden, denn nur kuschelig weiche Objekte wurden eher aversiv erlebt.

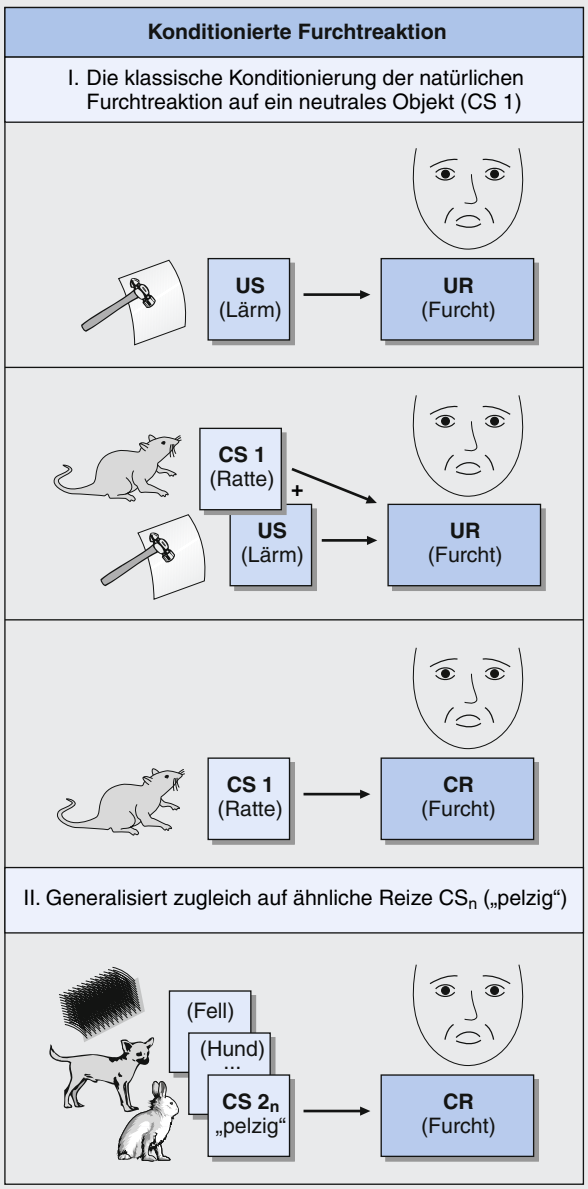


Abb. 7.13 Klein Alberts Konditionierung. Die Assoziation (zeitliche Paarung) eines erschreckenden, lauten Geräuschs mit der Anwesenheit einer Laborratte riefen bei dem kleinen Albert (elf Monate alt) eine konditionierte Furcht (*CR*) hervor, nicht nur beim Sehen einer Ratte (*CS*), sondern auch bei ähnlich pelzigen Dingen (Generalisation)

Exkurs 7.8

Genauer betrachtet: Konditionierte Alarmreaktion

Ein eindrückliches Beispiel für den hohen Extinktionswiderstand einer mitkonditionierten emotionalen Reaktion auf einen längst bedeutungslos gewordenen Signalreiz beschreibt eine Studie von Edwards und Acker (1962). Sie untersuchten die emotionalen Reaktionen von in einem Krankenhaus befindlichen Army- und Navy-Veteranen, die aktiv am Zweiten Weltkrieg teilgenommen hatten. Ihnen wurde eine Serie von 20 unterschiedlichen akustischen Reizen dargeboten, bei gleichzeitiger Messung ihrer elektrodermalen Hautreaktion (EDA). Obgleich keiner der Reize einer gegenwärtigen Gefahrensituation entsprach, löste die wiederholte Darbietung von circa 100 Gongschlägen pro Minute bei den Navy-Veteranen in der EDA sichtbare starke emotionale Reaktionen aus. Dieses Signal war während des Zweiten Weltkrieges bei der amerikanischen Kriegsmarine das Signal für „Alle Mann auf Gefechtsstation" und hatte seither keine Bedeutung mehr. In dieser 15 Jahre nach Kriegsende durchgeführten Studie war die mitkonditionierte emotionale Reaktion immer noch deutlich vorhanden und der Unterschied zur Army-Kontrollgruppe war statistisch hoch signifikant.

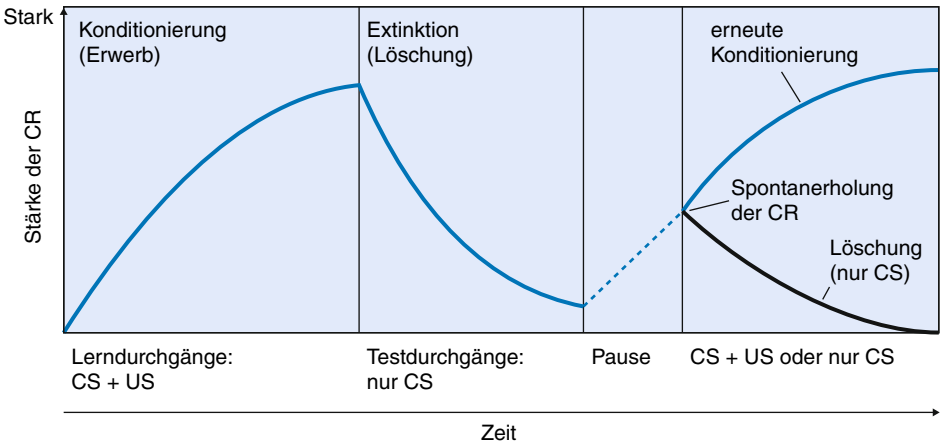


Abb. 7.14 Überblick über den Zusammenhang der einzelnen Schritte der klassischen Konditionierung

Ähnliche Untersuchungen zum Aufbau konditionierter Furchtreaktionen sind auch bei Tieren durchgeführt worden und zeigen, wie viele beliebige, zunächst neutrale Stimuli eine sonst unverständliche Angstbesetzung erlangen können. Konditionierte Furchtreaktionen haben sich als sehr löschungsresistent erwiesen. Selbst wenn die beobachtbaren motorischen Reaktionen vielleicht weitgehend verschwunden sind, bleiben emotionale Reaktionen im autonomen Nervensystem vielfach weiterhin erhalten (► Exkurs 7.8).

Abgebaut werden können solche klassisch konditionierten emotionalen Reaktionen nach dem Prinzip der Löschung oder Extinktion, das wir im nächsten Abschnitt behandeln wollen.

7.3.4 Extinktion (Löschung) und Spontanerholung

Nachdem eine CS–CR-Assoziation gelernt ist, wird der US zur Auslösung der Reaktion eigentlich nicht mehr benötigt. Doch schon Pawlow beobachtete, dass die gelernte Reaktion unter diesen Bedingungen über die Zeit immer schwächer wird, dann aber nach einer Pause erneut verstärkt auftreten kann. Diese Phänomene werden als Extinktion und Löschung bezeichnet.

Extinktion (Löschung)

Siehe ExtinktionBetrachten wir zunächst, was geschieht, wenn der CS (z. B. der Ton) nicht länger den US (das Futterpulver) ankündigt, d. h., wenn nur noch der CS, nicht aber der US gegeben wird. Unter diesen Umständen wird die CR (in unserem Beispiel der Speichelfluss) mit der Zeit immer schwächer und tritt schließlich überhaupt nicht mehr auf. Eine konditionierte Reaktion kann dadurch geschwächt und schließlich scheinbar ganz gelöscht werden, dass der CS wiederholt nacheinander dargeboten wird, ohne dass ihm der unkonditionierte Stimulus US folgt. Wenn die gebildete Assoziation nicht mehr verstärkt (*reinforced*) wird, das heißt, dass der US wiederholt nicht erfolgt, wird die konditionierte Reaktion mit der Zeit immer schwächer, bis sie schließlich ganz ausbleibt (Abb. 7.14). Dieser Prozess wird als **Extinktion** oder als Löschung bezeichnet oder auch nur (und vielleicht richtiger) als Abschwächung, denn es bleibt zunächst die Frage, ob die dargestellte Beobachtung, dass die einmal gelernte Assoziation nicht mehr gezeigt wird, tatsächlich auf ein Verlernen oder Löschen zurückzuführen ist oder vielmehr darauf, dass der Organismus lernt, sie zu hemmen, wenn der CS geboten wird. Bereits Pawlow ging davon aus, dass es sich eher um eine Hemmung handelt.

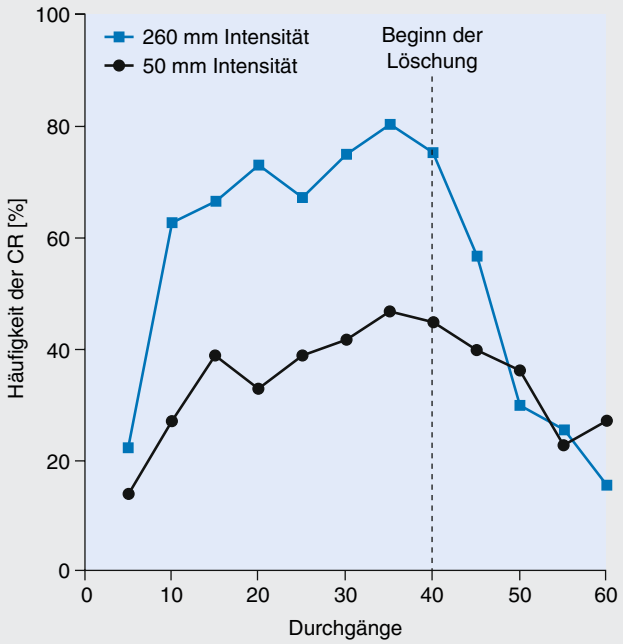
Auch neuere Untersuchungen sprechen sehr dafür, dass der CS eine hemmende Funktion bekommt, die ebenfalls über die Zeit abklingt, wenn sie nicht erneuert wird. Wenn eine Person wiederholt erlebt, dass ein konditionierter angstauslösender Stimulus keine aversiven emotionsauslösenden Folgen mehr hat, geht die konditionierte Furchtreaktion zurück, bis sie schließlich erlischt. Eine eigentlich gewünschte Extinktion erlernter Furchtreaktionen wird aber häufig dadurch umgangen, dass die ängstliche Person vor dem auslösenden CS flieht und damit (1) die Bedingungen der Löschung nicht erfährt und (2) durch die mit der Flucht verbundene Furchtreduktion erneut eine Bekräftigung erhält. Das führt aber in den Bereich der operanten Konditionierung, die in ► Abschn. 7.4 besprochen wird.

Exkurs 7.9

Experiment: Lidschlagkonditionierung

Beschaffen Sie sich eine Pipette oder einen kleinen Blasebalg (Apotheke), mit dem sie einen schwachen Luftstoß erzeugen können. Richten Sie sich so ein, dass Sie damit bei einer zweiten Person gezielt Luftstöße von seitlich auf die Cornea des Auges ausführen können, sodass es bei jedem kurzen Luftstoß (US) zu einer Lidschlagreaktion (UR) kommt. Nun paaren Sie den Luftstoß mit einem Ton- oder Lichtsignal (das zunächst keinen Lidschlag auslöst!), welches Sie jeweils ganz kurz vor dem Luftstoß geben. Dazu eignet sich z. B. ein Trinkglas, das Sie mit einem kleinen Löffel anschlagen (oder eine Blinktaschenlampe). Nach einigen Paarungen löst dann, wenn Sie es richtig gemacht haben, bereits der CS eine Lidschlagreaktion aus, die Sie, wenn gefestigt, auch willentlich nicht mehr unterdrücken können. Die Stärke des Lernens kann in dieser Anordnung als prozentuale Häufigkeit gemessen werden, mit der die CR als Funktion der Häufigkeit der CS-US-Paarungen auftritt. Den Verlauf der Konditionierung und einer anschließenden Löschungsphase (nur CS Vorgaben) können Sie in einer Grafik auftragen, wie in ◘ Abb. 7.15 aus einer Untersuchung von Prokasy et al. (1958, aus Anderson 2000) dargestellt.

◘ **Abb. 7.15** Häufigkeit konditionierter Lidschlagreaktionen während der Erwerbs- und der Löschungsphase bei unterschiedlicher US-Intensität. (Aus Anderson 2000)



Extinktion

Extinktion (Löschung) bezeichnet bei der klassischen Konditionierung das Verschwinden einer konditionierten Reaktion, wenn dem CS kein US mehr folgt, bei der operanten Konditionierung, wenn die gelernte Reaktion nicht mehr bekräftigt wird.

Spontanerholung

Die Beobachtung der sogenannten **Spontanerholung** (*spontaneous recovery*) spricht ebenfalls für die Interpretation, dass der Extinktion ein Hemmungsprozess zugrunde liegt. Wird nämlich nach einer Reihe von Extinktionsdurchgängen eine Pause eingelegt, in der keinerlei Übung erfolgt, so tritt danach bei der ersten Darbietung des CS die konditionierte Reaktion mit einem Teil ihrer ursprünglichen Intensität erneut wieder auf. Oder: Bei erneuten gemeinsamen Darbietungen von CS und US gewinnt die konditionierte Reaktion schneller an Stärke als vor der Pause. Dieses schnellere Wiedererlernen (Phänomen der *Ersparnis*) spricht ebenfalls eher gegen eine echte Löschung. Erst sorgfältiges und oft wiederholtes Extinktionstraining kann die konditionierte Reaktion am Auftreten hindern. Spontane Erholung bezeichnet also das Wiederauftreten einer scheinbar gelöschten konditionierten Reaktion nach einer auf die Löschung folgenden Ruhephase. Offenbar muss der Organismus etwas von der ursprünglichen Konditionierung behalten haben, obwohl die experimentelle Löschung die Ausführung der CR aufgehoben hat.

Spontanerholung

Spontanerholung bezeichnet das Wiederauftreten der zuvor extingierten CR nach einer Ruhephase.

Aus kognitionspsychologischer Sicht lassen sich Aneignung, Löschung und spontane Erholung der klassischen Konditionierung auch einfach so interpretieren, dass der Organismus lernt vorherzusagen, was als Nächstes passieren wird: Wenn die **Vorhersage** erfolgreich ist und wiederholt bestätigt und somit bekräftigt wird (Reinforcement), lernt der Organismus, diese Vorhersage beizubehalten (Aneignung der Assoziation). Wenn sich die Umweltverhältnisse ändern und der CS keinen Vorhersagewert mehr hat (kein Reinforcement), lernt der Organismus, die Vorhersage zu unterdrücken (Extinktion). Ist einige Zeit verflossen, lohnt es sich vielleicht, die Vorhersage erneut zu prüfen (Spontanerholung).

Verdeutlichen Sie sich die Wirksamkeit der Verhaltenskonditionierung anhand von ▶ Exkurs 7.9.

Exkurs 7.10

Genauer betrachtet: Schizokinese am Beispiel

Liddell (1934) beobachtete bei einer aversiven Konditionierung des Beinzurückziehens auf einen elektrischen Schock hin beim Schaf, dass diese Konditionierung auch von Veränderungen der Atmung, der Herzfrequenz und der allgemeinen Aktivität begleitet wurde, die auch später stets zusammen mit der eigentlichen CR auftraten. Diese zusätzlich mitkonditionierten Veränderungen, insbesondere auch aus dem kardiovaskulären Bereich, haben einen hohen Extinktionswiderstand, das heißt, sie bleiben bei der Extinktion der eigentlich konditionierten Reaktion weitgehend erhalten. „Eine Person kann auf eine alte Niederlage oder eine längst nicht mehr existierende Situation reagieren, und sie ist sich gewöhnlich nicht bewusst, wie die Erhöhung ihrer Herzfrequenz oder ihres Blutdruckes zustande kommt" (Gantt 1966). Gantt fährt fort: „Die Tatsache, dass es so schwierig ist, konditionierte Reaktionen zu löschen, macht das Individuum, wenn es älter wird, zu einem regelrechten Antiquariat …", und es bleiben längst wertlos gewordene, oft emotionale Reaktionen über längere Zeit erhalten. Diese Aufspaltung der Komponenten einer komplexen CR und ihre Verselbständigung im Laufe der Zeit wurde als Schizokinese bezeichnet.

Generalisationsdekrement

Ähnlich wie bei dem Aufbau einer konditionierten Reaktion gibt es auch bei der Löschung derselben ein Phänomen, das dem der Reizgeneralisation während des Erlernens einer konditionierten Reaktion entspricht. Beim Extinktionstraining werden auch Reaktionen auf Reize, die nicht direkt dem Extinktionstraining unterliegen, mit abgeschwächt, und zwar proportional ihrer Ähnlichkeit mit dem CS. Dieser Prozess wird als **Generalisationsdekrement** bezeichnet.

Extinktionswiderstand

Eine weitere Komplikation bei der Extinktion konditionierter Verhaltensweisen ist die so genannte **Schizokinese** (Gantt 1966). Bei der Extinktion einer beobachtbaren CR kann es passieren, dass andere, begleitende Reaktionen, insbesondere psychovegetative, nicht gelöscht werden, sondern unabhängig weiterbestehen. (▶ Exkurs 7.10)

Ein markantes Beispiel für die **Extinktionsresistenz** insbesondere gelernter emotionaler Reaktionen ist die bereits erwähnte Untersuchung von Edwards und Acker (1962) an Kriegsveteranen des Zweiten Weltkriegs (▶ Exkurs 7.9). In dieser Studie über die Auswirkung von Gefechtsalarm löste ein Alarmsignal nach über 15 Jahren selbst im Labor noch heftige Reaktionen aus.

Gegenkonditionierung

Praktisch ist es – wie wir sehen – oft schwer, eine einmal gelernte Reaktion wirklich zu löschen, denn die Extinktion führt offensichtlich nur zu einer Abschwächung. In der **Verhaltenstherapie**, die auf den Prinzipien der klassischen und operanten Lerntheorie aufbaut, gelingt dies durch die **Gegenkonditionierung**. Um eine erlernte ungewünschte oder unangemessene Reaktion R 1 (Angst) auf einen bestimmten Stimulus S (ein Objekt oder eine Situation) zu löschen, wird in Gegenwart dieses Stimulus ein anderes, möglichst mit der gezeigten (Angst-)Reaktion unvereinbares, positives Verhalten (R 2) ausgelöst, sodass die gleiche Reizsituation nun zunehmend zum Auslöser der erwünschten Verhaltensweise wird, welche die frühere Reaktion gewissermaßen „verdrängt" (Davison und Neale 1979). Dieses Prinzip der Gegenkonditionierung liegt den verhaltenstherapeutischen Verfahren der systematischen Desensibilisierung, der Implosionstechnik (auch *flooding*) sowie dem aversiven Lernen zugrunde. Bei letzterem wird versucht, die stark verlockenden belohnenden Reize (zum Beispiel beim Drogenmissbrauch) nur gleichzeitig mit unangenehmen Reizen (Erbrechen, Übelkeitsauslösung) zu verabreichen.

Damit haben wir die wichtigsten Funktionsprinzipien der klassischen Konditionierung dargestellt. ◘ Abb. 7.14 gibt einen zusammenfassenden Überblick über den Zusammenhang der einzelnen Schritte. Nach diesen Paradigmen ist eine Vielzahl von Reaktionen bei Tieren und Menschen konditionierbar. Die vielfältigen im Laufe der Jahre durchgeführten experimentellen Untersuchungen zeigten überdies, dass dies auch für viele Reaktionen oder Verhaltenseigentümlichkeiten zutrifft, die weitgehend als nicht erlernbar angesehen wurden. Nach der Darstellung einiger interessanter Beispiele hierzu werden wir uns noch mit einer differenzierteren Interpretation sowie gewissen Einschränkungen und Abgrenzungen der klassischen Konditionierung befassen.

7.3.5 Anwendungsbeispiele

In diesem Abschnitt betrachten wir drei praktische Beispiele zur Wirkungsweise der klassischen Konditionierung. Das erste gibt uns eine einfache Erklärung zum Verständnis des bekannten Placeboeffekts. Das zweite zeigt, wie selbst bei der Immunreaktion des Körpers Konditionierungsprozesse involviert sein können.

Insulinreaktionen und Placeboeffekt

Bei der Behandlung der Zuckerkrankheit (Diabetes mellitus) mit dem Hormon Insulin, das zur Senkung des Blutzuckerspiegels unter die Haut eingespritzt wird, führt die Verabreichung einer Überdosis bekanntlich zu einer allgemeinen Schockwirkung (Insulinschock), die oft bis zur Bewusstlosigkeit geht. Bei Untersuchungen mit Ratten, denen eine Überdosis Insulin (US) mit einer Injektionsnadel (CS) injiziert wurde, kam es bei mehrfacher Wiederholung zu einer klassischen Konditionierung des Insulinschocks. Das heißt, die Ratten verfielen bereits beim Anblick der Injektionsnadel in die schockartige Bewusstlosigkeit (UR). Unter diesen Bedingungen genügte es, den so konditionierten Tieren eine Scheininjektion mit Kochsalzlösung zu verabreichen, um eine völlig gleiche Schockreaktion hervorzurufen. Konditionierungen dieser Art sind erstaunlich stabil und weisen zugleich auf die oft erstaunlichen **Placeboeffekte** bei Behandlungen verschiedenster Art hin. So lässt sich bei der Behandlung mit Schmerzmitteln die wirksame Substanz in den Tabletten für gewisse Zeiten durchaus aussetzen, indem gleichartig aussehende und gleichartig schmeckende Tabletten verabreicht

Exkurs 7.11

Genauer betrachtet: Drogentoleranz

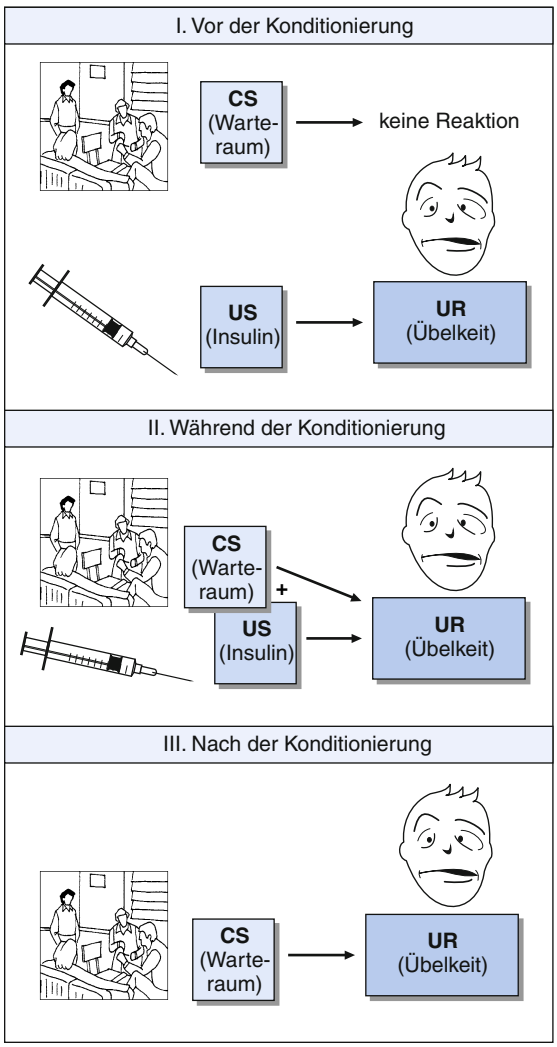
Es wurde schon darauf hingewiesen, dass die gelernte CR nicht unbedingt immer der unkonditionierten Reaktion UR entspricht. Es gibt aber auch Fälle, in denen die konditionierte Reaktion eher dem Gegenteil der ursprünglichen unkonditionierten Reaktion entspricht. Dieses Phänomen ist bei wiederholter Injektion von Morphin zu beobachten. Auch hier wird die Injektion zum CS, während das Morphin den unkonditionierten Stimulus darstellt. Obgleich jedoch die unkonditionierte Reaktion auf die Morphineinnahme (US) eine drastische Reduzierung der Schmerzsensitivität ist (UR), zeigt sich, dass die Personen beim Anblick der Injektion (CS) mit einer Erhöhung der Schmerzempfindlichkeit reagieren. Hier kommt es offenbar zu einer Assoziation des Injektionsvorgangs mit dem zeitlich näher liegenden Schmerzerleben, das verstärkt wird. Das gleiche Funktionsprinzip lässt sich nun auch bei der altbekannten Entwicklung von Drogentoleranz beobachten. Länger dauernde, wiederholte Einnahme von Morphium oder auch anderen Drogen führt dazu, dass die Substanz zunehmend ineffektiver wird und die Dosis gesteigert werden muss, um den gleichen Effekt wie anfangs zu erzielen. Die Entwicklung einer solchen Drogentoleranz ist einerseits, wie bekannt, nur zum Teil die Folge einer physiologischen Reaktion, andererseits aber auch die Folge einer einsetzenden klassischen Konditionierung, die, wie dargestellt, zu einer erhöhten Schmerzempfindlichkeit führt. Das heißt, die Erhöhung der Morphiumdosis wird auch deshalb erforderlich, weil sich die erlebte Schmerzempfindlichkeit zunehmend erhöht. Derselbe Prozess dürfte auch bei der Entwicklung von Drogenabhängigkeit und Drogensucht von Bedeutung sein. Nach wiederholter Injektion, zum Beispiel von Heroin, baut sich ein dem erwünschten Zustand gegenteiliger Effekt auf mit der Konsequenz, dass die Dosis gesteigert werden muss, um die gleiche subjektive Erlebniswirkung zu erlangen (Siegel 1983).

werden, ohne dass die schmerzlindernde Wirkung sich wesentlich reduziert. Aber auch andere, gleichzeitig anwesende Gegenstände, Personen oder die Zeremonie der Behandlung können die Rolle des CS übernehmen (◘ Abb. 7.16).

Bemerkenswert ist bei der Insulinreaktion ferner, dass es sich hier nicht um eine einfache Reaktion, sondern um ein komplexes Muster physiologischer und muskulärer Reaktionen handelt, die zusammengenommen die konditionierte Reaktion ausmachen (▶ Exkurs 7.11).

Konditionierung des Immunsystems

Die bahnbrechende Erkenntnis, dass auch das Immunsystem klassisch konditionierbar ist, geht ebenfalls auf eine Zufallsbeobachtung zurück, die dann systematisch weiterverfolgt wurde. Ratten wie auch andere Tiere lernen sehr schnell über den Geschmack, giftige von ungiftigen Substanzen zu unterscheiden, auch wenn diese angenehm schmecken. Bei einer solchen Untersuchung zur **konditionierten Geschmacksaversion** (*conditioned taste aversion*, CTA) erhielten Ratten zunächst eine angenehm süß schmeckende Saccharinlösung (CS) und kurz darauf das Medikament Cyclophosphamid (US), das bei den Tieren Übelkeit und Erbrechen (UR), also Aversion, hervorruft. So lernen die Tiere sehr schnell, den Konsum der süßen Lösung einzuschränken oder zu meiden. Oft reicht für diese Konditionierung auch eine einmalige schwache Dosis des Medikaments. Wurden nun bei den nachfolgenden Löschungsdurchgängen jeweils größere Mengen des CS (Saccharinlösung) bei den einzelnen Durchgängen gegeben, starben einige Tiere während dieser Löschungsdurchgänge, während derer sie jedoch kein Cyclophosphamid erhielten. Diese Beobachtung führte zur Suche nach möglichen Nebenwirkungen der verwendeten Substanzen. Es zeigte sich, dass der Wirkstoff Cyclophosphamid, der zum Erbrechen führt, außerdem auch auf das Immunsystem wirkt in der Weise, dass die Antikörperbildung gegen Krankheitserreger unterdrückt wird und Todesfälle auftreten können. So war auch verständlich, dass bei längerer Gabe und höherer Konzentration von Cyclophosphamid die Untersuchungstiere häufiger erkrankten und starben, nicht aber, wieso dies in verstärktem Maße während der Löschungsdurchgänge ohne das schädliche Medikament erfolgte. Ader und Cohen (1975) folgerten hieraus, dass die Saccharinlö-

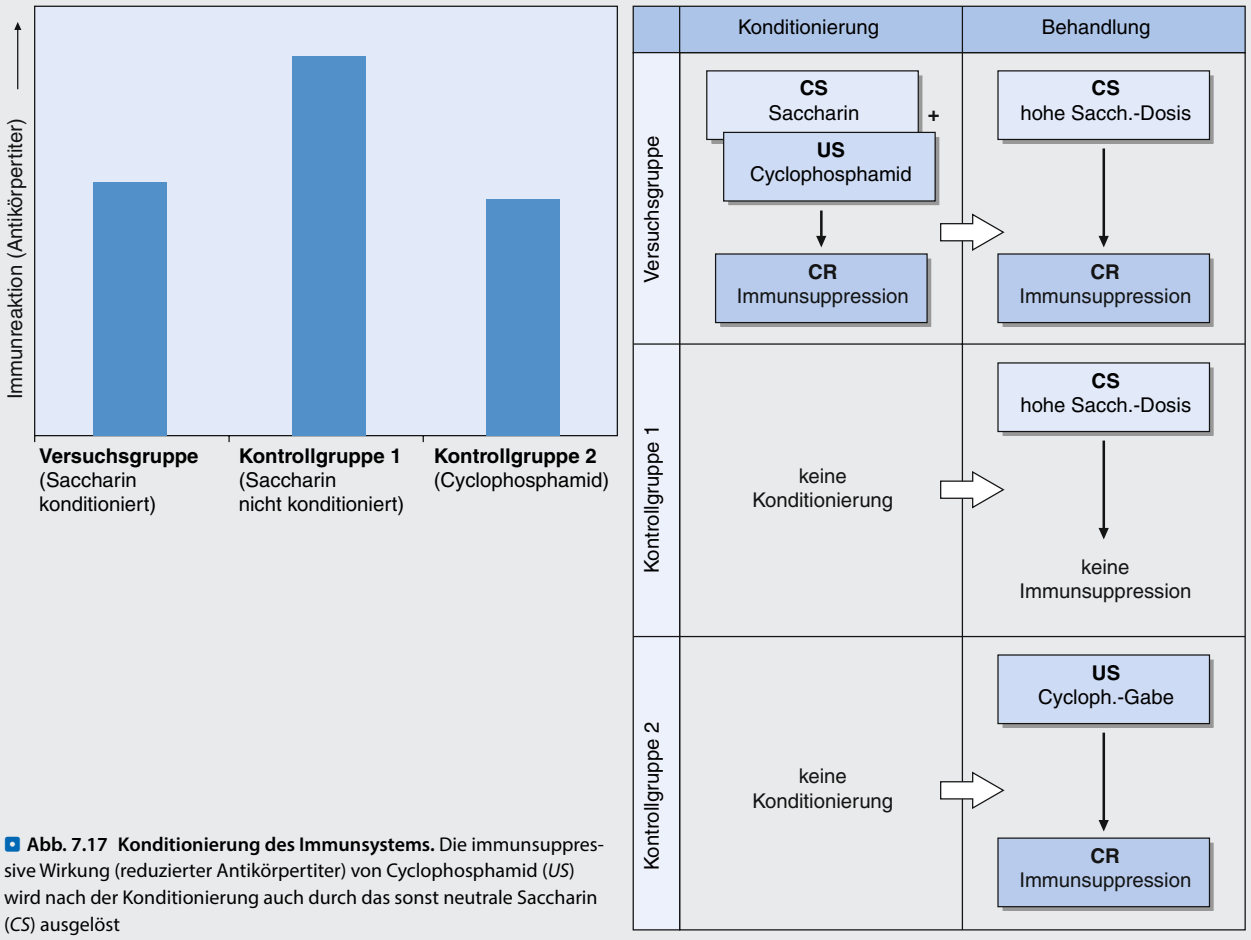


◘ **Abb. 7.16 Erklärungsschema zur konditionierten Übelkeit bei einer Überdosis von Insulin (Insulinreaktion).** In einem zunächst neutralen Warteraum (*CS*) wird (vielleicht unbeabsichtigt) eine Überdosis von Insulin verabreicht (*US*), die zu starker Übelkeit führt (*UR*). Bei einem späteren Besuch in dem gleichen Warteraum kommt es (auch ohne erneute Insulingabe) zu starker Übelkeit

Exkurs 7.12

Genauer betrachtet: Konditionierung der Immunsuppression

In dieser Untersuchung wurden zunächst alle Versuchstiere mit einem artfremden Eiweißstoff (Schafserythrozyten) als Antigen infiziert, wogegen das Immunsystem der Tiere innerhalb von sechs Tagen zur körpereigenen Immunabwehr Antikörper bildet. Die Tiere der Experimentalgruppe wurden nun, wie im vorangehenden Text dargestellt, mit Cyclophosphamid als US und Saccharinlösung als CS konditioniert, während die Kontrollgruppen Cyclophosphamid und Saccharinlösung in zeitlich ungepaarter Abfolge erhielten (keine Konditionierung). Danach erfolgte für beide Gruppen in gleicher Weise eine Behandlung mit wiederholten Gaben der Saccharinlösung (CS) – mit dem Ergebnis, dass dies nur bei den Tieren der Experimentalgruppe, für die die Saccharinlösung ein konditionierter Reiz (auf Immunsuppression) war, zu einer signifikanten Reduktion der Antikörper (auf Schafserythrozyten) führte. Diese Immunsuppression war nahezu gleich stark, wie bei einer weiteren Kontrollgruppe, die direkt mit der immunsuppressiven Substanz behandelt worden war (◘ Abb. 7.17).



◘ **Abb. 7.17 Konditionierung des Immunsystems.** Die immunsuppressive Wirkung (reduzierter Antikörpertiter) von Cyclophosphamid (*US*) wird nach der Konditionierung auch durch das sonst neutrale Saccharin (*CS*) ausgelöst

sung (CS) gleichzeitig zum konditionierten Signal für die Unterdrückung des Immunsystems, eine **Immunsuppression** (UR), geworden ist und somit nun die gleiche konditionierte Reaktion auslöst wie das Cyclophosphamid. Diese Zufallsentdeckung konnten sie in einer weiteren Untersuchung tatsächlich bestätigen (► Exkurs 7.12).

Diese auch in ► Exkurs 7.12 dargestellten Ergebnisse wurden dann auch noch in weiteren Untersuchungen bestätigt. Damit war belegt, dass auch ein vorerst völlig neutraler Reiz (süßes Saccharin) durch konditionierte Assoziation in die Lage versetzt wird, die Antikörperbildung des Immunsystems zu unterdrücken und damit die Anfälligkeit des Organismus gegenüber Krankheiten zu erhöhen.

Obwohl heute noch viele Unklarheiten über den Vorgang der Immunkonditionierung bestehen, steht fest, dass sich unterschiedliche sowohl humorale als auch zelluläre Immunreaktionen konditionieren lassen (Schedlowski et al. 1996). Dabei können sowohl Schwächungen als auch Stärkungen des Immunsystems konditioniert werden, was weitreichende Implikationen für die Erweiterung unseres Wissens mit sich bringt.

7.3.6 Kognitive Faktoren und neuere Entwicklungen

In den vorausgegangenen Darstellungen haben wir die grundlegenden Paradigmen des klassischen Konditionierens kennengelernt und einige Anwendungsbeispiele besprochen. Nun gibt es aber einige neuere Entwicklungen und Überlegungen, die die Wirkungsweise der Konditionierung betreffen. So hat die Forschung seit Pawlows Zeiten versucht, den entscheidenden Faktor des Assoziierens genauer zu bestimmen, von dem es abhängt, ob klassisches Konditionieren überhaupt gelingt. Im Nachfolgenden werden wir uns mit diesen Überlegungen befassen, die zu einem eher kognitiven Verständnis und Modell des Konditionierungsprozesses geführt haben. In einem weiteren ► Abschn. 7.3.7 werden wir dann zwei dieser neueren Modelle der klassischen Konditionierung im Prinzip vorstellen

Vorhersagbarkeit

Bei den vorausgegangenen Darstellungen haben wir konform mit der lange Jahre vorherrschenden behavioristischen Sichtweise der klassischen Konditionierung die zeitliche **Kontiguität** (Zusammentreffen) von CS und US als kritischen und notwendigen Faktor angenommen und vorausgesetzt. Aber bereits Tolman (1932) argumentierte, dass als kritischer Faktor der klassischen Konditionierung zu berücksichtigen sei, was das Tier über mögliche Zusammenhänge *weiß*. Gemäß dieser *kognitiven Sicht* erlangt der Organismus ein Wissen über die Beziehung der Stimuli, das heißt, der Organismus erwartet den US, wenn er den CS wahrnimmt. Dieser hat für ihn durch die Konditionierung eine Vorhersagbarkeit (*predictability*) erhalten. Er sagt gewissermaßen das Eintreten des US voraus. Nach dieser alternativen Sicht ist nicht die zeitlich-räumliche Kontiguität der kritische Faktor bei der klassischen Konditionierung, sondern die notwendige Voraussetzung ist, dass der CS eine **verlässliche Vorhersage** (*reliable predictor*) des folgenden US sein muss. Danach erfordert Konditionierung, dass nach dem Erscheinen des CS eine deutlich höhere Wahrscheinlichkeit dafür besteht, dass nun der US auftritt, als wenn zuvor kein CS geboten wurde. Der US muss also vorhersagbar sein.

Diesen wichtigen Unterschied konnte Rescorla (1967) erstmals in einem Experiment belegen (► Exkurs 7.13). Weiter konnte er gezeigen, dass die Stärke der Konditionierung recht genau dem prädiktiven Wert des CS in der jeweiligen Untersuchungsgruppe entsprach, wobei falsche Alarme (wie in Gruppe A) den Lernerfolg offenbar wenig behindern, während der Konditionierungserfolg durch unangekündigte Schocks (Gruppe B), wo kein Vorhersagewert besteht, gänzlich verhindert wird. Die effektivste Konditionierung erfolgt natürlich in einem Design mit hundertprozentiger Übereinstimmung (Gruppe C), wie es in der Regel auch von Pawlow verwendet wurde. In späteren Untersuchungen konnte Rescorla (1972) ferner zeigen, dass für den Konditionierungserfolg eine verlässlich prädiktive Beziehung zwischen CS und US wichtiger ist als die temporale Kontiguität allein und auch wichtiger als die Häufigkeit, mit der CS und US gekoppelt werden.

Kontiguität

Kontiguität (*contiguity*) bezeichnet das bei der klassischen Konditionierung nach Pawlow notwendige Auftreten zweier Reize in großer zeitlicher und räumlicher Nähe.

Kontingenz

Kontingenz (*contingency*) bezeichnet die verlässliche Vorhersage bei der klassischen Konditionierung. Sie ist gegeben, wenn der CS den US verlässlich (mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit) vorhersagt.

Diese Ergebnisse sprechen dafür, dass der Organismus bewusst oder unbewusst nach einem Optimierungsprinzip handelt, indem er sich nicht nur auf gleichzeitig auftretende Reize (absolute Kontiguität) konzentriert, sondern vielmehr auf Ereignisse (Reize), die dazu neigen, unbedingt kurz vor dem aversiven Stimulus (Schock) aufzutreten (und nicht zu anderen Zeiten), und damit eine möglichst sichere Vorhersage des auftretenden Schocks ermöglichen. Damit ist zugleich eine weitere Erklärung für die bereits erwähnte Beobachtung gegeben, dass die Konditionierung typischerweise am effektivsten ist, wenn der CS dem US kurz vorausgeht.

Emotion und Vorhersagbarkeit

Eine besondere Bedeutung erhält die Vorhersagbarkeit bei mit Emotionen verbundenen Reaktionen. Sagt ein bestimmter Reiz (CS) zuverlässig einen drohenden Schmerz, eine drohende Gefahr voraus, so beinhaltet das Ausbleiben dieses CS vorher, dass auch der Schmerz ausbleibt. Damit wird das Ausbleiben des CS zum **Signal für Sicherheit**. Wenn solche Signale aber unberechenbar oder irreführend werden, kann es zu schweren emotionalen Folgen kommen. Wenn Ratten einen verlässlichen Prädiktor für einen kommenden Schock besitzen, reagieren sie nur dann ängstlich, wenn das Gefahrensignal vorliegt. Anderenfalls sind sie ununterbrochen ängstlich und können bei diesem Dauerstress sogar Magengeschwüre bekommen (Seligman 1975) Auch beim Menschen gibt es deutliche Parallelen. Beispielsweise kann ein Zahnarzt besonders bei Kindern die ständige Angst vor Schmerz dadurch mindern, dass er jeden drohenden Schmerz ankündigt. Wenn er aber ständig versichert, dass es nicht wehtun werde, obwohl es manchmal doch wehtut, verfügt das Kind weder für Gefahr noch für Sicherheit über ein zuverlässiges Signal und wird Angst haben, sobald es die Praxis betritt (► Kap. 12).

Blockierung und Verdeckung

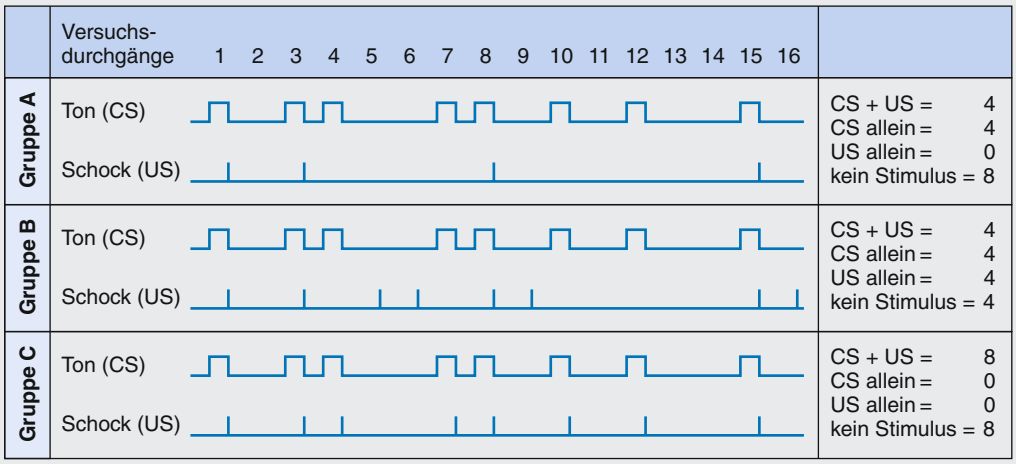
Ein besonderes Phänomen im Rahmen der klassischen Konditionierung ist das der **Blockierung**. Es besteht darin, dass ein möglicher CS, wenn er redundant ist, das heißt, wenn er keine zusätzliche Information für den Organismus enthält als die, die ihm bereits ohnehin bekannt ist, nicht konditioniert wird. Die Entdeckung dieses Phänomens geht auf Kamin (1969) zurück. Das Paradigma seines Experimentes wird in ► Exkurs 7.14 vorgestellt.

Exkurs 7.13

Genauer betrachtet: Rescorlas Beleg

Kernpunkt dieser an Hunden am Beispiel einer **aversiven Vermeidungsreaktion** durchgeführten Untersuchung waren zwei Versuchsgruppen mit einer entsprechend unterschiedlichen CS-US-Verknüpfung. Das Prinzip ist schematisch in ◘ Abb. 7.18 dargestellt. In beiden Versuchsgruppen wurden die Hunde einer gleichen Folge von Tonsignalen (CS) ausgesetzt. Als US diente ein leichter elektrischer Schock. Die Anzahl der zeitlich *kontingenten Paarungen* von Ton und Schock war für beide Gruppen identisch. Der entscheidende Unterschied (unabhängige Variable) bestand darin, dass in Gruppe A jedem Schock ein Tonsignal vorausgeht, während in Gruppe B dem Schock mit gleicher Wahrscheinlichkeit entweder ein Ton oder kein Ton vorausgeht, sodass hier auch gleich viele Schocks ohne Vorwarnung erfolgen (verminderte Kontingenz). In dieser Weise erreichte Rescorla (1972), dass in Gruppe A das Tonsignal (CS) ein nützlicher (wenn auch nicht perfekter) **Prädiktor** für den kurz darauf folgenden Schockreiz war, während in Gruppe B das Tonsignal für die Vorhersage des nachfolgenden Schockreizes wertlos war. Unter diesen Bedingungen (Gruppe A) entwickelten die Tiere tatsächlich eine konditionierte Reaktion auf den CS, nicht jedoch in Gruppe B.

Eine prädiktionsbasierte Konditionierung wäre für den Organismus von besonderem adaptivem Wert, wenn die konditionierte Reaktion einen Vorbereitungsvorteil hinsichtlich des zu erwartenden Reizes mit sich brächte. Tatsächlich lassen sich konditionierte Reaktionen mitunter genau so interpretieren: Das konditionierte Speicheln erhöht die Bereitschaft schneller Nahrungsaufnahme (in freier Wildbahn möglicherweise ein Überlebensvorteil), der konditionierte Lidschluss schützt das Auge vor einer zu erwartenden Einwirkung (siehe auch *Zusatztext online*).



◘ **Abb. 7.18 Schematisch dargestellt ist der Versuchsverlauf der drei wichtigsten Untersuchungsgruppen über je 16 Trials.** Nur in Versuchsgruppe C wird jeder CS von einem US gefolgt (CS + US = 100 % Übereinstimmung). In den anderen Gruppen erfolgt in einigen Trials nur ein CS oder ein US allein. Ferner gibt es in jeder Gruppe Trials, in denen weder ein CS noch ein US erfolgt. Ganz *rechts* sind diese Angaben in Zahlen zusammengefasst. Die Zahl der Trials mit CS und US zusammen sowie nur mit CS allein ist in den ersten beiden Gruppen identisch, aber sie unterscheiden sich hinsichtlich der Trials, in denen der US allein erfolgt. Nur in Gruppe B erfolgt der US auch allein ohne Vorankündigung (Prädiktor). Während also in Gruppe A der CS einen nützlichen (wenn nicht perfekten) Prädiktor für den sofort folgenden US darstellt (ebenso wie in Gruppe C), ist der CS in Gruppe B praktisch ohne Vorhersagewert. Nur in Gruppe B, wo es nicht vorhergesagte Schocks gibt, erfolgt keine Konditionierung

Kamin folgerte aus diesen Beobachtungen, dass Konditionierung nur dann auftritt, wenn der bedeutsame Reiz (US) den Organismus überrascht, was dazu führt, dass er in seinem Gedächtnis nach einem Reizereignis sucht, das eine Vorhersage ermöglicht.

Bei der Blockierung werden zwei Reize CS 1 und CS 2 gleichzeitig dargeboten, von denen einer bereits gelernt war. Der zweite, jeweils neu hinzugekommene, ist überflüssig, da er keine zusätzliche Information über das Auftreten des US liefert, und wird nicht gelernt.

Das Phänomen der Blockierung lässt sich auch als eine Art **Verdeckung** auffassen, die von der vorhergehenden Erfahrung herrührt. Ähnlich tritt Verdeckung auch dann auf, wenn ein Reiz, der auffälliger oder intensiver ist, zur Wirkung kommt und einen anderen, schwächeren verdeckt, auch wenn dieser ebenfalls ein gleichwertiges prädiktives Signal darstellt (Mackintosh 1975).

Beachte: Das Paradigma der Blockierung sollte nicht, obgleich sehr ähnlich, mit dem Paradigma der *Konditionierung zweiter Ordnung* verwechselt werden. Bei Letzterem ist der CS 2 ein (Vorhersage-)Signal für den CS 1, der zuvor mit dem US gepaart wurde. Bei der Blockierung werden beide Reize, CS 1 und CS 2, gleichzeitig dargeboten. Einer von ihnen, der jeweils neu hinzugekommene, ist überflüssig, da er keine zusätzliche Information über das Auftreten des US liefert. Zusammengenommen folgerten Rudy und Wagner (1995), dass die Möglichkeit eines jeden Reizes, zum Signal zu werden, abhängig ist von der Gegenwart anderer Reize, die ebenfalls zu Signalen werden könnten.

Exkurs 7.14

Genauer betrachtet: Blockierung – das Experiment von Kamin

In einer ersten Phase des Experiments (Abb. 7.19) lernen die Individuen der Experimentalgruppe eine Konditionierung zwischen dem Tonreiz (CS 1) und einem Schockreiz (US), während die Kontrollgruppe in dieser Phase kein Training oder ein für das Phänomen irrelevantes Training erhält.
In der zweiten Phase erhalten sowohl Experimentalgruppe als auch Kontrollgruppe in gleicher Weise wiederholt gleichzeitig einen Licht- und einen Tonreiz, das heißt einen zusammengesetzten (***Compound*-**) **Stimulus oder Verbundreiz**, dem jeweils wieder ein Schock als US folgt. Obwohl diese Situation für beide Gruppen gleich scheint, ist das Tonsignal nur für die Experimentalgruppe redundant und bringt hier keine neue Information, sodass sie ohne Schaden ignoriert werden kann. Nicht so in der Kontrollgruppe, für die der zusammengesetzte CS (Licht- und Tonreiz) informativ ist und den US voraussagt.
In der dritten Phase (Testphase), in der nur der Licht alleine dargeboten wird, zeigt sich, dass die Individuen der Kontrollgruppe, wie zu erwarten, die konditionierte Reaktion ausgebildet haben, während die Individuen der Experimentalgruppe so gut wie keine Reaktion auf den Lichtreiz zeigen, das heißt, sie haben offenbar keine Assoziation zwischen Licht und Schock gebildet. Bei ihnen „blockiert" offenbar die vorher gelernte Ton-Schock-Assoziation das Lernen der neuen (redundanten) Ton-Schock-Assoziation. Dass auch der neue Reiz den unkonditionierten Reiz signalisiert, wird offenbar nicht gelernt, wenn der neue Reiz zusammen mit einem bekannten Reiz dargeboten wird, der sich bereits als effektives Vorhersagesignal erwiesen hat (Kamin 1969).

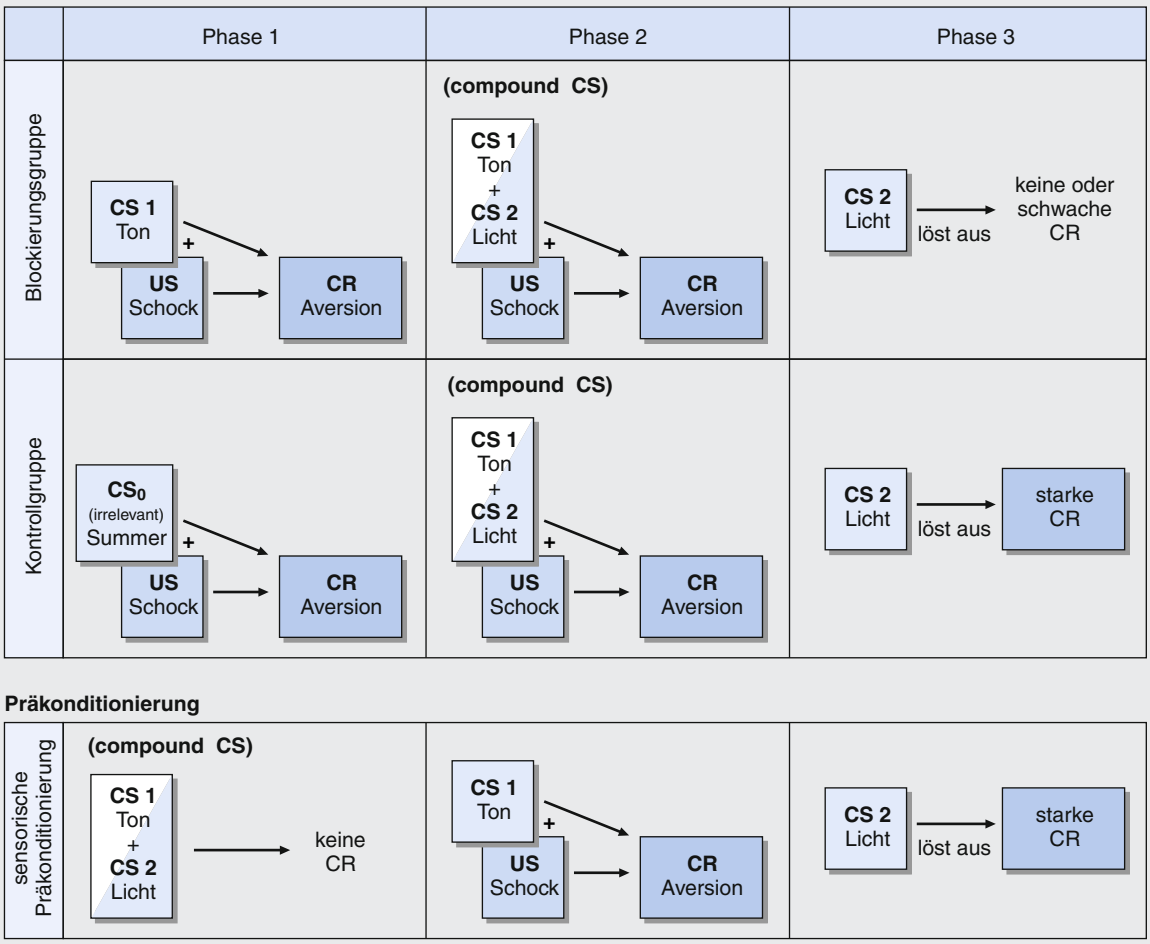


Abb. 7.19 Das Paradigma der Blockierung. In Phase 1 lernen die Versuchspersonen beider Gruppen eine konditionierte Reaktion – in der „Blockierungsgruppe" auf einen Ton und in der Kontrollgruppe auf einen Summer. In der Phase 2 wird beiden Gruppen ein Ton und ein Lichtreiz zusammen dargeboten, wiederum gefolgt von einem Schock. Der Lichtreiz liefert der Gruppe mit der Blockierungsbedingung keine neue Information und wird folglich ignoriert (Phase 3). Die Versuchspersonen der Kontrollgruppe jedoch lernen eine neue konditionierte Reaktion auf Ton plus Lichtreiz. In Phase 3, in der nur der Lichtreiz dargeboten wird, reagieren die Versuchspersonen aus der Blockierungsgruppe nur schwach. Das zeigt, dass in Phase 2 keine Assoziation zwischen Licht und Schock gebildet wurde. Die Kontrollgruppe jedoch zeigt starke Reaktionen, was auf die Existenz einer konditionierten Assoziation hinweist

Präkonditionierung

Eine weitere interessante, kognitive Überlegungen einbeziehende Beobachtung ist die der **assoziativen Konditionierung** oder **sensorischen Präkonditionierung** (◘ Abb. 7.19 unten). Hier werden in der ersten Phase der Untersuchung zunächst zwei neutrale Reize (Licht und Ton) gepaart, ohne dass sie eine sichtbare Reaktion auslösen (sie beinhalten ja auch keinerlei Vorhersage). In der zweiten Phase wird dann einer von ihnen, zum Beispiel der Ton (CS 1), mit einem starken US (Schock) gepaart, was zu einer konditionierten Reaktion führt. In der dritten Phase wird der Lichtreiz (CS 2) allein dargeboten. Er löst ebenfalls die CR aus, obgleich er niemals mit dem Schock gepaart wurde. Der CS 2 ist offenbar ebenfalls zum Prädiktor für den US geworden. Die latente Assoziation in der ersten Phase, die sensorische Präkonditionierung, wird erst später durch die Neubewertung des anderen Reizes (CS 1) sichtbar (latentes Lernen).

Im Gegensatz zur Blockierung und der Konditionierung höherer Ordnung werden bei der sensorischen Präkonditionierung (in der ersten Phase) zwei neutrale Reize ohne US (Schock) gepaart, bevor einer von ihnen mit dem US konditioniert wird. Erst danach wird die zuvor nur latente Konditionierung sichtbar.

7.3.7 Modelle klassischer Konditionierung

Beobachtungen wie die der Blockierung und der Präkonditionierung, die nicht mit einer reinen Kontiguitätsannahme übereinstimmen, führten zur Entwicklung weiterer Modelle der klassischen Konditionierung,

Rescorla-Wagner-Modell

Aufgrund der unter bestimmten Bedingungen nachgewiesenen Bedeutung der Vorhersagbarkeit entwickelten Rescorla und Wagner (1972) ein erweitertes Modell der klassischen Konditionierung, das später verschiedene kognitive Abwandlungen erfahren hat. Das **Rescorla-Wagner-Modell** nimmt an, dass klassisches Konditionieren in der zunehmenden Bildung von *Assoziationen* zwischen CS und US besteht. Es geht davon aus, dass die Stärke des Konditionierungseffekts (der Assoziationsbildung!) eines jeden einzelnen Trainingsdurchgangs von dem jeweils noch bestehenden Überraschungswert (Nichtvorhersagbarkeit) des US abhängt. Je weniger das Auftreten eines US (wie am Anfang der Konditionierung) durch den Organismus vorhersagbar ist, desto größer ist der Konditionierungseffekt (Lernfortschritt) des jeweiligen Trainingsdurchgangs. Dies entspricht auch dem Verlauf der Lernkurve. Vor jeder Konditionierung tritt der US zunächst völlig unerwartet auf und wird noch von keinem CS vorhergesagt. Entsprechend sind die ersten Lernschritte der Konditionierung hoch (◘ Abb. 7.7). Im Laufe des Konditionierungstrainings erhält der verwendete CS einen höheren Vorhersagewert, womit der Konditionierungsbeitrag eines jeden weiteren Durchgangs entsprechend geringer wird und damit der Bedarf einer besseren Vorhersage gegen null geht. Daraus resultiert eine weitere erklärende Annahme des Modells. Es geht zweitens davon aus, dass die Vorhersagbarkeit des US bei jedem Versuchsdurchgang durch die Anwesenheit aller (möglichen) CS bestimmt wird. Diese stehen gewissermaßen mit der Güte, den US vorherzusagen, in Konkurrenz. Hat sich während eines Konditionierungstrainings ein CS 1 (zum Beispiel ein Ton) bereits als zuverlässige Vorhersage des CS (Schock) bewährt, so wird ein dann gleichzeitig gebotener CS 2 (Licht), auch wenn er die gleiche Vorhersage hat, umso weniger konditioniert werden, wie der CS 1 diese Rolle bereits übernommen hat. Mit dieser Annahme lässt sich, wie ersichtlich, auch das dargestellte Phänomen der *Blockierung* sowie der sensorischen *Präkonditionierung* erklären.

In der Folgezeit hat auch dieses Modell verschiedene Abwandlungen in der Interpretation erfahren. So wird in einem **Modell nach Wagner** (1981) die Bedeutung des **Kurzzeitgedächtnisses**, in welchem Lernwiederholungen ablaufen und welches bei jedem Lernen eine kritische Rolle spielt (▶ Kap. 8), in den Vordergrund gerückt.

Danach lassen sich die eben dargestellten Schritte der klassischen Konditionierung auch folgendermaßen beschreiben: Solange der US noch unerwartet auftritt, bedarf es einer aktiven Wiederholung – eines **Rehearsal** – im Kurzzeitgedächtnis zur Festigung der CS-US-Verbindung, was, wie vermutet wird, zu der Aneignung der konditionierten Reaktion führt. Entsprechend nimmt bei zunehmender Vorhersagbarkeit das Wiederholen im Kurzzeitgedächtnis ab, und der jeweilige Lernfortschritt wird geringer. Dies würde dann ebenfalls das Phänomen der Blockierung erklären, denn wenn der US genügend vorhersagbar ist, findet kein Rehearsal mehr statt, und es können sich so keine neuen Assoziationen mehr zu dem US bilden (Wagner 1981). Ein weiterer potenzieller Vorhersagereiz, CS 2, wird nun keine neue Suche im Kurzzeitgedächtnis mehr auslösen.

Modell des Hypothesentestens

Das Prinzip der klassischen Konditionierung lässt sich auch als ein **Generieren und Testen von kognitiven Regeln** auffassen. Sobald ein Organismus sich in der klassischen Konditionierungssituation befindet und erfährt, dass ein CS (Licht) von einem vorher unerwarteten CS (Schock) gefolgt wird, generiert er nun die (Vorhersage-)Regel „Wenn Licht – dann Schock". Jeder Konditionierungsdurchgang, der eine Bestätigung der Vorhersage bringt, wird zu einer Stärkung, jede falsche Vorhersage zu einer Schwächung des Beibehaltens der Regel führen. Auch dieses Modell baut darauf, dass Vorhersagbarkeit nötig ist, wenn Konditionierung erfolgen soll, da nur die richtigen Vorhersagen die Regel stärken. Das Modell könnte auch das Phänomen der Blockierung erklären, denn sobald und solange eine erlernte Regel den US zuverlässig genug vorhersagt, wird der Organismus keine neue Regel generieren und keinen neuen gleichartigen CS erlernen.

Solche **kognitiven Erklärungsansätze** postulieren im Gegensatz zu Pawlows Ansatz ein kognitives Einschätzen des jeweiligen Informationswertes der vorangehenden Stimuli, und diese Einschätzungen beeinflussen den Lernverlauf. Wie weit ein solches kognitives Vorgehen Bewusstseinsvorgänge („Kognition") voraussetzt, wird zumeist nicht diskutiert. Es zeigt aber zumindest deutlich den Übergang zu unseren bewusst vorgenommenen Enscheidungs- und Zuordnungsprozessen wie dem der **Attribuierung**, bei der Objekten oder Ereignissen bestimmte Merkmale zugewiesen werden.

Exkurs 7.15

Genauer betrachtet: Unterschiedliche Lernbereitschaft (Preparedness)

Diesen Unterschied der Lernbereitschaft in verschiedenen Funktionskreisen (wie dargelegt bei Sehen oder Schmecken) konnten Wilcoxon et al. (1971) eindrücklich experimentell demonstrieren. Sie verabreichten in gleicher Weise verschiedenen Tierarten, Ratten und Wachteln, eine blaue und salzige Flüssigkeit (*compound stimulus*), die bei beiden Arten Übelkeit (US) erzeugte. In der zweiten Phase des Experiments konnten die Tiere zwischen salzigem und blauem Wasser wählen. Die Ratten mieden das salzige, die Wachteln hingegen das blaue Wasser. Offenbar lernen die Tiere aus dem vorgegebenen *compound stimulus* CS (CS 1 + CS 2) gemäß ihrer artspezifischen Preparedness nur den Anteil, der ihren möglicherweise genetisch vorgegebenen oder *built-in*-Möglichkeiten (eingebauten) entspricht. Oder andersherum: Es gibt biologische Einschränkungen (Constraints) des Lernens beziehungsweise der Lernkapazität eines jeden Organismus, die auf mangelnde (zum Teil genetisch bedingte) sensorische, motorische oder kognitive Fähigkeiten zurückgehen.

7.3.8 Biologische Einschränkungen

Schon bei der Besprechung der Habituation haben wir gesehen, dass es bei Tieren Unterschiede in der Lernbereitschaft gibt. Dies gilt auch für den Menschen, wenngleich wohl die meisten Untersuchungen an Tieren durchgeführt wurden. Es zeigte sich, dass es bei allen Organismen biologisch (genetisch) bedingte Einschränkungen (Constraints) wie die der **Lerndisposition** (**Preparedness**) gibt, wodurch begrenzt wird, was ein Organismus überhaupt durch Konditionierung lernen kann.

Lerndispositionen

Es ist das Verdienst der **Ethologie** (Tierverhaltensforschung, Verhaltensbiologie), mit ihren Untersuchungen darauf aufmerksam gemacht zu haben, dass die Lernfähigkeit einer jeden Tierart ein Ergebnis seiner stammesgeschichtlichen Anpassung ist und dass wir demzufolge mit **artspezifischen Lerndispositionen** zu rechnen haben, die jeweils eng mit der natürlichen Umwelt und der besonderen Lebensweise der Art verknüpft sind. Hiernach gibt es für verschiedene Tierarten unterschiedliche Bereiche hoher Lerndisposition, die mehr oder weniger eng in dem genetisch vorgegebenen Rahmen angeborenen Verhaltens eingebettet sind. So lernen zum Beispiel Mäuse und Ratten sehr schnell, sich in einem künstlichen Gangsystem zurechtzufinden (was ihrem natürlichen Lebensraum entspricht), während vielleicht Katzen dabei erhebliche Schwierigkeiten hätten. Aber auch Psychologen stießen darauf, dass manche Reiz-Reaktions-Verbindungen schon nach wenigen Durchgängen gelernt werden, während andere schwer oder überhaupt nicht konditionierbar waren. Das führte Seligman (1971) zu der Annahme, dass Organismen für verschiedene Reiz-Reaktions-Verbindungen von Natur aus unterschiedlich gut „vorbereitet" (*prepared*) sind und dass diese unterschiedliche **Lernbereitschaft** (**Preparedness**) eine Grundeigenschaft lebender Organismen einschließlich des Menschen ist, die für die unterschiedlichen Lernleistungen in den verschiedenen Funktionskreisen des Verhaltens verantwortlich ist. Ratten und Mäuse, an Dunkelheit angepasst, lernen giftige Substanzen eher aufgrund ihres Geruchs und Geschmacks zu meiden als aufgrund ihres Aussehens. Vögel dagegen lernen Reizassoziationen schneller und besser im visuellen Bereich (► Exkurs 7.15).

Geschmacksaversionskonditionierung

Solche Einschränkungen der klassischen Konditionierbarkeit wurden insbesondere bei der **Geschmacksaversionskonditionierung** deutlich. Nach der klassisch-behavioristischen Auffassung sollte, wie eingangs dargestellt, jeder beliebige, zunächst neutrale Reiz die Rolle eines CS für die Ankündigung eines beliebigen US werden können. Diese Generalisierung stößt jedoch auf Grenzen, wie das Experiment in ► Exkurs 7.16 verdeutlicht, in welchem sich zeigte, dass Ratten eine Nahrungsaversion nur dann leicht lernen, wenn der CS ein Geschmacksreiz, nicht aber ein Licht- oder Tonsignal ist. Sie lernen umgekehrt eine Schockaversion (Schockvermeidung) nur auf Licht- oder Tonreize als CS, nicht aber auf einen Geschmacksreiz.

Die Konditionierung ist also nicht, wie man lange annahm, allein von der beliebigen Kombination verschiedener, zunächst neutraler Reize und konditionierbarer Reaktionen abhängig, sondern weitgehend auch von der (vielfach genetischen) Disposition eines Organismus, bestimmte Reizeigenschaften mit bestimmten Reaktionen zu verbinden (Barker et al. 1978), wobei es sich offenbar um Zusammengehörigkeiten der Reize in bestimmten Funktionskreisen handelt.

Nach den Untersuchungen von Seligman (1971) besteht für jeden Organismus ein Kontinuum der Bereitschaft für verschiedene **Reiz-Reaktions-Verbindungen**, die von Instinkthandlungen über vorbereitete oder auch unvorbereitete Handlungen bis zu Assoziationen reicht, die der angeborenen Verhaltenstendenz des Organismus entgegenstehen (*contrapreparedness*). Auch konnte er darlegen, dass sich bei gut vorbereiteten Reiz-Reaktions-Verknüpfungen kürzere Lernzeiten (weniger Lerndurchgänge) und höhere Löschungsresistenzen finden. Ähnliche, möglicherweise genetisch oder durch frühe Sozialisation bedingte Unterschiede lassen sich auch bei Menschen hinsichtlich der Lernbereitschaft in verschiedenen Lernfeldern beobachten.

7.3.9 Neuronale Basis elementarer Lernprozesse und *Aplysia*-Modell

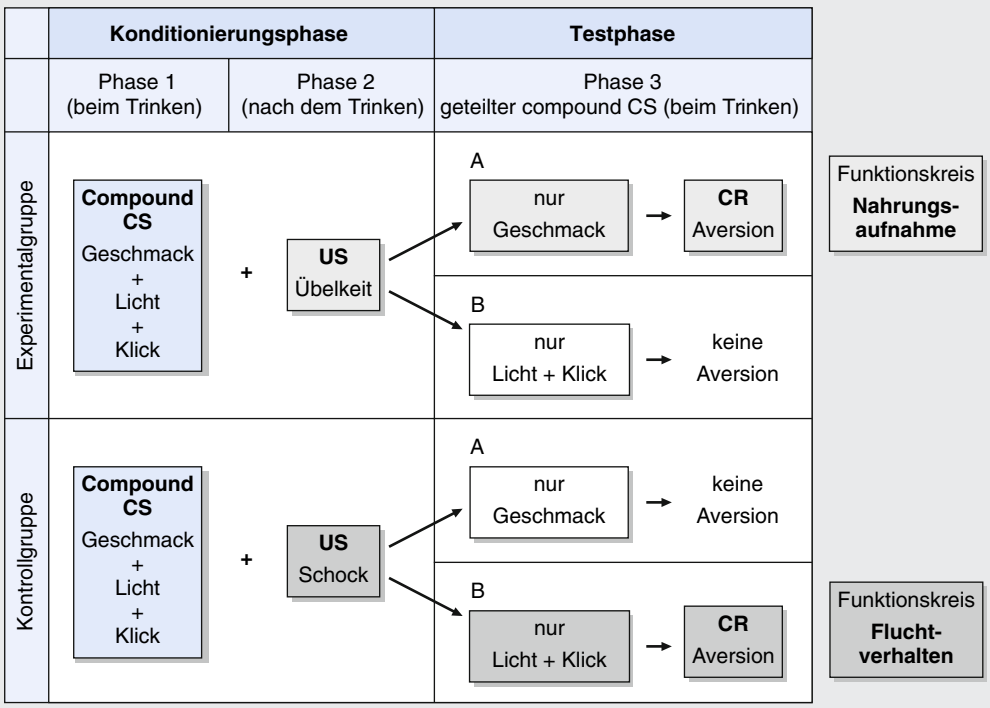
Beim Studium verschiedener Arten einfacher Lebewesen stieß man auf erstaunlich gleichartige makro- und mikromolekulare Prozesse, die durch nicht assoziatives wie auch assoziatives Lernen hervorgerufen werden. Das führte zu der in der Biopsychologie vertretenen Annahme, dass die komplexen Vorgänge assoziativen Lernens höherer Organismen als Variationen eines oder weniger fundamentaler neurophysiologischer Vorgänge verstanden werden können und, ähnlich wie in der Genetik – wo unsere auch für den Menschen geltenden Kenntnisse wesentlich aus

Exkurs 7.16

Genauer betrachtet: Geschmackaversionskonditionierung

Die Geschmacksaversionskonditionierung wurde ausführlich von Garcia und Koelling (1966) untersucht. In ihren bekannten Untersuchungen konnten in der ersten Versuchsphase alle Ratten zunächst an einem Nippel eine wohlschmeckend süße Flüssigkeit lecken, wobei gleichzeitig jedes Mal ein Licht und ein Klickgeräusch dargeboten wurden. So erhielten die Tiere gleichzeitig drei Reize als mögliche CS (*compound*-CS; ◘ Abb. 7.20). Unmittelbar anschließend (Phase 2 des Experiments) bekamen die Tiere der Experimentalgruppe eine Substanz injiziert, die Übelkeit hervorruft. In Phase 3 des Experiments konnten die Tiere nochmals an demselben Nippel lecken, aber unter unterschiedlichen Voraussetzungen: Einmal hatte die Flüssigkeit in dem Nippel den gleichen Geschmack wie bei der Konditionierung, aber es gab kein Licht- oder Tonsignal. In anderen Durchgängen hatte die Flüssigkeit keinen Geschmack, aber es wurden gleichzeitig die konditionierten Stimuli „Klick" und „Licht" gegeben. Ergebnis: Nur wenn die Flüssigkeit einen süßen Geschmack hatte, vermieden die Tiere die Flüssigkeit (daher „Geschmacksaversion"), nicht aber in der Situation, in der die Flüssigkeit gleichzeitig mit dem audiovisuellen Reiz (Klickgeräusch und Licht) geboten wurde. Folglich haben diese Ratten aus dem Compoundreiz nur den CS „Geschmack" mit dem Gefühl der Übelkeit verbunden, also nur mit einem Stimulus, der wie bei uns dem natürlichen **Funktionskreis** der Nahrungsaufnahme zugehört.

Dass aber Licht und Klickgeräusch in diesem Konditionierungszusammenhang keine schwächeren CS sind, sondern vielmehr nur zu einem anderem Verhaltens- Funktionskreis zugehören, zeigte die folgende Kontrolluntersuchung (◘ Abb. 7.20, unten). Hier erhielten die Ratten zunächst in der ersten Versuchsphase die gleichen Bedingungen wie die Experimentalgruppe. In der zweiten Phase jedoch wurde bei ihnen keine Übelkeit ausgelöst, sondern sie erhielten einen milden aversiven Schock als US. Unter diesen Bedingungen vermieden die Tiere in der dritten Versuchsphase die Flüssigkeit nur dann, wenn als CS gleichzeitig Licht und Klickgeräusche dargeboten wurden, jedoch nicht, wenn der Geschmack alleine als CS vorhanden war (Garcia und Kölling 1966). In diesem Fall stammen alle Reize aus dem Funktionskreis des Fluchtverhaltens. Bemerkenswert ist, dass die Geschmacksaversions-CR bereits nach einmaliger CS-US-Paarung auftritt (*one-trial-learning*) und auch bei zeitlicher Verzögerung von bis zu 24 h stattfindet.



◘ **Abb. 7.20** Veranschaulichung der im Exkurs beschriebenen Konditionierungsbedingungen

dem Studium der kleinen Fruchtfliege *Drosophila* resultieren –, greift man auch bei der Untersuchung der neuronalen Basis des Lernens und Gedächtnisses auf die Untersuchung synaptisch extrem einfach aufgebauter Nervensysteme zurück. Beispielhaft gelten heute die an der kalifornischen Meerschnecke ***Aplysia*** (mit „nur" etwa 20.000 Neuronen) untersuchten zellulären Prozesse einfachen Lernens. Hier zeigt sich, dass die bereits beschriebenen einfachen Formen des Lernens, nämlich *Habituation*, *Sensibilisierung*, *klassische* wie auch *instrumentelle Konditionierung*, physiologisch eng miteinander verbunden sind.

Die ◘ Abb. 7.21 veranschaulicht die bei *Aplysia* untersuchten einfachen motorischen Reaktionen. Wird das Mantelgerüst (*Mantelshelf*) oder das Saugrohr (*Siphon*) durch Berührung taktil gereizt, so kontrahieren sich jeweils Siphon, Mantelgerüst und Kiemen (*gill*). Diese einfache, zunächst unkonditionierte Abwehrreaktion zeigt sowohl Habituation wie auch Sensibilisierung, und sie lässt sich über die taktile Reizung (CS) des Siphons oder des Schwanzes konditionieren. Die diesen Prozessen zugrunde liegenden neuronalen Schaltkreise veranschaulichen die nachfolgenden Abbildungen. Durch die Stimulation zum Beispiel des Siphons werden 24 sensorische Neurone aktiviert.

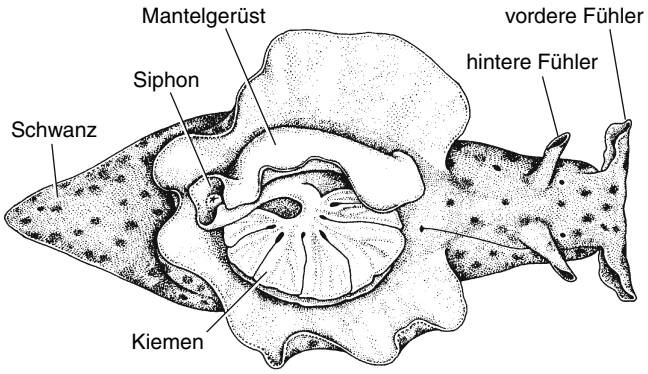


Abb. 7.21 Die Meeresschnecke *Aplysia*

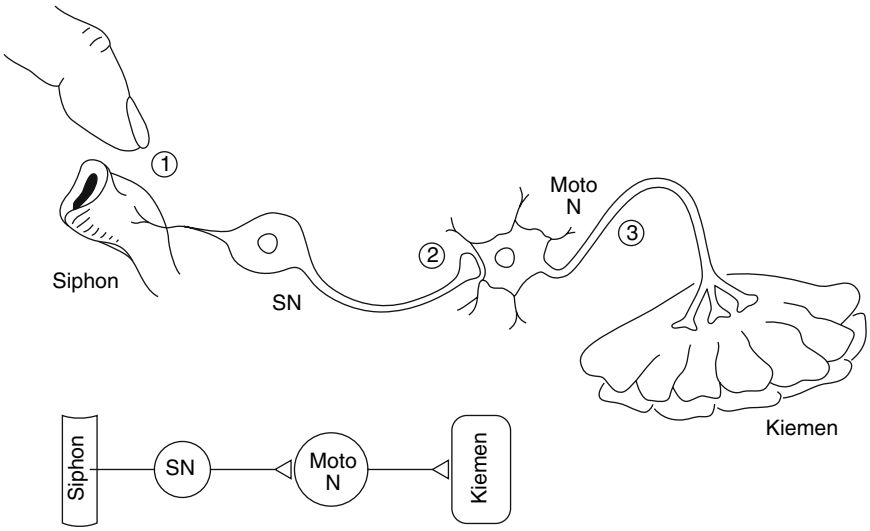


Abb. 7.22 Mechanismus der Habituation. (1) Jede Berührung des Siphons aktiviert die sensorischen Neurone (*SN*) vollständig. Es werden gleich bleibend viele Aktionspotenziale (*APs*) weitergeleitet. (2) Pro AP gelangen aber immer weniger CA^{++} in den synaptischen Endknopf, und entsprechend weniger Neurotransmitter werden in den Spalt ausgeschüttet. (3) Es werden weniger APs im Motoneuron (*Moto N*) ausgelöst, der Kiemenmuskel kontrahiert immer weniger stark. Der Kiemenrückziehreflex habituiert

Jedes von diesen aktiviert wiederum sechs Motoneurone in den Kiemen, die ihrerseits die sich kontrahierenden Muskeln innervieren. Die vereinfachte prinzipielle Struktur dieses Systems ist in Abb. 7.22, 7.23 und 7.24 (mit je nur einem Neuron) dargestellt.

Neuronale Habituation

Wird im Experiment der Siphon mehrfach hintereinander etwa alle 30 s durch leichte Berührung gereizt, erfolgt zunächst eine heftige Rückziehreaktion von Kiemen und Siphon, die schrittweise schwächer wird und etwa nach zehn bis 15 Versuchsdurchgängen nicht mehr auftritt (habituiert). Neurophysiologisch erfolgt die Reizübertragung von den sensorischen Neuronen (SN in Abb. 7.22) über eine synaptische Verbindung zum Motoneuron, wo die Übertragung über einen chemischen Neurotransmitter erfolgt. Bei wiederholter Reizung kommt es zu einer schnellen **Abnahme der Transmitterausschüttung** durch das sensorische Neuron, was entsprechend zur Verminderung der Rückziehbewegungen führt. Nach genügend vielen Durchgängen (Trials) führt dann eine Berührung des Siphons nicht mehr zu einer genügend starken Neurotransmitterausschüttung, um das Motoneuron von Kiemen und Saugrohr genügend zu erregen. Weiter zeigte sich, dass die Reduktion der Ausschüttung durch eine Abnahme des CA^{++}-Ionen-Einstroms in die sensorische Synapse mit jedem neuen Aktionspotenzial verursacht wird. Somit lässt sich diese einfachste Form elementaren Lernens zurückführen auf chemisch induzierte Veränderungen in den **synaptischen Verbindungen** zwischen den beteiligten Neuronen (Kandel 1979).

Neuronale Sensitivierung (*sensitization*)

Bei der neuronalen Sensitivierung erfolgt dieser Mechanismus im Prinzip umgekehrt: Sensibilisierung ist neurophysiologisch auf die **Erhöhung der Transmitterausschüttung** durch die Synapsen der sensorischen Interneurone am Motoneuron zurückführbar. Wenn man den Schwanz der Schnecke mit einem starken aversiven Stimulus (Wasserstrahl) reizt und den Siphon gleichzeitig mit einem schwachen taktilen Reiz, der zunächst keine Reaktion auslöst, so erfolgt nach einer Reihe von Durchgängen zunehmend eine verstärkte Rückziehreaktion. Nun führen auch ursprünglich unwirksame Reize (leichte Berührung) am Siphon zu der Abwehrreaktion (Rückziehen von Kiemen und Siphon). Neurophysiologisch beruht dies auf einer Kopplung zwischen dem sensorischen Neuron des Schwanzes und der Verbindung von Siphon, Neuron und Motoneuron (Abb. 7.23). Diese Verbindung läuft über ein faszilitierendes Interneuron (fac. Int.), das *eine präsynaptische Erregung* der sensorischen Neurone des Siphons bewirkt. Dies führt hier zu einer zunehmend vermehrten Transmitterausschüttung. Die so aufgebaute Sensitivierung kann

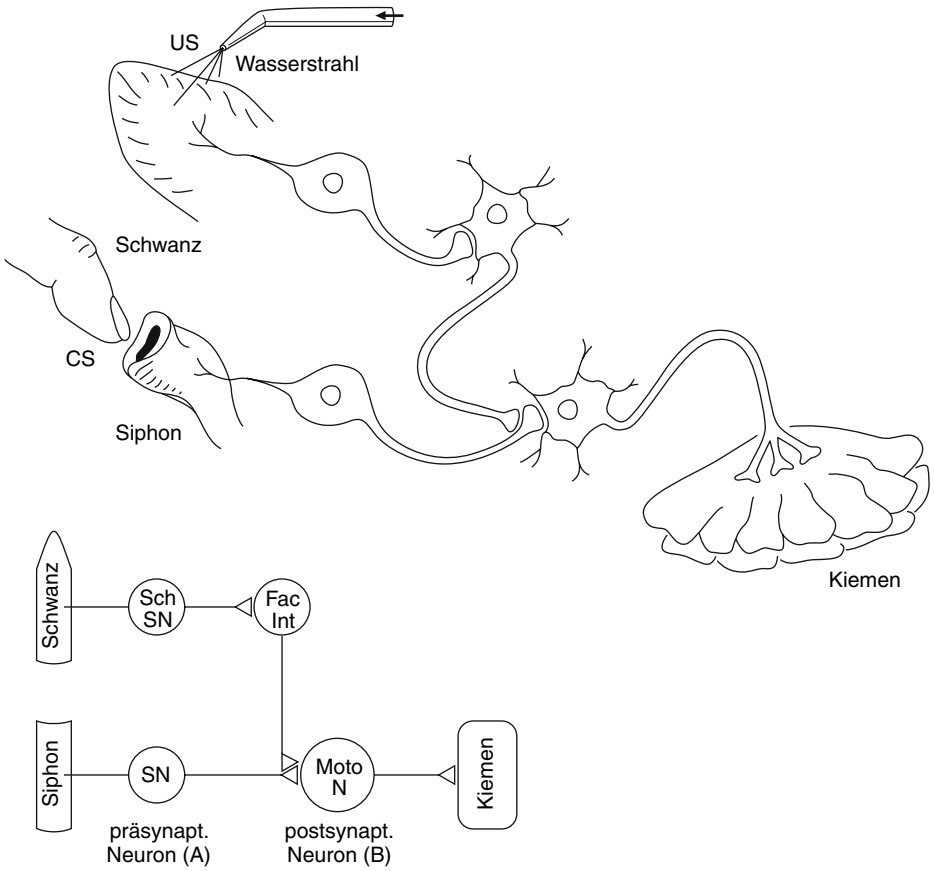


Abb. 7.23 Mechanismus der Sensitivierung (und Konditionierung). Starke Reizung der Schwanzregion aktiviert sensorische Neurone (*Sch-SN*), die ihrerseits bahnende Interneurone (*Fac. Int.*) aktivieren, die eine präsynaptische Erregung der sensorischen Neurone des Siphons (*SN*) bewirken. Das Dauerfeuer der Interneurone bewirkt Veränderungen in den Endknöpfen der sensorischen Siphonneurone, wodurch wieder immer mehr Ca^{++} einströmen und mehr Transmitter in den Spalt ausgeschüttet werden. Das führt zur Erhöhung der Anzahl der APs im Motoneuron. Der Kiemenmuskel kontrahiert bei jeder Berührung des Siphons wieder stärker. Der Kiemenrückziehreflex ist sensitiviert

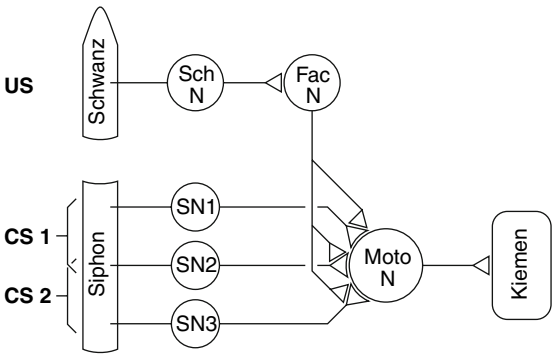


Abb. 7.24 Mechanismus der Reizgeneralisierung. Durch einen Berührungsreiz CS 1 werden die sensorischen Neurone SN1 und SN2 aktiviert. Die nachfolgende US am Schwanz bewirkt hier nur eine Faszilitierung. Ein weiterer ähnlicher Reiz CS 2 erfährt durch die gemeinsame Nutzung von SN2 eine Erleichterung: teilweise Generalisierung. *SchN* Schwanzneuron, *FacN* Faszilitations Neuron

je nach Stärke des aversiven Reizes Minuten bis Wochen anhalten. Somit erfolgt auch hier der Lernprozess über Veränderungen der Neurotransmitterfreisetzung in den Synapsen zwischen den sensorischen Neuronen des Siphons und dem Motoneuron von Kiemen und Siphon.

Neuronale klassische Konditionierung

Der in Abb. 7.23 dargestellte neurophysiologische Prozess wird zugleich auch als Grundlage zum Verständnis der klassischen Konditionierung diskutiert. Es wird argumentiert, dass klassische Konditionierung insofern dem dargestellten Sensibilisierungsprozess entspricht, als die Reaktion auf einen Reiz in einer bestimmten neuronalen Verbindung durch die Aktivität in einer anderen (ursprünglich dem neutralen Reiz zugehörenden) Verbindung verstärkt wird. Wird ein elektrischer Schock auf den Schwanz gegeben (US) und ein schwacher taktiler spezifischer Reiz (CS) auf den Siphon, so löst, wie beschrieben, nach mehreren solchen Kopplungen der CS allein die Aversivreaktion aus. Physiologisch erreicht die Erregung aus dem sensorischen CS-Neuron die Synapsen der US-Neurone am Motoneuron kurz vor deren Erregung durch den US, wodurch eine präsynaptische Aktivierung dieser das Motoneuron erregenden sensorischen Synapsen bewirkt wird (Hawkins und Kandell 1984).

Die dargestellte neuronale Funktionsweise ist zugleich ein Beispielfall für die Arbeitsweise der nach ihrem Entdecker Donald Hebb benannten **Hebb-Synapsen**. Im Gegensatz zu anderen Neuronen haben Hebb'sche Synapsen die Eigenschaft, bei simultaner Erregung ihre Verbindung zueinander zu verstärken. Wird ein Neuron B über die Synapse des Neurons A wiederholt oder anhaltend überschwellig erregt, so führt dies hier in einem oder beiden Neuronen zu Stoffwechseländerungen oder Wachstumsprozessen, die eine spätere Erregung zunehmend erleichtern (Bahnung, Erhöhung der *synaptischen Effizienz*). Dies wird auch als **Hebb-Regel** bezeichnet (Hebb 1949).

Neuronale Reizgeneralisation

Auch die Reizgeneralisation konnte an dem *Aplysia*-Modell untersucht und nachgewiesen werden. Der erweiterte Schaltkreis in

Abb. 7.24 zeigt zugleich das neurophysiologische Erklärungsmodell für den Mechanismus der Reizgeneralisation: Durch einen CS 1 werden die sensorischen Neurone SN 1 und SN2 des Siphons kurz vor der Darbietung des US erregt, wodurch nur hier eine verstärkte Form der präsynaptischen Faszilitierung bewirkt wird. Die Konditionierung von CS 1 allein bewirkt daher nur eine teilweise, aber keine vollständige Generalisation auf einen ähnlichen, da benachbarten CS 2, der nur die Neurone SN2 und SN3 erregt (Hawkins und Candel 1984).

Auf Einzelzellniveau betrachtet beruht Lernen demnach, wie unsere gesamte corticale Plastizität, auf der Bildung von Hebb-Synapsen. Diese haben die Eigenschaft, dass sich durch simultane Aktivität, prä- oder postsynaptisch, die Stärke ihrer Verbindungen erhöht. Diese grundlegenden molekularen Prozesse, die auch für das Behalten und Erinnern (▶ Abschn. 8.9) von Bedeutung sind, scheinen von einfachen Lebewesen (wie *Aplysia*) bis zum Menschen gleich zu sein.

7.4 Operante Konditionierung

Operantes Konditionieren bezeichnet das **Lernen neuer Verhaltensweisen**. Im Gegensatz zur klassischen Konditionierung, bei der neutrale Stimuli eher automatisch mit reaktionsauslösenden Reizen assoziiert werden, lernt der Organismus durch die operante Konditionierung sein *eigenes* Verhalten (als Instrument) mit den daraus folgenden Konsequenzen zu assoziieren, die als Belohnung, Erfolg oder Misserfolg erlebt werden. Dementsprechend wird dieses Verhalten in Zukunft häufiger oder weniger häufig wiederholt. Der Organismus lernt, dass Ereignisse in der Umwelt („Belohnungen") von der Ausführung *seines eigenen* Verhaltens abhängig sind. Dies ist auch der wichtigste methodische Unterschied zur klassischen Konditionierung, bei der der unkonditionierte Stimulus als bedeutsames Ereignis unabhängig von der CR auftritt. Wenn wir einem Hund ein neues Kunststück beibringen wollen, können wir mit dem Prinzip der klassischen Konditionierung wenig anfangen. Wie könnte ein US einen Hund zum Beispiel dazu veranlassen, sich aufrecht hinzusetzen oder einen Salto zu machen? Um neue Verhaltensweisen aufzubauen, ist man seit alters her anders vorgegangen. Zunächst führt das Tier nach „Versuch und Irrtum" eine Handlung aus, oder man muss das Tier in irgendeiner Weiser dazu veranlassen, das gewünschte Verhalten (das Kunststück) durchzuführen. Daraufhin wird es dafür belohnt oder verstärkt, was das Tier dazu veranlasst, dieses Verhalten bald öfter zu wiederholen. In gleicher Weise lernen auch wir täglich unser Verhalten, das auf die Umwelt einwirkt (operant), aufgrund von Erfolg oder Misserfolg zu verändern. – So ist auch die Konditionierung des kleinen Albert, der aus Furcht vor der Ratte pelzähnliche Objekte meidet, zum Teil eine operante Konditionierung, da die verringerte Furcht nach der Flucht verstärkend wirkt.

Diese als **operante Konditionierung** (bisweilen synonym **instrumentelle Konditionierung**) bezeichnete Art des Lernens wurde insbesondere von den drei amerikanischen Psychologen E. L. Thorndike, J. B. Watson und B. F. Skinner untersucht und zu einer Theorie des Lernens ausgebaut. Ihren Beiträgen werden wir uns in den nächsten Abschnitten zuwenden.

7.4.1 Thorndikes Gesetz des Effekts

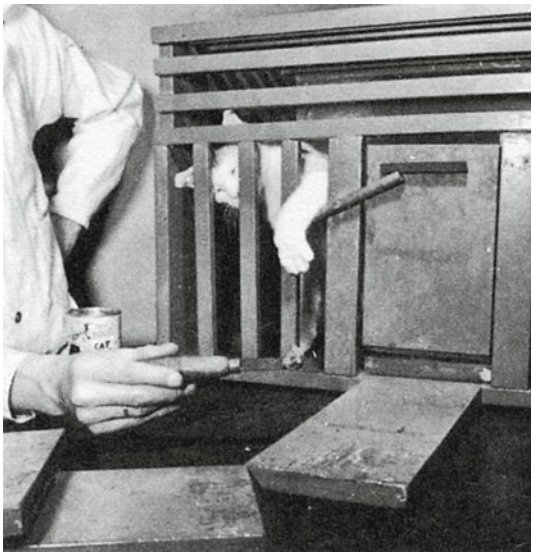
Etwa zur gleichen Zeit, als Pawlow in Russland mit seinen Hunden experimentierte, machte Thorndike (1898) in Amerika die Beobachtung, wie sich Katzen aus ihren einfach verschlossenen Käfigen zu befreien lernten. In seinen vielfältigen Experimenten setzte Thorndike jeweils eine Katze einzeln in einen in besonderer Weise verriegelten Käfig (Problemkäfig) und beobachtete, wie sich die Katzen daraus befreien (▶ Exkurs 7.17 und Abb. 7.25a).

In den aufeinanderfolgenden Trials zeigten die Tiere die erforderliche Reaktion nach immer kürzeren Zeiten, schließlich sogar sofort, wenn sie in den Käfig gesetzt wurden. Wie Thorndike nachweisen konnte (vgl. Lernkurven in Abb. 7.25b), war die Behaltensleistung bei einigen Katzen auch noch nach 38 beziehungsweise 74 Tagen ungemindert gut erhalten.

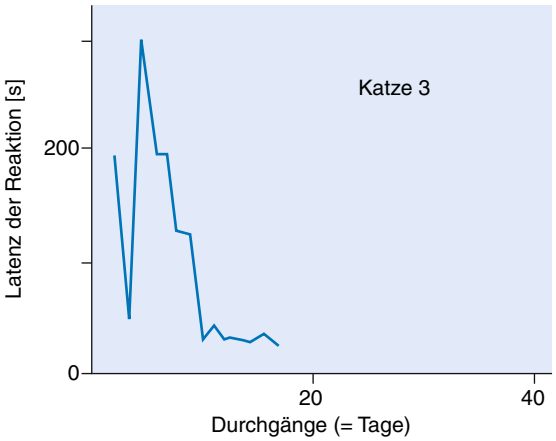
Im Gegensatz zur Pawlow'schen Konditionierung ist – Thorndikes Paradigma folgend – Lernen keine Assoziation zwischen zwei Reizen, sondern zwischen Reizen (Stimuli S) und einer Reaktion (R) des Organismus, also eine Reiz-Reaktions-(S-R)-Verbindung. Thorndike nahm an, dass solche Reaktionen, denen unmittelbar eine Belohnung folgt, die „Befriedigung" erbringt, verstärkt oder „eingeprägt" wird. Nicht belohnte Reaktionen hingegen würden geschwächt oder „gelöscht". Das von den Katzen gezeigte Verhalten schien aber ohne Einsicht zu sein, denn auch ein Zeigen der richtigen Lösung (die Pfote der Katze wurde auf den Riegel gelegt und mit diesem bewegt) brachte kaum einen Lernfortschritt. Das Verhalten der Katzen schien Thorndike vielmehr von **Versuch und Irrtum** (*trial and error*) bestimmt zu sein. Wenn eine bestimmte Verhaltensweise (Öffnen eines Riegels) zum Erfolg führte und *unmittelbar* durch das vor dem Käfig stehende Futter bekräftigt wurde, wurde diese Verhaltensweise in den nachfolgenden Versuchsdurchgängen häufiger gezeigt: Sie wurde gestärkt. Diese bekräftigende Wirkung nannte Thorndike das **Gesetz des Effekts** (*law of effect*). Es besagt, dass Lernen durch seine Konsequenzen kontrolliert wird. Das heißt, beim operanten Konditionieren werden aus der Menge möglicher, zufällig gezeigter Reaktionen nach dem Gesetz des Effekts diejenigen ausgewählt und beibehalten, denen unmittelbar eine positive Konsequenz (erlebte Befriedigung, *satisfaction*) folgt. Man nennt dies **Lernen am Erfolg**.

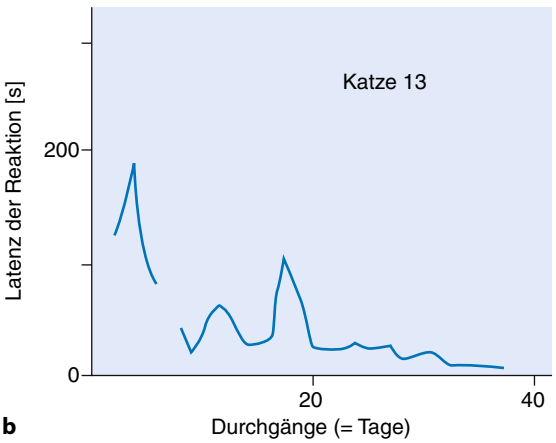
Dieser Ansatz entspricht zugleich der Darwin'schen Evolutionstheorie, von der Thorndike sehr beeindruckt war. Nach Darwins Gesetz des *survival of the fittest* werden durch „natürliche Zuchtwahl" aus der Menge zufälliger Variationen eines Tierstammes nur diejenigen ausgewählt, die das Überleben der Art sichern. Analog hierzu lässt sich Thorndikes Gesetz des Effekts dahingehend verstehen, dass es das Erhaltenbleiben der günstigsten Reaktionen sichert (Schwarz 1989).

Beim Lernen am Erfolg wird, im Gegensatz zur Pawlowschen klassischen Konditionierung, Lernen nicht als eine Assoziation zwischen zwei Reizen verstanden, sondern als eine Reiz-Reaktions- (S-R-)Assoziation, wobei diese Verbindung zwischen einem Stimulus (S) und der ausgewählten Reaktion (R) des Organismus durch Bekräftigung verstärkt wird (Gesetz des Effekts).



a





b

Abb. 7.25 **a** Einer von Thorndikes Problemkäfigen, aus denen sich die darin eingesperrten Katzen selbst zu befreien lernten, **b** Aus diesen Experimenten von Thorndike (1898) stammen die ersten Lernkurven. Die Kurven zeigen die Abnahme der Latenzzeiten bei den wiederholten Durchgängen. Die untere Kurve (*Katze 13*) zeigt ferner die gute Behaltensleistung der gelernten Reaktion nach einem Intervall von 38 Tagen. (Thorndike 1898, publisher: APA, reprinted with permission; APA is not responsible for the accuracy of this translation)

Exkurs 7.17

Genauer betrachtet: Thorndikes Beobachtung des Lernens am Erfolg

Zunächst schenkten die Katzen dem außerhalb des Käfigs bereitgestellten Futter (Belohnung für die hungrige Katze) kaum Beachtung, sondern versuchten, in irgendeiner Weise der Gefangenschaft zu entkommen. „Die Katze versucht sich durch jede Öffnung zu zwängen, sie krallt und beißt sich an den Gitterstäben oder Drähten fest. Dabei hat sie irgendwann den Draht oder den Knopf in ihren Krallen, der die Tür öffnet. Allmählich werden all die anderen erfolglosen Versuche ausgelöscht, und der besondere Impuls, der zu der erfolgreichen Ausführung führte, wird durch die erreichte **Befriedigung** *(satisfaction)* eingeprägt, bis sie nach vielen Durchgängen, wenn sie erneut in den Käfig gesteckt wird, sofort den Knopf oder Draht auf unzweideutige Weise betätigt" (Thorndike 1898, zit. n. Zimbardo 1995, S. 276).

Wir können also bereits hier als wichtigen Unterschied festhalten: Bei der Pawlow'schen Konditionierung wird ein vorhandenes Verhalten an einen neuen Reiz angeknüpft und bleibt sich in etwa gleich. Bei der operanten Konditionierung ähnelt das (durch Futter) belohnte Verhalten nicht dem normalerweise durch Futter ausgelösten Verhalten.

Effektgesetz (Law of effect)

Es besagt, dass Verhalten durch seine Konsequenzen kontrolliert wird. Verhaltensweisen, die angenehme Konsequenzen zur Folge haben, werden häufiger auftreten. Verhaltensweisen, denen unangenehme Konsequenzen folgen, werden eher seltener gezeigt.

7.4.2 Skinners experimenteller Ansatz

Aufbauend auf Thorndikes Auffassung, dass Lernen wesentlich durch die Auswirkung des Verhaltens und seinen Erfolg bestimmt wird, entwickelte B. F. Skinner (1904–1990) eine Verhaltenstechnologie, die es ihm erlaubte, zum Beispiel Tauben solche ungewöhnlichen Verhaltensweisen beizubringen wie Ping-Pong-Spielen, in einer Acht zu laufen oder ein Geschoss auf Kurs zu halten, indem sie auf einen bestimmten Zielpunkt auf einem Bildschirm pickten (mehr zu Skinners Auffassung und zu verbaler Konditionierung in *Zusatztext online*).

Grundlegend unterschied schon Skinner zwei Arten von Reaktionen: Verhalten, das durch Reize ausgelöst wird (*elicited behavior* oder *respondent behavior*), und Verhalten, das von sich aus hervorgebracht wird (*emitted behavior*, später *operant behavior*). Ersteres sei an situative Reize wie einen Ton oder ein Lichtsignal gebunden und werde nach Art des bedingten Reflexes gelernt. Die meisten Verhaltensweisen seien jedoch nicht an Reize gebunden, sondern würden vielmehr um ihrer Wirkung willen hervorgebracht und führten eine Konsequenz in der Umwelt herbei, die ohne dies Verhalten nicht eintreten würde, und das nur in einer bestimmten Reizsituation. Sie seien also Wirkreaktionen und somit operantes Verhalten (*operant behavior*).

Bei der operanten Konditionierung lernt der Organismus eine dreifache Kontingenz: Eine bestimmte Reaktion in einer bestimmten Reizsituation wird von einem Reinforcement gefolgt (Anderson 2000).

Das Grundmuster der operanten Konditionierung demonstriert das Konditionieren in der inzwischen berühmten **Skinner-Box** (Abb. 7.26), die Skinner für seine bahnbrechenden Untersuchungen konstruierte. Die Box besteht typischerweise aus einem schallisolierten leeren Kasten, in welchem sich nur ein Hebel befindet, den das Tier drücken oder bepicken kann, ferner eine Öffnung, durch die automatisch Futter oder Wasser als Belohnung verabreicht werden kann, sowie eine Vorrichtung, die jede Reaktion automatisch registriert. Wird, wie in Abb. 7.26, eine Ratte in die Skinner-Box gesetzt, so zeigt sie typischerweise zunächst ein Explorationsverhalten, das heißt, sie bewegt sich schnuppernd umher, wobei sie auch zufällig einmal den Hebel inspiziert oder drückt. Beobachtet wird dabei, wie oft die Ratte den Hebel in einer bestimmten Zeit drückt, ohne dass dies mit Futter bekräftigt wird. Die Häufigkeit, mit der dieses Verhalten gezeigt wird, das heißt die zufällige Verhaltenshäufigkeit, benutzte Skinner als experimentelles Referenzniveau und bezeichnete es als *preconditioned operant level*. Es stellt die Baseline oder Ausgangshäufigkeit des untersuchten Verhaltens (Hebeldrückens) dar.

Nachdem diese Grundverhaltenshäufigkeit festgestellt ist, wird das automatische Futtermagazin (b in Abb. 7.26 unten) eingeschaltet, sodass nun bei jedem Hebeldrücken eine Futterpille als Belohnung freigegeben wird. Nachdem die Ratte die Futterpille gefressen hat, wird sie sehr bald erneut auf den Hebel (c) drücken. Das Futter führt also zu einer *Verstärkung* (*Reinforcement*) des Hebeldrückens. Dies führt sehr bald zu einem drastischen Ansteigen des Hebeldrückens. Wird nun das Futtermagazin wieder ausgeschaltet, sodass die Ratte keine Bekräftigung für das Hebeldrücken erhält, nimmt die Häufigkeit des Hebeldrückens sehr bald wieder ab. Es zeigt sich, dass auch eine operant konditionierte Reaktion der Extinktion unterliegt, wenn sie nicht weiter verstärkt wird, ähnlich, wie wir es bereits bei der klassischen Konditionierung kennengelernt haben. Entsprechend zeigt sich auch bei der operanten Konditionierung das Phänomen der Spontanerholung: Wenn nämlich nach der Extinktion die Ratte nach einer Pause wieder in die Skinner-Box gesetzt wird, wird sie „spontan" öfter den Hebel drücken als bei der Erhebung der Baseline.

Das dargestellte Beispiel macht zugleich einen wichtigen Unterschied sichtbar: Bei der klassischen Konditionierung ist das Tier passiv, es wartet auf einen CS, der die Reaktion als Antwort auslöst (*respondentes Verhalten*). Bei der operanten Konditionierung ist das Tier aktiv, es erhält die Belohnung nicht eher, als es etwas von sich aus getan hat (*operantes Verhalten*).

Bei der operanten Konditionierung erhöht sich die Wahrscheinlichkeit einer bestimmten operanten Reaktion in einer spezifischen Reizumgebung durch nachfolgende Verstärkung, oder allgemeiner: Operantes Konditionieren verändert die Wahrscheinlichkeit der operanten Reaktionen als Funktion ihrer Konsequenzen (Paradigma der operanten Konditionierung).

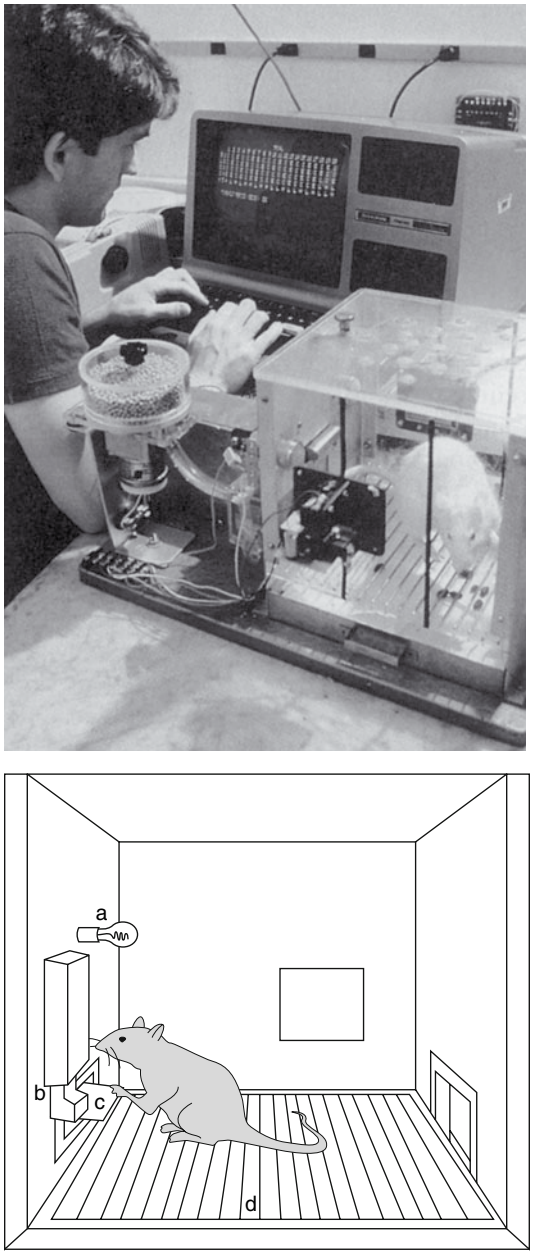


Abb. 7.26 Skinner-Box im Einsatz. Innerhalb der Box (*im Foto rechts*) kann die Ratte einen Hebel drücken, wofür sie unter bestimmten Bedingungen (zum Beispiel zusätzlicher Lichtreiz) automatisch eine Futterbelohnung erhält. Über eine Messapparatur (Rechner) werden die Reaktionen und Reizvorgaben registriert. *a* Licht, *b* Futtermagazin, *c* Hebel, *d* elektrischer Rost, über den bei Bestrafung ein Schockreiz verabreicht werden kann

Experimentelle Analyse des Verhaltens

Skinner entwickelte auf dieser Basis, anknüpfend an das Gedankengut des behavioristischen Manifests von J. B. Watson, die so genannte **experimentelle Analyse des Verhaltens**, wie er seinen Ansatz selbst nennt. Entscheidend für das Verständnis unseres Verhaltens ist es, die Auswirkungen des Verhaltens in der Umwelt ausfindig zu machen (externe Wirkung), die (als Verstärker) unsere vorausgehenden Reaktionen beeinflussen. Annahmen über innere Bedingungen wie Hunger, Befriedigung, Intentionen oder Absichten eines Organismus wies er streng zurück, da

sie ihm eher als Vermutungen oder Rückschlüsse erschienen, nicht aber experimentell belegbar waren. Er formulierte keine Theorien darüber, was in einem Organismus vorgeht. So werden auch notwendigerweise angenommene innere Bedingungen wie Hunger ausschließlich operational definiert, zum Beispiel als Nahrungsentzug für eine bestimmte Zeit, denn nur so könnten vorhersagbare Beziehungen zwischen beobachteten Aktivitäten und Umweltbedingungen empirisch bestimmt und experimentell untersucht werden. Entsprechend bedeutet experimentelle Analyse des Verhaltens, dass man durch systematisches Variieren der Reizbedingungen die möglichen unterschiedlichen Erfahrungen entdeckt, die die Auftretenswahrscheinlichkeit der untersuchten Reaktionen beeinflussen oder bedingen: „Die Aufgabe einer experimentellen Analyse besteht in der Entdeckung all jener Variablen, die die Auftretenswahrscheinlichkeit der Reaktion beeinflussen" (Skinner 1966, zit. n. Zimbardo 1995, S. 277). Daraus ist auch folgerichtig zu verstehen, dass Skinner einen **Verstärker** nicht als eine Belohnung für den Organismus ansieht, sondern vielmehr definiert als einen Reiz (Ereignis), der einer Reaktion folgt und damit deren Auftretenswahrscheinlichkeit erhöht. Dies lässt sich nämlich empirisch messen und variieren. Das oben bereits charakterisierte Paradigma der operanten Konditionierung umfasst im Wesentlichen drei Bestandteile:

1. die Verstärker (das Reinforcement),
2. die diskriminativen Reize,
3. die Verhaltenskontingenzen.

Prinzipien der Verstärkung

Nach Skinners Konzept wird unter einem Verstärker (Reinforcer) jeder Reiz oder jedes Ereignis verstanden, das die Auftretenswahrscheinlichkeit einer vorangehenden Reaktion erhöht. Ein Verstärker kann also zwar auch eine greifbare Belohnung sein, aber ebenso gut nur eine Aufmerksamkeitszuwendung – ein Wort, eine Geste oder eine veränderte Situation wie eine Pause nach getaner Arbeit.

Es werden zwei grundlegende Arten von Verstärkern unterschieden: positive und negative Verstärker. **Positive Verstärker** (zumeist angenehme Reize) führen zu einer Stärkung oder höheren Auftretenswahrscheinlichkeit einer vorausgegangenen Reaktion oder Verhaltensweise. Futter oder Wärme sind positive Verstärker für Tiere; Aufmerksamkeit, Lob oder Geld sind gebräuchliche Verstärker bei Menschen.

Negative Verstärker (zumeist unangenehme Reize) führen zu einer Verstärkung oder höheren Auftretensweise einer Reaktion, wenn sie nach dieser vermindert oder entfernt werden. Beispiele hierfür sind das Abschalten von starkem Lärm, grellem Licht oder Hitze. Eine praktische Anwendung findet dieses Prinzip in der Sicherheitstechnik von Kraftfahrzeugen. Das beim Starten auftretende unangenehme akustische Alarmsignal ist mit dem Nichtanlegen des Sicherheitsgurtes gekoppelt. Es hat eine negativ verstärkende Funktion: Das Anlegen des Gurtes wird mit dem Aufhören des störenden Geräusches bekräftigt. Von der negativen Verstärkung zu unterscheiden ist die **Bestrafung**. Sie beinhaltet die Verabreichung eines aversiven Reizes nach einer Reaktion. Dies führt in der Regel zu einer Senkung der Auftretenswahrscheinlichkeit dieser Reaktion. Andererseits kann als Bestrafung auch ein angenehmer Reiz entzogen werden, wie z. B. das Entziehen von positiver Zuwendung und Aufmerksamkeit. Das ähnlich wirkende Prinzip der Löschung haben wir bereits in ▶ Abschn. 7.3.4 besprochen (mehr zu Verstärkern in *Zusatztext online*).

Positive Verstärker sind Reize, die zu einer Stärkung oder höheren Auftretenswahrscheinlichkeit einer vorausgegangenen Reaktion oder Verhaltensweise führen. Futter oder Wärme sind positive Verstärker für Tiere; Aufmerksamkeit, Lob oder Geld sind gebräuchliche Verstärker bei Menschen.

Negative Verstärker sind Reize, deren Entfernung zu einer Verstärkung oder höheren Auftretenshäufigkeit der Reaktion führen. Beispiele hierfür sind das Abschalten von starkem Lärm oder grellem Licht. Von der negativen Verstärkung zu unterscheiden ist die

Bestrafung. Sie beinhaltet die Verabreichung eines aversiven Reizes, oder den Entzug eines positiven Reizes nach einer Reaktion. Dies führt in der Regel zu einer Senkung der Auftretenswahrscheinlichkeit dieser Reaktion. Löschung bezeichnet *in der operanten Konditionierung* (anders als bei der klassischen Konditionierung) (1) das Aussetzen der (üblichen) Verstärkung, was dazu führt, dass die erlernte Reaktion zunehmend (2) gelöscht wird.

Im Allgemeinen scheint positive Verstärkung besser als negative geeignet zu sein, eine bestimmte neue Reaktion hervorzurufen oder eine bestehende zu stabilisieren. Negative Verstärkung eignet sich besser dazu, Personen zu veranlassen bestimmte unerwünschte Reaktionen zu unterlassen. Sie verstärkt – und erhöht – die Häufigkeit des Nichtauftretens dieser Reaktion.

7.4.3 Generalisierte Verstärker und Verstärkerpläne

Generalisation und Diskrimination

Ebenso wie bei der klassischen Konditionierung finden sich auch bei der operanten Konditionierung die Phänomene der Generalisation und der Diskrimination. Organismen generalisieren das Gelernte, und dies kann durch Diskriminationstraining eingedämmt werden, wie das Beispiel in ▶ Exkurs 7.18 zeigt.

Die diesem Beispiel zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten hat Skinner in Ratten- und Taubenexperimenten im Detail untersucht. Die Ergebnisse eines solchen Diskriminationstrainings, nur noch auf einen Ton eng begrenzter Frequenz zu reagieren, zeigt ◘ Abb. 7.27.

Wenn wir unser anfangs (▶ Abschn. 7.4.2) dargestelltes Skinner-Box-Experiment in der Weise verändern, dass die Ratte nur dann für ihr Hebeldrücken eine Belohnungspille erhält, wenn während dieser Zeit das kleine Lämpchen brennt, die Ratte also nur ein selektives Reinforcement erhält, wird die Ratte nach einigen solchen Durchgängen bald nur noch dann den Hebel drü-

Exkurs 7.18

Genauer betrachtet: Beispiel zum Diskriminationslernen

Wenn ein Kind von seinen Eltern dafür belohnt wird, dass es ans Telefon geht und Telefongespräche annimmt, wird es dieses Verhalten zunächst auch auf andere Situationen generalisieren, wenn es zum Beispiel bei Freunden zu Gast ist und dort das Telefon klingelt (Generalisation). Da dies den Gastgebern zumeist aber nicht willkommen ist, wird das Kind in diesem Fall eher negative Erfahrungen mit seinem Verhalten machen und bald nicht mehr ans Telefon gehen (Diskrimination). Durch solche Situationen wird das Kind *diskriminieren* (unterscheiden) lernen zwischen verschiedenen Situationen beziehungsweise Reizen. Nach einigen Wiederholungen dieser Erfahrung wird das elterliche Telefon zu einem positiven diskriminativen Stimulus S^D, auf den Verstärkung erfolgt. Das fremde Telefon wird zum negativen diskriminativen Stimulus S^D, auf den keine Verstärkung erfolgt.

Exkurs 7.19

Genauer betrachtet: Demonstrationsbeispiel Diskriminative Belohnung

Betrachten wir hier eine gängige Situation aus unserem täglichen Leben: Es klingelt unser Telefon. Was wir tun werden, ist gewissermaßen vorprogrammiert, denn das Klingelzeichen ist längst ein S^D dafür, dass uns jetzt jemand sprechen will.
Wenn wir jetzt den Hörer abnehmen, werden wir mit großer Sicherheit durch die hoffentlich freundliche Stimme des Anrufers belohnt. Wir haben längst gelernt, dass es sich nicht lohnt, wenn das Telefon nicht klingelt, den Hörer abzunehmen und „Hallo" zu sagen, denn dann antwortet uns niemand. Oder wenn im Konzertsaal die Lichter ausgehen, so ist das ein S^D dafür, jetzt die Plätze einzunehmen und die Unterhaltung einzustellen, wofür wir mit dem Konzert belohnt werden.

cken, wenn das Licht angeschaltet ist. Der Lichtreiz ist damit für die Ratte zu einem **diskriminativen Stimulus** (S^D)geworden. Der diskriminative Reiz zeigt nun an, wann es sich lohnt, die Taste erfolgreich zu drücken. Menschen lernen so nicht nur, was sie tun sollen, sondern auch, wann sie es tun sollen beziehungsweise wann es sich lohnt.

Damit ist auch hier der diskriminative Stimulus durch seine Vorhersagekraft charakterisiert. Diese Vorhersage fasste Skinner in folgender Formel zusammen:

$$S^D \rightarrow R \rightarrow S^R.$$

In Gegenwart eines diskriminativen Reizes (S^D) folgt auf eine operante Reaktion (R) ein verstärkender Stimulus (S^R). So erhält ein Kind zum Beispiel eine Belohnung für sein Verhalten (R) nur, wenn es zu Hause und die Mutter (S^D) anwesend ist, oder nur, wenn es in der Schule ist, und so weiter. ▶ Exkurs 7.19 verdeutlicht diese einfache, aber wichtige Kontingenz und die nahezu ständige Präsenz dieses Grundparadigmas.

In dieser Weise lassen sich fast alle Reaktionen und menschlichen Verhaltensweisen unter die Kontrolle manipulierbarer Umweltreize bringen, durch die das Verhalten kontrolliert werden kann. Nach Skinner steht damit das Verhalten unter **Stimuluskontrolle**. Diese Kontrolle unterscheidet sich jedoch wesentlich von der Verhaltensauslösung des CS der klassischen Konditionierung. Wenngleich auch hier das konditionierte Verhalten unmittelbar auf den Reiz (S^D) hin erfolgt, wird die Verhaltensweise jedoch nicht automatisch ausgelöst, wie durch den CS in der klassischen Konditionierung; vielmehr informiert der S^D darüber, dass sich jetzt die Reaktion lohnt.

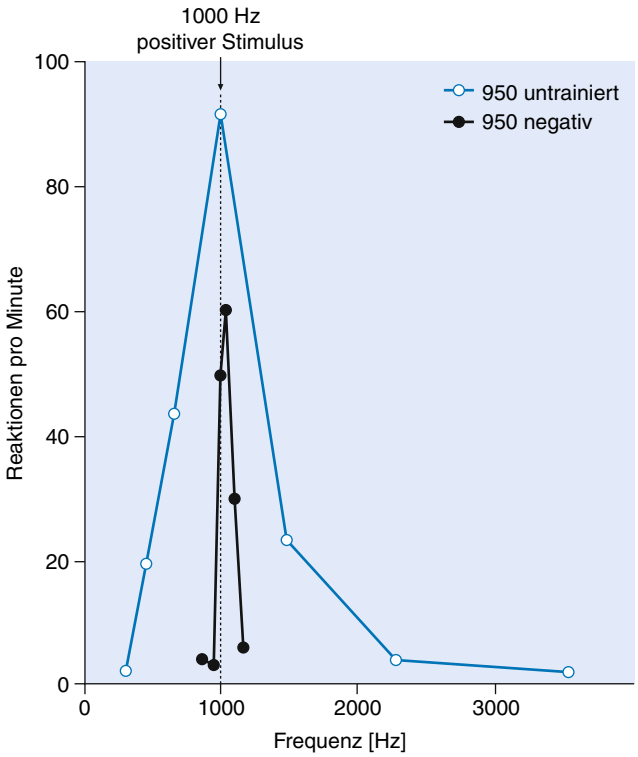


Abb. 7.27 Generalisationsgradient nach dem Training mit einem 1000-Hz-Ton (*helle Punkte*) sowie nach anschließendem Diskriminationstraining, bei welchem Reaktionen auf einen 950-Hz-Ton niemals verstärkt wurden (*schwarze Punkte*). (Nach Jerkins und Harrison 1962)

Das **Paradigma der operanten Konditionierung** beinhaltet also drei Elemente:

1. einen vorausgehenden diskriminativen Stimulus, der das Vorhandensein einer Verhaltenskontingenz signalisiert,
2. eine ausgeführte Reaktion des Organismus, die durch Kontingenz mit nachfolgenden Reizen verbunden ist, und
3. die nachfolgende verstärkende Verhaltenskonsequenz.

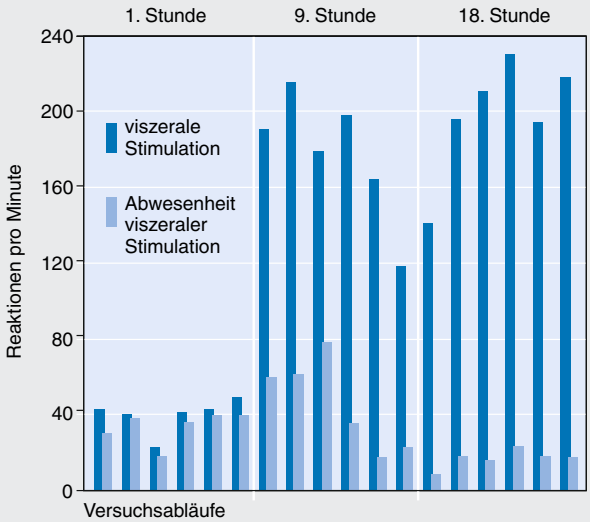
Verstärkung und Bestrafung bestimmen, ob ein Organismus sein Verhalten ändert oder nicht. Die größte Wirkung wird bei unmittelbarer Konsequenz erreicht.

Kontingente Verstärkung stärkt die Reaktion, kontingente Bestrafung unterdrückt sie. Nicht kontingentes Auftreten wirkt sich kaum auf das operante Konditionieren aus.

Exkurs 7.20

Genauer betrachtet: Diskrimination innerer (interozeptiver) Reize

Als diskriminativer Stimulus wurde in dieser Untersuchung ein mechanischer Reiz an der Innenwand des Dünndarms (Aufblasen eines kleinen Ballons, S^D) oder Entleeren desselben (S^Δ) verwendet. Sobald die Tiere durch kontingente Verstärkung gelernt hatten, einen Hebel zu drücken, wurde das Hebeldrücken nur noch dann verstärkt, wenn der Ballon aufgeblasen war. Das Resultat dieser selektiven S^D-S^Δ-Diskrimination zeigt ◘ Abb. 7.28. Während der ersten Stunde sind die Reaktionen auf S^D und S^Δ noch kaum unterschiedlich. Jedoch bereits nach 9 h und erst recht nach 18 h differenzieller Verstärkung erfolgt das Hebeldrücken eindeutig fast ausnahmslos nur noch bei Anwesenheit der viszeralen Stimulation (S^D) und ist damit unter Stimuluskontrolle (nach Slucki et al. 1965).



◘ **Abb. 7.28** Hebeldruckreaktionen in Abhängigkeit von der selektiven S^D-S^Δ-Diskrimination

In unserem menschlichen Leben haben aber die meisten Handlungen nur Konsequenzen, die zeitlich verzögert folgen. Typischerweise erhalten Sie z. B. die Rückmeldung über eine Prüfungsleistung erst mehrere Tage, nachdem Sie gelernt und die Prüfung gemacht haben. Doch auch in diesem Fall wird die Konsequenz (die positive oder negative Rückmeldung) sich auf Ihr weiteres (intensiveres) Lernverhalten auswirken. Verlängert sich also der zeitliche Abstand zwischen der Reaktion und ihren Konsequenzen, so müssen Gedanken (Kognitionen!) die Lücke füllen, damit eine Konditionierung erfolgen kann. Man erinnert sich an ähnliche Kontingenzen aus vergangenen Erfahrungen und antizipiert die Konsequenzen (Schwartz 1984). Dies Prinzip geht aber über Skinners strikte Verhaltensanalyse hinaus und gehört in den Bereich der „kognitiven Verhaltensmodifikation", einen Ansatz, den wir in ► Abschn. 7.4.5 noch ansprechen werden.

Operantes Konditionieren kann beim Menschen (anders als bei den meisten Tieren) auch bei verzögerten Konsequenzen erfolgen, da wir die Fähigkeit haben, kausale kontingente Beziehungen auch zu späteren Konsequenzen zu entdecken.

Zu unserem Nachteil aber sind kleine, aber unmittelbare Verstärkungen bisweilen wesentlich verlockender als spätere „verzögerte" Verstärker. So wissen Raucher, Alkoholiker oder andere Drogennutzer, dass das unmittelbare Wohlgefühl – der Kick kommt vielfach in Sekunden – viel mehr zählt, als die erst später einsetzenden gesundheitlichen Nachteile. So können auch nachfolgende Hangover (Kater) Jugendliche meistens nicht vom weiteren Trinken oder Drogenmissbrauch abhalten.

Da Organismen offenbar gegenüber diskriminativen Reizen sehr aufmerksam sind, können sie durch **Diskriminationstraining** lernen, auch zwischen sehr ähnlichen Reizen zu unterscheiden. Daher lässt sich dieses Verfahren auch zu diagnostischen Zwecken, zur Messung der absoluten und der relativen **Wahrnehmungsschwellen**, verwenden. Dadurch sind solche diagnostischen Wahrnehmungsbestimmungen schon bei Kleinkindern vor dem Spracherwerb möglich geworden. Das heißt, es lässt sich bestimmen, wie weit ein Individuum in der Lage ist, kleinste Unterschiede zwischen zum Beispiel ähnlichen Tönen, Gerüchen, Farben oder Umrissen wahrzunehmen. Mit dieser Methode der selektiven Verstärkung von S^D und S^D konnte nachgewiesen werden, dass auch geringe internale beziehungsweise interozeptive Reize, die für unser Verhalten von Bedeutung sind, konditionierbar sind. Dies verdeutlicht eine Untersuchung an Rhesusaffen (► Exkurs 7.20).

Konditionierte Verstärker

Die meisten der bisher besprochenen Verstärker waren sogenannte primäre Verstärker, das heißt, sie sind wie Essen und Trinken von Natur aus angeborenermaßen belohnend, da sie unsere natürlichen Bedürfnisse befriedigen. Ihnen werden die erlernten, **konditionierten** oder **sekundären Verstärker** gegenübergestellt.

Konditionierte oder auch sekundäre Verstärker sind gelernte Verstärker. Sie erhalten ihre Wirkung durch Assoziation mit primären Verstärkern, die, wie Nahrung oder elektrischer Schock, angeborenermaßen wirksam sind. Ähnlich, wie neutrale Reize beim klassischen Konditionieren zu konditionierten Reizen werden können, so können bei der operanten Konditionierung neutrale Reize, die mit Verstärkern gepaart auftreten, zu konditionierten Verstärkern operanter Reaktionen werden. Sie werden dann zum eigenständigen Zweck des Verhaltens.

Prinzipiell kann jeder beliebige Stimulus zu einem konditionierten Verstärker werden, dadurch, dass er durchgängig mit einem primären Verstärker gepaart wird und damit vorhersagbar zur primär verstärkten Reaktion führt. Er erlangt dadurch bald selbst verstärkende Wirkung. Das **Lernparadigma** hierfür unterscheidet sich nur geringfügig von dem der operanten Konditionierung. Wenn die Ratte in der Skinner-Box den Hebel drückt, hört sie zunächst ein Tonsignal, auf das unmittelbar eine Futterbelohnung erfolgt. Sobald die Ratte gelernt hat, dass das Tonsignal die Freigabe des Futters signalisiert, wird sie den Hebel auch dann noch drücken, wenn sie dadurch nur noch den Ton auslösen kann. Diese verstärkende Kraft besteht auch nach einer Extinktion fort. Wird das Verhalten nämlich gelöscht, indem auf das Hebeldrücken weder Futter noch ein Tonsignal erfolgt (kein Reinforcement) und das Tier also aufhört, den Hebel

zu drücken, so kann man das Hebeldrücken nun dadurch wieder aktivieren, dass man statt der normalen Futterverstärkung allein das Tonsignal als Verstärker darbietet. Das Tonsignal ist somit zum *sekundären Verstärker* geworden, der die Nahrung signalisiert.

Konditionierte Verstärker

Konditionierte Verstärker (*conditioned reinforcer*) heißen Reize, die durch vorangegangene Assoziation mit einem Verstärkerreiz selbst verstärkend wirken. Sie werden gleichbedeutend auch **sekundäre Verstärker** genannt.

Durch solche sekundären Verstärker wird der Bereich der operanten Konditionierung wesentlich erweitert, ähnlich wie dies für die Konditionierung höherer Ordnung bei der klassischen Konditionierung der Fall ist (Siehe auch *Zusatztext online*).

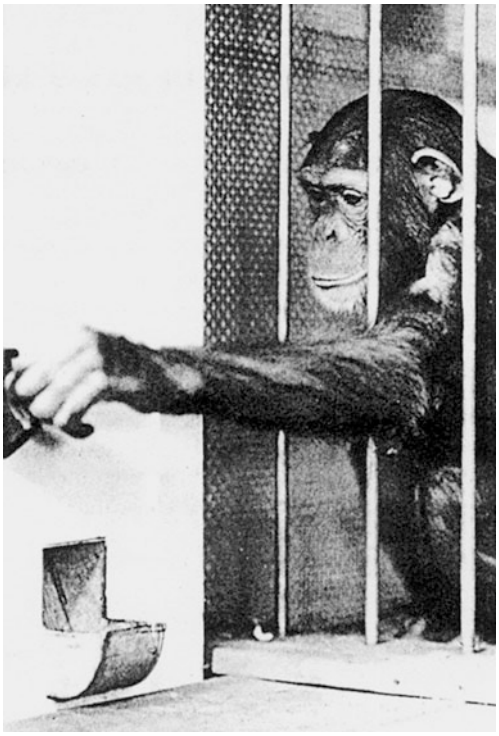
Betrachtet man unter diesem Gesichtspunkt menschliches Verhalten, so zeigt sich, dass dies zumeist weniger durch primäre Verstärker als vielmehr durch eine große Vielfalt solcher konditionierter Verstärker beeinflusst, geregelt und gesteuert wird. Zu den verbreitetsten Verstärkern gehören wohl Geld, Lob oder Titel, aber auch Lächeln, freundliches Zunicken oder leichtes Klopfen auf die Schulter können und werden erfolgreich zur Steuerung von Verhalten eingesetzt. Etliche dieser sekundären Verstärker etablieren sich schon früh in unserer kindlichen Sozialisation. Sie können dann, wie das Geld, eine hohe Reaktionsrate aufrechterhalten, selbst wenn sie für längere Zeit nicht mehr in primäre Verstärker eingetauscht werden. Sekundäre Verstärker, so wie Geld, können auch um ihrer selbst willen gehortet und zum alleinigen Ziel des Verhaltens werden.

Konditionierte Verstärker, die sich nicht nur zur Kontrolle einer bestimmten Reaktion, wie im Rattenbeispiel, sondern zur Kontrolle mehrerer verschiedener Reaktionen und Verhaltensweisen verwenden lassen, bezeichnet man als **generalisierte konditionierte Verstärker**.

Wie schon die Beispiele deutlich machen, gibt es viele Situationen, wie in der Schule, zu Hause oder im psychologischen Experiment, in denen sekundäre Verstärker häufig wirksamer sind als primäre. Das wird darauf zurückgeführt, dass

1. sie schneller anwendbar sind,
2. sie überall bei der Hand sind,
3. fast jede Reizsituation als Verstärker brauchbar ist,
4. sie allermeist nicht zu Übersättigung führen,
5. ihr verstärkender Einfluss nur von der Wahrnehmung abhängig ist und damit schneller wirkt, als das bei der Verarbeitung biologischer primärer Reize der Fall ist.

Auf diesem Prinzip, dass praktisch jeder beliebige Reiz zum konditionierten Verstärker werden kann, hat man in verschiedenen therapeutischen Einrichtungen sogenannte Gutschein-Verstärkersysteme (*token economies*) aufgebaut und als Mittel zur Verhaltensmodifikation verwendet, indem bestimmte erwünschte Verhaltensweisen (Medikamenteneinnahme oder Körperpflege) in Form von einlösbaren Gutscheinen (*tokens*) bekräftigt werden – ein Verfahren, das sich auch bei höheren Tieren (Affen) erfolgreich anwenden lässt (◘ Abb. 7.29).



◘ **Abb. 7.29 Schimpanse beim Einlösen seiner erhaltenen Tokens** (Münzen) am Automaten, um die „wohlverdienten" Rosinen zu erhalten

Kontingenzprinzip der Verstärkung

In der operanten Konditionierung bezeichnet **Kontingenz** (von lateinisch *contingere* für „berühren") die zeitliche und konsistente Beziehung zwischen der Verhaltensreaktion und der nachfolgenden Verstärkung. Durch Manipulation dieser Verhaltenskontingenz lässt sich die Auftretenswahrscheinlichkeit eines bestimmten Verhaltens vergrößern oder verkleinern.

Erhält beispielsweise eine Versuchsratte in ihrem Käfig eine Futterpille, wenn sie eine bestimmte Verhaltensweise zeigt, zum Beispiel sich aufrichtet, so wird die Häufigkeit des Sichaufrichtens ansteigen. Damit aber nur diese Verhaltensweise häufiger gezeigt wird und nicht irgendeine andere, muss die Futterpille *kontingent*, das heißt regelmäßig und genau, nach diesem Sichaufrichten verabreicht werden, nicht aber nach anderen Verhaltensreaktionen wie Sichdrehen, Laufen oder Sichputzen. Es handelt sich also um eine Beziehung im Sinne von „wenn a, dann b". Dabei ist es jedoch nicht nötig, dass immer wenn a, dann auch b erfolgt. Wichtig ist für die Steigerung der Verhaltenshäufigkeit vielmehr, dass b nur erfolgt, wenn a zuvor gezeigt wurde.

Somit umfasst das Prinzip der Kontingenz zwei Faktoren: (1) den Zeitfaktor und (2) den Häufigkeitsfaktor.

Der **Zeitfaktor** beinhaltet, dass die Verstärkung in (variierbarer) unmittelbarer zeitlicher Folge auf die ausgeführte Verhaltensreaktion erfolgt. Der **Häufigkeitsfaktor** bezeichnet die (ebenfalls variierbare) Häufigkeit, mit der die Verstärkung nach Auftreten der Verhaltensreaktion gegeben wird. Das heißt, es braucht nicht

Tab. 7.1 Kontingenzpläne der operanten Konditionierung

Art der Verstärkung	Diskriminativer Reiz (SD)	Ausgelöste Reaktion (R)	Reizkonsequenz (SR)
1. Positive Verstärkung – Eine Handlung in Gegenwart eines diskriminativen Reizes wird verstärkt	Getränkeautomat	Münze einwerfen	Getränk erhalten
2. Negative Verstärkung, ***Flucht*** – Das operante Entkommen aus einer vorhandenen unangenehmen (aversiven) Situation wird verstärkt, wirkt verstärkend	Sonnenhitze	In Schatten gehen	Der Hitze entkommen
3. Negative Verstärkung, ***Vermeidung*** – Das operante Vermeiden einer drohenden unangenehmen Situation wird verstärkt, wirkt verstärkend	Gefahrsignal im Cockpit	Schleudersitz betätigen	Den eigenen Absturz vermeiden
4. Extinktion – Eine konditionierte operante Reaktion wird nicht weiter verstärkt. Ihre Auftretensrate sinkt	Kein (diskriminativer) Reiz	Albernes Benehmen	Niemand beachtet es
5. Bestrafung – Einer Reaktion folgt ein aversiver Reiz. Die Reaktion wird eingestellt, unterdrückt oder verändert	Schöne Streichholzschachtel	Mit Streichhölzern spielen	Sich verbrennen, erwischt oder bestraft werden

jede Reaktion verstärkt zu werden, um einen optimalen Effekt zu erzielen. So haben bestimmte Muster von Kontingenzen (etwa bei Verstärkerplänen, siehe unten) unterschiedliche Auswirkung auf die Verhaltensänderung. Zusammengefasst heißt das: Um die Auftretensrate eines bestimmten Verhaltens zu erhöhen, ist es notwendig, die Verstärkung nur dann (wenn auch nicht immer) und unmittelbar zu geben, wenn die erwünschte Reaktion gezeigt wird, nicht aber nach irgendwelchen anderen Reaktionen. Im Sinne Skinners formuliert heißt das:

Eine Verhaltensweise wird nur dann effektiv verstärkt, wenn die Bekräftigung kontingent, also mit der erwünschten Reaktion geboten wird.

Skinner war darum bemüht zu zeigen, dass die gelernten komplexen Verhaltensweisen als das Produkt bestimmter Muster von Kontingenzen verstanden werden können. In vielfältigen Untersuchungen wurden unterschiedliche Pläne der zeitlichen Abfolge und der Häufigkeit von Reizen zur Bekräftigung erwünschter Reaktionen aufgestellt und untersucht. Das *Kontingenzprinzip* gilt als zentrales und wichtiges Konzept in der operanten Konditionierung, das sich wesentlich von dem Konzept der *Kontiguität* (nur bestimmte zeitliche Nähe von CS und US) der klassischen Konditionierung unterscheidet.

Kontingenzpläne

Für die experimentelle Analyse des Verhaltens, die **Verhaltensanalyse**, ist es wichtig, die eigentlichen Verstärker zu entdecken, durch deren Kontingenz bestimmte, vielleicht unerwünschte Verhaltensweisen aufrechterhalten werden. Soll das Verhalten geändert werden, müssen entsprechend neue Verstärkungsbedingungen festgelegt werden, unter denen verhindert wird, dass unerwünschtes Verhalten unbemerkt verstärkt wird. So sollten Eltern ihrem Kind gerade dann Aufmerksamkeit schenken, wenn es wünschenswerte Verhaltensweisen zeigt, und nicht erst, wie häufig, wenn es Unerwünschtes tut oder wenn es weint oder gar schreit. Auch eine vielleicht strafende Zuwendung kann für das Kind mehr bedeuten als seine Nichtbeachtung. Vielfach wenden sich Eltern ihrem Kind, das etwas haben oder sagen will, erst dann zu, wenn es zu schreien beginnt, womit sie ungewollt natürlich auch den Trotz oder das Schreien verstärken, da die verstärkende Zuwendung nun kontingent (was nicht heißt: immer) auf das Schreien erfolgt. Auch wenn Kinder aus Krankheitsgründen nicht zur vielleicht ungeliebten Schule gehen müssen und dabei zu Hause mehr Zuwendung erfahren, kann das durch diese ungewollte Bekräftigung dazu führen, dass die Kinder sich häufiger krank fühlen (Lustgewinn der Krankheit). Die fünf wichtigsten Beziehungen zwischen Reaktion und Verstärkung bei der operanten Konditionierung sind als **Kontingenzpläne** in Tab. 7.1 zusammengefasst.

Premack-Prinzip der bevorzugten Aktivität

Eine Erweiterung hat die operante Konditionierung durch die Erkenntnis erfahren, dass nicht nur physikalische Reize, sondern vielmehr auch eigene Aktivitäten als Verstärker eingesetzt werden können, um die Häufigkeit einer weniger geschätzten Aktivität zu steigern. Premack (1965)konnte zeigen, dass Ratten unter Flüssigkeitsdeprivation lernen können, ihre Laufaktivität zu steigern, wenn sie nach dieser Reaktion Wasser trinken konnten, was noch nicht ungewöhnlich ist. Aber wird den nicht durstigen Ratten in einem weiteren Experiment die Möglichkeit zur Bewegung vorenthalten, so nehmen sie mehr Flüssigkeit zu sich, wenn sie danach rennen dürfen. In einem anderen Experiment wurde Kindern die Möglichkeit geboten, an einer Flippermaschine zu spielen oder Kekse zu essen. Kinder, die lieber Kekse aßen als zu flippern, flipperten häufiger, wenn sie danach Kekse zu essen bekamen. Und umgekehrt: Kinder, die lieber flipperten, aßen dann mehr Kekse, wenn sie dafür mit der Möglichkeit zu flippern belohnt wurden (Premack 1959; mehr dazu auch in *Zusatztext online*).

Exkurs 7.21

Belegexperiment zum partiellen Verstärkungseffekt

Bereits Skinner konnte diesen Effekt im Laborexperiment beeindruckend demonstrieren. Nachdem seine Tauben gelernt hatten, auf eine Scheibe zu picken, um dafür zunächst jedes Mal Futter zu erhalten, führte er schrittweise eine nur partielle Bekräftigung ein, bis schließlich nur noch ganz selten und unvorhersehbar eine Belohnung gegeben wurde – mit dem Resultat, dass die Tauben nun bis zu 150.000-mal pickten, ohne eine Belohnung zu erhalten (Skinner 1953). Beispiele aus dem menschlichen Leben sind Spielautomaten, die ebenfalls partiell und unvorhergesehen Gewinne auswerfen, oder Lottospiele, bei denen es ebenfalls nur gelegentlich Verstärkungen gibt, und hier wie da die Spieler nicht müde werden trotzdem endlos weiter zu spielen.

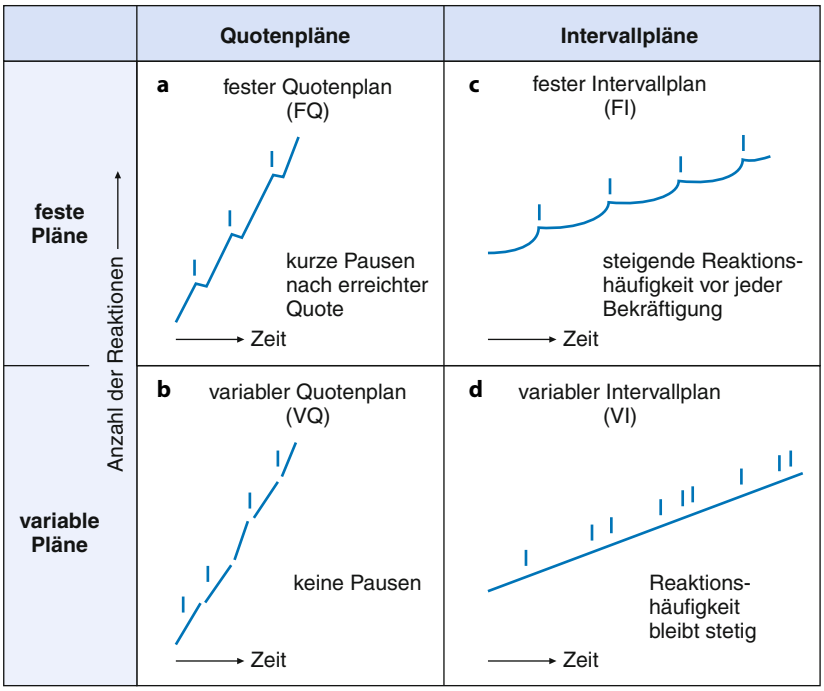


Abb. 7.30 Verstärkungspläne bei partieller Bekräftigung (*senkrechte Punkte*) mit typischen Reaktionskurven, wie sie Skinner zuerst bei seinen Labortauben fand. Sowohl bei Menschen als auch bei den Versuchstieren führen Quotenbelohnungen (Bekräftigung nach fester (**a**) beziehungsweise variabler (**b**) Stückzahl) zu schnelleren beziehungsweise höheren Leistungsraten als Intervallbelohnungen (Bekräftigung nach festen (**c**) beziehungsweise variablen (**d**) Zeitintervallen). Aber auch die Vorhersagbarkeit der Bekräftigung ist wichtig. Vorhersagbare (feste) Pläne führen zu höheren und stufenförmigen Reaktionskurven, mit Pausen nach Erreichen der Quote (fester Quotenplan) oder Reaktionssteigerungen vor der zeitlich erwarteten Belohnung (fester Intervallplan). Unvorhersagbare (variable) Intervallverstärkung erbringt die langsamsten Reaktionen. (Nach Skinner 1961)

Eine bevorzugte Aktivität führt, wenn sie kontingent nach einer weniger geschätzten Verhaltensweise ausgeführt werden darf, zu einer größeren Häufigkeit der weniger geschätzten Verhaltensweise, die sie verstärkt (Premack-Prinzip).

Verstärkerpläne

In unseren bisherigen Darstellungen sind wir im Wesentlichen davon ausgegangen, dass *jede* gewünschte Reaktion, wenn sie auftritt, verstärkt wird. Ein solches Vorgehen wird als **kontinuierliche Verstärkung** (*continuous reinforcement*) bezeichnet. Unter solchen Bedingungen erfolgt der Lernanstieg zwar schnell, aber wenn die Belohnung aussetzt, zum Beispiel die Ratte in der Skinner-Box keine Futterpillen mehr erhält, setzt die Extinktion unmittelbar ein, das heißt, die Ratte hört bald auf, den Hebel zu drücken, so wie auch wir sehr bald aufhören würden, Geld in einen Zigarettenautomaten zu werfen, wenn wir ein- oder zweimal keine Ware für unseren Einwurf erhalten haben. Doch kann es sein, dass wir eine Woche später einen neuen Versuch starten und somit Spontanerholung zeigen. Normalerweise, wie in unserem Alltag, wird kaum jede einzelne Handlung kontinuierlich verstärkt. Unser Arbeitseinsatz zum Beispiel wird nicht jedes Mal direkt belohnt. Oft müssen wir lange auf eine Anerkennung warten. Oder für einen Angler führt nicht jeder Wurf zu einem Fang. Dennoch wird das Verhalten beibehalten oder sogar intensiviert, weil es doch immer mal wieder verstärkt wurde. Dieses Phänomen, dass Lernen auch erfolgt und das gelernte Verhalten auch beibehalten wird, wenn es nur gelegentlich verstärkt wird, bezeichnet man als **partielle Verstärkung** (*partial reinforcment*). Partielle Verstärkung führt zu einem langsameren Lernanstieg, aber zu einer wesentlich größeren **Löschungsresistenz** als kontinuierliche Verstärkung (▶ Exkurs 7.21). Dieses Phänomen, dass partielle oder **intermittierende** Verstärkung zu einer sehr hohen Löschungsresistenz führt, wird als **partieller Verstärkungseffekt** (*partial reinforcement effect*) bezeichnet.

Es zeigte sich in der Forschung schon bald, dass die Art des Verstärkereinsatzes das Reaktionsmuster und den Lernverlauf bestimmt. Dies wurde von Skinner (1961) und seinen Mitarbeitern ausführlich untersucht. Hiernach werden vier **Verstärkungspläne** unterschiedlicher partieller Bekräftigung unterschieden (Abb. 7.30).

1. **Fester Quotenplan (FQ):** Die Verstärkung erfolgt erst nach einer bestimmten Anzahl von Reaktionen. Wird beispielsweise nur jede 20. Reaktion belohnt, führt dies sowohl im Rattenexperiment als auch beim Menschen (zum Beispiel Stücklohn) zu einer Stufenkurve mit kurzen Aktivitätspausen nach jeder Bekräftigung (Abb. 7.30a). Beginnt man mit

Exkurs 7.22

Genauer betrachtet: Ist Bestrafung sinnvoll?

Die Bestrafung ist wohl eine der gebräuchlichsten Methoden im täglichen Leben, um unerwünschtes Verhalten zu bekämpfen, doch gibt es immer wieder Kritik, da Bestrafungen oft nicht den gewünschten Erfolg bringen, sondern vielmehr zu unerwünschten Nebenwirkungen führen:

1. Die Bestrafung einer bestimmten Gewohnheit kann unangemessen auf weitere ähnliche Gewohnheiten generalisieren. So kann Bestrafung von übermäßiger Aggression bei Kindern dazu führen, dass auch ihre eigentlich sehr erwünschte Selbstbehauptungsfähigkeit dabei zerbricht, oder die Bestrafung führt zu so viel Angst, dass die Person unfähig wird, das unerwünschte Verhalten in den Griff zu bekommen (zum Beispiel kindliche Sauberkeitserziehung).
2. Das bestrafte Kind stellt fest, dass Bestrafung oder ihre Androhung sehr erfolgreich sein kann, um anderen den eigenen Willen aufzuzwingen. Handelt es sich dabei um körperliche Gewalt, zum Beispiel durch die Eltern, kann dies dazu führen, dass das Kind Gewalt als erfolgreiches Machtmittel selbst einsetzen wird.
3. Lernt das Kind gemäß Diskriminationslernen zu unterscheiden, wann die Strafe droht (zum Beispiel nur im Beisein der Eltern) und wann nicht, so wird die Strafe keine Verhaltensänderung bewirken, sondern das Kind wird unverändert aggressiv sein, solange die Eltern nicht zugegen sind.
4. Harte Bestrafung kann auch zur Gegenaggression gegen die strafende Person oder Institution führen.
5. Wenn Eltern aus Ärger über das Kind strafen, kann Strafe als Ausdruck elterlicher Abwendung erlebt werden, die das Kind dann nicht mehr mit einem bestimmten Fehlverhalten verbindet (auf die Rolle der Emotion beim Strafen hat bereits John Locke (1632–1704) hingewiesen (Locke1975)).

Andererseits gibt es bekanntermaßen Situationen, in denen Bestrafungen, wenn sie nicht übermäßig hart sind und konsequent zum Setzen von für das Kind nachvollziehbaren Grenzen verwendet werden, erfolgreich zur Eliminierung unerwünschten Verhaltens – wie etwa aggressiven oder gefährlichen Verhaltens – beitragen. Dabei sind unter anderem folgende Punkte zu beachten (nach Walters und Grusec 1977):

1. Es sollte wenigstens eine alternative Reaktion zur Verfügung stehen, die nicht die Strafe nach sich zieht und die positiv verstärkt werden kann.
2. Die Strafe sollte angemessen sein. Man kann im Sinne einer Familienkonferenz Strafen für unerwünschte Verhaltensweisen vorab vereinbaren, die konsequent angewendet werden. Zu harte oder unverständliche Strafen führen zur Gegenaggression, zu geringe Bestrafung kann als Belohnung erlebt werden und zur Fixierung auf das Verhalten führen.
3. Die Bestrafung sollte sofort nach Auftreten der Reaktion erfolgen, oder die Umstände sollten nochmals lebendig ins Gedächtnis gerufen werden, ehe die Bestrafung erfolgt. Verzögerte Bestrafung führt eher nur zu einer Unterdrückung der Reaktion.
4. Weder während noch im Anschluss an die Bestrafung sollten Belohnungen gegeben werden (keine Sympathiekundgebungen oder besondere Aufmerksamkeit, die das Kind als Schuldeingeständnis oder Wiedergutmachung der Strafenden auffassen könnte).
5. Mögliche Verwendung von konditionierter Bestrafung: Ein Kind, das für ein bestimmtes Fehlverhalten eine ihm unangenehme Strafe bekommen hat, wird später nur noch dadurch bestraft, dass es ermahnend an diese Strafe erinnert wird. Zum Beispiel wird ein Kind, das vom Kaffeetisch weggeschickt wurde, weil es herumgequengelt hat, um sich den Platz neben dem geliebten Opa zu erstreiten, sich beim nächsten Mal überlegen, ob es weiterquengelt, wenn es ermahnt wird.
6. Natürlich ist darauf zu achten, dass die Strafe auch als unangenehm erlebt wird und nicht als Vorteil – es kann auch erfreulich sein, wegen Quengelei von der sonntäglichen Kaffeetafel weggeschickt zu werden, nämlich wenn man satt ist und die Erwachsenen sich unterhalten.
7. Es sollte nur die spezifische Reaktion bestraft werden und nicht die Person. Das heißt, es ist darauf zu achten, niemals von einer zu bestrafenden Reaktion auf allgemeine Charaktereigenschaften der Person zu generalisieren und die Person zu bestrafen.
8. Daneben gibt es auch immanente „Bestrafungen", die sich als Konsequenzen aus dem Fehlverhalten selbst ergeben, zum Beispiel, wenn Kinder in nasser Kleidung herumlaufen und dann frieren. Auch sie lassen sich in vielen Fällen effektiv nutzen, sodass es keiner weiteren Bestrafung bedarf, wenn man den Kindern die negativen Folgen ihres Fehlverhaltens einsichtig macht.

einer niedrigen Quote und steigert diese, so gilt allgemein, dass der Organismus mit einer höheren Frequenz reagiert, je höher die Quote ist (Atkinson et al. 2001).

2. **Variabler Quotenplan (VQ):** Die Verstärkungen erfolgen nach einer variablen, unvorhersagbaren Anzahl von Reaktionen, wobei die durchschnittliche Anzahl jeweils festgelegt wird (Abb. 7.30b). Nach diesem Prinzip arbeiten zum Beispiel Gewinnspielautomaten. Die Unvorhersehbarkeit der Erfolge führt hier wie auch zum Beispiel beim Angeln zu einer hohen Extinktionsresistenz. Das ist auch der Grund dafür, dass sich Spielverhalten („Spielsucht") oder Anglerverhalten kaum löschen lässt.
3. **Fester Intervallplan (FI):** Hier wird die erste Reaktion nach einer jeweils festgelegten Zeitdauer seit der letzten Verstärkung verstärkt. Die Häufigkeit der gezeigten Reaktionen hat keinen Einfluss auf die Verstärkung. Unter diesen Bedingungen steigt die belohnte Verhaltenshäufigkeit jeweils kurz vor dem erwarteten Belohnungszeitpunkt stärker an (Belohnungsantizipation) und bildet danach zumeist ein Nullniveau (Abb. 7.30c).
4. **Variabler Intervallplan (VI):** Verstärkt wird immer die erste Reaktion nach einem variablen Zeitintervall, dessen durchschnittliche Dauer jeweils festgelegt ist. Bei diesem Vorgehen resultiert eine langsam, aber stetig ansteigende Verhaltenskurve (Abb. 7.30d), denn es lässt sich für den Organismus zu keiner Zeit absehen, wann die nächste Verstärkung erfolgen wird.

Feste und variable Quotenpläne führen zu hohen Reaktionsraten, weil die Anzahl der Verstärkungen mit der Anzahl der gezeigten Reaktionen wächst, was bei den Intervallplänen nicht der Fall ist.

Feste und variable Intervallpläne führen zu langsam ansteigenden Reaktionskurven: feste Intervallpläne zu Reaktionskurven mit Stop-start-Charakteristik, variable

Exkurs 7.23

Demonstrationsbeispiel: Shuttleboxexperimente zum Vermeidungslernen

In der tierexperimentellen Forschung werden zur Beurteilung der Veränderung von Lernleistungen unter bestimmten Bedingungen oft Konditionierungsexperimente in der sogenannten **Shuttle-Box** (Wechselkäfig, siehe dazu ◘ Abb. 8.40b) durchgeführt. Hierbei handelt es sich in vielfältigen Variationen im Prinzip um einen Doppelkäfig, dessen beide Räume (*compartments*) in irgendeiner Weise durch eine Barriere getrennt sind. Bei den Versuchsdurchgängen, bei denen das Tier sich in einem der beiden Compartments befindet, ertönt jeweils zunächst ein Warnsignal (oder eine Lampe leuchtet auf), und wenige Sekunden später wird das Fußbodengitter des Compartments leicht elektrifiziert. Durch einen Sprung in das andere Compartment kann das Tier nun dem Schock entfliehen. Nach einer Pause wiederholt sich in diesem Compartment dann die gleiche Prozedur, mit der Folge, dass das Tier erneut das Compartment wechselt.
Anfangs wird das Tier jeweils erst dann über die Barriere springen, wenn der Schock beginnt (*Fluchtreaktion*). Aber nach einiger Erfahrung wird das Tier bereits beim Ertönen des Warnsignals das Compartment wechseln und dadurch den Schock vollständig vermeiden (*Vermeidungsreaktion*).

Intervallpläne dagegen zu langsam aber stetig ansteigenden Verhaltenskurven.

Aversive Konditionierung

Wird bei der operanten Konditionierung statt einer Bekräftigung ein aversiver Stimulus, eine Bestrafung, eingesetzt, spricht man von **aversiver Konditionierung** (sie sollte nicht mit negativer Verstärkung verwechselt werden). Bestrafung bewirkt das Gegenteil der Belohnung. Während Belohnung die Verhaltenshäufigkeit ansteigen lässt, führt schnelle und kontingente Bestrafung, wie zu erwarten, zu einem Absinken der Auftretenswahrscheinlichkeit der bestraften Reaktion. Die ungewünschte Verhaltensweise wird dadurch jedoch nicht verlernt, sondern die Strafe führt nur zur Unterdrückung des ungewünschten Verhaltens, wobei zumeist auch noch unvorhersagbare Nebenwirkungen auftreten. Das wird verständlich, wenn man sich klarmacht, dass eine Belohnung dem Organismus signalisiert: „Wiederhole das, was du getan hast." Eine Bestrafung sagt nur: „Tu das nicht", aber sie versäumt gewissermaßen, eine Alternative anzubieten. So kann es sein, dass der Organismus die unerwünschte Verhaltensweise durch eine möglicherweise noch unerwünschtere Reaktion ersetzt.

Ferner führt Bestrafung zu emotionalen Reaktionen wie Angst, Wut oder Zorn oder auch **Hilflosigkeit** gegenüber der strafenden Instanz, seien es nun Lehrer, Eltern oder der Arbeitgeber, sowie der jeweiligen Situation (Schule, Elternhaus oder Arbeitsstelle), wo die Bestrafung erfolgte. Außerdem kommt es zu einem Gegeneffekt, wenn eine zuvor bestrafte Reaktion in einer anderen Situation nicht länger aversive Konsequenzen nach sich zieht. Dies führt dazu, dass sich die Häufigkeit ihres Auftretens gegenüber dem Niveau vor dem Beginn der Bestrafung erhöht. Man bezeichnet dies als **Verhaltenskontrast**. Bestrafungen können demzufolge nur dann ein unerwünschtes Verhalten ausräumen, wenn gleichzeitig eine andere Alternative geboten und positiv bekräftigt wird. Somit erhält aversive Konditionierung ihre Bedeutung darin, dass sie Verhaltensweisen umlenken kann. Ratten, die gelernt haben, in einem Labyrinth den kürzeren von zwei möglichen Wegen zum Futter zu wählen, werden, wenn sie auf diesem kurzen Weg einen aversiven Stimulus (Schock) erfahren, sehr schnell lernen, den längeren Weg zum Futter zu nehmen (► Exkurs 7.22).

Flucht und Vermeidung (*escape and avoidance*)

Bei der Konditionierung mit negativer Verstärkung (Aufhebung eines aversiven Zustandes) haben wir zwei weitere wichtige Möglichkeiten zu beachten, die sich eigentlich nur durch eine zeitliche Verzögerung unterscheiden, aber dadurch wesentliche Folgeimplikationen mit sich bringen. Ist der Organismus einem aversiven Reiz ausgesetzt (zum Beispiel einem Gewitterregen), so kann er ihn durch eine richtige Reaktion beendigen oder ihm entfliehen (einen Unterstand aufsuchen). Dies wird als **Fluchtreaktion** oder Fluchtkonditionierung bezeichnet. Kann der Organismus jedoch den aversiven Reiz (Gewitterregen) durch eine frühzeitige richtige Reaktion (dunkle Wolken = CS → frühzeitig Schutz aufsuchen) sogar vermeiden, so wird dies als **Vermeidungsreaktion** beziehungsweise Vermeidungskonditionierung bezeichnet.

Beide Prinzipien spielen sowohl in der wissenschaftlichen Forschung als auch in der therapeutischen Anwendung eine wichtige Rolle. Wie der zugehörige Lernprozess abläuft und untersucht werden kann, veranschaulicht ► Exkurs 7.23.

Ein solches Vermeidungsverhalten ist in der Regel (auch bei Menschen) erstaunlich stabil und schwer zu löschen. Wenn Sie zum Beispiel mit einem elektrischen Weidezaun in Berührung gekommen sind und einen Schlag bekommen haben oder wenn Sie von einem Hund gebissen worden sind, werden Sie die entsprechende Verhaltensweise (Berühren eines Weidezaunes) oder Situation (Hund auf dem Grundstück) vehement vermeiden – eine Reaktion mit hoher Löschungsresistenz (zumindest bei Kindern). Können Sie sich vorstellen, wie eine solche Reaktionsweise gelöscht werden könnte? (dazu ► Abschn. 7.3.3)

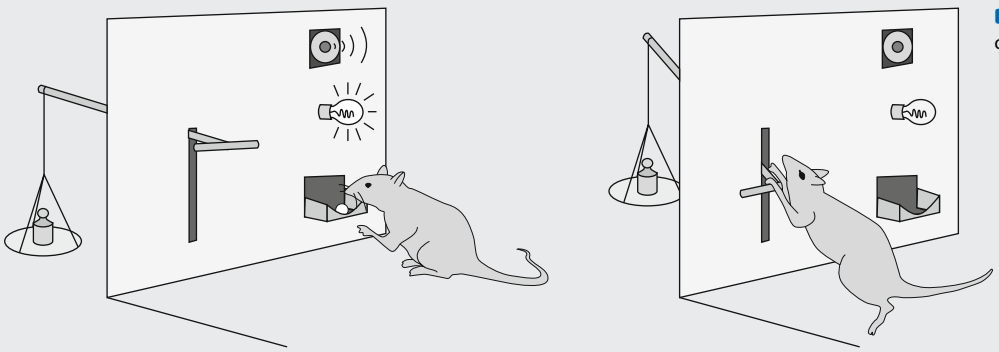
Lerntheoretisch betrachtet, scheint Vermeidungsverhalten in zwei Schritten und nach zwei Prinzipien aufgebaut zu werden. Der erste Schritt beinhaltet eine klassische Konditionierung. Durch wiederholte Paarungen des Warnreizes (CS) und des aversiven Stimulus (Schock, US) lernt das Tier einen Angstresponse (CR) auf das Warnsignal. Erst in einem zweiten Schritt lernt das Tier durch operante Konditionierung, dass sein Springen über die Barriere (R) das aversive Angsterlebnis (SR) entfernt. Somit lässt sich das Vermeidungsverhalten als Flucht vor dem klassisch konditionierten Furchterlebnis verstehen (Rescorla und Solomon 1967). Durch diese Kopplung wird verständlich, warum Vermeidungsverhalten zumeist eine so hohe **Extinktionsresistenz** hat, denn hier tritt offensichtlich gar keine eigentliche Löschung ein, da durch die negative Verstärkung des Fluchtverhaltens die auf das Tonsignal hin erlebte Furcht immer wieder operant verstärkt

Exkurs 7.24

Genauer betrachtet: Herkules, der Gewichtheber

Komplexe Verhaltensweisen werden in der Regel nicht auf einen Schlag gelernt, vielmehr bedarf es vieler Übungsdurchgänge. Bis ein Klavierspieler zum Beispiel eine Sonate von Beethoven fehlerfrei vortragen kann, muss er das Stück viele Male geübt und gespielt haben, und jedes Mal wird er sich über Teilfortschritte gefreut haben. Entsprechend würden wir bei einem Schüler verfahren, den wir für Teilfortschritte loben und nicht erst für die perfekte Leistung.

Nach diesem Prinzip der stufenweisen Approximation lässt sich auch einer Ratte beibringen, in kürzester Zeit mehr als das Doppelte ihres eigenen Körpergewichts zu heben. Zunächst lernte die hungrige Ratte, dass jede Bewegung in Richtung auf den Futternapf von einem Klickgeräusch und einem Lichtsignal über dem Futternapf gefolgt wurde, wo sie jedes Mal auch eine Futterpille vorfand. Sobald das Tier mit diesen Reaktionen vertraut war, wurde es nur dann belohnt, wenn es sich in Richtung auf den Hebel des Gewichtbalkens bewegte, an dessen anderem Ende ein veränderbares Gewicht angebracht war (◘ Abb. 7.31). Im nächsten Approximationsschritt erhielt es die Belohnung nur, wenn es den Hebel berührte, und dann nur noch, wenn es ihn herunterzog, was zunächst ganz leicht möglich war. Schritt für Schritt konnte nun das Gewicht erhöht und damit die Kraft gesteigert werden, die nötig war, um das Gewicht durch Ziehen des Hebels zu heben – und um bekräftigt zu werden. Durch diese stufenweise Annäherung an das Lernziel war es möglich, dass die 250 g schwere Ratte innerhalb weniger Stunden lernte, auf diese Weise ein Gewicht von 512 g zu heben (aus Ruch und Zimbardo 1974).



◘ **Abb. 7.31** Die Versuchsanordnung zum Gewichtheben

wird. Beim Menschen können auch kognitive Faktoren, wie wir noch sehen werden, als CS fungieren.

Shaping oder stufenweise Annäherung

Verhaltensweisen sind meist komplex und können nicht auf einen Schlag gelernt oder durch operante Konditionierung bekräftigt werden. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn es sich um für das Individuum völlig neue Reaktionen handelt. Auch in den dargestellten Skinner'schen Experimenten, in welchen die Ratten für ihr Hebeldrücken bekräftigt wurden, ist es ja notwendig, dass die Ratte den Hebel überhaupt erst einmal drückt. Um dies zu erreichen, kann man im Tierexperiment die natürliche Variation der ohnehin gezeigten Verhaltensreaktionen nutzen, indem man dem Tier zunächst bereits eine Futterverstärkung gibt, sobald es sich überhaupt dem Ort des Hebels nähert. Für den Erhalt jeder weiteren Bekräftigung muss sich das Tier schrittweise näher und näher an den Hebel heranbewegen, den Hebel berühren, und schließlich erhält es die Verstärkung nur noch, wenn es den Hebel auch drückt. Diese Technik, bei der nur Verhaltensvariationen bekräftigt werden, die stufenweise in der gewünschten Richtung liegen, wird als **Shaping** (stufenweise Annäherung) bezeichnet. In dieser Weise können Tiere dazu gebracht werden, völlig neue Verhaltensweisen wie Tricks oder Kunststücke zu erlernen. Auch bei Menschen findet diese Art der Verhaltensformung vielfache Anwendung, obgleich hier die ersten Schritte wesentlich dadurch erleichtert sind, dass man dem Lernenden sagen kann, was er tun soll. Bis wir aber zum Beispiel im Sport oder auch in der Schule eine hervorragende Leistung erbringen können, bedarf es vieler stufenweise, erst für jeweils eine etwas bessere Leistung gegebener Verstärkungen. Ein eindrückliches Beispiel dieser **sukzessiven Approximation** ist in ▶ Exkurs 7.24 dargestellt.

Shaping

Shaping bezeichnet die Veränderung des Verhaltens durch *stufenweise Annäherung*, das heißt in aufeinanderfolgenden kleinen Schritten, wobei jeder Schritt eine weitere Annäherung an die erwünschte Leistung bedeutet.

Chaining oder Kettenkonditionierung

Komplexe menschliche wie auch tierische Verhaltensweisen lassen sich vielfach als Reaktionsketten verstehen oder auch im Tierexperiment als solche aufbauen, wie das bei vielen bekannten Tierdressuren der Fall ist (▶ Exkurs 7.25).

Der Aufbau einer solchen Verhaltenskette beginnt mit der operanten Konditionierung des letzten Gliedes, das eine Reaktion darstellt, die durch eine primäre Verstärkung (im Tierexperiment) gefestigt wird. Diese Reaktion oder die dazugehörige Situation wird dabei zugleich zum *konditionierten Verstärker*, mit dem sich nun eine beliebige direkt vorangehende Reaktion verstärken lässt. Diese wird dann wieder zum konditionierten Verstärker einer weiteren vorangestellten Reaktion. Jedes Glied der Kette ist damit ein *diskriminativer Stimulus* für die nächste Reaktion und zugleich ein konditionierter Verstärker der unmittelbar vorausgegangenen.

Die Kettenkonditionierung sollte nicht mit dem Shaping verwechselt werden, in welchem die Verhaltensformung jeweils einer Verhaltensweise durch stufenweise Annäherung über Teil-

Exkurs 7.25

Genauer betrachtet: Chaining, ein Demonstrationsbeispiel

Eine nette Demonstration des Chaining-Verfahrens lieferten Pierrel und Sherman (1963). Sie trainierten nach diesem Verfahren eine gewöhnliche Ratte zu einem regelrechten Varietékünstler, den sie Barnabas nannten. Barnabas lernte:

1. eine Wendeltreppe hinaufzusteigen,
2. über eine schmale Zugbrücke zu laufen,
3. eine Leiter hinaufzuklettern,
4. ein Spielzeugauto an einer Kette herbeizuziehen,
5. in das Auto einzusteigen,
6. mit dem Auto zu einer zweiten Leiter zu fahren,
7. diese Leiter hinaufzuklettern,
8. durch ein Rohr zu kriechen,
9. in einen Aufzug zu steigen,
10. an einer Kette zu ziehen, die eine Fahne hochzog und Barnabas zur Ausgangsplattform zurückbrachte,
11. dort einen Hebel zu drücken, wofür er eine Futterpille bekam, die er fraß,
12. und dann wieder die Wendeltreppe hinaufzuklettern und so weiter.

Der Aufbau dieser Verhaltenskette begann mit dem Erlernen des *letzten* Gliedes: Zuerst lernte Barnabas, den Hebel zu drücken, um Futter zu bekommen. Dann wurde er in den Aufzug gesetzt, der ihn zur Ausgangsplattform zurückbrachte, wo sich der Hebel befand. Nachdem Barnabas gelernt hatte, dass das Aufzugfahren so angenehme Folgen hatte, wirkte dies bereits bekräftigend, wenn er zuvor noch durch ein Rohr kriechen musste. So konnten die Autoren, unterstützt durch Shaping, diese bizarre, in sich geschlossene Reaktionskette aufbauen.

ziele erfolgt. In anderer Weise spielt die Aufgliederung in Teilziele auch beim Prozess des Problemlösens eine Rolle.

Chaining

Chaining (Kettenkonditionierung) bezeichnet den Aufbau einer Verhaltenskette, bei der, ausgehend von einer primär verstärkten Reaktion, jede Reaktion als konditionierter Verstärker für die jeweils vorangestellte Reaktion genutzt wird, die dabei zugleich zum diskriminativen Stimulus für die nachfolgende wird.

7.4.4 Konditionierung autonomer Funktionen und Biofeedback

Lange Zeit wurde angenommen, dass operantes Konditionieren nur für den Bereich der willentlichen Handlungen möglich sei und dass unwillkürliche Verhaltensweisen, die der Kontrolle des autonomen Nervensystems unterstehen, wie Herzschlagfrequenz, Drüsentätigkeit oder Blutdruck, nicht operant konditioniert und damit nicht direkt willentlich veränderbar wären. Andererseits ist bekannt, dass einige Menschen, wie zum Beispiel indische Yogis, offenbar in der Lage sind, ihren Herzschlag zu kontrollieren. Doch wie Untersuchungen gezeigt haben, tun sie dies nicht direkt, sondern indirekt, indem sie ihre dem Willen unterworfene Skelettmuskulatur, die der Atmung dient, beeinflussen. Dass aber zahlreiche *autonome Funktionen*, die nach früherer Auffassung nur klassisch konditionierbar waren, ebenfalls einer direkten Kontrolle durch Shaping und *operante Konditionierung* unterworfen werden können, wurde erst 1965 durch die Forschungsarbeiten des Psychologen Neal I. Miller und Mitarbeiter nachgewiesen. Sie konnten in ihren Experimenten ► Exkurs 7.26 an Rattengruppen zeigen, dass autonome Funktionen wie Herzschlagfrequenz, Blutdruck, periphere Durchblutung des Körpers, Magen-Darm-Kontraktion und Harnausscheidung in der Niere unabhängig voneinander durch entsprechende Verstärkungsmechanismen in einer jeweils gewünschten Richtung modifiziert werden können. Dies war nur dadurch möglich, dass sie jede indirekte willentliche Kontrolle durch Paralyse (Lähmung der Willkürmotorik der Versuchstiere mit Curare) ausschließen konnten. Sie konnten so nachweisen, dass die erzielten Veränderungen nicht indirekt durch eine unbemerkte Beeinflussung des willkürlich steuerbaren Muskelsystems herbeigeführt wurden.

Biofeedback In den oben genannten Ergebnissen sah bereits Miller große Möglichkeiten zur praktischen therapeutischen Anwendung beim Menschen, zum Beispiel zur Regulierung des Blutdrucks. Hierzu müsste es möglich sein, geringe subliminale (unterschwellige) internale Reaktionen und Reize wahrnehmbar zu machen. Dies ermöglichen heute besondere apparative Verfahren, die den Probanden die Veränderung der jeweiligen autonomen Funktion sichtbar oder hörbar machen (Biofeedback, Rückmeldung), die diese dann in gewissem Maße willkürlich beeinflussen können.

Hierdurch erhalten die Personen Zugang zu den sonst nicht wahrnehmbaren reaktionsbedingten internalen Hinweisreizen, über die sie bemerken können, ob und dass kontingente Reaktionen stattgefunden haben. Therapeutisch nutzen lässt sich diese technisch unterstützte Fähigkeit zur Selbstbeobachtung heute bei der verhaltenstherapeutischen Schmerzbehandlung und ähnlich bei Bluthochdruck und Diabetes.

Biofeedback

Biofeedback ist ein Verfahren, bei dem die Person durch Rückmeldung interner Signale Kontrolle über nicht bewusste Körperfunktionen erlangen kann. Grundlage ist das Prinzip der operanten Konditionierung.

7.4.5 Kognitive Faktoren, Kontrolle und Erwartung

Wenngleich Skinner als führender Behaviorist immer wieder darauf bestand, dass eine wissenschaftliche Lernpsychologie allein auf beobachtbaren Ereignissen aufbauen müsse und nicht in das Jahrhundert der Introspektion zurückfallen dürfe, so mehrten sich doch auch noch zu seinen Lebzeiten die Hinweise, dass offenbar doch *kognitive Prozesse* bei Menschen und Tieren bei vielen Formen des Lernens mit im Spiel sind. So haben wir bereits bei der Darstellung der verschiedenen Verstärkerpläne bemerkt, dass Tiere wie auch Menschen bei der Verstärkung nach einem festen Intervallplan (Abb. 7.30c) erst kurz vor dem jeweils nächsten

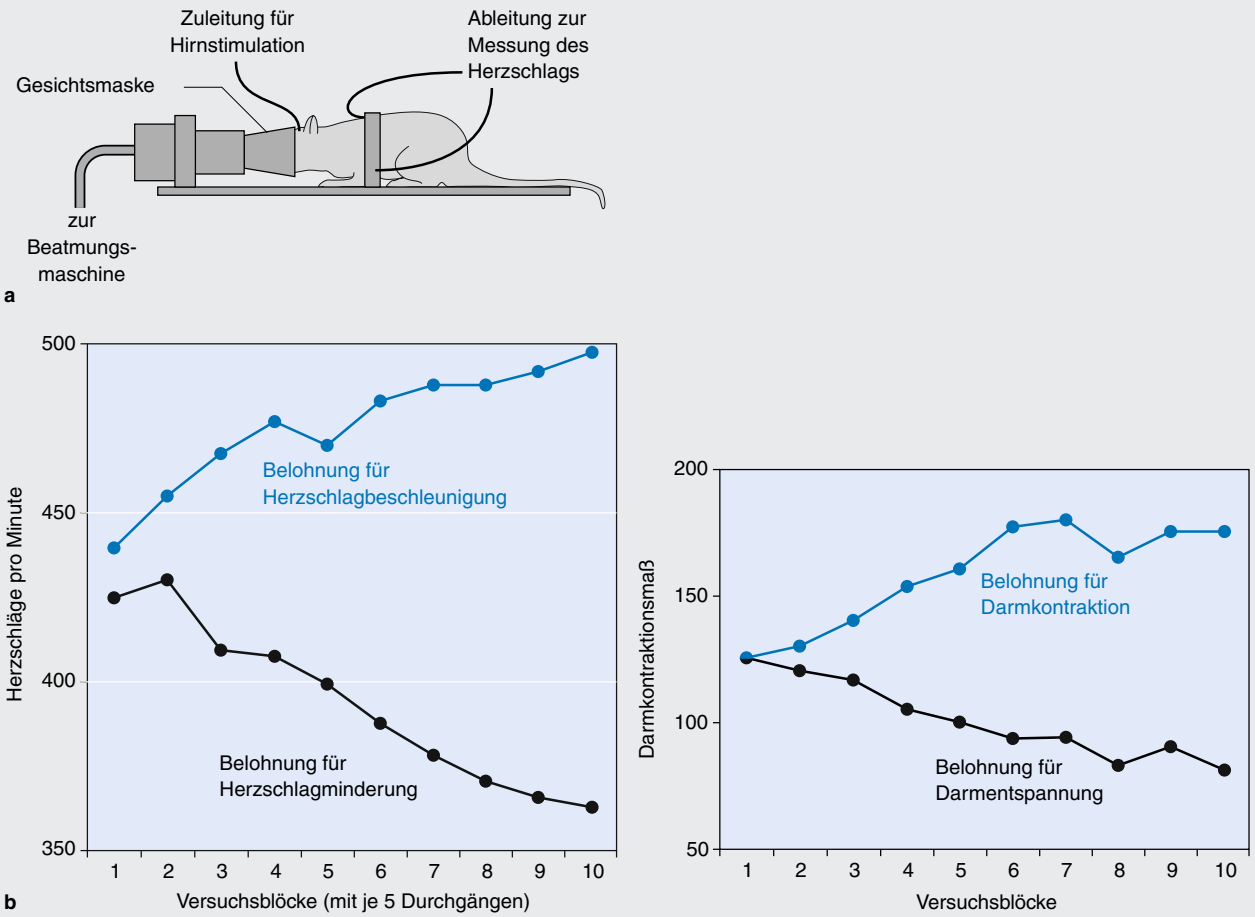
Exkurs 7.26

Genauer betrachtet: Operante Konditionierung autonomer Funktionen

Dass auch autonome Funktionen unter die Kontrolle der operanten Shapingprozedur gebracht werden können, konnten Miller und seine Mitarbeiter in ihren Experimenten zeigen. ◘ Abb. 7.32a zeigt schematisch die Versuchsanordnung zur differenziellen Konditionierung der Herzschlagfrequenz und der Darmkontraktion. Die Ratten, deren Willkürmotorik zunächst durch Curare paralysiert wurde, um jede direkte willentliche Kontrolle sicher ausschließen zu können, wurden zunächst mit einer Gesichtsmaske an einen Respirator angeschlossen, der die Atmung der Tiere aufrechterhielt. Die Verstärkerreize erhielten die Tiere unter diesen Bedingungen über eine elektrische Stimulation bestimmter Hirnareale, die für Empfindungen der Belohnung (▶ Kap. 12) zuständig sind. Für das operante Shaping-Training wurden die zu untersuchenden Tiere auf vier Gruppen aufgeteilt:

1. Die erste Gruppe wurde für jede Herzschlagerhöhung belohnt.
2. Die zweite Gruppe wurde für jede Herzschlagerniedrigung belohnt.
3. Die dritte Gruppe wurde für jede Erhöhung der Darmkontraktion belohnt.
4. Die vierte Gruppe wurde für die Erniedrigung der Darmkontraktion belohnt.

Ein solches experimentelles Design ermöglicht den Nachweis der differenziellen Konditionierbarkeit der beiden untersuchten autonomen Funktionen. Wie die Kurvenverläufe in ◘ Abb. 7.32b zeigen, führte die differenzielle positive Verstärkung der Herzfrequenz definitiv auch nur zu einem Anstieg der Herzfrequenz, nicht aber zu einer Veränderung der gleichzeitig gemessenen Darmkontraktion. Das Gleiche gilt entsprechend für die Erniedrigung der Herzfrequenz. Ebenso lernten die Tiere, ihre Darmmuskulatur zu kontrahieren oder zu relaxieren.



◘ **Abb. 7.32** **a** Versuchsanordnung zur differentiellen Konditionierung, **b** Resultate der verschiedenen differentiellen Verstärkungen

Reinforcement oder dem aversiven Reiz (etwa Gewitterregen) zunehmend häufiger reagieren, als erwarteten sie, dass zu dieser Zeit das häufige Reagieren die Bekräftigung auslösen würde. Hier von einer „Erwartung" zu sprechen, scheint dem Behavioristen überflüssig und unnötig. Es genügt ihm festzustellen, dass die Reaktionshäufigkeit unter diesen Bedingungen zunimmt.

Auch bei der klassischen Konditionierung hatten wir bereits gesehen, dass die **Vorhersagbarkeit** einen wichtigen Faktor zum Verständnis der Phänomene darstellt. Ähnlich ist es mit dem Begriff der **Kontrolle** bei der operanten Konditionierung, den wir bei deren Darstellung bereits mit verwendet haben. Wesentlich zu dieser erweiterten Sicht auch der operanten Konditionierung haben die vielfältigen Untersuchungen von Seligman (1975) zur **gelernten Hilflosigkeit** beigetragen, wonach eine operante Konditionierung darauf gründet, dass der Organismus die Situation so *interpretiert*, dass seine Reaktion das Auftreten der Verstär-

Exkurs 7.27

Seligmans Experiment zur gelernten Hilflosigkeit

Für die Auffassung, dass bei der operanten Konditionierung die Kontrolle der kritische Faktor ist, wird durch Seligmans bei verschiedenen Tierarten bestätigtes grundsätzliches Experiment unterstützt. In der ersten Phase des Experiments lernen die Tiere einer Kontrollgruppe, dass sie einen elektrischen Schock vermeiden können, wenn sie rechtzeitig zum Beispiel mit der Schnauze auf einen Hebel drücken können (negative Verstärkung), das heißt, sie lernen, dass die Schockerfahrung von ihrem Verhalten abhängig ist und von diesem kontrolliert wird. Die Experimentalgruppe dagegen lernt, dass sie keine Kontrolle über die Schocks hat. Sie erhielten gleich viele Schocks, unabhängig davon, was sie taten. Das geschieht mit Hilfe sogenannter **Joch-Kontrollen** (*yoked controls*), bei denen das Experimentaltier mit einem Kontrolltier unter ein Joch gespannt wird. Beide Tiere verharren in ihrem Geschirr und erhalten gelegentlich und gleichzeitig einen elektrischen Schock. Aber nur das Kontrolltier kann den Schock mit dem Hebeldruck ausschalten Das „Experimentaltier" hat dagegen keine Kontrollmöglichkeit über den Schock und wird jedes Mal geschockt, wenn auch das Kontrolltier geschockt wird; wenn dieses den Schock ausschaltet, wird damit auch gleichzeitig der Schock bei dem Experimentaltier ausgeschaltet. Beide Tiere erhalten somit die gleiche Menge und die gleiche Länge von Schocks. Sie unterscheiden sich also nur hinsichtlich ihrer Kontrollmöglichkeit. In der zweiten Phase des Experiments werden beide Tiere in eine (bereits beschriebene ▶ Exkurs 7.23) Shuttle-Box mit zwei unterschiedlichen Bereichen (Compartments) gesetzt, in welcher ihr Vermeidungsverhalten nach der unterschiedlichen Vorbehandlung getestet werden kann. Bei jedem Durchgang erklingt zunächst ein Ton, der den Tieren signalisiert, dass in dem Compartment, in dem sie sich gerade befinden, ein elektrischer Schock bevorsteht, wenn sie nicht rechtzeitig über die Barriere in das andere Compartment springen. Wie zu erwarten, lernen die Kontrolltiere sehr schnell, den Schock vollständig zu vermeiden. Aber die Experimentaltiere sind dazu offenbar nicht fähig. Sie versuchen nicht einmal, über die Barriere zu springen, sondern werden zunehmend passiver, und ihr Verhalten mündet sehr bald in eine vollständige Hilflosigkeit. Diese passive allgemeine Reaktion des „Aufgebens" infolge inkontingenter unkontrollierbarer Schocks, wird als **gelernte Hilflosigkeit** bezeichnet (Maier und Seligmann 1976).

kung kontrolliert oder vielleicht sogar verursacht. Das grundlegende Muster dieser Experimente zur gelernten Hilflosigkeit ist in ▶ Exkurs 7.27 dargestellt.

Die Entwicklung der **gelernten Hilflosigkeit** geht nach Seligman darauf zurück, dass die jochverbundenen Experimentaltiere in der ersten Phase des Experiments gelernt haben, dass die Schocks nicht unter ihrer Kontrolle stehen, und diese Auffassung macht eine operante Konditionierung für sie unmöglich, woraus geschlossen werden kann, dass der entscheidende Faktor für die operante Konditionierung in der Kontrolle beziehungsweise der **Erwartung** (*belief*) einer Kontrollmöglichkeit besteht. Danach ist operante Konditionierung nur dann erfolgreich, wenn der Organismus das Erlebnis hat, dass die Bekräftigung unter seiner Kontrolle steht (Seligman 1975; Maier und Seligman1976), und er erwarten kann, dass die Handlung etwas bewirkt.

An dieser Stelle lässt sich fragen: Was beinhaltet diese kognitive Sicht? Sprechen die dargestellten Untersuchungsergebnisse für die Annahme einer generell kognitiven (bewussten) Verarbeitung? Lässt sich auch die Konditionierung autonomer Funktionen kognitiv verstehen? Könnte es sein, dass verhaltensphysiologische Prozesse nach den gleichen Gesetzmäßigkeiten ablaufen wie kognitive Prozesse und dass beide im Laufe der Evolution ineinander übergreifen?

7.4.6 Biologische Einschränkungen

Bei der zunächst erhofften und von Psychologen angenommenen Allgemeingültigkeit der Lerntheorie zeigte sich jedoch, dass die gewonnenen Erkenntnisse bestimmten Einschränkungen unterliegen. Auch im Bereich der operanten Konditionierung stoßen wir auf biologisch bedingte Einschränkungen (*biological constraints*) der Konditionierungsmöglichkeiten. Die ersten Hinweise kamen hier von Psychologen, die jahrelang Tausenden von verschiedenen Zirkustieren durch operante Konditionierung ein

Exkurs 7.28

Experiment zur Demonstration: Der Waschbär und die zweite Münze

Ein Waschbär war mühevoll darauf konditioniert worden, eine Münze in eine Sparbüchse zu stecken. Doch die Konditionierung brach zusammen, wenn er eine zweite Münze hatte, die er mit der ersten aneinanderreiben konnte, was er viel lieber tat. Der Grund: Es gehört zum (angeborenen) Verhaltensrepertoire von Waschbären, sich mit Reiben und Waschen zu beschäftigen, wenn sie die Schalen von Flusskrebsen, ihrer Lieblingsnahrung, entfernen. Es ist eine „Instinktneigung", dass sich „gelerntes Verhalten dem instinktiven Verhalten zuneigt" (Breland und Breland 1961).

beachtliches Spektrum von überraschenden Kunststücken beibrachten. Doch beobachteten sie dabei, dass ihre Tiere bisweilen, statt die erwünschten Tricks zu lernen, ein nicht vorgesehenes Verhalten zeigten, das ihrem instinktiven (angeborenen) Verhalten ähnlicher war (▶ Exkurs 7.28).

Auch Thorndike bemerkte bereits bei seinen Katzen, dass im Verhaltensrepertoire gut vorbereitete Reiz-Reaktions-Verknüpfungen zu lernen, kürzere Lernzeiten benötigte und zu höherer Löschungsresistenz führte. Er beschreibt zum Beispiel, dass Katzen zum Entkommen aus ihren Käfigen auf den ersten Blick ungewöhnlichere, aber zum gleichen **Funktionskreis** der Fluchtvorbereitung gehörende Reaktionen, wie das Ziehen an einer Schnur, schneller lernten als häufiger vorkommende Verhaltensweisen, die jedoch nichts mit dem Entkommen zu tun haben, wie Sich-Lecken oder Sich-Kratzen (Thorndike 1898, nach Wendt 1989).

Deutliche Unterschiede zeigen sich auch für unterschiedliche Lernparadigmen wie Belohnungslernen (das Tier wird mit Futter belohnt) und Fluchtlernen (das Tier wird durch Schockbeendigung belohnt). Sollen Tauben zum Beispiel lernen, mit den Flügeln zu schlagen, so gelingt diese Konditionierung wesentlich schneller, wenn sie dadurch einem Schock entfliehen

Exkurs 7.29

Genauer betrachtet: Lerndisposition und Preparedness

Es ist anzunehmen (Seligman 1970; Chomsky 1965), dass auch Menschen in ähnlicher Weise wie höhere Primaten zum **Spracherwerb** (▶ Kap. 10) und zum Erwerb sekundärer Motivationen im Sinne der *Preparedness* vorbereitet sind. So konnte in Konditionierungsexperimenten gezeigt werden, dass bereits Säuglinge vor dem Spracherwerb Phoneme unterscheiden können. Auch höhere Primaten (z. B. Schimpansen und Gorillas) verfügen über Fähigkeiten zum Spracherwerb, die sie in ihrer natürlichen Umgebung jedoch nicht brauchten. Ohne solche präformierten Strukturen im ZNS wäre es nicht möglich, einzelnen Individuen eine Bildersprache oder die Taubstummensprache beizubringen (Patterson 1977, nach Wendt 1989).
Wegen der großen Unterschiedlichkeit artspezifischer Lerndispositionen blieben auch alle Versuche, die allgemeine Lernfähigkeit verschiedener Tierarten im standardisierten Laborexperiment zu vergleichen, vergeblich. Mäuse und Ratten können im Rohrlabyrinth erstaunliche Lernleistungen zeigen, sie würden aber bei der Befreiung aus Thorndikes Problemkäfig versagen; umgekehrt zeigen aber Katzen, wie dargelegt, hier besonders gute Leistungen.

können (Flügelschlagen gehört zum gleichen Funktionskreis Flucht-Angst), als wenn sie dafür mit Futter belohnt werden (Funktionskreis Nahrungsaufnahme). Und umgekehrt: Wenn die Tauben lernen sollen, auf eine Scheibe zu picken, so lernen sie dies viel schneller, wenn sie dafür mit Futter belohnt werden, als mit der Beendigung eines Schockreizes (Bolles 1970). Auch hier zeigt sich, dass die Konditionierbarkeit wesentlich durch die Zugehörigkeit zum gleichen Funktionskreis eingeschränkt ist. Fluchtverhalten schließt bei Tauben natürlicherweise das Flügelschlagen mit ein (nicht aber das Picken), während zur Nahrungsaufnahme bei Tauben natürlicherweise das Picken gehört, nicht aber das Flügelschlagen.

Verhaltensweisen, die innerhalb desselben Funktionskreises des Verhaltens eines Organismus liegen, werden schneller und besser gelernt.

Artspezifische Lerndispositionen und Prägung

Die vergleichende Verhaltensforschung hat immer wieder darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse und Begriffe der klassischen und operanten Konditionierung im Gegensatz zu anderen, wie Habituation und Prägung, sich auf den lernpsychologischen Versuch unter extrem standardisierten Bedingungen beziehen, was eine Generalisation auf das tatsächlich beobachtbare Lernverhalten im natürlichen Lebensraum oft schwierig macht, denn die natürlichen Situationen bei Tier und Mensch sind meistens viel komplexer. Vergleichende psychologische Untersuchungen zeigen, dass die Lernfähigkeit der einzelnen Art offenbar wesentlich ein Ergebnis stammesgeschichtlicher Anpassung und Entwicklung ist. Deutlich wird das insbesondere bei relativ spezifischen Lernvorgängen, die im Verhaltensbauplan der Art an ganz bestimmter Stelle der Verhaltensontogenese gewissermaßen eingeplant sind, wie das Phänomen der *Prägung*, das wir gleich besprechen werden, oder der *Preparedness* (spezifischen Lernbereitschaft). Hier wird deutlich, dass es keinen scharfen Gegensatz zwischen angeborenem und erlerntem Verhalten gibt. Artspezifische **Lerndispositionen** sind besonders bei wirbellosen Tieren sehr eng und nur punktförmig in das weitgehend angeborene Verhalten eingebettet. Um zum heimischen Stock zurückzufinden, müssen Bienen sich beim Ausflug Landmarken oder den Winkel zur Sonne merken (▶ Exkurs 7.41). Der Bienenwolf (Grabwespen-Familie) kann sich nur während eines kurzen Orientierungsfluges von wenigen Sekunden Orientierungsmarken und Lage seiner Höhlen merken. Bei anderen Flügen ist er dazu nicht in der Lage (Tinbergen 1951).

Bei Vögeln gibt es artspezifische Lerndispositionen, die dem Kontakt zwischen Alt- und Jungvogel dienen. Küstenseeschwalben lernen aufgrund einer Lerndisposition im Alter von zwei Tagen den Lockruf ihrer Eltern kennen. Küken der Trottellumme lernen den Lockruf ihrer Eltern sogar schon im Ei. Bei höheren Wirbeltieren greifen die Lernprozesse zunehmend weiter in den angeborenen Verhaltensablauf, zum Beispiel beim Spracherwerb, ein und bestimmen ihn schließlich mehr oder minder weitgehend, wie dies auch beim menschlichen Spracherwerb der Fall ist. Dafür, dass wir Sprachen erlernen können, sind wir genetisch vorbereitet (*Preparedness*), aber ob wir wirklich eine Sprache, und welche, lernen, hängt von unserem sozialen Umfeld ab. (siehe ▶ Exkurs 7.29) Genetisch veranlagte Fähigkeiten können sich nur dann entwickeln, bzw. realisieren, wenn die Möglichkeit und die Anreize dazu gegeben sind, wie der berühmt-bekannte Fall des Kaspar Hauser verdeutlichen kann (▶ Exkurs 2.12). So werden auch beim Menschen bestimmte Lernvorgänge, die das Überleben des Individuums oder der Nachkommen sichern, mit besonderer Leichtigkeit vollzogen. Auch wir lernen in der Regel sehr schnell, wo bestimmte Gefahren lauern, welche Artgenossen überlegen sind oder wo Nahrung besonders leicht zu erreichen ist, ohne dass es dazu einer aufwendigen Konditionierung bedarf.

Im Gegensatz zur spezifischen Lerndisposition werden unter dem Begriff der **Prägung** Lernprozesse zusammengefasst, die an **sensible Phasen** der Verhaltensontogenese gebunden sind und zu lang anhaltenden, oft irreversiblen Veränderungen des Verhaltens führen. Prägung im eigentlichen Sinne kann also nur in einem arttypisch weitgehend festgelegten und genetisch vorprogrammierten Zeitabschnitt der sensiblen Phase vollzogen werden. Am bekanntesten ist die **Nachfolgeprägung**. Sie wurde von Lorenz an Graugänsen entdeckt und später an verschiedenen Entenarten genauer untersucht.

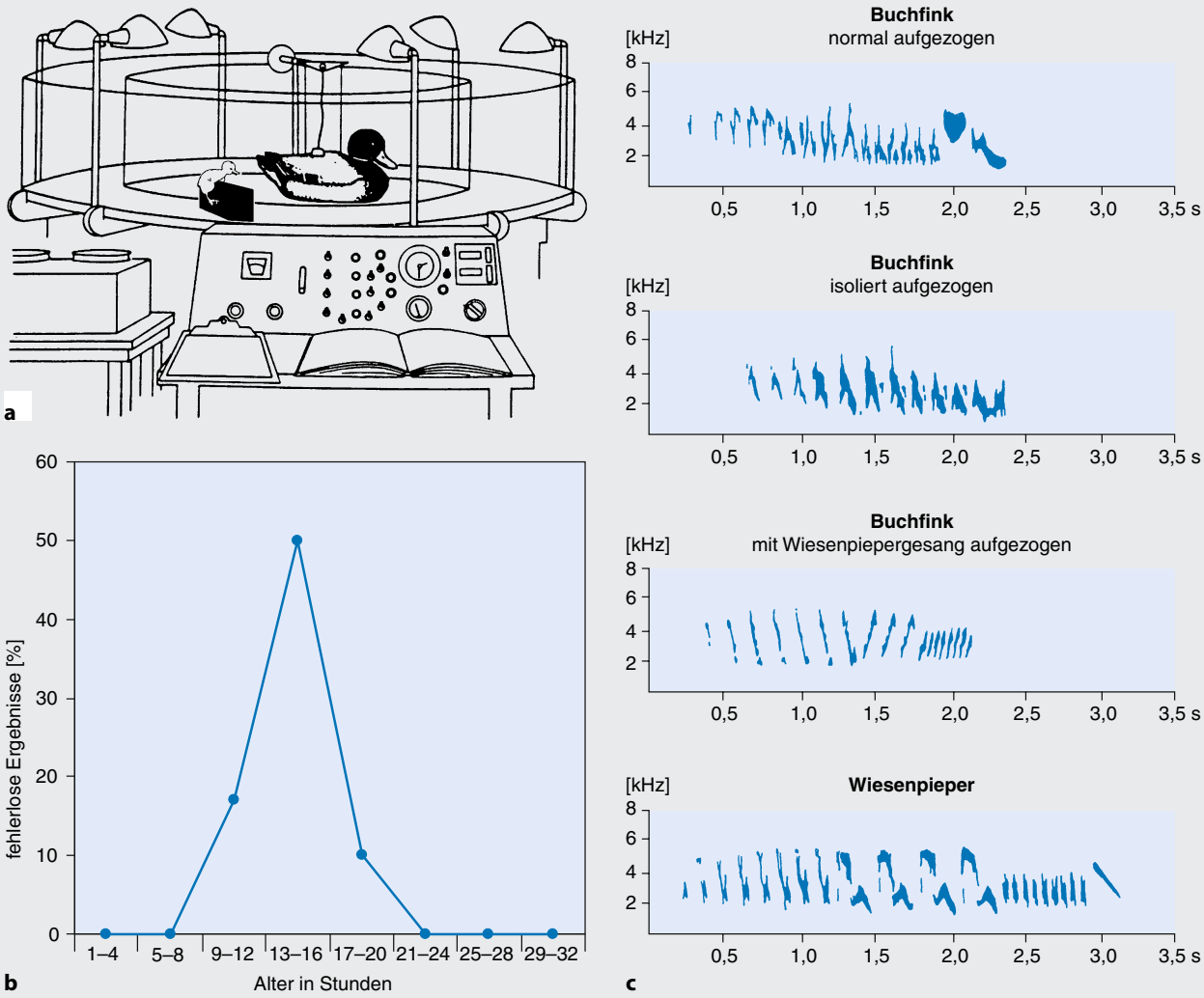
Ein frisch geschlüpftes, künstlich ausgebrütetes Entenküken, das in die Obhut des Menschen genommen wird, läuft ihm sofort nach und ist schon nach 24 h irreversibel auf den Menschen geprägt. Es hat also keine angeborene Kenntnis vom Artgenossen, sondern die Nachfolgereaktion wird in einem kritischen Alter auf ein bewegtes, beliebiges Objekt fixiert, das zu dieser Zeit gerade verfügbar ist. Derartige Prägungsvorgänge werden deshalb als **Objektprägung** bezeichnet (▶ Exkurs 7.30). Der Prägungsbegriff wurde später erheblich erweitert und auch auf den Erwerb motorischer Muster angewandt, sofern dieser an eine *sensible Phase* gebunden ist (mehr zu Prägung in *Zusatztext online*).

Exkurs 7.30

Genauer betrachtet: Praktische Prägungsexperimente

Der Verhaltensbiologe Eckhard H. Hess untersuchte in seinen bekannt gewordenen Experimenten (Hess 1959) die Nachfolgeprägung junger Stockenten (*Anas platyrchynchos*). Entenküken reagieren angeborenermaßen sehr selektiv auf Lockrufe der Eltern, nicht jedoch auf deren optische Merkmale. Das äußerliche Erscheinungsbild der Eltern beziehungsweise deren Merkmale müssen dagegen frühzeitig in einer sensiblen Periode gelernt werden. Zur Prüfung der Lernfähigkeit zu unterschiedlichen Zeiten der ontogenetischen Entwicklung verwendete Hess eine Prägungsapparatur (◘ Abb. 7.33a), in der er eine Stockerpel-Attrappe auf einer Kreisbahn bewegen konnte. An der Attrappe war ein Lautsprecher befestigt, über den Lockrufe imitiert wurden. Die 1–35 h nach dem Schlüpfen isoliert im Dunkeln gehaltenen Küken wurden jeweils in unterschiedlichem Alter 1 h lang zu der auf der Kreisbahn bewegten Attrappe in die Prägungsapparatur gesetzt. Einige Zeit danach wurden dann Wahltests durchgeführt, in denen die Küken mit unterschiedlichen männlichen und weiblichen Attrappen konfrontiert wurden. Es zeigte sich, dass schon nach kurzer Prägungszeit das Entenküken auf das spezifische Modell geprägt war, dem es nun bevorzugt folgt. Auch in Gegenwart einer oder der lebenden Entenmutter wird nun das Attrappenmodell bevorzugt. Je mehr Anstrengungen dabei nötig sind, wie zum Beispiel das Überwinden einer Hürde, desto stabiler und fester wird die Prägung. Diese zeitlebens anhaltende Prägung kann aber nur innerhalb einer eng begrenzten *sensiblen Phase* ausgebildet werden. Sie liegt, wie ◘ Abb. 7.33b zeigt, innerhalb der ersten 5–24 h nach dem Schlüpfen. Die besten Ergebnisse erzielten Küken, die im Alter von 13–16 h geprägt worden waren.

In diesen Zusammenhang gehört ferner die Gesangsprägung von Singvögeln, aber auch das Erlernen von Sprachlauten beim Menschen. Akustisch isoliert aufgezogene Buchfinkenmännchen bringen, wenn sie erwachsen sind, lediglich verstümmelte, unspezifische Gesangsäußerungen hervor. Bietet man ihnen in der Aufzuchtphase nur Wiesenpiepergesang, so erwerben sie wesentliche Gesangsmerkmale von dieser Art (◘ Abb. 7.33c). Hört der aufwachsende Buchfink dagegen beide Arten singen, lernt er bevorzugt den arteigenen Gesang. Auch diese bei Singvögeln weit verbreitete Präferenz für den arteigenen Gesang weist auch hier auf das Vorhandensein einer Lerndisposition, eines angeborenen Musters hin. Der Vogel weiß gewissermaßen, was er zu lernen hat. Die sensible Phase ist hier erst mit 13 Monaten abgeschlossen. Beim Zebrafinken gibt es neben der Präferenz für den arteigenen Gesang noch eine Präferenz für den Gesang des Vaters (wo beide Geschlechter singen).



◘ **Abb. 7.33** Prägungsexperimente von Hess. **a** Prägungsapparatur, **b** Prägungsergebnis zeigt optimalen Prägungszeitpunkt, **c** Erwerb wesentlicher Gesangsmerkmale. Erklärung im Text

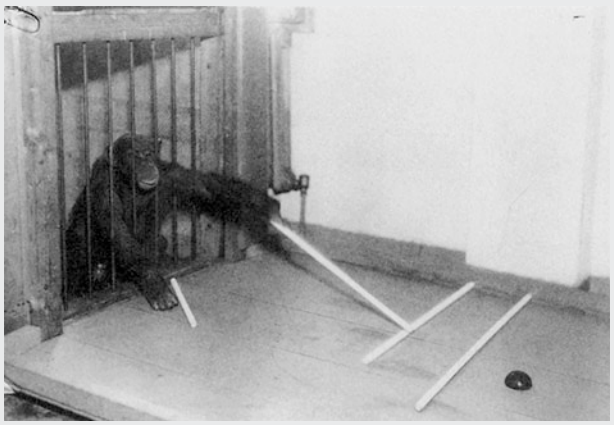
Exkurs 7.31

Genauer betrachtet: Köhlers Untersuchungen

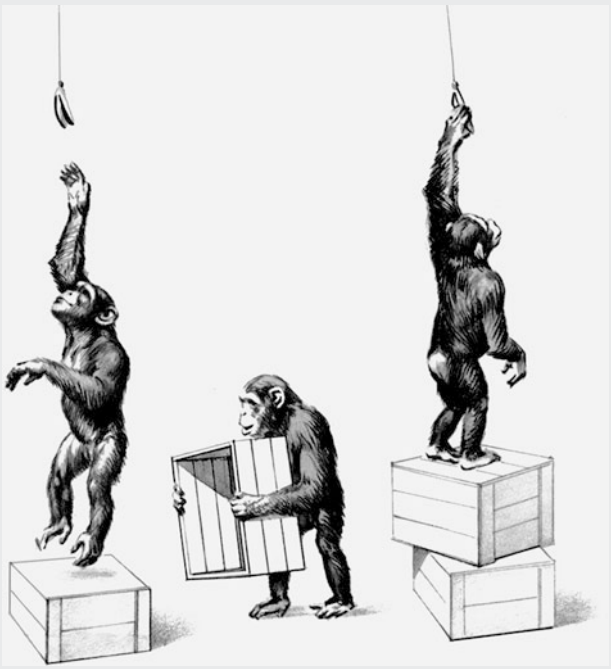
Köhler arbeitete mit Schimpansen, die er für seine Untersuchungen in Gitterkäfige verbrachte, außerhalb derer sich in Sicht – aber außerhalb ihrer Reichweite – begehrte Leckerbissen oder Früchte befanden (◘ Abb. 7.34). Innerhalb der näheren oder weiteren Reichweite befanden sich dagegen Gegenstände, zum Beispiel Stöcke, die als Werkzeuge zur Problemlösung verwendet werden konnten. Zur Lösung des sogenannten **Mehr-Stock-Problems** ist es nötig, dass der Schimpanse zunächst ein in seiner Armreichweite gelegenes, kurzes Stöckchen heranzieht und es dazu verwendet, einen weiter entfernten, nicht mehr ohne Hilfsmittel erreichbaren, längeren Stock heranzuangeln, mit dem er dann einen noch längeren Stock erreichen kann, um damit schließlich die noch weiter entfernt gelegene Fruchthälfte zu erreichen.

Typischerweise versuchte der Schimpanse zunächst, die Frucht direkt zu erreichen, indem er den Arm durch die Gitterstäbe streckte. Bisweilen versuchte er dies auch gleich mit dem kurzen erreichbaren Stab. Nach einem solchen erfolglosen Versuch folgte in der Regel eine mehr oder weniger lange Pause, in welcher die Tiere die Situation betrachteten und ihre Blicke umherstreifen ließen. Nach einer Weile, oft ganz plötzlich, setzten die Tiere zu einem neuen Versuch an, in welchem sie sich mit dem kurzen Hilfsstab einen längeren Stab heranholten, den sie entsprechend „einsichtig" verwendeten.

Wie Köhler beobachtete, laufen die einzelnen Handlungsschritte so kohärent und folgerichtig ab, um das Ziel zu erreichen, dass man daraus mit Sicherheit auf eine zielgerichtete **einsichtige Handlung** schließen kann. Ein Probieren nach Versuch und Irrtum (*trial and error*) findet sichtbar nicht statt. Ferner konnte, nachdem das Mehr-Stock-Problem einmal gelöst war, die Lösung auch in anderen Fällen angewandt werden. Hatte Köhlers Schimpanse Sultan zum Beispiel in einem anderen Experiment das Problem gelöst, eine an der Decke befestigte Banane dadurch zu erreichen, dass er umherliegende Kisten aufeinander stapelte, um darauf zu steigen, so konnte er bei nachfolgenden, ähnlichen Aufgaben dieses Lösungsprinzip auch unter Verwendung anderer Gegenstände problemlos einsetzen (◘ Abb. 7.35).



◘ **Abb. 7.34** Multiple-Stock-Problem. Der Schimpanse verwendet zunächst den in Reichweite liegenden kurzen Stock, um damit einen längeren herbeizuangeln und mit diesem einen weiteren, der lang genug ist, um die Frucht (halber Apfel) zu erreichen



◘ **Abb. 7.35** Wolfgang Köhler hat um 1920 gezeigt, dass Schimpansen zu erstaunlichen Intelligenzleistungen fähig sind (Köhler 1920). Hatte der Schimpanse einmal das Problem gelöst, eine an der Decke aufgehängte Banane durch Aufeinanderstapeln von Kisten zu erreichen, so konnte er dieses Lösungsprinzip anschließend auch beim Gebrauch anderer Gegenstände problemlos einsetzen

Prägung

Prägung (*imprinting*) bezeichnet – meist in der frühen Jugend erfolgende – Lernprozesse, die an sensible Phasen der Verhaltensentwicklung gebunden sind und zu überdauernden (oft irreversiblen) Verhaltensänderungen führen.

Auch vom Menschen sind deutliche Parallelen zu den typischen Vorgängen bei Tieren bekannt. Es ist eine pädagogische Alltagserfahrung, dass manche Lernvorgänge in bestimmten Altersphasen besonders leicht vollzogen werden, wenngleich die Abgrenzungen hier weniger eng zu sein scheinen. Dazu gehören bestimmte Phasen des Spracherwerbs beim Kind oder des gleichzeitigen Erwerbs zweier Sprachen. Hier mangelt es wegen der Komplexität noch an klaren Untersuchungsergebnissen (▶ Kap. 9).

Ferner treten beim Menschen zu der artspezifischen weitere **individualspezifische Lerndispositionen** hinzu, die uns als Unterschiede in den verschiedenen Begabungen bekannt sind.

7.5 Komplexes und kognitives Lernen

Beim Studium komplexer Lernvorgänge wurde deutlich, dass auch Tiere, insbesondere die höher entwickelten Arten, intelligenter sind, als die Behavioristen annahmen. Während die Ethologen klarmachten, dass Tiere nicht so flexibel reagieren, wie die Konditionierungstheorien unterstellen, hebt der kognitive Ansatz hervor, dass der Kernpunkt des Lernens in der Fähigkeit höherer Organismen liegt, Aspekte der Umwelt mental zu repräsentieren und mit diesen **mentalen Repräsentationen** zu arbeiten und nicht mit den Umweltdingen selbst. So kann das umständliche reale Versuch-und-Irrtum-Verhalten (Thorndike) durch ein mentales ersetzt werden. Andererseits lassen sich auch hier Assoziationen zwischen Reizen, Ereignissen und Reaktionen knüpfen, wie wir es bei der klassischen und der operanten Konditionierung kennengelernt haben. Darüber hinaus wurde erkannt, dass auch der **Einsicht** in diese Zusammenhänge hohe Bedeutung beim Lernen zukommt.

Es ist das Verdienst der Kognitionspsychologen, diese **kognitiven Aspekte des Lernens** in den Blickpunkt der neueren Forschung gerückt zu haben. Sie argumentieren, dass speziell beim Menschen für das Lernen komplexer Zusammenhänge und Verhaltensweisen einfache S-R-Assoziationen nicht zufriedenstellend sind, sondern dass wir, wie auch viele höhere Tiere, vielmehr von der Möglichkeit Gebrauch machen, **mentale Repräsentationen** der wahrgenommenen Welt zu bilden und diese kognitiv zu verbinden und zu strukturieren. Dies ermögliche den Verzicht auf aufwendiges Versuch-und Irrtum-Probieren, das wir bereits „im Geiste" durchführen können, und ermögliche Einsicht in kognitive Strukturen oder abstrakte Konzepte, wie das der Kausalität. Der Aufbau solcher kognitiven Strukturen würde sodann im Gedächtnis gespeichert. Es ermöglicht in entsprechenden Situationen das Auftreten von **Erwartungen** sowie das Organisieren weiterer Informationen in neuen Lernsituationen. Diese kognitive Sichtweise des Lernprozesses geht auf eine Reihe gravierender experimenteller Beobachtungen zurück, die im Folgenden besprochen werden sollen. Sie weisen, wie weitere zahlreiche Experimente, darauf hin, dass offenbar in vielen komplexen Lernprozessen mentale, kognitive Repräsentationen im Spiel sind.

7.5.1 Einsichtslernen

Während viele Forscher zum Beleg der kognitiven Sichtweise ihre Untersuchungen an niederen Tierarten durchführten, wie Edward Tolman (► Abschn. 7.5.3), gingen andere von der Annahme aus, dass die beste Evidenz für kognitive Lernprozesse bei höheren Arten, speziell bei Primaten, nachweisbar sein müsse. Hier war es vor allem der deutsche Psychologe Wolfgang Köhler, der bereits 1917 auf Teneriffa, mit seinen Untersuchungen zum **Lernen durch Einsicht**, einen konträren Ansatz zur behavioristischen Konditionierung verfolgte. Im Gegensatz zu den Skinner-Box-Experimenten lässt Köhlers Ansatz Raum für einsichtiges Verhalten offen, indem er eine offene Versuchssituation wählte, in welcher nicht Teile des zu lösenden Problems vor der Sicht des Tieres verborgen bleiben. Die typische Versuchsanordnung in seinen Experimenten stellen wir anhand des klassischen **Mehr-Stock-Problems** in ► Exkurs 7.31 dar.

Zusammengenommen beinhalten Köhlers Beobachtungen vier kritische Elemente, die im Widerspruch zu den auf Thorndike zurückgehenden rein behavioristischen Erklärungsansätzen stehen:

1. Das Lernen der Problemlösung erfolgt eher plötzlich als durch langes Herumprobieren.
2. Die einmal (durch Einsicht) erzielte Problemlösung kann bei einer nächsten Aufgabe ohne Zögern wiederholt werden.
3. Die (durch Einsicht) erreichte Problemlösung kann auch auf neue Situationen transferiert werden.
4. Die auf Einsicht basierte Problemlösung ist abhängig von der Struktur der Problemsituation.

Lassen sich in der konkreten Versuchssituation die relevanten Beziehungen auf einen Blick erfassen, so erfolgt die einsichtige Lösung schneller. (Das Mehr-Stock-Problem wird wesentlich schneller gelöst, wenn sich die Stäbe auf der gleichen Seite des Käfigs befinden.) Weiter argumentiert Köhler, dass **Lernen durch Einsicht** ferner davon abhängig ist, ob (1) das Problem überhaupt interne Zusammenhänge enthält, die entdeckt werden können, und ob (2) diese innerhalb der kognitiven Fähigkeit des Lernenden liegen. Anderenfalls verbleibt auch seinem Schimpansen nur das Probieren nach *trial and error.*

Für Köhler war es wesentlich, dass das neue Verhalten nach einer Phase des unbeholfenen Hantierens plötzlich auftritt und sogleich in seinem vollen Ablauf ausgeführt wird. Er folgerte, Sultan habe die neue Verhaltenskette sogleich in ihrem gesamten Zusammenhang erfasst und beweise Einsicht in seinem Verhalten. Der schnell erfolgende Einsichtsprozess bei Sultan sei einem Einfall beim Denken („Aha-Erlebnis") vergleichbar (► Exkurs 7.32).

Die Problemlösungen bei Schimpansen spiegeln offenbar ein geistiges Ausprobieren wider, wobei das Tier eine mentale Repräsentation des Problems bildet und die einzelnen Komponenten so lange manipuliert, bis es auf eine Lösung stößt, die es dann in der sichtbaren Welt ausführt.

Allerdings taten auch nicht immer alle Affen sofort das Richtige, sodass das Gesamtverhalten eher einer Mischung aus „einsichtigem" und Versuch-und Irrtum-Verhalten entsprach.

Aus lerntheoretischer Sicht lässt sich bereits aus Köhlers Beobachtungen folgern, dass komplexes Lernen zumeist zwei **Lernphasen** umfasst. In der ersten Phase erfolgt eine interne kognitive Problemlösung, die sofort ausgeführt wird. In der zweiten Phase wird die Lösung im Gedächtnis gespeichert und kann abgerufen werden, sobald ein ähnliches Problem zu lösen ist.

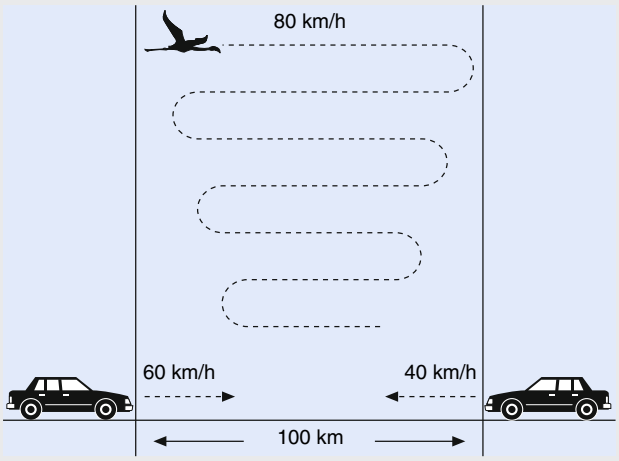
Ausführlich werden wir die kognitiven Aspekte des Problemlösens in ► Kap. 10 besprechen.

Exkurs 7.32

Experiment: Ein Einsicht-Problem

Ähnlich wie es Köhler bei seinen Schimpansen demonstrierte, kommt auch uns die Einsicht beim Lernen einer Problemlösung recht plötzlich und überraschend, nachdem mancher Lösungsversuch zuvor nicht weiterführte. Ein solches „**Aha-Erlebnis**" ist für uns zumeist mit Genugtuung und somit auch mit Verstärkung verbunden, wie wir dies vielfältig bei der Lösung von Rätseln oder Denkaufgaben erleben können. Das folgende Beispiel kann Ihnen (wenn Sie es noch nicht kennen) das plötzliche Auftreten von Einsicht im eigenen Erlebnis demonstrieren.

Stellen Sie sich vor: Zwei Autos sind zunächst 100 km voneinander entfernt und bewegen sich mit gleichbleibender Geschwindigkeit geradlinig aufeinander zu (◘ Abb. 7.36). Das Auto links (in der Abbildung) fährt mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h, das von rechts kommende Auto mit einer Geschwindigkeit von 40 km/h. Stellen Sie sich weiter vor, ein idealisierter mechanischer Vogel startet zusammen mit dem Auto von links, aber mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h, und fliegt zwischen den beiden sich einander nähernden Autos ständig hin und her, ohne dabei bei den Kehrtwendungen an Geschwindigkeit zu verlieren. Die Problemfrage lautet: Wie weit fliegt unser hypothetischer Vogel vom Start bis zu dem Moment, in dem die beiden Autos einander begegnen? (Die Aufgabe lässt sich ohne besonderen mathematischen Aufwand lösen.)



◘ **Abb. 7.36** Wie weit fliegt unser hypothetischer Vogel, bis die beiden Autos einander begegnen?

Üblicherweise würde man zunächst versuchen herauszufinden, wie weit der Vogel bei jedem einzelnen Streckе fliegt, um diese dann miteinander zur ganzen Strecke zu addieren. Eine Wende in unserem Ansatz tritt jedoch auf, wenn wir uns fragen, wie *lange* muss der Vogel fliegen, bis sich die beiden Autos treffen. Sobald wir diese Frage beantwortet haben (◘ Abb 7.36), ergibt sich der Rest der Lösung zumeist sehr schnell. Rückblickend dürfte Ihnen nun, wenn Sie die Antwort haben, auch klar sein, was ein Einsicht-Erlebnis ist. (Mathematisch können Sie so vorgehen: Zeitbestimmung für den Zeitpunkt x der Begegnung mit Zweisatz ergibt: Zeit x 40 km/h + Zeit x 60 km/h = 100 km/h; x = 1 h; bei seiner Geschwindigkeit von 80 km/h legt der Vogel also 80 km Flugweg zurück.)

7.5.2 Implizites Lernen, Lernen von Fertigkeiten

Einen weiten Bereich des komplexen Lernens nimmt das Lernen von sowohl motorischen als auch kognitiven **Fertigkeiten** (**Skills**) ein. Die Untersuchung letzterer ist ein besonderes Anliegen der neueren Psychologie.

Fertigkeiten

Unter Fertigkeiten verstehen wir nach Adams (1987) komplexe Verhaltensweisen wie Fahrrad- oder Autofahren, Schreibmaschineschreiben, Jonglieren, Musizieren oder den Gebrauch von Sprache und Schrift. Fertigkeiten beinhalten in der Regel wahrnehmungsbezogene kognitive sowie motorische Prozesse, die durch einen langsamen Übungsprozess zu zunehmend besseren Leistungen integriert werden.

Fertigkeiten sind im Allgemeinen durch folgende Eigenschaften charakterisiert:

- Fertigkeiten sind gelernte Integrationen gut ausgeführter Leistungen und sind von Kompetenz und Fähigkeit zu unterscheiden.
- Fertigkeiten beinhalten immer nur ein Maß an Zielerreichung: wie gut, wie schnell oder wie viel an Leistung erwünscht oder erforderlich ist.
- Fertigkeiten werden durch Übung verbessert.

Schritte beim Erlernen von Fertigkeiten

Das Lernen von **Fertigkeiten** erfolgt nach unserem heutigen Erkenntnisstand in mehreren (drei) aufeinanderfolgenden Schritten (Phasen):

1. Im ersten Schritt werden bestimmte Reaktionen, Handlungen oder Faktens und deren Abfolge gelernt. Im Falle des bewussten Lernens wird dabei eine kognitive Struktur des Handlungsprozesses erworben, zum Beispiel, welcher Fin-

Exkurs 7.33

Genauer betrachtet: Implizites, explizites und inzidentelles Lernen

Das Erlernen von Fertigkeiten wird in den letzten Jahren häufig auch als **implizites Lernen** betrachtet, das eng mit dem später zu besprechenden *impliziten Gedächtnis* zusammenhängt und vermutlich von diesem, wie Seger (1994) sagt, kaum zu trennen ist. Als implizites Lernen bezeichnete Seger (1994, S. 63) „das Lernen komplexer Informationen ohne vollständig verbalisierbares Wissen dessen, was gelernt ist", und hebt es damit vom **expliziten Lernen** ab, das bewusst erfolgt. Wenn Sie Fahrradfahren oder ein Dinghy zu segeln lernen, dann können Sie schwerlich genau verbalisieren, wie Sie das machen, aber Sie können es zeigen. Ausführlicher werden wir uns mit diesen Unterscheidungen in ▶ Abschn. 8.6.4 Explizites und impliziertes Gedächtnis befassen (siehe auch *Zusatztext online*).

Als **inzidentelles Lernen** wird im Gegensatz zum absichtlichen (= intentionalen) Lernen das beiläufige Lernen bezeichnet. So werden – im Gedächtnisexperiment nachweisbar – neben denjenigen Inhalten, die eingeprägt werden sollen, auch noch andere wahrgenommen und behalten, die nicht zu lernen waren – ein Prozess, der in der Internetwerbung eine Rolle spielt (mehr dazu in *Zusatztext online*).

gersatz beim Klavierspielen einer Melodie verwendet wird oder welche Positionen der Schalthebel für die verschiedenen Gänge beim Autofahren haben muss.

2. Im zweiten Schritt werden diese einzelnen diskreten Reaktionen integriert, beziehungsweise das erworbene Faktenwissen (*deklaratives Wissen*) in Handlungswissen (*prozedurales Wissen*) dadurch überführt, dass zum Beispiel die erforderlichen Bewegungen wiederholt ausgeführt und geübt werden, wobei Assoziationen zwischen den Folgen einer Sequenz gefestigt und zu umfassenderen Einheiten verbunden werden, ähnlich wie im verbalen Gedächtnis Chunks abgespeichert werden (▶ Kap. 10).
3. Im dritten Schritt führt der Integrationsprozess durch weitere Übung dazu, dass die motorische oder kognitiv-verbale Reaktion automatisch abläuft, ohne dass man dabei über die einzelnen Schritte nachdenken muss oder auch kann. Die schließlich *autonom* und *automatisch* ablaufende Fertigkeit beansprucht zunehmend weniger Aufmerksamkeit, ist auf Abruf weitgehend selbständig durchführbar und zeigt kaum noch störende **Interferenz** mit anderen Tätigkeiten (Andererseits aber kann gerade diese gut gelernte „Automatizität" zu störender Interferenz bei anderen beabsichtigten Tätigkeiten führen, wie beim Stroop-Effekt, ▶ Exkurs 6.11. Zur Interferenz siehe auch ▶ Kap. 8). Auch die verbale Vermittlung wird überflüssig, und wir selbst sind oft nicht mehr in der Lage zu beschreiben, wie wir die Handlung vollziehen. Wir können schreiben, lesen, sprechen, tanzen oder rechnen, ohne darüber nachdenken zu müssen, wie wir es tun, ja, wir können uns dabei gedanklich anderen Dingen oder Inhalten zuwenden (▶ Exkurs 7.33).

Beim Erwerb von Fähigkeiten werden drei Schritte unterschieden: (1) Stadium des Wissens; (2) Stadium der Assoziation und Übung; und (3) Stadium der automatischen Durchführung.

Besondere Bedeutung kommt dem zweiten Schritt zu, denn nur durch Übung kommt es zu einer ständigen Verbesserung der Fertigkeiten. Der erzielte Leistungszuwachs ist zu Beginn des Fertigkeitserwerbs am größten und nimmt später langsam ab. Immer mehr Übung wird benötigt, um vergleichbare Fortschritte zu erzielen.

Wichtig für den Fortschritt des Lernens durch Übung ist bei einer jeden Fertigkeit die **Rückmeldung** oder das **Feedback** über die erreichten Resultate der Reaktion im Hinblick auf das Ziel von besonderer Wichtigkeit für das Ausbilden einer jeden Fertigkeit. Die Rückmeldung liefert erstens Information über das erreichte Resultat, zweitens bringt sie je nach deren Ausfall eine positive oder negative Verstärkung, und drittens führt der durch Feedback erlebte Lernfortschritt zu einer weiteren Lernmotivation.

Expertiseerwerb

Das Aneignen von besonderen Fertigkeiten wird seit einiger Zeit in der Kognitionspsychologie gesondert unter der Bezeichnung Expertise (Expertenwissen) abgehandelt. Expertise ist hier das Resultat intensiver Lernerfahrungen und intensiven Trainings in dem trainierten Bereich. Dieser wird auch als Domäne bezeichnet, ist relativ eng umschrieben (z. B. das Beherrschen eines Musikinstruments oder das Schachspielen), und dieses Können, diese Fertigkeit (die Expertise), ist nicht einfach auf eine andere Domäne (z. B. Schwimmen oder Radfahren) übertragbar.

Expertiseerwerb bezeichnet (im engeren Sinne) den Prozess des Aufbaus einer überragenden Leistung eines Individuums (eines Experten). Er benötigt in der Regel einen beträchtlich langen Zeitraum. Bei Schachexperten wird dieser mit mindestens zehn Jahren angegeben (Chase und Simon 1973a) Am Ende eines solchen jahrelangen Trainings steht dann die Entwicklung eines hohen Könnens: „a highly skilled competent performance in one or more task domains" (Sternberg und Ben-Zeev 2001, S. 365).

Die Expertiseforschung hat sich dementsprechend vornehmlich mit besonders herausragenden Formen der Expertenleistungen befasst. Zu ihnen gehören (a) motorische Expertise (z. B. Höchstleistungen im Spitzensport), (b) perzeptuelle Expertise (z. B. Diagnoseleistung mittels Röntgenbilderkennung) und (c) kognitive Expertise (z. B. Höchstleistungen von Schachspielern).

Aber auch viele gängige Leistungen unseres täglichen Lebens werden nach den gleichen Prinzipien aufgebaut. Insbesondere unsere motorischen Fähigkeiten wie Laufen, Schwimmen und Fahrradfahren, aber auch Lesen, Schreiben und Sprachverstehen sowie neuerdings die Handhabung elektronischer Geräte (z. B. Handy) werden durch solch monate- oder jahrelanges Training erworben und laufen dann fast wie von selbst automatisch ab.

Kognitive Expertise

Im Bereich der kognitiven Funktionen konzentrieren sich die bisherigen Forschungen auf das Beispiel des Schachexperten. Lässt man Schachgroßmeister ihre Gedanken laut aussprechen, während sie ein Schachproblem lösen, zeigten diese verbalen Berichte des lauten Denkens, dass die Großmeister, wie zu erwarten, we-

Exkurs 7.34

Genauer betrachtet: Expertise Schach

De Groot präsentierte den Teilnehmern jeweils für kurze Zeit (2–15 s) Schachbrettaufstellungen realer Spiele mit 20 bis 25 Figuren und bat sie anschließend, die Aufstellungen zu rekonstruieren. Während Schachmeister die Positionen sehr genau (91 % richtig) erinnern konnten, lag die Erinnerungsleistung weniger guter Schachspieler bei knapp der Hälfte (41 % richtig). Dieser Leistungsunterschied lässt sich nicht durch ein generell unterschiedlich gutes Gedächtnis erklären, sondern resultiert aus der unterschiedlichen Menge gespeicherter Schach-Informationen, denn es zeigten sich keine Gruppenunterschiede beim Erinnern zufälliger Figurenaufstellungen (Chase und Simon 1973b).

sentlich schneller waren beim Erfassen des Schachproblems als weniger gute Schachspieler. Dies wird darauf zurückgeführt, dass exzellente Schachspieler ein sehr ausgeprägtes Wissen über relevante Schachpositionen haben, das im Langzeitgedächtnis gespeichert ist. Dies ermöglicht es ihnen, aktuelle Positionen der Figuren mit solchen in früheren Spielen zu vergleichen und zu erfassen. Diesen überlegenen Wissensvorsprung konnte De Groot (1965) in einer einfachen Untersuchung verdeutlichen (▶ Exkurs 7.34).

Nach Chase und Simon (1973b) reduzieren Schachexperten beim Einprägen der jeweiligen Schachpositionen diese auf wenige, etwa sieben Chunks (Wissenseinheiten, im Kurzzeitgedächtnis, s. ▶ Kap. 8, Gedächtnis), die im Arbeitsgedächtnis gespeichert werden. Dabei nehmen die Autoren an, dass diese Chunks bei Experten wesentlich mehr Information enthalten als bei anderen Spielern. In ihrer **Chunk-Theorie** führen Chase und Simon (1973a) aus, dass der Vorteil der Schachexperten darin besteht, dass sie eine sehr große Anzahl solcher Schach-Chunks im Langzeitgedächtnis gespeichert haben. Nach einer viel zitierten Schätzung von Simon und Gilmartin (1973) haben Schachexperten 10.000 bis 100.000 Chunks im Langzeitgedächtnis gespeichert, nach Computersimulationen sogar bis zu 300.000 Chunks (Gobet und Simon 2000).

Neuere Untersuchungen aber zeigten, dass diese Chunk-Theorie einige Schwachpunkte enthält und zur Erklärung der herausragenden Leistungen nicht ausreicht (Gobet und Waters 2003). Daher wurde bereits von Gobet und Simon (1996) eine Template-Theorie vorgestellt. Danach entwickeln sich häufig gebrauchte Chunks zu komplexeren Datenstrukturen, die als **Templates** bezeichnet werden. Unter einem Template wird eine schematische Struktur verstanden, die genereller ist als eine aktuelle Schachbrettposition. Sie besteht danach aus einem Kern (*core*), ähnlich der in einem Chunk gespeicherten festen Information, und verschiedenen *slots* (Einschnitten oder Freiplätzen, die die veränderlichen Informationen über Schachfiguren und Orte enthalten). Letzteres bedeutet, dass Templates flexibler und adaptiver sind als Chunks. Dadurch ermöglichen sie es, dass eine größere Anzahl (ähnlicher) Schachpositionen in einer Einheit eingespeichert werden kann. Dementsprechend macht die Template-Theorie eine Reihe prüfbarer Vorhersagen, die in großen Teilen bestätigt werden konnten (Eysenck und Keane 2010). So wird zum Beispiel vorhergesagt, wie dargelegt, dass die Einheiten, in welchen die Information über Schachpositionen organisiert ist, größer sind, als dies bei Chunks möglich ist, und dass ihre Anzahl entsprechend kleiner ist (eben nur drei Templates), als von der Chunk-Theorie angenommen wurde. Diese Auffassung und Vorhersage konnte von Gobet und Clarkson (2004) bestätigt werden (▶ Exkurs 7.35).

Perzeptuelle Expertise

Perzeptuelles Expertentum ist durch schnelle Verarbeitung und Kategorisierung komplexer visueller Stimuli charakterisiert.

Im Bereich der Expertiseforschung ist die Erkennungsleistung von Radiologen ein vielfach untersuchtes Beispiel. Röntgenbilder sind zweidimensionale Abbildungen eines dreidimensionalen Körpers, bei denen verschiedene anatomische Strukturen verschiedener Schichten übereinandergelagert durchscheinend auf einer Ebene abgebildet sind. In diesen wenig kontrastreichen Bildern müssen auch kleine Besonderheiten zuverlässig erkannt werden. Experten mit jahrelanger Erfahrung erkennen, wie zu erwarten, anomale Muster schneller als Novizen und wählen dann ebenfalls schneller ein diagnostisches Schema, das zu dieser Anomalie passt, was in einem weiteren Schritt zu prüfen ist. Treten hierbei Unstimmigkeiten auf, weisen Experten eine größere Flexibilität auf, auch andere Möglichkeiten in Betracht zu ziehen (Wood 1999). Die Überlegenheit der Experten hinsichtlich beider Leistungen wird auf ihr umfassenderes Wissen in dieser Domäne zurückgeführt. Wie aber kommt es zu diesen schnelleren und besseren Leistungen?

Vielfach wurde argumentiert, dass Experten eine andere Vorgehensweise verwenden als Novizen und nicht einfach die gleichen Strategien nur effektiver handhaben. Wenngleich es bei diesen verschiedenen Erklärungsansätzen große Unterschiede gibt, lässt sich nach Engel (2008) bei allen eine gleichartige grundlegende Unterscheidung erkennen zwischen einem expliziten und einem impliziten Vorgehen. Explizites Vorgehen (*explicit reasoning*) erfolgt überlegt und sorgfältig, ist relativ langsam und bewusst. Implizite Beurteilung (*implicit reasoning*) ist dagegen schnell, eher automatisch und nicht mit bewusster Wahrnehmung verbunden. Entscheidend ist nun die Annahme, dass medizinische Novizen vornehmlich einen expliziten Weg beschreiten, während medizinische Experten hauptsächlich eine implizite Strategie verwenden.

Für diese unterscheidende Annahme sprechen die Ergebnisse von Untersuchungen, bei denen die Blickbewegung von Ärzten registriert wurde, während diese (Röntgen-)Aufnahmen diagnostizieren. Bei derartigen Untersuchungen an Bildern zur Brustkrebsbiopsie konnten Krupinsky et al. (2006) zeigen, dass hoch trainierte Pathologen mit 4,5 s Betrachtungszeit die kürzeste Zeit zur Bilddiagnose benötigten im Unterschied zu 7,1 s bei weniger erfahrenen Ärzten und 11,9 s bei Studierenden. Sie fanden aber auch, dass Experten mehr Information aus der ersten Inspektion ziehen konnten als alle anderen. Nach Krupinsky verlassen sich Experten demnach weitgehend auf den globalen (aber offenbar differenzierter wahrgenommenen) Eindruck (implizite Beurteilung), wogegen Novizen sorgfältiger die einzelnen Teile jedes Bildes absuchen (explizite Beurteilung). Im Unterschied

Exkurs 7.35

Genauer betrachtet: Chunks, Templates bei Schachexperten

In ihrer Untersuchung baten Gobet und Clarkson (2004) zwölf Schachspieler (ähnlich wie schon Chase und Simon 1973b), sich die Figurenaufstellungen eines vorgegebenen Schachbrettes anzusehen, und diese Positionen auf einem Display-Schachbrett (um Handlungsverzögerungen zu vermeiden) per Mausklick zu reproduzieren, während das Musterschachbrett unverändert sichtbar blieb. Wie bereits Chase und Simon argumentierten, wurde dabei angenommen, dass die Anzahl Spielfiguren, die – nach je einem Blick auf das Musterschachbrett – auf dem Display gesetzt werden, ein Maß für die Größe der Behaltenseinheiten ist. Tatsächlich fanden sie, dass die Behaltenseinheiten bei Schachexperten etwa 13 bis 15 Elemente umfassen, im Vergleich zu etwa sechs bei Schachanfängern. Entsprechend war auch die Anzahl dieser (umfassenderen) Templates wesentlich geringer und lag im Mittel bei zwei, was wesentlich näher an der Vorhersage der Template-Theorie liegt (drei) als an der der Chunk-Theorie (sieben). (Genaueres zur Schachexpertiseforschung findet sich bei Gobet et al. 2011.)

zu Schachexperten, deren Wissen in Form ziemlich abstrakter Templates gespeichert wird, ist das Wissen medizinischer Experten danach weniger abstrakt in Form von Beispielmustern gespeichert.

Ein weiterer wichtiger Faktor beim **perzeptuellen Lernen** ist unsere Aufmerksamkeitszuwendung (Kellman 2002; Hall 2008). Bei wiederholten Darbietungen ähnlicher Reizvorlagen lernen wir offenbar auch, solchen Aspekten größere Aufmerksamkeit zu schenken, durch die sie sich unterscheiden, während wir irrelevante Aspekte vernachlässigen (vgl. Spracherwerb bei Kleinkindern). Wahrnehmungslernen kann dementsprechend durch ein *easy-to-hard discrimination training* verfeinert werden, indem zunächst einfach zu unterscheidende Vorlagen dargeboten werden, und erst wenn diese erfolgreich gemeistert werden, zunehmend schwierigere Vorlagen verwendet werden.

Zusammenfassend stellen Eysenck und Keane (2010) fest: Es gibt eine überzeugende Evidenz dafür, dass medizinische Experten und Nichtexperten bei der Diagnose qualitativ unterschiedliche Wege beschreiten. Während sich Experten vor allem auf schnelle automatische Prozesse verlassen und weniger auf langsame bewusste, verhält es sich bei Nichtexperten eher umgekehrt. Doch gibt es auch etliche Ausnahmen von dieser Generalisation. So stellten auch McLaughlin et al. (2008) fest, dass dieser Informations- und Lernprozess doch wesentlich komplexer ist als zumeist angenommen. Denn dieser Prozess wird im Einzelfall auch wesentlich beeinflusst von der Aufgabenschwierigkeit, der jeweiligen klinischen Domäne, dem Kontext sowie den experimentellen Bedingungen. Hier bedarf es noch weiter klärender Forschung. Eine optimale Strategie für Experten wird in der flexiblen Nutzung von sowohl automatischem als auch analytischem Vorgehen, je nach spezifischem Arbeitsfeld, gesehen. Soweit aus der verfügbaren Literatur ersichtlich, gibt es bei der perzeptiven Expertise bisher noch keine erklärende Theorie, die den Lernprozess verständlich machen kann.

Grundlegend für das Erlangen von Expertise ist das wiederholte unermüdliche und vor allem sorgfältige Üben. Nach Ericsson und Lehman (1996) reicht nicht allein die Menge des Übens, wichtig ist vielmehr die Menge der ***deliberate practice***, der gezielt überlegten Übung. Diese hat neben der Voraussetzung, dass der Lerner grundsätzlich dazu motiviert sein muss, folgende Aspekte:

1. Die Aufgabenschwierigkeit muss an den Trainingsstand angepasst sein (nicht zu leicht oder zu schwer).
2. Der Lernende erhält unmittelbares und informatives Feedback über seine Leistung.
3. Der Lernende hat genügend Gelegenheit, die Aufgabe zu wiederholen.
4. Der Lernende hat die Möglichkeit, seine Fehler zu korrigieren.

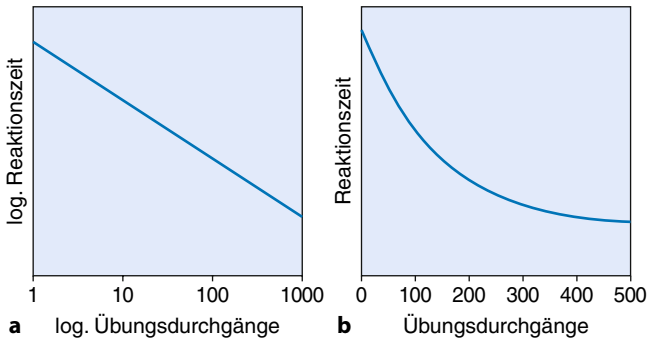


Abb. 7.37 Das Potenzgesetz der Übung, wonach der Übungsgewinn mit der Anzahl der Übungsdurchgänge abnimmt. (**a**) logarithmische und (**b**) asymptotische Form

Unter diesen Bedingungen steigt die individuell erreichte Leistung monoton mit der für die *deliberate practice* aufgewendeten Zeitmenge an (Ericsson et al. 1993). Nach Ericsson und Kintsch (1995) wird dabei bei Experten die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses dadurch überwunden, dass sie lernen, relevante Information so im Langzeitspeicher zu speichern, dass sie schnell wieder abrufbar bleibt, wofür sie ein *long-term working memory* postulieren.

Potenzgesetz der Übung

Ericsson et al. (1993) fanden bei ihrer Analyse der Lernverläufe von Experten in unterschiedlichen Domänen, dass diese alle einem Potenzgesetz der Übung folgen, das zuerst für einfache sensomotorische Reaktionen wie das Drücken unterschiedlicher Tasten bei unterschiedlichen Reizvorgaben beschrieben wurde (Fitts und Posner 1967). Es besagt, dass man dieselbe Aufgabe mit zunehmender Übung immer schneller lösen kann, wobei der Übungsgewinn je Durchgang mit der Zeit immer geringer wird, bis eine Asymptote erreicht wird (Abb. 7.37).

Eine mögliche Erklärung für diesen allgemeinen Zusammenhang bietet Logan (1988) „Instanzentheorie". Ihr zufolge wird die Bearbeitung einer Aufgabe mit zunehmendem Übungsgrad immer weniger von der Anwendung abstrakter Lösungsalgorithmen und immer stärker durch den (schnelleren) Abruf früherer Lösungen aus dem Gedächtnis dominiert.

Exkurs 7.36

Experiment zur Demonstration: Labyrinthlernen nach Tolman (1932)

In einem seiner typischen Experimente hatten drei Gruppen von Ratten täglich ein komplexes Labyrinth (Abb. 7.38a) zu durchlaufen. Die Tiere der ersten Gruppe wurden bei Erreichen der Zielbox mit Futter belohnt. Sie erhielten also ein übliches Labyrinthtraining, während die Tiere der zweiten Gruppe nur die Möglichkeit erhielten, das Labyrinth zu explorieren. Beim Erreichen der Zielbox wurden sie ohne Futterverstärkung wieder an den Anfang zurückgesetzt (latentes Lernen). Die dritte, eigentliche Experimentalgruppe hatte zunächst die gleiche Möglichkeit, das Labyrinth zu explorieren, erhielt dann aber ab dem zehnten Tag eine Futterbelohnung, wie die Ratten der ersten (Kontroll-)Gruppe. Aus den in Abb. 7.38b dargestellten Lernergebnissen (Fehlerkurven) lässt sich erkennen:

1. Auch die nicht futterbelohnten Ratten lernen, das Labyrinth mit zunehmend weniger Fehlern zu durchlaufen, was sich aber erst später (bei Futtergabe) zeigt. Man spricht von latentem Lernen (von lateinisch *latens* für „heimlich", „verborgen"). Werden die Ratten nach einer belohnungsfreien Exploration für das Erreichen der Zielbox belohnt, nimmt die Fehlerzahl schlagartig ab, und die gezeigte Lernleistung ist sogar besser als bei der Gruppe, die ständig belohnt wurde.

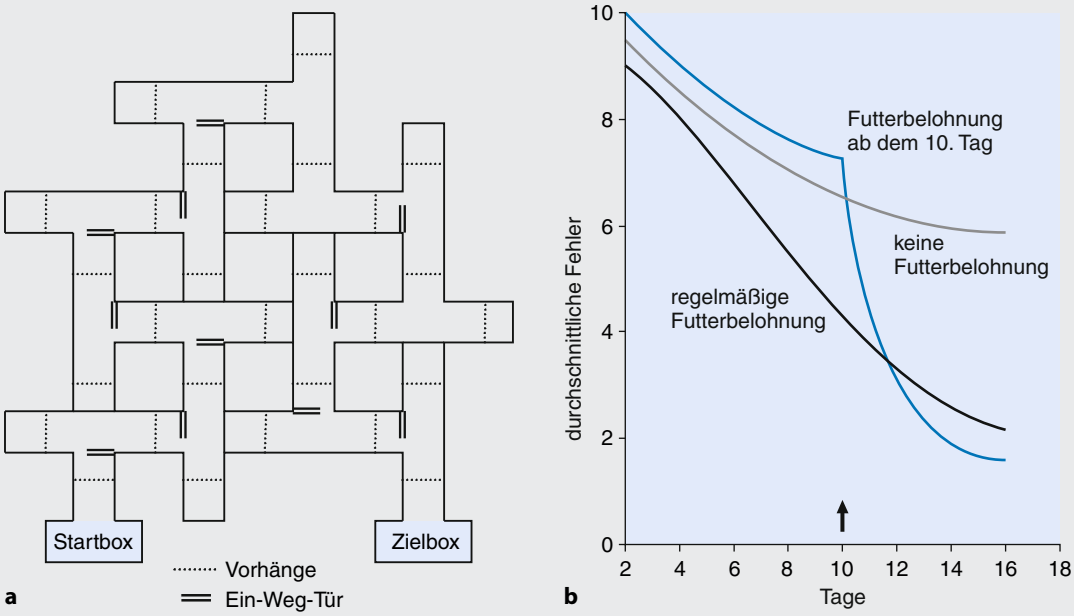


Abb. 7.38 Tolmans Experiment zum latenten Lernen bei Ratten. Drei verschiedene Gruppen von Ratten durchliefen täglich über mehrere Tage dasselbe Labyrinth (**a**) unter verschiedenen Belohnungsbedingungen (**b**). Die (idealisierten) Kurvenverläufe zeigen, dass Lernen auch ohne ausdrückliches Reinforcement durch Futter möglich ist

Doch ist die empirische Evidenz für eine Gültigkeit in komplexen Domänen (wie der Wissenschaft, z. B. Physik) eher dünn. So fanden Haider und Frensch (2002) in ihren Studien bei einzelnen Versuchsteilnehmern durchaus Diskontinuitäten, die auf abrupte Leistungsverbesserungen hinweisen. Auch hier bedarf es zur Klärung weiterer Forschungen.

Expertise wird durch jahrelanges intensives Training erworben. Dabei werden im Langzeitgedächtnis, domänenspezifisch, leicht zugängige Strukturen (Templates) gebildet, die die effektive Expertenleistung ermöglichen.

7.5.3 Latentes Lernen und kognitive Landkarten

Der Begriff **kognitive Karte** (*cognitive map*), der von Tolman (1932) in die psychologische Literatur eingeführt wurde, bezeichnet in etwa die **mentale Repräsentation** des Handlungsraumes oder einer räumlichen Anordnung.

Tolmans theoretische Orientierung war zwar insofern behavioristisch, als er seine Aussagen nur auf beobachtbares Verhalten gründete und Introspektion, als bloße Selbstbeobachtung, als Erkenntnisquelle ablehnte. Er nahm aber an, dass das Verhalten zweckorientiert (*purpositive*) und nicht vom Zufall gesteuert sei und dass ihm bestimmte zielorientierte Handlungspläne zugrunde lägen. In vielfältigen Untersuchungen an Ratten machte er dies deutlich und zeigte damit die Bedeutung kognitiver Prozesse beim Reiz-Reaktions-Lernen auf. Er ging davon aus, dass eine Ratte beim Durchlaufen eines Labyrinths nicht eine Sequenz von Rechts-links-Wendungen lernt, sondern vielmehr eine mentale Repräsentation der Labyrinthstruktur entwickelt (▶ Exkurs 7.36).

Mit seinen hier dargestellten Untersuchungsergebnissen konnte Tolman deutlich machen, dass im Gegensatz zum Skinner'schen Ansatz Lernen auch ohne ausdrückliches Reinforcement durch Futter möglich ist. Es bleibt jedoch zunächst verborgen (latent) und tritt erst in Erscheinung, wenn es sich

Exkurs 7.37

Genauer betrachtet: Ortslernen

Abb. 7.39 zeigt das Prinzip eines solchen Labyrinths zum „Ortslernen", das Ratten im satten und hungrigen Zustand, aber ohne Belohnung, erlernt hatten. Setzte man dann die hungrigen Tiere an den Start, so bevorzugten sie natürlich den Weg 1, um zum Ziel zu gelangen. Wurde dieser Weg bei A blockiert, so wählten fast alle Tiere den Weg 2 (bis hierher stimmten die Vorhersagen der S-R-Theorien und Tolmans kognitive Theorie überein). Wurde Weg 1 dagegen bei B blockiert, so musste die Ratte nach der S-R-Theorie immer noch Weg 2 wählen, da er kürzer als Weg 3 und sein Eingang nicht blockiert ist. Tatsächlich aber wählten 14 von 15 Ratten den Weg 3, den sie normalerweise selten wählten. Sie reagierten also so, als ob sie über eine *kognitive Landkarte* verfügten, die ihnen die Erkenntnis oder „Einsicht" lieferte, dass Weg 2 damit ebenfalls versperrt war, denn sehen konnten sie dies nicht (Tolman und Honzik 1930; mehr zu kognitiven Landkarten in *Zusatztext online*).

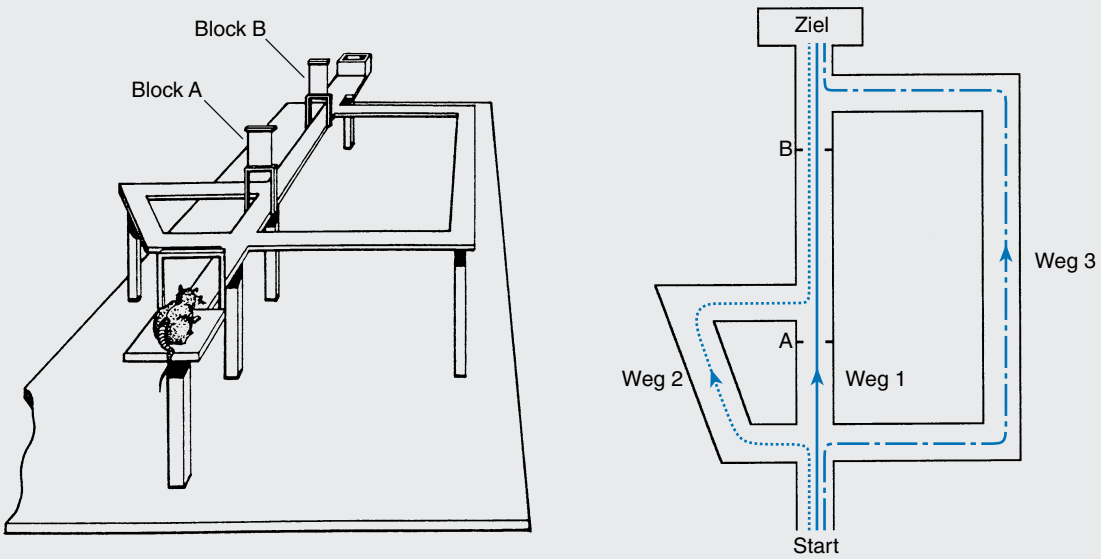


Abb. 7.39 Zwei Ansichten eines Labyrinths zum Ortslernen für Ratten

lohnt, die latent erlernte Verhaltensweise zu zeigen, das heißt, wenn sie verstärkt wird.

Latentes Lernen

Latentes Lernen bezeichnet ein Lernen, das zunächst nicht gezeigt wird, aber demonstriert und sichtbar werden kann, sobald dafür eine Bekräftigung erfolgt.

Tolman folgerte daraus, dass die Ratten dabei so etwas wie eine „kognitive Karte" haben müssen, das heißt eine innere schematische Repräsentation des Labyrinths – einschließlich der toten Gänge und falschen Wege. Dies konnte er in einem bekannten weiteren Experiment demonstrieren (▶ Exkurs 7.37).

Kognitive Karte

Eine kognitive Karte (cognitive map) ist eine (hypothetische) mentale Repräsentation des Handlungsraumes beziehungsweise der Lernsituation, die Informationen über die verschiedenen Ereignisse derselben umfasst.

Tolmans Ergebnisse konnten inzwischen durch neuere Experimente zu kognitiven Landkarten bei Ratten, Schimpansen und Menschen bestätigt werden (Olton 1979; Moar 1980). Tiere und Menschen lernen den allgemeinen Aufbau ihrer Umgebung auch *latent* durch Exploration. Sie entwickeln dabei offensichtlich eine kognitive Landkarte, das heißt eine innere Repräsentation der Gesamtsituation, aus der sie **Erwartungen** über die Ergebnisse unterschiedlicher Reaktionsalternativen ableiten können. Offensichtlich handelt es sich hierbei bereits um das Erfassen abstrakter Konzepte – eine Fähigkeit, die man zunächst nur dem Menschen zuerkannte. In den 1980er-Jahren konnte jedoch von Premack (Premack und Premack 1983; Premack 1985) in einer Reihe von aufschlussreichen Experimenten gezeigt werden, dass auch nicht menschliche Primaten, nämlich Schimpansen, in der Lage sind, **abstrakte Konzepte** zu bilden und anzuwenden. In diesen Untersuchungen lernten die Schimpansen einfache Spielmarken, so genannte „Tokens", unterschiedlicher Form, Farbe und Größe als Zeichen für verschiedene Begriffe zu gebrauchen. So lernten sie zum Beispiel, dass eine bestimmte Spielmarke „Apfel", eine andere „Banane" bedeutete, auch wenn die Tokens keinerlei Ähnlichkeit mit dem bezeichneten Gegenstand hatten. Daraus ließ sich schließen, dass die Schimpansen **konkrete Konzepte** wie „Apfel" oder „Banane" verstehen können. Darüber hinaus sind sie aber auch in der Lage, **abstrakte Konzepte** wie „gleich" oder „ungleich" zu erlernen und die entsprechenden Tokens wie Worte einer Sprache zu benutzen. Werden ihnen zum Beispiel zwei Apfel-Tokens



Abb. 7.40 Kinder lernen Verhaltensgewohnheiten wie Rauchen, Trinken oder Spucken durch Beobachtung und Imitation akzeptierter Vorbilder wie Eltern oder Freunde

vorgelegt, so lernen sie hier ihr Token für „gleich" hinzulegen. Werden ihnen jedoch ungleiche Objekte, ein Apfel-Token und ein Pfirsich-Token, vorgelegt, so antworten sie nun mit ihrem Token für „ungleich". Darüber hinaus scheinen Schimpansen auch komplexere Konzepte wie „verursachen" lernen und verstehen zu können. Zeigt man ihnen nach entsprechender Vorerfahrung eine Schere und dazu zerschnittenes Papier, so verwenden sie ihr Token für „verursachen". Dies tun sie jedoch nicht, wenn ihnen eine Schere und unzerschnittenes Papier vorgelegt wird. Wir werden uns mit diesem **Lernen von Begriffen**, das vielfach dem Gebiet des komplexen Lernens zugerechnet wird, ausführlicher im Zusammenhang mit dem Konzepterwerb in ► Exkurs 10.1 befassen.

Angemerkt sei, dass in der neueren Literatur sowohl für kognitive Landkarten als auch für begriffliche Konzepte vielfach der weitergehende Begriff **Schema** verwendet wird. Als Schemata werden dann auch gleichzeitig unsere ähnlich gestalteten allgemeinen Wissensstrukturen im Gedächtnis mitumfasst, die nicht ausschließlich räumliche Daten, sondern auch andere Formen der Information beinhalten können.

7.6 Imitationslernen

Als Imitationslernen bezeichnet man (wie zu Beginn des Kapitels erwähnt) die Übernahme neuer Verhaltensweisen aufgrund der Beobachtung erfolgreichen fremden Verhaltens oder Lernens. Es wird vielfach auch als **Beobachtungslernen**, **Modelllernen** oder als **soziales Lernen** bezeichnet. Dieses tritt oft in Situationen auf, in welchen nach der klassischen Lerntheorie eigentlich kein Lernen zu erwarten wäre, da weder eine Reaktion noch eine Verstärkung zu beobachten ist. Es handelt sich hier offenbar um komplexe soziale Lernprozesse.

7.6.1 Komplexe soziale Lernprozesse

Bei der Erforschung der Lernvollzüge des Menschen hat sich immer wieder gezeigt, dass wir weitere komplexe soziale Lernprozesse annehmen müssen, die über die einfacheren Konditionierungsvorgänge hinauszugehen scheinen. So würde wohl der Aufbau unserer Sprache über das instrumentelle Lernen viel zu lange dauern. Wir sind aber offenbar nicht nur fähig, sondern auch geneigt, die Bewegungen und Lautäußerungen anderer Personen nachzuahmen. Auch zahlreiche psychologische Untersuchungen, angestoßen durch den angestiegenen „TV-Konsum", haben sich mit diesem Phänomen befasst und nachgewiesen, dass wir sehr viel durch die einfache Beobachtung von Modellen lernen, und zwar sowohl prosoziale (Hilfe) als auch antisoziale (Aggressions- und Verletzungs-)Verhaltensweisen.

Insbesondere in sozialen Situationen wie auch im Sozialisierungsprozess des Menschen beobachten wir, dass Lernen häufig allein durch Beobachtung und Nachahmung von Vorbildern beziehungsweise Modellen erfolgt (Abb. 7.40). Diese Feststellung ist nicht neu. Bereits Lord Chesterfield (1694–1773) hatte die Idee: „Wir sind in Wirklichkeit mehr als die Hälfte dessen, was wir sind, durch Imitation." Im Bereich der psychologischen Wissenschaft waren es Miller und Dollard (1941), die die Annahme formulierten, dass das Lernen von Verhaltensweisen im Laufe des Sozialisierungsprozesses mehr auf Nachahmung von Vorbildern als auf Versuch und Irrtum beruht. Diese Hypothese hat jedoch damals verhältnismäßig wenig Beachtung gefunden und ist erst in den 1960er-Jahren durch die mit Experimenten belegten Untersuchungen von Bandura und Walters (1963; Bandura und Jeffery 1973) als **Lernen am Modell** oder als **sozial-kognitive Lerntheorie** bekannt geworden. Für diese Art des Lernens existieren heute in der Psychologie recht viele Bezeichnungen: **Beobachtungs**- oder **Modelllernen**, **Lernen durch Nachahmung**, **Imitationslernen**, **Identifikationslernen**, **soziales Lernen** oder auch **Rollenlernen**.

Beim Imitationslernen (Lernen durch Beobachtung und Nachahmung) geht es um das Lernen von neuen Verhaltensweisen durch die Beobachtung bestimmter Modelle, deren Verhalten (gleich oder später) nachgeahmt wird.

Diese Form des sozialen Lernens findet sich zumeist in solchen Situationen, in welchen nach der klassischen behavioristischen Lerntheorie kein Lernen zu erwarten wäre, weil der Lernende während des Beobachtungslernens keine aktive Rolle zeigt und selbst auch keine sichtbare Bekräftigung erhält.

Das Imitationslernen ist dagegen wesentlich dadurch gekennzeichnet, dass der Lernende ein Verhalten nachahmt, von dem er beobachtet, dass es beim Vorbild, dem „Modell", zum Erfolg führte. Es ist daher auch als **stellvertretendes operantes Konditionieren** (*vicarious learning*) bezeichnet worden. Das Modell wird stellvertretend für den Lernenden belohnt.

Spiegelneurone

Imitationslernen findet sich auch bei anderen Gattungen und wurde unter anderem bei Tauben, Ratten, Eseln und verschiedenen Affen nachgewiesen (Dugatkin 2002). Hier entdeckten Neurologen im frontoparietalen Bereich des Cortex (Stirnlappenbereich) die sogenannten Spiegelneurone. Sie reagieren einerseits, wenn ein Affe selbst bestimmte Handlungen durchführt, wie das Greifen nach einem Gegenstand (Rizzolatti et al. 2002), sie reagieren andererseits ebenso, wenn der Affe einen anderen bei der

Exkurs 7.38

Experiment zur Demonstration des Imitationslernens

Aus der Vielzahl der von Bandura und seinen Mitarbeitern durchgeführten Demonstrationsexperimenten greifen wir zunächst eines heraus, das zugleich auch die Bedeutsamkeit einer belohnenden Zuwendung seitens des Modells für die Nachahmung demonstriert. Fünfjährige Vorschulkinder wurden nach dem Zufall in zwei Gruppen aufgeteilt. Die Experimentalgruppe wurde in einen Raum geführt, in welchem eine erwachsene Frau intensiv mit den Kindern spielte (gutes Modell). Die Kinder der Kontrollgruppe wurden dagegen in einen Raum geführt, in welchem sich ebenfalls eine erwachsene Frau befand, die sich aber nicht um die Kinder kümmerte (schlechtes Modell). Nach dieser Eingewöhnungsphase wurden die Kinder jeweils zusammen mit ihrem „Modell" in einen anderen Raum geführt, wo beide Gruppen getrennt voneinander eine Reihe festgelegter Aufgaben zu bewältigen hatten. Dabei wurden die Aufgaben jeweils zunächst von dem „Modell" gelöst, das die Kinder beobachten konnten. Bei der Vorführung der Aufgabenlösung zeigte das Modell zusätzlich einige Verhaltensweisen, die mit der Lösung nichts zu tun hatten, zum Beispiel sinnfreie verbale Äußerungen, unnötige Mimik, Wegstoßen einer Puppe. Dann wurde das weitere Verhalten der Kinder beider Gruppen beobachtet. Bei dieser abschließenden Verhaltensbeobachtung zeigte sich, dass die Kinder nicht nur die vorgeführten und beobachteten Lösungsschritte nachahmten. Die Kinder der Experimentalgruppe zeigten darüber hinaus signifikant häufiger (zum Teil sogar in übertriebenem Maße) auch die zusätzlichen Verhaltensweisen des Modells als die Kinder der Kontrollgruppe. Diese Beobachtung führte Bandura zu der Annahme, dass diese Kinder sich infolge des zuwendungsorientierteren Verhaltens ihres Modells stärker mit diesem identifizieren konnten und daher auch Belangloseres in ihr Verhaltensrepertoire aufnahmen (Bandura und Walters 1963).

In einem anderen Experiment beobachteten Kinder, wie erwachsene Modelle eine große Plastikpuppe boxten, schlugen und traten. In der nachfolgenden Beobachtungsphase zeigten diese Kinder derartige Verhaltensweisen weit häufiger als Kinder aus den Kontrollgruppen, die die aggressiven Modelle nicht beobachtet hatten.

In Nachfolgeuntersuchungen konnte belegt werden, dass Kinder solche Verhaltensweisen auch schon dann nachahmen, wenn sie lediglich abgefilmte Sequenzen mit solchen Modellen oder sogar nur mit Zeichentrickfiguren gesehen hatten (Bandura et al. 1963).

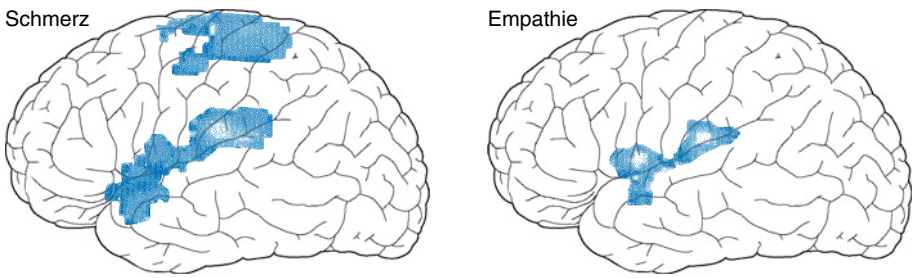


Abb. 7.41 Hirnaktivität bei erlebten und bei vorgestellten (Empathie) Schmerzen. Im Gehirn sind mehrere Emotionszentren sowohl bei Empathie als auch bei körperlichem Schmerz aktiv. Der somatosensorische Cortex ist dagegen nur bei körperlichem Schmerz beteiligt. (Nach Myers 2008, S. 371)

Durchführung der gleichen Aufgabe beobachtet. Die Neurone spiegeln gewissermaßen das, was der andere Affe tut. Insbesondere reagieren sie auf die Beobachtung zielgerichteter Bewegungen anderer oder der eigenen im Spiegelbild („Spiegelneurone").

Wie PET-Untersuchungen zeigten, haben auch wir Menschen derartige Spiegelneurone in diesem Hirnbereich, der zudem auch für sprachliche Prozesse zuständig ist. Wenn man sieht, wie ein geliebter Mensch Schmerzen hat, dann spiegelt nicht nur unser Gesicht, sondern auch unser Gehirn die Emotion wider. Selbst der bei einem anderen Menschen vorgestellte Schmerz löst einige derselben Hirnaktivitäten aus wie der tatsächlich selbst erlebte Schmerz (Singer et al. 2004; Abb. 7.41). Das Erkennen der emotionalen Bedeutung eines beobachteten Verhaltens anderer Personen erfolgt schnell und intuitiv. Eine bewusste kognitive Bewertung ist dazu nicht erforderlich.

Ein ausgedehntes präfrontal-parietales System von Spiegelneuronen sorgt dafür, dass wir sofort und intuitiv die Bewegungen, Absichten und Gefühle anderer „verstehen" (Birbaumer und Schmidt 2006).

Bereits bei Kindern helfen Spiegelneurone durch Beobachtung zu lernen, wie man Lippen und Zungenbewegungen nachahmt. Sie tragen auch zur Ausbildung von Empathie und der Ausbildung, sich in den mentalen Zustand eines anderen hineinzuversetzen, bei. Diese Fähigkeit wird auch als *Theory of Mind* bezeichnet (mehr zu Spiegelneuronen in *Zusatztext online*).

Fragen wir uns nun, wie und nach welchen Prinzipien funktioniert das Imitationslernen im Einzelnen? Von welchen Variablen hängt es ab, ob ein beobachtetes Verhalten gelernt oder gezeigt wird? Werden Modelle gleichermaßen nachgeahmt? Welche Eigenschaften der Modelle erhöhen, welche vermindern die Wahrscheinlichkeit ihrer Nachahmung? Diese Fragen waren sowohl für Pädagogen als auch für Psychologen angesichts des zunehmenden Einflusses von Film, Funk und Fernsehen auf das Sozialverhalten und die Meinungsbildung von besonderem Interesse (zum Beispiel Huston 1985; National Institute of Mental Health Report 1982).

7.6.2 Grundprinzipien des Imitationslernens

Die Grundprinzipien des Modelllernens wurden im Wesentlichen von Bandura und seiner Arbeitsgruppe anhand von einfallsreichen Experimenten untersucht und demonstriert. Hier zeigte sich, dass insbesondere Kinder dazu neigen, sowohl das nachzuahmen, was eine Modellperson tut, als auch das, was sie sagt und wie sie es sagt, egal ob das Verhalten prosozial oder antisozial ist. Nicht nur Kinder, auch wir Erwachsenen neigen dazu, Verhaltensweisen von solchen Personen zu übernehmen, die wir als erfolgreich, bewunderungswürdig oder auch nur als uns ähnlich wahrnehmen. Die wesentlichen Grundprinzipien des Imitationslernens werden anhand von Experimenten in ▶ Exkurs 7.38 verdeutlicht.

Exkurs 7.39

Experiment: Grundprinzipien des Imitationslernens

Eine klassische Demonstration grundlegender Faktoren beziehungsweise Aspekte des Modelllernens gibt folgende Untersuchung von Bandura et al. (1963) (vergleiche ◘ Abb. 7.42). Die Versuchspersonen (Vorschulkinder) wurden auf drei Gruppen aufgeteilt, denen jeweils in der ersten Phase des Experimentes ein Film gezeigt wurde, in welchem zwei Erwachsene, Rocky und Jonny, als Modelle in unterschiedlicher Weise mit „aggressivem" Spielzeug (Stock, Gewehr, Lasso und Ähnlichem) spielten.
Die Kinder der Experimentalgruppe 1 sahen einen Film, in welchem Rocky sehr aggressiv mit Jonny spielt und ihm nach einiger Zeit schließlich die Spielsachen wegnimmt. In der Schlussszene sieht man Jonny allein in einer Ecke, während Rocky mit den Spielsachen singend davonzieht. Gleichzeitig teilt der Kommentator mit, dass Rocky gesiegt habe (das heißt, aggressives Verhalten zahlt sich aus und wird im Film *stellvertretend* bekräftigt).
Die Kinder der Experimentalgruppe 2 sahen einen Film, in welchem sich Rocky zunächst genauso verhält und aggressiv spielt. Als er allerdings Jonny die Spielsachen wegnehmen will, wird er von diesem verprügelt, und Jonny nimmt sich seine Spielsachen wieder zurück. In der Schlussszene sitzt diesmal Rocky weinend in der Ecke, und der Kommentator stellt fest, dass Rocky bestraft wurde (das heißt, das Modellverhalten führte nicht zum Ziel und wird stellvertretend bestraft).
Die Kinder der Kontrollgruppe sahen dagegen einen Film, in welchem Rocky und Jonny sehr intensiv miteinander spielen, der aber keine aggressiven Verhaltensweisen zeigt.
Anschließend in der zweiten Untersuchungsphase wurden die Kinder der drei Gruppen getrennt voneinander in einen Raum geführt, in welchem sich die Gegenstände befanden, mit denen in dem Film gespielt wurde. Den Kindern wurde hier Zeit zum Spielen gegeben. Nun zeigte sich, dass die Kinder der Experimentalgruppe 1 (mit dem belohnten aggressiven Modell) eindeutig die meisten aggressiven Verhaltensweisen ausführten und sich damit deutlich von den beiden anderen Gruppen unterschieden, bei denen bei beiden gleich wenig aggressive Verhaltensweisen beobachtet wurden.
Werden dann in einer dritten Phase eines solchen Experimentes die Kinder aufgefordert, im Spiel zu zeigen, was sie in den gezeigten Filmen beobachtet haben, so können auch sehr wohl die Kinder der Experimentalgruppe 2 (aggressives bestraftes Modell) die beobachteten aggressiven Verhaltensweisen demonstrieren. Dieses Ergebnis belegt, dass beobachtetes Verhalten, selbst wenn es in der nachfolgenden Spielsituation nicht gezeigt wird, dennoch gelernt sein kann, sodass wir auch hier von latentem Lernen ausgehen müssen. Es handelt sich hier also wieder um latentes Lernen, wie es zuerst von Tolman beschrieben wurde (Bandura 1969, 1979). Wann das latent gelernte Verhalten gezeigt wird, ist dann von den äußeren Umständen oder auch von den eigenen persönlichen Intentionen oder Erwartungen abhängig. (eine Übersicht bei Spada et al. 2006)

	Aquisitionsphase	Performanzphase	
Vorschulkinder	Film mit aggressivem Spielzeug (Rocky & Jonny)	Spielen im Spielzeugzimmer	Zeigen, was gesehen wurde
Experimentalgruppe 1	Rocky (Modell) siegt	aggressives Verhalten	aggressives Verhalten
Experimentalgruppe 2	Rocky (Modell) verliert	kein Unterschied	aggressives Verhalten
Kontrollgruppe	nicht aggressives Spielen		—

◘ **Abb. 7.42** Schema des Versuchsdesigns

Wie die Ergebnisse der Experimente erkennen lassen, neigen Kinder, wie auch sonst bekannt, dazu, gesehenes Verhalten nachzuahmen. Es zeigt sich aber, dass eine größere Nähe oder Vertrautheit des Modells die Identifikation und damit die Imitationswahrscheinlichkeit erhöht. Dabei spricht die Nachahmung der belanglosen Nebenreaktionen (Mimik) für die erhöhte Identifikation mit dem Modell („Wie er sich räuspert, und wie er spuckt, das hat er ihm schon abgeguckt", Goethe, Faust, Teil 1).

Zur Analyse und Darstellung der weiteren Schlussfolgerungen über das Zusammenwirken der verschiedenen Variablen, die das Imitationslernen beeinflussen, betrachten wir ein weiteres, etwas komplexeres Experiment (▶ Exkurs 7.39)

Schlussfolgerungen

Wie wir in ▶ Exkurs 7.38 und ▶ Exkurs 7.39 dargelegt haben, konnte Bandura in seinen Untersuchungen zeigen, dass die komplexen Verhaltensweisen eines Modells in einer gegebenen Situation vom Beobachter offenbar aufgenommen und gespeichert werden und dass sie dann später in einer gleichen oder ähnlichen Situation in mehr oder weniger ähnlicher Weise wiedergegeben werden können.

Bei dem Vollzug des Imitationslernens lassen sich im Wesentlichen zwei Phasen unterscheiden:

1. **Akquisitions**- oder **Aneignungsphase:** In dieser ersten Phase wird das Verhalten des Modells in einer bestimmtem Situation beobachtet, und seine spezifischen Reaktionen werden gespeichert, ohne dass ein Handeln nötig ist. Diesen Schritt bezeichnete Bandura (1965) auch als „Lernen ohne Versuch".
2. **Performanz**- oder **Ausführungsphase:** In dieser Phase wird das bereits angeeignete Verhalten auch gezeigt. Doch ob das gespeicherte gelernte Verhalten nun tatsächlich in einer entsprechenden Situation auch gezeigt wird, ist von mehreren Faktoren abhängig, und zwar davon

(a) inwieweit sich der Beobachter mit dem Modell identifiziert (Identifikation),
(b) ob das Modell für sein Verhalten belohnt wurde (stellvertretende Bekräftigung),
(c) ob der Beobachter mit diesem Verhalten in der aktuellen Situation für sich selbst Erfolg erwartet (Erfolgserwartung).

Ob das beobachtete Verhalten letztlich in das Reaktionsrepertoire des Beobachters aufgenommen wird, hängt schließlich auch noch von dessen emotionalem Erleben und seiner (im Hinblick auf seine mögliche Idealvorstellung erfolgenden) *Bewertung* des beobachteten Verhaltens ab.

Die **Haupteffekte des Modelllernens** nach Bandura liegen nach den zahlreichen Untersuchungen zu diesem Thema in folgenden Bereichen:

- **Lerneffekte entstehen durch Beobachtung**, das heißt, neue Verhaltensweisen werden bei anderen wahrgenommen, und das beobachtete Verhalten wird im Zusammenhang mit den kontextuellen Hinweisen (S^D) der entsprechenden Auslösesituation gespeichert, die als mögliche Auslöser für die spätere Imitation des Verhaltens dienen.

- Die Beobachtung führt zu **Bahnungs- und Enthemmungseffekten**, wenn sich das beobachtete Verhalten *als erfolgreich erweist*. Es entstehen positive Gefühle, welche die Nachahmung des Verhaltens erleichtern.

- Die Beobachtung führt zu Hemmungseffekten, wenn das Modell *bestraft* wird. Die Imitation des **gelernten Verhaltens wird unterbunden**, sofern keine anderen kognitiven Erwartungen vorliegen.

- Die Beobachtung kann generell auf schon **vorhandene Reaktionspotenziale** erleichternd oder hemmend wirken. Das heißt, der Beobachter wird zur Ausführung eines bereits vertrauten Verhaltens in einer bestimmten Situation ermutigt.

7.6.3 Wie wird man zum Modell?

Wenngleich diese Frage in der psychologischen Forschung bisher noch nicht abschließend beantwortet ist, lässt sich hier doch folgendes festhalten:

Es wurde schon darauf hingewiesen, dass der *Identifikation mit dem Modell* eine besondere Bedeutung zukommt, womit eine generelle Fragestellung der Sozialpsychologie angeschnitten ist. Nach den vorliegenden Untersuchungen scheint gesichert zu sein, dass die Nachahmung eines Modells dadurch gefördert wird, dass

- das Modell eine Identifikation zulässt,
- der Beobachter direkt oder stellvertretend über das Modell belohnt wird,
- das Modell einen hohen sozialen Status besitzt,
- sein Verhalten persönlich und freundlich wirkt,
- das Modellverhalten eigenen Intentionen entspricht.

(Vergleiche hierzu das Eingangsexperiment in ▶ Exkurs 7.39.)

So ist häufig nicht der Erzieher oder der Lehrer das Modell für die von ihm betreuten Jugendlichen oder Schüler, sondern diese orientieren sich an ihrem *informellen Gruppenführer*, dessen Verhalten durchaus im Widerspruch zu den angestrebten Verhaltenszielen der Einrichtung stehen kann.

7.6.4 Modelllernen in der Praxis

Zu diesem Thema finden sich in der Literatur zahlreiche Untersuchungen. Bemerkenswert dabei ist jedoch, dass sich die überwiegende Mehrzahl der Untersuchungen mit dem Modelllernen antisozialen Verhaltens befasst und es nur relativ wenige Hinweise auf das Modelllernen prosozialer Verhaltensweisen zu geben scheint. Zunächst war man davon ausgegangen, dass Beobachtungslernen eine typisch menschliche Lernleistung ist. Aber seit Biologen und Ethologen sich weitgehend mit den Verhaltensweisen der Tiere befassen, sind dort gleichartige Lernvorgänge beschrieben worden (▶ Exkurs 7.40).

Als bekannte Beispiele dafür, dass Personen, die konsistent ein nicht aggressives, helfendes und unterstützendes Verhalten an den Tag legen und dadurch ähnliches Verhalten bei ihren Bewunderern oder Beobachtern hervorrufen können, gelten Mahatma Ghandi, Martin Luther King jr. oder Albert Schweizer, durch deren Vorbild gewaltloses Handeln zu einer bedeutsamen Kraft für den sozialen Wandel wurde. Ebenso können Eltern wirkungsvolle prosoziale Modelle sein, Insbesondere wenn ihr Handeln und ihre verbalen Aussagen konsistent sind. Bisweilen jedoch sagen sie das eine und tun aber das andere. Wie Experimente belegen, scheinen die Kinder in solchen Fällen beides zu lernen (Rice und Grusec 1975).

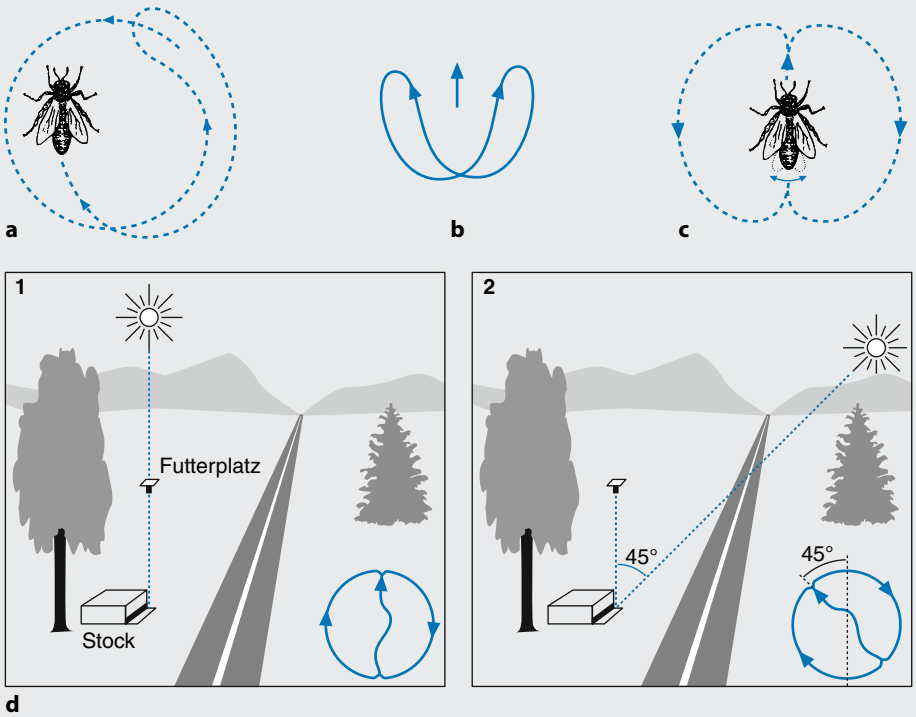
Zahlreiche Studien gibt es zum Modelllernen von Gewalt. Wird Gewalt auch in unserem natürlichen Umfeld durch Beobachtungslernen gelernt? Zunächst einmal scheint Aggression eine natürliche Reaktion auf aversive Ereignisse zu sein, die durch die jeweilige Zivilisation entscheidend durch Lernen und Vorbilder überformt wird. So wird gewaltsames Verhalten wahrscheinlicher in Situationen, bei denen die Erfahrung lehrt, dass sich Aggression auszahlt. Dies geschieht einerseits natürlich durch direkte Verstärkung, andererseits aber eindeutig auch durch Beobachtung und Imitation. So konnten verschiedene Studien zeigen, dass Eltern junger Delinquenten diese üblicherweise mit Schlagen oder Prügeln erziehen und so zum Vorbild werden, Gewalt als Methode zur Problemlösung einzusetzen (Patterson et al. 1982, 1992)

Besondere Bedeutung aber kommt beim Modellernen heute natürlich dem Fernsehen und den Internetforen zu, zumal in den letzten Jahren in etlichen Programmen das Ausmaß an Gewaltdarstellungen beträchtlich zugenommen hat. Nach einem Bericht der *Los Angelos Times* (1990, s. Lit) stieg zum Beispiel in einer amerikanischen Samstagmorgen-Kindersendung die Anzahl der dargestellten Gewalttaten in den Jahren von 1980 bis 1990 von 18,6 auf 26,4 pro Stunde. Tatsächlich haben, wie

Exkurs 7.40

Genauer betrachtet: Nachahmungslernen bei Tieren

Auch im Tierreich kann Lernen, wie Ethologen zeigen konnten, durch Beobachtung und Nachahmung erfolgen. So lernen Singvögel (zum Beispiel der Buchfink) wesentliche Elemente des arteigenen (oder den eines anderen) Gesangs durch Nachahmung (vergleiche ▶ Exkurs 7.30). In akustischer Isolation aufgezogene Tiere bringen lediglich unspezifisches Gestammel hervor (Thorpe 1961).
Katzenmüttern wurde beigebracht, Bananen oder Kartoffelmus zu fressen, worauf die Jungen diese nicht artgemäße Ernährungsweise von der Mutter übernahmen (Franck 1985).
Tendenzen zu Nachahmungsverhalten finden sich auch bei manchen primitiveren Organismen: Bienen vollführen, wenn sie in der Umgebung eine lohnende Futterquelle gefunden haben, im heimischen Stock auf den Waben einen spezifischen „Schwänzeltanz" (◘ Abb. 7.43a, b, c), dessen Art und Ausrichtung die Richtung und Entfernung der Futterquelle angibt, was in ◘ Abb. 7.43d (1) und 7.43d (2) illustriert wird. Die Richtung des Schwänzeltanzes zeigt den Abweichungswinkel der Futterquelle zum Sonnenstand an, In Abbildungsteil d1 liegen Futterplatz und Sonnenstand in gleicher Richtung vom Bienenstock. Durch Nachahmung dieses gerichteten Schwänzeltanzes der „erfolgreichen" Biene nehmen andere Bienen die Information über Entfernung und Richtung auf und finden danach auch die Futterquelle (von Frisch 1965).



◘ **Abb. 7.43 Nachahmungssprache der Honigbiene.** Die Richtung des Schwänzeltanzes (**a**, **b**, **c**) zeigt den Abweichungswinkel der Futterquelle zum Sonnenstand an, In Abbildungsteil 1 liegen Futterplatz und Sonnenstand in gleicher Richtung vom Bienenstock. In Abbildungsteil 2 beträgt der Abweichungswinkel 45 °

zu erwarten, gewalttätige Vorbilder dieselben Effekte, wie wir sie bereits im Laborexperiment von Bandura besprochen haben (▶ Exkurs 7.39). Brachten die amerikanischen Medien ausführliche Berichte über die Schwergewichtsmeisterschaften im Boxen, so wurden laut Statistik anschließend 12 % mehr Menschen getötet. Dabei ähnelten die Opfer den Personen, die im Boxkampf verloren hatten (zum Beispiel in der Hautfarbe). Auch in vielen anderen untersuchten Fällen wurden erstaunlich exakte Übereinstimmungen zwischen Mediendarstellungen und den nachfolgend bekannt gewordenen Gewalttaten festgestellt (z. B. Phillips 1983). In ▶ Exkurs 7.41 stellen wir eine weitere Untersuchung zum Bezug von TV-Gewaltkonsum und Imitationslernen dar, die zugleich deutlich macht, dass es unterschiedliche Prädispositionen für die Imitation aggressiven Verhaltens gibt.

Dies war auch dann der Fall, wenn diese Werte hinsichtlich ihrer bereits früher vorhandenen Jugendaggressivität statistisch korrigiert wurden. Damit konnte zugleich auch die These als Erklärung entkräftet werden, dass umgekehrt die vorhandene natürliche Aggressivität zu dem stärkeren Konsum aggressiver Fernsehprogramme führe. Andererseits muss dagegengehalten werden, dass bei den Mädchen keine derartig konsistenten Beziehungen zwischen Fernsehgewohnheiten und ihrem Aggressionsverhalten vorhanden waren. Argumentiert wird hierzu gewöhnlich, dass es in den Fernsehprogrammen generell weniger oder kaum weibliche Gewaltmodelle gäbe. Andererseits könnten die Ergebnisse auch auf eine unterschiedliche, phylogenetisch mitbedingte *Preparedness* (vgl. die Ausführungen zu den biologischen Einschränkungen (▶ Abschn. 7.4.6)) für die Übernahme derartiger Verhaltensweisen bei beiden Geschlechtern hinweisen. Zumindest sprechen die dargestellten Ergebnisse sowie die zahlreicher anderer Studien gegen die Anwendbarkeit der **Katharsishypothese**, wonach wir durch das Betrachten aggressiver Filme unsere triebmäßig vorhandene Aggression abbauen und läutern würden (Wood et al. 1991).

Exkurs 7.41

Genauer betrachtet: TV-Gewalt und Imitationslernen

In einer groß angelegten Studie in Amerika wurden 800 Kinder zwischen 8 und 9 Jahren zunächst hinsichtlich ihrer Fernsehgewohnheiten und Präferenzen untersucht; gleichzeitig wurde ihre gegenwärtige Aggressivität über Befragung von Klassenkameraden auf Schätzskalen erfasst. Dabei zeigte sich zunächst, dass die Jungen, die Programme mit einem beachtlichem Anteil an Gewalt bevorzugten, auch wesentlich aggressiver in ihrem interpersonalen Umgang waren als die Kinder, die Programme mit wenig oder kaum Gewaltdarstellungen bevorzugten – Ergebnisse, die denen früherer Untersuchungen voll entsprachen. Als aber zehn Jahre später mehr als die Hälfte der ursprünglichen Personen erneut hinsichtlich ihrer Fernsehpräferenzen interviewt wurde, ihre Verbrechenstendenzen mit einem Test erfasst und ihre Aggressivität durch Mitschüler eingeschätzt (*rating*) worden war, zeigte sich eine beträchtlich hohe Korrelation zwischen ihrem TV-Gewalt-Konsum mit neun Jahren und ihrer Aggressivität mit 19 Jahren (Abb. 7.44).

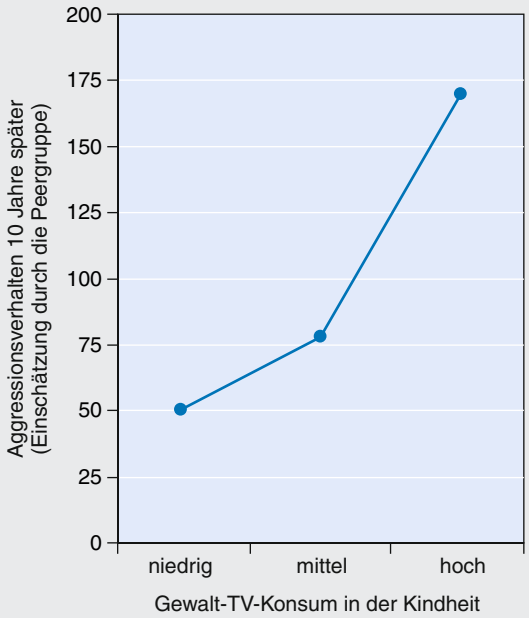


Abb. 7.44 Der Zusammenhang zwischen TV-Gewalt-Konsum mit 9 Jahren und Aggressivität mit 19 Jahren Die Menge der im Alter von 9 Jahren konsumierten TV-Gewalt-Sendungen korreliert positiv mit dem 10 Jahre später beobachteten Ausmaß der Aggressivität

Kritisch hinterfragt

Inwieweit das Lernen am Modell als auch das sozial-kognitive Lernen im Sinne Tolmans eigenständige Lernprinzipien darstellen, ist eine bisher noch ungelöste Frage. Autoren wie Atkinson et al.(1990) sehen das Lernen am Modell als einen Spezialfall des operanten Konditionierens an. So lässt sich argumentieren, die Kinder werden in der Regel dafür belohnt, wenn sie das Verhalten der Eltern oder der „reiferen" Geschwister übernehmen, das heißt, das Nachahmen als solches wird operant konditioniert. Aus dieser Sicht können beide Lernprinzipien als komplexe Varianten des operanten Lernens aufgefasst werden. Diese sozialkognitive Lerntheorie unterscheidet sich jedoch vom strikten Behaviorismus insofern, als die Bedeutung der kognitiven Prozesse hervorgehoben wird. Dadurch, dass wir Menschen (aber auch höhere Tiere) eine mentale Repräsentation der jeweiligen Reizsituation bilden können, sind wir in der Lage, auch die Konsequenzen unseres Verhaltens vorherzusehen und unser Verhalten entsprechend einzurichten. Diese Denkprozesse lassen sich andererseits als verinnerlichte Handlungen beziehungsweise als „Probehandeln" verstehen, deren erfolgreiche Lösung zum Aha-Erlebnis führt, das im Sinne der operanten Konditionierung als innere Belohnung aufgefasst werden kann.
Das Modelllernen unterscheidet sich ferner vom konsequenten Behaviorismus dadurch, dass es die Bedeutung der stellvertretenden Bekräftigung hervorhebt, die ebenfalls nur über kognitive Prozesse wirksam werden kann. Aber auch dieses Lernprinzip kann als komplexe Variante des operanten Konditionierens aufgefasst werden.

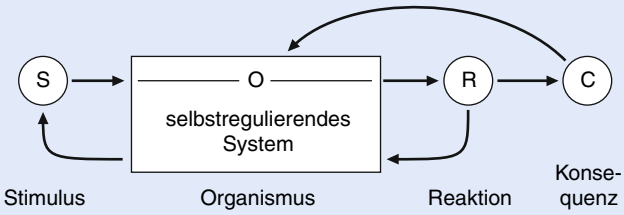


Abb. 7.45 Arbeitsmodell einer kognitiv strukturierten Lerntheorie. (Nach Kanfer und Phillips 1975)

Schlussbetrachtung Wie bereits an mehreren Stellen innerhalb dieses Kapitels angemerkt, gibt es in der Lernpsychologie verschiedene Ansätze, Lernen zu erklären, wie auch gewisse Kontroversen zwischen den Vertretern verschiedener Ansätze. In der gegenwärtigen Diskussion wird die Bedeutung der innerpsychischen Prozesse (verinnerlichtes, verdecktes Handeln) stärker hervorgehoben. Dadurch wird das relativ starre ursprüngliche Grundschema der S-R-Theorie auf einen S-O-R-Ansatz erweitert. Dies geschieht unter Einbeziehung einer intervenierenden Variablen, die auch als Organismus-Variable (O) bezeichnet wird, und durch die Einbeziehung der mit der Reaktion (R) in Verbindung stehenden Konsequenzen (C), was das auf Kanfer und Phillips (1975) zurückgehende Arbeitsmodell einer kognitiv strukturierten Lerntheorie verdeutlichen soll (Abb. 7.45).

Wenngleich der gegenwärtige Stand der Lerntheorie noch etliche Probleme offen lässt, scheinen sich assoziative Lerntheorie und kognitives Lernen komplementär zu ergänzen. Sie können mit Atkinson und Hilgard (Atkinson et al. 2001) betrachtet werden als mögliche Pole einer kontinuierlichen Skala von einfachen, weniger

bewusst ablaufenden Lernprozessen über einen weiten Mittelbereich bis hin zu kognitiv und bewusst ablaufenden Lernvollzügen. So ergibt sich hier auch heute noch ein weitgehend eklektizistisches Bild, eine Art Mischtheorie, deren einzelne Teilaspekte von verschiedenen Psychologen in unterschiedlicher Weise hervorgehoben werden (vergleiche Gedächtnistheorien in ▶ Kap. 8).

Zusammenfassung

- Im Unterschied zum nichtassoziativen Lernen (z. B. die als Habituation bezeichnete Abschwächung der Reaktion auf einen wiederholt dargebotenen Reiz), beruht assoziatives Lernen auf der Verbindung von Reizen oder von Reizen und Reaktionen. Beim klassischen Konditionieren kommt es zu einer Kopplung zwischen einem US, welcher in reflexhafter Weise eine bestimmte Reaktion (UR) auslöst, mit einem weiteren Reiz (CS), dessen Darbietung ursprünglich nicht zur Auslösung der Reaktion führt. Die kontingent erfolgende gepaarte Darbietung beider Reize führt dazu, dass auch der CS eine Reaktion (CR) auslöst, die der UR zumeist ähnlich ist. Eine wichtige Rolle für das Zustandekommen einer klassischen Konditionierung spielt der (relative) Vorhersagewert, den der CS hinsichtlich des Auftretens des US aufweist.
- Beim operanten Konditionieren verändert das kontingente Auftreten bestimmter Reize nach einem spezifischen Verhalten dessen Auftretenswahrscheinlichkeit. Bei einer Erhöhung der Auftretenswahrscheinlichkeit wird von Verstärkung gesprochen. Die spezifische Systematik, mittels derer ein Verhalten verstärkt wird (Verstärkerplan), bestimmt die Geschwindigkeit und die Form des Lernverlaufs. Sowohl klassisch als auch operant konditioniertes Verhalten lässt sich löschen, indem die Kopplung von CS und US bzw. von Reaktion und Verstärker aufgehoben wird. In beiden Lernformen treten Phänomene der Reizgeneralisierung und Reizdiskrimination auf.
- Kognitionspsychologische Erklärungen gehen davon aus, dass Umgebungsbedingungen mental repräsentiert und Erwartungen hinsichtlich des Eintretens bestimmter Reizereignisse gebildet werden. Lernen durch Einsicht wird auf inneres Probehandeln zurückgeführt. Es ermöglicht die plötzliche erstmalige Ausführung umfangreicher Handlungsabläufe.
- Lernerwerb muss sich nicht unmittelbar im Verhalten zeigen, sondern kann mitunter erst zu einem späteren Zeitpunkt sichtbar werden, z. B. wenn das entsprechende Verhalten eine Bekräftigung erfährt. Man spricht in diesem Fall von latentem Lernen.
- Beobachtungslernen beinhaltet die Übernahme von an einer anderen Person (Modell) wahrgenommenen Verhaltensweisen. Das Ausmaß des Beobachtungslernens ist von verschiedenen Faktoren abhängig, zum Beispiel von den Konsequenzen des Verhaltens in der Beobachtungssituation und vom Grad der Identifizierung mit dem Modell.

Antworten auf die Einführungsfragen

1. Es handelt sich um ein typisches Beispiel für klassische Konditionierung. Erklären lässt es sich durch die Annahme der Ausbildung einer Assoziation zwischen der Repräsentation des ursprünglich neutralen Reizes (z. B. Ton oder Licht) und der Repräsentation des unkonditionierten Reizes (Luftstoßes). Hierdurch wird der neutrale Reiz zum konditionierten Reiz, dessen Wahrnehmung die Reaktion auslöst.
2. Ein spezifisches Verhalten, das auf bestimmte Reizbedingungen konditioniert wurde, zeigt sich üblicherweise (zumeist in abgeschwächter Form) auch als Reaktion auf das Auftreten ähnlicher Reize. Dieser Generalisierung kann durch gezieltes Diskriminationslernen entgegengewirkt werden.
3. Dem Gesetz des Effekts zufolge bewirkt ein nach dem Verhalten auftretender Verstärker eine Erhöhung der Wahrscheinlichkeit der zukünftigen Ausführung derselben Reaktion unter den entsprechenden Reizbedingungen. In Abhängigkeit von den spezifischen Bedingungen der Verstärkerdarbietung (Verstärkerpläne) ergeben sich unterschiedliche Lernverläufe.
4. Hierzu werden natürliche Variationen des Verhaltens in gezielter Weise verstärkt und dadurch eine sukzessive Annäherung an das gewünschte Lernverhalten realisiert. Soll zum Beispiel eine Taube dazu gebracht werden, sich in einer bestimmten Richtung im Kreis zu drehen, so wartet man zunächst auf eine spontan auftretende Bewegung, die ansatzweise in die gewünschte Richtung geht. Durch die prompte Darbietung eines Verstärkers wird die Auftretenswahrscheinlichkeit dieser Bewegung erhöht, und jedes weitere Auftreten der Bewegung wird wiederum verstärkt, bis eine gewisse Häufigkeit der Ausführung etabliert ist. Daraufhin werden nur noch Bewegungen verstärkt, welche etwas mehr in die gewünschte Richtung gehen (im Beispiel: etwas weitergehende Drehungen als zuvor), bis auch dieses Verhalten mit gewisser Häufigkeit ausgeführt wird. Fortan werden wiederum nur etwas weitergehende Bewegungen verstärkt, bis am Ende die volle Drehung vollzogen ist. Diese Prozedur der sukzessiven Annäherung an das gewünschte Verhalten wird als Shaping bezeichnet.
5. Im Prinzip lassen sich Reize in arbiträrer Weise mit zu erlernenden Reaktionen koppeln. Allerdings gibt es offenbar Dispositionen, die bestimmte Kombinationen besonders leicht erlernbar machen (z. B. Geschmacksaversion) und dem Erlernen hierzu diskrepanter Paarungen entgegenstehen. Andererseits hat sich auch gezeigt, dass es bei allen Organismen biologisch (genetisch) bedingte Einschränkungen (*constraints)* gibt, die als Lerndisposition oder Lernbereitschaft (*preparedness*) bezeichnet wird, wodurch begrenzt wird, was ein Organismus überhaupt durch Konditionierung lernen kann.
6. Das Potenzgesetz der Übung beschreibt den Verlauf des Erwerbs diverser Fertigkeiten. Es ist charakterisiert durch starke Leistungsgewinne in frühen Phasen des Erwerbs, die sich im Lauf der Übung immer weiter abschwächen, sodass es letztlich zu einer asymptotischen Annäherung an ein bestimmtes Leistungsniveau kommt.

Fragen zur Wiederholung und Denkanstöße

1. Können Sie darlegen, wie man wissenschaftlich den Begriff „Lernen" definiert hat?
2. Welche Kategorien des Lernens lassen sich unterscheiden?
3. Wie lernen wir durch Habituation?
4. Wo spielen biologische Einschränkungen eine Rolle?
5. Was ist ein CS, was ein US?
6. Wie erfolgt die klassische Konditionierung?
7. Beschreiben Sie die verschiedenen zeitlichen Konditionierungsmuster.
8. Wann tritt Extinktion, wann Spontanerholung auf?
9. Was ist Reizgeneralisation und durch welches Verfahren wird ihr entgegengewirkt?
10. Was wird mit Generalisationsdekrement bezeichnet?
11. Wie weit gelingen Konditionierungen höherer Ordnung?
12. Welche Rolle spielt die konditionierte Geschmacksaversion?
13. Was ist Kontiguität und was ist Kontingenz? Wohin gehören die Begriffe?
14. Wie lässt sich die von Rescorla postulierte Bedeutung der *predictability* nachweisen?
15. Wann kommt es zu Blockierung und Verdeckung bei der klassischen Konditionierung?
16. Charakterisieren Sie das Rescorla-Wagner-Modell.
17. Was wird unter artspezifischen Lerndispositionen verstanden?
18. Beschreiben Sie das neuronale Modell elementarer Lernprozesse (Aplysia).
19. Was sind Hebb-Synapsen und die Hebb'sche Regel?
20. Wie erfolgt eine operante Konditionierung?
21. Was besagt das Gesetz des Effekts?
22. Was ist nach Skinner ein Verstärker und worin unterscheiden sich positive und negative Verstärkung?
23. Was ist ein diskriminativer Stimulus und was bewirkt er?
24. Wie kommt es zur Bildung generalisierter konditionierter Verstärker?
25. Welche sechs Kontingenzpläne werden unterschieden?
26. Was besagt das Premack-Prinzip?
27. Welche Verstärkerpläne kennen Sie und mit welchen wird die beste Löschungsresistenz erreicht?
28. Wann kommt es zum so genannten Verhaltenskontrast?
29. Was wird bei der operanten Konditionierung als Shaping, was als Chaining bezeichnet?
30. Was lehren die Experimente zur gelernten Hilflosigkeit?
31. Erläutern Sie die Begriffe Prägung und Lerndisposition.
32. Wie lässt sich Einsichts-Lernen charakterisieren und wie erklären?
33. Welche Faktoren spielen beim Lernen von Fertigkeiten eine Rolle?
34. Was wird unter latentem Lernen verstanden und wo kommt es vor?
35. Wie kommt es zur Bildung einer kognitiven Landkarte?
36. Was ist Modelllernen und wie lässt es sich erklären?
37. Was versteht man unter Akquisitions- und Performance-Phase?
38. Wie wurde latentes Lernen beim Imitationslernen nachgewiesen?

Literatur

Adams (1987). Historical review and appraisal of research on the learning, retention, and transfer of human motor skills. *Psychological Bulletin*, *101*, 41–74.

Ader & Cohen (1975). Behaviorally conditioned immunosuppression. *Psychosomatic Medicine*, *37*, 333–340.

Anderson, J. R. (2000). *Learning and memory*. New York: Wiley.

Angermeier (1972). *Kontrolle des Verhaltens. Das Lernen am Erfolg*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

Atkinson, R. L., Atkinson, R. C., Smith, E. E., Bem, D. J., & Hilgard, E. R. (1990). *Introduction to psychology* (10. Aufl.). San Diego: Harcourt, Brace Jovanovich.

Atkinson et al. (2000). *(Hilgard's) Introduction to Psychology*. New York, San Diego, Chicago, San Francisco, Atlanta: Harcourt Brace Jovanovich. deutsch 2001, deutsch Atkinson et al., 2001, Hilgards Einführung in die Psychologie. Spektrum: Akademischer Verlag

Bandura (1965). Vicarious Process: A case of no-trial learning. In L. Berkowitz (Hrsg.), *Advances in experimental social Psychology* (Bd. 2, S. 1–55). New York: Academic Press.

Bandura (1969). *Principles of behavior modification*. New York: Holt, Rinehart & Winston.

Bandura (1979). *Sozial-kognitive Lerntheorie*. Stuttgart: Klett-Cotta.

Bandura, A., & Walters, R. H. (1963). *Social learning and personality development*. New York: Holt, Rinehard & Winston.

Bandura, A., Ross, D., & Ross, S. A. (1963). Imitation of film-mediated aggressive models. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, *66*, 3–11.

Bandura, A., & Jeffery, R. W. (1973). Role of symbolic coding and rehearsal processes in observational learning. *Journal of Personality and Social Psychology*, *26*, 122–130.

Barker, Best, & Domjan (1978). *Learning mechanisms on food selection*. Houston: Baylor University Press.

Birbaumer, N., & Schmidt, R. F. (2006). *Biologische Psychologie* (6. Aufl.). Heidelberg: Springer.

Bolles (1970). Species-specific defense reactions and avoidance learning. *Psychological Review*, *77*, 32–48.

Breland, K., & Breland, M. (1961). The misbehavior of organism. *American Psychologist*, *16*, 661–664.

Carew, et al. (1972). Long-term habituation of a defensive withdrawal response in aplysia. *Science*, *175*(4020), 451–454.

Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973a). The mind's eye in chess. In W. G. Chase (Hrsg.), *Visual information processing*. London: Academic Press.

Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973b). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, *4*, 55–81.

Chomsky (1965). *Aspects of the theory of syntax*. Cambridge, MA: MIT Press.

Culler, et al. (1935). Measurements of acuity by the conditioned response technique. *Journal of General Psychology*, *12*, 223–227.

of General Psychology, *12*, 223–227.

Davison, & Neale (1979). *Klinische Psychologie*. München: Urban & Schwarzenberg.

De Groot, A. D. (1965). *Thought and choice in chess*. Mounton: The Hague.

Dorsch (2013). *Lexikon der Psychologie , Wirtz, Marcus A*. Bern: Huber.

Dugatkin, L. A. (2002). Waching culture shape even guppy love. *Cerebrum*, 51–66.

Ebbinghaus, H. (1885). *Über das Gedächtnis*. Leipzig: Dunckes & Humbolt. Neuaufl. 1992, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.

Edwards, & Acker (1962). A demonstration of the longterm retention of a conditioned galvanic skin response. *Psychosomatic Medicine*, *24*, 459–463.

Engel, P. J. H. (2008). Tacit knowledge and visual expertise in medical diagnostic reasoning: Implications for medical education. *Medical Teacher*, *30*, e184–e188.

Ericsson, K. A., & Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological Review*, *102*, 211–245.

Ericsson, K. A., & Lehman, A. C. (1996). Expert and exceptional performance: Evidence on maximal adaptations on task constraints. *Annual Review of Psychology*, *47*, 273–305.
Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, *100*, 363–406.
Eysenck, M. W., & Keane, M. T. (2010). *Cognitive Psychology. A Student's Handbook*. Hove: Psychology Press.
Fitts, P. M., & Posner, M. I. (1967). *Human Performance*. London: Prentice-Hall.
Franck (1985). *Verhaltensbiologie – Einführung in die Ethologie*. Stuttgart: Thieme.
v. Frisch, K. (1965). *Tanz, Sprache und Orientierung der Bienen*. Heidelberg: Springer.
Gantt (1966). Reflexology, schizokinesis, and autokinesis. *Conditional Reflex*, *1*, 57–68.
Garcia, J., & Kölling, R. A. (1966). Relation of cue to consequence in avoidance learning. *Psychonomic Science*, *4*, 123–124.
Gobet, F., & Clarkson, G. (2004). Chunks in expert memory: Evidence for the magical number four. . . or is it two? *Memory*, *12*, 732–747.
Gobet, F., & Simon, H. A. (1996). Templates in chess memory: A mechanism for recalling several boards. *Cognitive Psychology*, *31*, 1–40.
Gobet, F., & Simon, H. A. (2000). Five seconds or sixty? Presentation time in expert memory. *Cognitive Science*, *24*, 651–682.
Gobet, F., & Waters, A. J. (2003). The role of constrains in expert memory. *Journal of experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, *29*, 1082–1094.
Gobet, F., Chassy, P., & Bilalic, M. (2011). *Foundations of Cognitive Psychology*. Berkshire: McGraw-Hill.
Haider, H., & Frensch, P. A. (2002). Why aggregated learning follows the power law of practice when individual learning does not: Comment on Rickard (1997, 1999), Delaney et al. (1998). *Journal of Experimental Psychology: learning, Memory and Cognition*, *28*, 392–406.
Hall, G. (2008). Perceptual learning. In J. Byrne & R. Menzel (Hrsg.), *Learning theory and behavior* Learning and memory: a comprehensive reference, (Bd. 1, S. 103–121). Amsterdam:: Elsevier.
Hawkins, & Kandell (1984). Is there a cell-biological alphabet for simple forms of learning? *Psychological Review*, *91*, 375–391.
Hebb (1949). *The organization of behavior: A neuropsychological theory*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
Hess, E. H. (1959). Imprinting, an effect of early experience. *Science*, *130*, 133–141.
Huston (1985). *Television and human behavior. Transcript of a science and public policy seminar*. Washington: Federation of Behavioral, Psychological, and Cognitive Sciences.
Jenkins, H. M., & Harrison, R. H. (1962). Generalization gradients of inhibition following auditory discrimination learning. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *5*, 435–441.
Kamin (1969). Predictability, surprise, attention, and conditioning. In B. A. Campbell & R. M. Church (Hrsg.), *Punishment and aversive behavior*. New York: Appleton-Century-Crofts.
Kandel (1979). Cellular insights into behavior and learning. *The Harvey lectures*, *73*, 29–92.
Kanfer, & Phillips (1975). *Lerntheoretische Grundlagen der Verhaltenstherapie*. München: Kindler.
Kellman, P. J. (2002). Perceptual learning. In D. Medin & H. Passler (Hrsg.), *Memory and cognitive processes* Steven's handbook of experimental psychology, (Bd. 2, S. 259–299). New York: Wiley.
Köhler (1920). *Die physischen Gestalten in Ruhe und im stationären Zustand*. Erlangen: Weltkreisverlag.
Krupinsky, E. A., Tillack, A. A., Richter, L., Henderson, J. T., Bhattacharyya, A. K., et al. (2006). Eye-movement study and human performance using telepathology and differences with experience. *Human Pathology*, *37*, 1543–1556.
Liddell (1934). The conditioned reflex. In F. A. Moss (Hrsg.), *Comparative psychology*. New York: Prentice-Hall.
Locke, J. (1975). *An essay concerning human understanding*. Oxford: P. H. Nidditch. Original 1690
Logan, G. D. (1988). Towards an instance theory of automatization. *Psychological Review*, *95*, 492–527.
Lorenz, K. (1935). Der Kumpan in der Umwelt des Vogels. *Journal für Ornithologie*, *83*(2–3), 137–215. und S. 289–413.
Los Angeles Times: http://articles.latimes.com/1990-01-26/entertainment/ca-898_1_violent-act.
Maier, S. F., & Seligman, M. E. (1976). Learned helplessness: Theory and evidence. *Journal of Experimental Psychology: General*, *105*(1), 3–46.
Mackintosh (1975). A theory of attention. *Psychological Review*, *82*, 276–298.
McLaughlin, K., Remy, M., & Schmidt, H. G. (2008). Is analytic information processing a feature of expertise in medicine? *Advances in Health Sciences Education*, *13*, 123–128.
Miller, & Dollard (1941). *Social learning and imitation*. New Haven: Yale University Press.
Moar (1980). The nature and acquisition of cognitive maps. In D. Cantor & T. Lee (Hrsg.), *Proceedings of the international conference on environmental psychology*. London: Architectural Press.
Myers, D. G. (2008). *Psychologie*. Heidelberg: Springer.
National Institutes of Mental Health Report, 1982). Television and behavior: Ten years of scientific evidence and implications for the eighties (Vol. I), Summary Report. Washington, DC: U. S. Government printing office.
Olton (1979). Mazes and memory. *American Psychologist*, *34*, 583–596.
Patterson (1977). *Linguistic abilities of a young lowland gorilla*. Paper presented at American Association for the advancement of Science Symposium. An account of the visual mode: man versus ape, Denver.
Patterson, G. R., Chamberlain, P., & Reid, J. B. (1982). A comparative evaluation of parent training procedures. *Behavior Therapy*, *13*, 638–650.
Patterson, G. R., Reid, J. B., & Dishion, T. J. (1992). *Antisocial boys*. Eugene: Castalia.
Pawlow (1927). *Conditioned reflexes*. Oxford, England: Oxford University Press. deutsch 1972, Die bedingten Reflexe. München: Kindler
Phillips, D. P. (1983). The impact of mass media violence on U.S. homicides. *Am. Sociol. Rev.*, *48*, 560–568.
Pierrel, & Sherman (1963). Train your pet the Barnabus way. *Brown Alumni Monthly*, February, 8–14.
Premack (1959). Toward empirical behavior laws: Pt. 1. Positive reinforcement. *Psychological Review*, *66*, 219–233.
Premack (1965). Reinforcement theory. In D. Levine (Hrsg.), *Nebraska symphosium on motivation*. Lincoln: University of Nebraska Press.
Premack, D. (1985). „Gavagi" Or the future history of the animal language controversy. *Cognition*, *19*, 207–296.
Premack, D., & Premack, A. J. (1983). *The mind of an ape*. New York: Norton.
Prokasy, W. F., Grant, D. A., & Myers, N. A. (1958). Eyelid conditioning as a function of unconditioned stimulus intensity and intertrial interval. *Journal of Experimental Psychology*, *55*(3), 242–246.
Rescorla (1967). Pavlovian conditioning and its proper control procedures. *Psychological Review*, *74*, 71–81.
Rescorla (1972). Informational variables in Pavlovian conditioning. In G. H. Bower (Hrsg.), *Psychology of learning and motivation* Bd. 6 New York: Academic Press.
Rescorla (1988). Pavlovian Conditioning: It's not what you think it is. *American Psychologist*, *43*, 151–160.
Rescorla, & Solomon (1967). Two-process learning theory: Relations between Pavlovian conditioning and instrumental learning. *Psychological review*, *74*, 151–182.
Rescorla, & Wagner (1972). A theory of Pavlovian conditioning: Variations in the effectiveness of reinforcement and nonreinforcement. In A. H. Black & W. F. Prokasy (Hrsg.), *Classical conditioning. II: Current research and theory* (S. 64–99). New York: Appleton-Century-Crofts.
Rice, & Grusec (1975). Saying and doing: Effects on observer performance. *Journal of Personality and Social Psychology*, *32*, 584–593.
Rizzolati, G., Fatiga, L., Fogassi, L., & Gallese, V. (2002). From mirror neurons to imitation. Facts and speculations. In A. N. Melzoff & W. Prinz (Hrsg.), *The imitative mind: Development, evolution and brain bases*. Cambridge: Cambridge University Press.
Ruch, & Zimbardo (1974). *Lehrbuch der Psychologie*. Berlin: Springer.
Rudy, & Wagner (1995). Stimulus selection in associative learning. In W. K. Estes (Hrsg.), *Handbook of learning and cognition* Bd. 2 Hillsdale: Erlbaum.
Schedlowski et al. (1996). *Psychoneuroimmunologie*. Heidelberg: Spektrum.
Schleidt (1961). Über die Auslösung der Flucht von Raubvögeln bei Truthühnern. *Die Naturwissenschaften*, *48*, 141–142.
Schwartz (1984, 1989). *Psychology of Learning and Behavior*. New York: Norton.

Seger (1994). Implicit learning. *Psychological Bulletin*, *115*, 163–196.
Seligman (1970). On the generality of the laws of learning. *Psychological Review*, *77*, 406–418.
Seligman (1971). Preparedness and phobias. *Behavior Therapy*, *2*, 307–320.
Seligman (1975). *Helplessness: On depression, development and death*. San Francisco: Freeman. deutsch 19955, korrig. Aufl., *Gelernte Hilflosigkeit*. Weinheim: Psychologie Verlagsunion
Siegel (1983). A behavioral approach to the analysis of reticular formation unit activity. In T. E. Robinson (Hrsg.), *Behavioral approaches to brain research* (S. 94–116). New York: Oxford University Press.
Simon, H. A., & Gilmartin, K. (1973). Simulation of memory for chess positions. *Cognitive Psychology*, *5*, 29–46.
Singer, T., Seymour, B., O'Doherty, J., Kaube, H., Dolan, R. J., & Frith, C. (2004). Empathy for pain involves the affective but not sensory components of pain. *Science*, *303*, 1157–1162.
Skinner (1953). *Science and human behavior*. New York: Macmillian.
Skinner, B. F. (1961). *Teaching machines*. Scientific American, Inc.
Slater, A., Morison, V., & Somers, M. (1988). Orientation discrimination and cortical function in the human newborn. *Perception*, *17*, 597–602. S. 90.
Slucki, Adam, & Porter (1965). Operant discrimination of an interoceptive stimulus in rhesus monkeys. *J. exp. Anal. Behav.*, *8*, 405–414.
Spada, H., Rummel, L., & Ernst, A. (2006). Lernen. In H. Spada: *Allgemeine Psychologie* (5.Aufl.) (S. 343-434), Bern: Huber.
Sternberg, J. R., & Ben-Zeev, T. (2001). *Complex cognition: The psychology of human thought*. Oxford: Oxford University Press.
Thorndike (1898). Animal intelligence. *Psychological Review Monograph Supplement*, *2*(8), 4–160.
Thorpe (1961). Birdsong. The biology of vocal communication and expression in birds. *Cambridge Monographs in Experimental Biology*, *12*.
Tinbergen (1951). *The Study of Instinct*. London: Oxford University Press. deutsch 1952/1956, *Instinktlehre*. Hamburg: Parey
Tolman (1932). *Purposive behavior in animals and men*. New York: Appleton-Century-Crofts.
Tolman, & Honzik (1930). Insight in rats. *University of California Publications in Psychology*, *4*, 215–232.
Wagner (1981). SOP: A model of automatic memory processing in animal behavior. In N. E. Spear & R. R. Miller (Hrsg.), *Information Processing in animals: Memory mechanisms*. Hillsdale, New York: Erlbaum.
Walters, & Grusec (1977). *Punishment*. San Francisco: Freeman.
Watson, & Rayner (1920). Conditioned emotional reactions. *Journal of experimental psychology*, *3*, 1–14.
Wendt, D. (1989). *Allgemeine Psychologie: Eine Einführung*. Stuttgart, Berlin, Köln: Kohlhammer.
Wilcoxon, et al. (1971). Illness-induced aversions in rat and quail: Relative salience of visual and gustatory cues. *Science*, *171*, 826–828.
Wood, B. P. (1999). Visual Expertise. *Radiology*, *211*, 1–3.
Wood, et al. (1991). Effects of media violence on viewers' aggression in unconstrained social interaction. *Psychological Bulletin*, *109*, 371–383.
Zimbardo (1995). *Psychologie*. Berlin: Springer.

Gedächtnis

Christian Becker-Carus, Mike Wendt

8.1 Gedächtnisprozesse und Gedächtnissysteme – 355
8.1.1 Phasen des Gedächtnisprozesses – 355
8.1.2 Die Gedächtnissysteme im Überblick – 356

8.2 Methoden und Befunde der frühen experimentellen Gedächtnisforschung – 357
8.2.1 Ersparnismethode – 357
8.2.2 Massives und verteiltes Lernen – 358
8.2.3 Reproduzieren oder Wiedererkennen – 358
8.2.4 Umfang des Lernstoffes – 359
8.2.5 Positionseffekte – 359
8.2.6 Differenzierung des Lernmaterials – 359
8.2.7 Interferenzphänomene – 360

8.3 Das sensorische Gedächtnis – 361

8.4 Das Arbeitsgedächtnis/Kurzzeitgedächtnis (KZG) – 364
8.4.1 Encodierung (*encoding*) im KZG/Arbeitsgedächtnis – 365
8.4.2 Speicherung und Speicherkapazität im Kurzzeitgedächtnis – 368
8.4.3 Verarbeitung im KZG/Arbeitsgedächtnis – 368
8.4.4 Abruf von Arbeitsgedächtnisinhalten – 370

8.5 Das Langzeitgedächtnis – 370
8.5.1 Encodierung – 370
8.5.2 Konsolidierung – 373
8.5.3 Speicherung im Langzeitgedächtnis – 373
8.5.4 Abruf aus dem Langzeitgedächtnis – 379
8.5.5 Ursachen des Vergessens – 382

8.6 Wie viele Gedächtnisse haben wir? Unterschiedliche Gedächtnistheorien – 386
8.6.1 Zwei-Speicher Modelle – 387
8.6.2 Theorie der Verarbeitungstiefe – 388
8.6.3 Theorie des aktivierten Langzeitgedächtnisses – 389
8.6.4 Explizites und implizites Gedächtnis – 389
8.6.5 Episodisches und semantisches Gedächtnis – 394

8.7 Konstruktives Gedächtnis – 395
8.7.1 Inferenzen als konstruktive Prozesse – 396
8.7.2 Stereotype – 397
8.7.3 Schemata – 397

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Becker-Carus, M. Wendt, *Allgemeine Psychologie,* DOI 10.1007/978-3-662-53006-1_8

8.8 Gedächtnisverbesserung und Lernstrategien – 399
8.8.1 Chunking als Behaltensstrategie – 400
8.8.2 Bildhafte Vorstellung und räumliche Zuordnung – 401
8.8.3 Kognitive Elaboration – 403
8.8.4 PQRST-Methode – 405

8.9 Neurobiologische Basis des Gedächtnisses – 405
8.9.1 Zellverbände und reverberatorische Neuronenkreise – 406
8.9.2 Engramme als Aktivitätsmuster im Zentralnervensystem (Kohärenz) – 410
8.9.3 Langzeitspeicherung und Konsolidierung – 410
8.9.4 Gedächtniskonsolidierung und intrazelluläre Proteinbiosynthese – 412

Literatur – 417

Memory is a lost art. These days we rely on our phone, iPads and computers to memorise things of our behalf, as a result we are not exercising our most important mental muscle – our Brains. (Tony Buzan (*2. Juni 1942 in London), britischer Mentaltrainer (World Memory Championships 2012))

? 1. Für eine Klassenarbeit in Latein haben Sie jeweils an den fünf Tagen zuvor 15 min Vokabeln gelernt. Ihre Freundin hat am Tag vor der Klassenarbeit drei Stunden gelernt. Weshalb schneiden Sie besser ab, obwohl Sie insgesamt weniger Lernzeit hatten?
2. Sie fahren mit der U-Bahn und sehen dabei mehrfach dasselbe Plakat. Je nachdem, worauf Sie gerade achten, können Sie jeweils unterschiedliche Wörter des Werbetextes lesen. Bedeutet dies, dass Sie immer nur Teile des Plakats sehen? Oder ist die Information zu kurz verfügbar, um gelesen zu werden?
3. Sie treffen einen Bekannten in der Kneipe und wollen sich seine Telefonnummer merken. Warum sind Sie in der Lage, seine fünfstellige Festnetznummer nach einmaligem Hören in Ihr Handy einzutippen, müssen jedoch bei der elfstelligen Handynummer dreimal nachfragen?
4. Für eine Klassenarbeit in Erdkunde hatten Sie vor Jahren alle Hauptstädte Afrikas gelernt. Glauben Sie, dass diese Information weiter in Ihrem Gedächtnis gespeichert ist, auch wenn Sie sich jetzt nicht daran erinnern können?
5. Ihr Freund stellt Ihnen die 15 Mitglieder seiner Fußballmannschaft vor. Weshalb können Sie sich besser an die ersten beiden Namen und die letzten drei Namen erinnern als an die dazwischen?
6. Sie und Ihre Freundin haben einen Unfall beobachtet. Wie kann es sein, dass Sie sicher sind, dass der Unfallverursacher bei Rot über die Ampel gefahren ist, während Ihre Freundin steif und fest behauptet, die Ampel sei grün gewesen?
7. Sie besuchen eine Varietéveranstaltung, in der ein Künstler 50 Begriffe, die das Publikum ihm nennt, korrekt erinnern kann. Welche Strategie ermöglicht solch eine erstaunliche Gedächtnisleistung?

Jedes Lernen impliziert Behalten, denn wenn wir das Gelernte nicht behalten könnten, hätten wir nichts gelernt. Und wenn wir nichts behalten würden, könnten wir aus all unseren Erfahrungen auch nichts lernen. Jeder Augenblick in unserem Leben wäre neu, alles bliebe uns fremd, wenn wir kein Gedächtnis hätten, um das Erlernte zu behalten. Wir denken und argumentieren mit erinnerten Fakten. Schon bei einem einfachen Gespräch ist es nötig, dass wir zumindest für eine kurze Zeit behalten, was uns gesagt wurde, was wir gefragt wurden. Aber auch die Kontinuität unserer Selbstwahrnehmung und unsere Selbstidentität beruhen auf der Kontinuität unserer Erinnerung und damit unserem Gedächtnis. Auch unsere Orientierung im Raum, in Gegenwart und Vergangenheit, aus der wir Erwartungen oder Vorhersagen für die Zukunft ableiten, ist nur auf der Basis unseres Gedächtnisses möglich. Der Mensch arbeitet so, wie kein anderes Lebewesen, mit einem ausgefeilten Zeitkonzept.

Unser Gedächtnis speichert einerseits zwar unsere Erfahrungen, andererseits ist es jedoch kein exaktes oder völlig zuverlässiges Abbild oder ein Dokumentarfilm einmal erlebter Ereignisse. An was wir uns zu einem bestimmten Zeitpunkt erinnern, wird durch viele Faktoren mitbestimmt, die das zu Erinnernde zu verschiedenen Zeitpunkten des komplexen Gedächtnisprozesses beeinflussen können.

8.1 Gedächtnisprozesse und Gedächtnissysteme

Bei der Betrachtung des Gedächtnisses und seiner Funktionen stehen in der gegenwärtigen psychologischen Forschung drei wichtige Aspekte im Vordergrund. Vorherrschend wird das Gedächtnis zunächst (1) *nach seinem zeitlichen Verlauf* – Informationsaufnahme, Speicherung, mögliche Wiedergabe – einschließlich der dabei mitwirkenden Faktoren betrachtet. Ein zweiter Aspekt, der hiermit eng verbunden ist, bezieht sich auf die offenbar (2) *unterschiedlich lange Dauer* der Informationsspeicherung. Ein dritter und wissenschaftlich besonders interessanter Gesichtspunkt betrifft die Frage nach den Gedächtnissystemen. Wie und wo wird was gespeichert? Haben wir ein einheitliches Gedächtnis oder müssen wir (3) *unterscheiden zwischen verschiedenen Gedächtnissystemen* für verschiedenartige Informationen? Diesen Fragen werden wir uns im Folgenden zuwenden.

8.1.1 Phasen des Gedächtnisprozesses

Zur Strukturierung der Gedächtnisprozesse greifen wir wieder auf das bereits in ▶ Kap. 3 verwendete Verlaufsdiagramm der Informationsverarbeitung des Menschen zurück (◘ Abb. 8.1).

Erfahrungen und Informationen über unsere Umwelt erhalten wir durch unsere Sinnesorgane, von denen sie dann zu den folgenden einzelnen Gedächtnisschritten weitergeleitet werden:

- **Codierung** (*encoding*): Auf dieser Stufe werden die eingehenden Reizinformationen zunächst über die sensorischen Prozesse transformiert in einen für das Gedächtnis verarbeitbaren spezifischen neuronalen Code.
- **Speicherung** (*storage*): Speicherung bezeichnet die Aufbewahrung des encodierten Materials über die Zeit, zum Beispiel das Behalten einer Telefonnummer oder eines Namens.
- **Abruf** (*retrieval*): Dieser Ab- oder Rückrufprozess umfasst das Wiederauffinden (einschließlich der Suche) der gespeicherten Information zu einem späteren Zeitpunkt.

Diesen Verlauf können wir uns an einem kleinen Alltagsbeispiel illustrieren. Sie lesen in der Zeitung eine Telefonnummer, die Sie sich merken wollen. Dabei wird zunächst der visuelle Eindruck der Ziffern in ein neuronales Äquivalent übersetzt (codiert), das in einer bestimmten Form „irgendwie“ im Gehirn beziehungsweise Gedächtnis erhalten bleibt (Speicherung). Später, etwa am nächsten Tag, wenn Sie die Telefonnummer anwählen wollen, müssen Sie versuchen, die richtige Nummer wieder ins

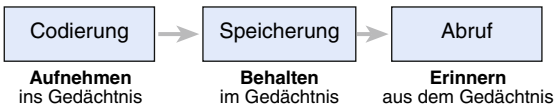


Abb. 8.1 Die drei Stufen des Gedächtnisprozesses. Auf jeder dieser Stufen können Gründe für späteres Nichterinnern liegen

Bewusstsein zu holen (Abruf) und in eine Handlung (Wählen) umzusetzen.

Auf der Basis dieses durchgehenden Rasters werden wir nachfolgend die Gedächtnisprozesse im Einzelnen besprechen. Zunächst kann an dieser Stelle jedoch schon festgehalten werden, dass ein Nichterinnern-Können offenbar recht verschiedene Gründe haben kann:

1. Es kann sein, dass wir wahrgenommene Inhalte falsch oder schlecht codiert haben.
2. Oder es kann sein, dass tatsächlich die Speicherung der Information mangelhaft ist, oder
3. dass wir zu einem bestimmten Zeitpunkt unfähig sind, die eingespeicherte Information abzurufen, wenn wir sie benötigen.

In allen drei Fällen haben wir zunächst den Eindruck, dass wir etwas nicht erinnern können. In der Regel jedoch funktioniert unser Gedächtnis so effizient, dass die einzelnen Schritte des Erinnerns nicht unterscheidbar sind. Es gibt gelegentlich jedoch auch Situationen, in denen der Prozess bemerkbar wird, zum Beispiel wenn wir einen Namen erinnern wollen, der uns „auf der Zunge liegt" (*tip of the tongue*-Phänomen), aber zunächst verschwunden zu sein scheint, und der nach einer gewissen Zeit, vielfach sogar erst, wenn wir die aktive Suche aufgegeben haben, plötzlich wieder ins Bewusstsein tritt. Das zeigt deutlich, dass hier offenbar ein automatischer Suchprozess stattfindet, der schließlich zum Erinnern führt.

8.1.2 Die Gedächtnissysteme im Überblick

Zum Verständnis der Gedächtnisprozesse wurde von der Forschung eine Vielzahl von Gedächtnismodellen entwickelt, bei denen jeweils unterschiedliche Aspekte im Vordergrund stehen. Als relevant für das grundlegende Verständnis des Gedächtnisses gelten derzeit insbesondere das Modale Gedächtnismodell von Atkinson und Shiffrin (1968), das Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley und Hitch (1974) sowie das Langzeitgedächtnismodell nach Squire (1987, 1992). Belegt ist, dass es innerhalb des gesamten Systems des Erinnerns und Abrufens von Information (gemäß dem modalen Modell von Atkinson & Shiffrin) zumindest drei unterschiedliche Gedächtnissysteme gibt. Es werden unterschieden:

Sensorisches Gedächtnis (*sensory buffer*): Hier werden die sensorischen Reize (Bilder, Töne, Gerüche) für nur sehr kurze Zeit (Millisekunden bis zu zwei Sekunden, die Angaben sind sehr unterschiedlich) registriert. Nur bei zuteilwerdender Aufmerksamkeit werden diese Repräsentationen übertragen in das nachfolgende:

- **Kurzzeitgedächtnis** (**KZG**, *short-term memory*): Im Wesentlichen umfasst es Erinnerungen an nicht weit zurückliegende Erlebnisse, die sehr bald verblassen (circa 20 s), wenn sie nicht, wie sehr häufig, weitere Aufmerksamkeit erfahren und weiter bearbeitet werden. Da dieser Bereich zugleich auch als ein Arbeitsbereich erkannt wurde, in welchem Informationen be- und verarbeitet werden, wird dieser Teil heute zumeist (nach Baddeley 1986) auch als **Arbeitsgedächtnis** (*working memory*) bezeichnet.
- **Langzeitgedächtnis** (**LZG**, *long-term memory*): Hier können Erinnerungen und Informationen für längere Zeit, für Minuten bis über Jahre, gespeichert und erhalten werden. Sie sind dem Zugriff meist nicht so schnell zugänglich wie die Inhalte des Kurzzeit-/Arbeitsgedächtnisses.

Wie wir im Einzelnen noch sehen werden, haben die verschiedenen Gedächtnissysteme recht unterschiedliche Funktionen und Kapazitäten bei der Informationsverarbeitung. Abb. 8.2 stellt zunächst in vereinfachter Form die Stufen dieser Informationsverarbeitung und das Zusammenspiel der drei Gedächtnissysteme dar.

Auch diese Zusammenhänge können wir uns an unserem Eingangsbeispiel mit der Zeitungsnotiz illustrieren. Nehmen wir an, Sie haben die interessante Telefonnummer gerade in Ihrer Zeitung gelesen und werden unmittelbar danach gefragt, wie die Nummer lautete, so werden Sie sich sicherlich ohne Schwierigkeiten daran erinnern. In diesem Fall ist die Information noch im Kurzzeitgedächtnis. Der Abruf erfolgt nach wenigen Sekunden und ohne Anstrengung, gleichsam als ob der Gedächtnisinhalt noch aktiv ist.

Wenn Sie dann aber am nächsten Tag die Nummer zum Telefonieren wieder erinnern wollen, ist der Rückruf oft schwieriger, weil die Zahl nicht mehr in Ihrem Bewusstsein ist und dahin erst zurückgeholt werden muss. In diesem Fall handelt es sich um ein Erinnern aus dem Langzeitgedächtnis.

Das sensorische Gedächtnis, das auch erst viel später untersucht wurde als Langzeit- und Kurzzeitgedächtnis, ist eine Art Zwischenspeicher (bisweilen auch Buffer genannt), der erst bei der Wahrnehmung und Erinnerung von ganz kurzfristig gezeigten Reizen von Bedeutung ist. Hier würde in unserem Zeitungsbeispiel das visuelle Bild des Zeitungstextes kurz gespeichert, wenn wir nur einen schnellen Blick auf die Ziffernfolge geworfen hätten, die wir uns dann mit unserer Aufmerksamkeit bewusst machen und damit ins (bewusste) Kurzzeit- oder Arbeitsgedächtnis holen.

Eingehende Informationen, Wahrnehmungen und Erlebnisse werden also zunächst im *sensorischen* Speicher kurz registriert, um dem Gehirn die Möglichkeit zu geben, gemäß der Aufmerksamkeitskapazität daraus die wichtigsten Aspekte zu codieren und in das Kurzzeitgedächtnis zu transferieren, sich das Wahrgenommene bewusst zu machen und zu vergegenwärtigen. Hier können diese beispielsweise als Vorstellungen oder Bilder mit Inhalten aus dem Langzeitgedächtnis zu Mustern organisiert werden, die sich in die existierenden Netzwerke des Langzeitgedächtnisses einpassen.

Im Folgenden geben wir zunächst einen Überblick über die Methoden der frühen Gedächtnisforschung. Bereits vor mehr als

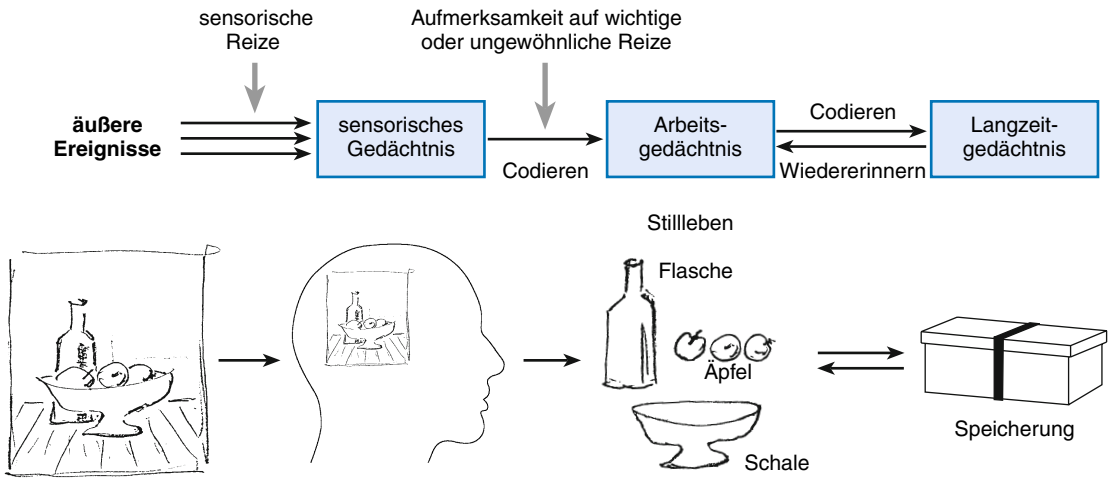


Abb. 8.2 Vereinfachtes Gedächtnismodell. Eingehende Informationen, Wahrnehmungen und Erlebnisse werden zunächst im sensorischen Gedächtnis kurz registriert. Bedeutsame Anteile, die unsere Aufmerksamkeit erfasst, wie zum Beispiel die Figur im Hintergrund oder die erkannten Äpfel, werden aus dem ständigen Informationsfluss ausgewählt, festgehalten und codiert in das Arbeitsgedächtnis aufgenommen. Hier können diese Inhalte mit Informationen aus dem Langzeitgedächtnis verarbeitet und in das Langzeitgedächtnis transferiert werden. (Teil 1 nach Myers 2014, S. 351, Abb. 9.27; Teil 2 aus Becker-Carus 2004, S. 370, Abb. 10.2)

100 Jahren wurden wichtige Charakteristika des Erinnerns und Behaltens von Pionieren der Gedächtnisforschung beschrieben. Anschließend erläutern wir die einzelnen Gedächtnissysteme im Detail und besprechen, wie Vergessen zustande kommt. Dann diskutieren wir weitergehende Unterteilungen des Gedächtnisbegriffes, zeigen die konstruktive Seite des Gedächtnisses auf, stellen einige Verfahren zur Verbesserung von Gedächtnisleistungen dar und befassen uns abschließend mit den neurobiologischen Grundlagen des Gedächtnisses.

8.2 Methoden und Befunde der frühen experimentellen Gedächtnisforschung

Unzufrieden mit den eher philosophischen Spekulationen seiner Zeit über das Gedächtnis entschied sich der deutsche Philosoph und Psychologe Hermann Ebbinghaus (1850–1909), die Funktion des Gedächtnisses erstmals wissenschaftlich zu untersuchen, und zwar in Selbstversuchen. Ihm verdanken wir einige grundlegende, auch heute noch gültige Erkenntnisse, die er 1885 in seinem bemerkenswerten Buch *Über das Gedächtnis* veröffentlichte. Ebbinghaus, damals Privatdozent der Philosophie an der Universität Berlin, begann seine Versuche damit, dass er lateinische und griechische Verse auswendig lernte und registrierte, wie viele Wiederholungen er bis zum fehlerfreien Aufsagen benötigt hatte. Er merkte dabei, dass ihm inhaltliche Assoziationen, Bedeutungen oder Sinnzusammenhänge der memorierten Wörter das Reproduzieren des Lernmaterials unkontrollierbar erleichterten. Was er brauchte, war ein sinnfreies verbales Material um „reine", das heißt vom Inhalt oder vom Sinn des Materials unabhängige, Lerngesetze erfassen zu können. Er versuchte, ähnlich wie Pawlow bei der Konditionierung, sich der störenden Variablen zu entledigen, und hatte eine brillante Idee. Er verwendete sogenannte „sinnlosen Silben", zufällige Buchstabenkombinationen bestehend aus Konsonant-Vokal-Konsonant, auch Trigramme genannt (zum Beispiel FUB, KEL, DAL), die nicht als sinnvolle Wörter in der Sprache vorkommen.

8.2.1 Ersparnismethode

Für seine Gedächtnisexperimente verwendete Ebbinghaus jeweils eine Liste mit sinnlosen Silben und wiederholte sie in ein und derselben Reihenfolge so lange, bis er alle Silben in der richtigen Reihenfolge aufsagen konnte (Lernkriterium). Dann ließ er sie eine Weile ruhen und probierte danach, wie viele Wiederholungen er nun brauchte, um die Liste wieder fehlerfrei aufsagen zu können. In der Regel waren dazu weniger Wiederholungen erforderlich als beim ersten Mal. Die Anzahl „gesparter Wiederholungen" beim zweiten Lernen nahm Ebbinghaus als Maß für die Gedächtnisleistung. Je weniger Wiederholungen beim Wiedererlernen notwendig sind, umso mehr wurde vom ursprünglichen Lernen behalten, d. h. umso weniger wurde vergessen. Mit dieser **Ersparnismethode** prüfte Ebbinghaus unter anderem, wie viel des gelernten Materials nach unterschiedlich langen Behaltensintervallen verloren gegangen war, und stellte fest, dass die Erinnerung für neue Information bereits in den ersten Stunden sehr schnell zurückgeht und dann über längere Zeit nur noch wenig abnimmt. Dies Ergebnis zeigt die bekannte Ebbinghaussche Vergessenskurve (Abb. 8.3), die auch heute als typisch gilt für Ergebnisse von Experimenten zum Auswendiglernen von bedeutungslosem Material.

Dieser Befund des Vergessens über der Zeit konnte in der Folge in vielfältiger Weise mit verschiedenen Lernmaterialien bestätigt werden. Beispielsweise zeigt eine Untersuchung an US-Amerikanern, die während ihrer High-School-Zeit Spanischkurse besucht hatten, dass ihre Erinnerungsleistung für spanische Vokabeln in den ersten drei Jahren nach dem Kursbesuch stark abfiel, dann aber ein ziemlich stabiles Niveau erreichte, das

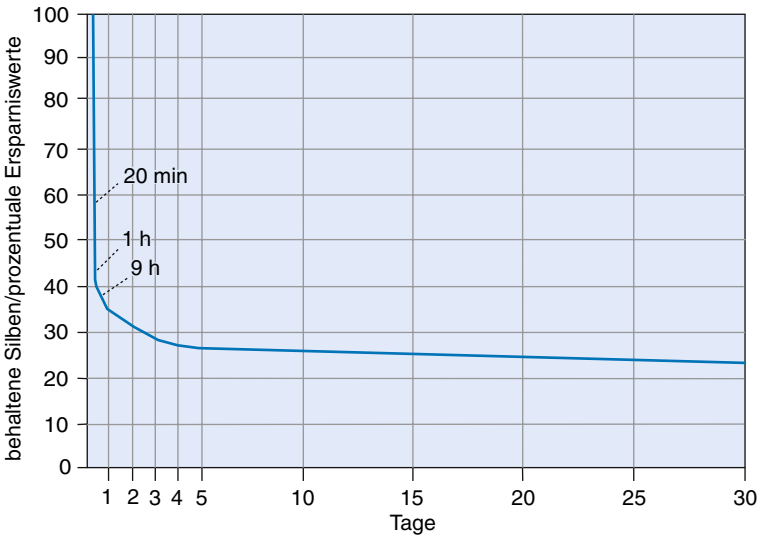


Abb. 8.3 Ebbinghaussche Vergessenskurve. Nach dem Lernen einer Liste sinnloser Silben prüfte Ebbinghaus in Schritten bis zu 30 Tagen danach, wie viele Silben er noch behalten hatte. Er fand, dass das Gedächtnis für neue Informationen in den ersten Stunden und Tagen sehr schnell abnimmt, sich dann aber nur noch langsam weiter reduziert. (Nach Ebbinghaus 1885)

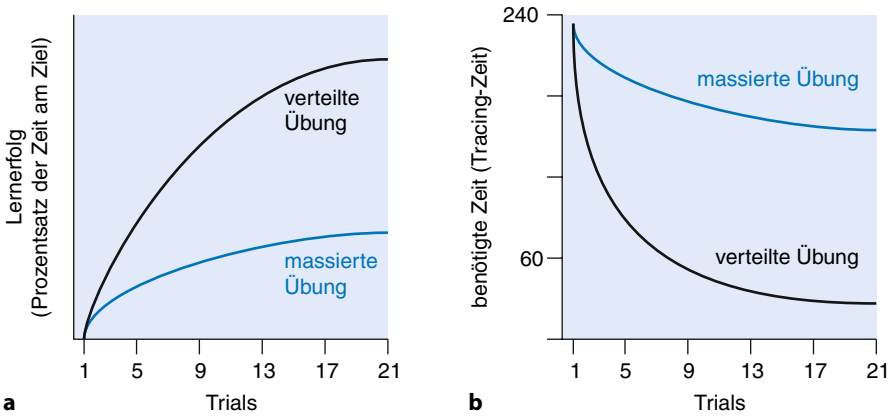


Abb. 8.4 Lernkurven für massiertes beziehungsweise verteiltes Lernen. a Bei einer Tracking-Aufgabe lernen Probanden, einen Zielpunkt, der sich auf einer Scheibe unregelmäßig bewegt, mit einem Stift zu verfolgen. Der Lernerfolg ist angegeben als der Zeitanteil in Prozent, in dem dies gelang. **b** Bei einer Tracing-Aufgabe fahren Probanden möglichst schnell und genau eine auf Papier vorgegebene Sternfigur mit dem Stift nach. Gemessen wird je Durchlauf die benötigte Zeit. Für beide Aufgaben zeigen die Lernkurven einen wesentlich besseren Lernfortschritt für verteilte anstatt für massierte Übung

sich über die folgenden Jahrzehnte nicht wesentlich veränderte (Bahrick 1984).

8.2.2 Massives und verteiltes Lernen

Bei einem seiner Selbstversuche beobachtete Ebbinghaus ein merkwürdiges Phänomen. Las er eine zwölfsilbige Reihe 68-mal unmittelbar hintereinander durch, so benötigte er nach 24 h noch sieben Wiederholungen, bis er sie erneut fehlerfrei aufsagen konnte. Verteilte er dagegen die Lernarbeit auf drei Tage, so benötigte er beim **verteilten Lernen** nur etwa halb so viele Wiederholungen (38) insgesamt, um die Liste erstmals zu lernen, und es genügten nach 24 h nur 5 neuerliche Wiederholungen zum Wiedererlernen.

Diese von Ebbinghaus zunächst beim verbalen Lernen beobachtete Gesetzmäßigkeit konnte wiederholt bestätigt werden und findet sich in ähnlicher Weise auch bei anderen Lernformen (z. B. beim motorischen Lernen). Sie besagt, dass verteiltes Lernen effektiver ist als sogenanntes **massiertes Lernen**, bei dem das Lernen in einem Zuge erfolgt. Ein Beispiel hierfür zeigen die Lernkurven in Abb. 8.4 für das Erlernen einer sogenannten Tracking-Aufgabe, bei der die Versuchsperson mit einem Stift ein sich bewegendes Ziel verfolgen soll, und einer Tracing-Aufgabe, bei der sie möglichst genau und schnell eine vorgegebene Form (zum Beispiel einen Stern) mit dem Stift nachfahren soll, ohne von der Figur abzukommen.

Über die Zeit verteiltes Lernen ist effektiver als massiertes Lernen, also das Üben in einem Stück.

8.2.3 Reproduzieren oder Wiedererkennen

Weitere Untersuchungen zu Vergessenskurven als Maß der Behaltensleistung haben ferner gezeigt, dass es einen bedeutsamen Unterschied macht, ob die Versuchspersonen das gelernte Material **reproduzieren** sollten oder ob sie es in einer gegebenen Vorlage **wiedererkennen** mussten. Wie Abb. 8.5 zeigt, sind die Wiedererkennungsleistungen stets besser als die des Reproduzierens, was bekanntermaßen auch in der Kriminalistik genutzt wird, wo eine gesuchte Person leichter auf Vorlagen wiedererkannt als aus der Erinnerung beschrieben werden kann.

Wiedererkennen gelingt wesentlich leichter als Reproduzieren.

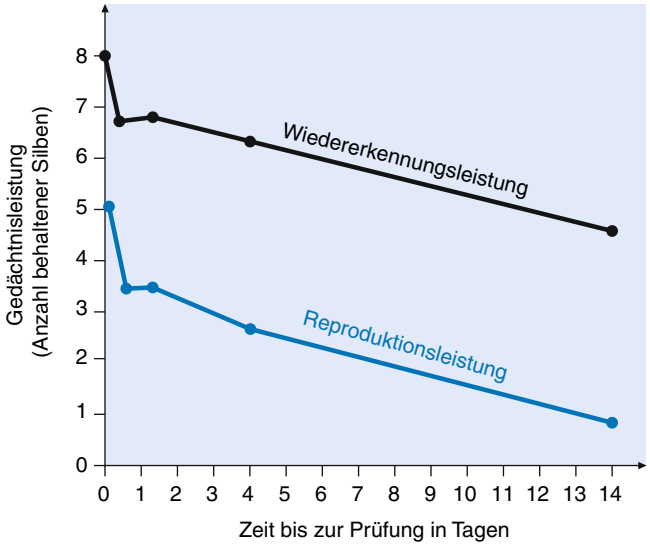


Abb. 8.5 Vergessenskurven für Wiedererkennen und Reproduzieren von gelernten sinnlosen Silben. Der Vergleich zeigt, dass deutlich mehr Silben bei Vorgabe wiedererkannt als frei reproduziert werden können. (Nach Meili und Rohracher 1963)

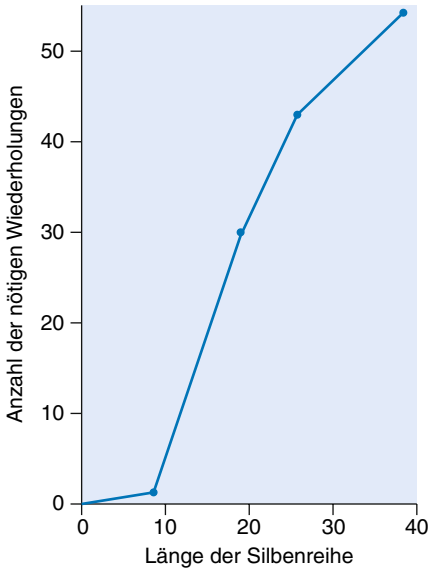


Abb. 8.6 Beziehung zwischen Lernarbeit und Lernstoffmenge. Die Anzahl der notwendigen Wiederholungen, um eine Liste von Elementen (sinnlosen Silben) fehlerfrei zu lernen, wächst überproportional mit der Länge der Liste beziehungsweise der Stoffmenge. (Nach Ebbinghaus 1885)

8.2.4 Umfang des Lernstoffes

Ebbinghaus stellte bei seinen Lernexperimenten ferner fest, dass eine Verdopplung des Lernmaterials nicht linear die Einprägungszeit erhöht, sondern weit mehr als doppelt so viele Lerndarbietungen nötig macht. Die Beziehung für das Lernen sinnloser Elemente zeigt Abb. 8.6.

Diese Beziehung, die auch für andere Lernmaterialien gilt und die als **Gesetz von Ebbinghaus** bekannt geworden ist, besagt:

Jede Vergrößerung des Lernmaterials macht eine unverhältnismäßig große Steigerung der Lernzeit notwendig (Ebbinghaus 1885).

8.2.5 Positionseffekte

Bei seinen Gedächtnisexperimenten beobachtete Ebbinghaus weiter, dass die Stellung eines Items innerhalb einer in gleicher Reihenfolge gelernten Liste einen Einfluss auf das Behalten hat (Abb. 8.7). Diese **Positionseffekte** bestehen darin, dass die ersten und die letzten Elemente in einer Liste besser behalten werden als die Silben im mittleren Bereich.

Diese Positionseffekte wurden in späteren Untersuchungen auch als **Primacy-** und **Recency-Effekt** bekannt. Genauer gehen wir auf diese Effekte in ▶ Abschn. 8.6.1 ein.

Serieller Positionseffekt

besagt, dass die ersten (*primacy*) wie auch die letzten (*recency*) Elemente beim Lernen einer Liste von Elementen besser behalten werden als die mittleren.

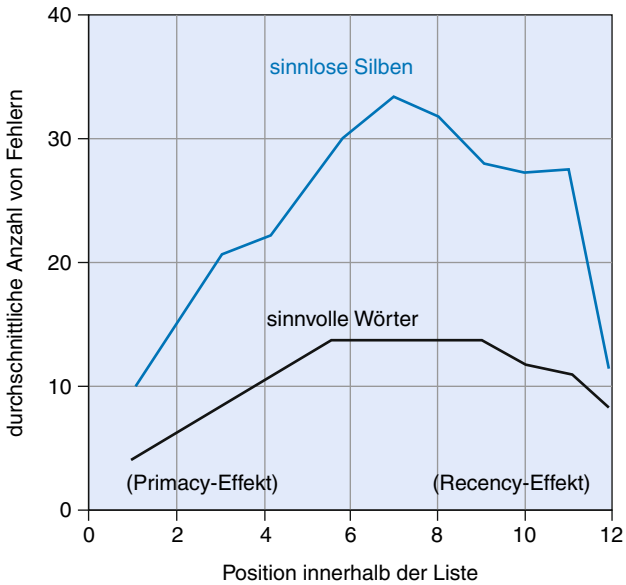


Abb. 8.7 Positionseffekt. Elemente wie Wörter oder Silben, die am Anfang oder Ende einer Lernliste stehen, werden besser erinnert als Elemente, die in der Mitte der Liste präsentiert werden. (Nach Postman und Rau 1957)

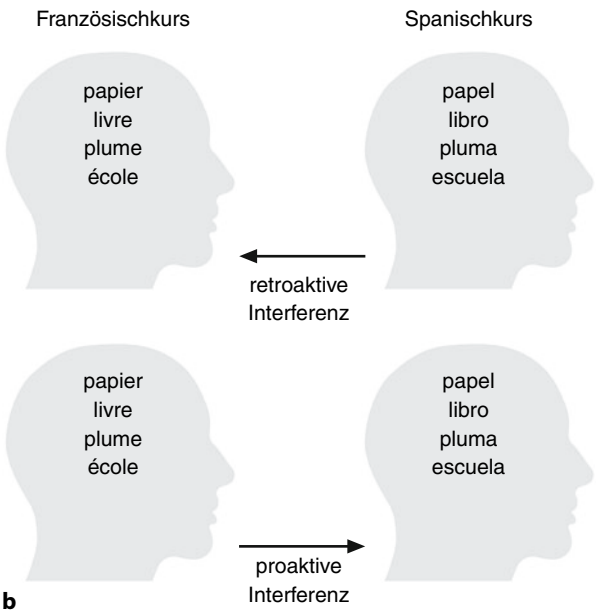
8.2.6 Differenzierung des Lernmaterials

Werden in einer Liste gleichartige Elemente, zum Beispiel klangähnliche oder bedeutungsähnliche Wörter geboten, so bereitet die Einprägung infolge von Interferenzeffekten oft Schwierigkeiten. **Interferenz** ist eine störende Wechselwirkung ähnlicher Gedächtnisinhalte. Sie kann durch einzelne, isolierte unterschiedliche Elemente aufgehoben werden, was als **Isolierungseffekt** bezeichnet wird. Werden in einer Lernserie, wie sie von Restorff (1933) verwendete, neben gleichartigen Elementen auch

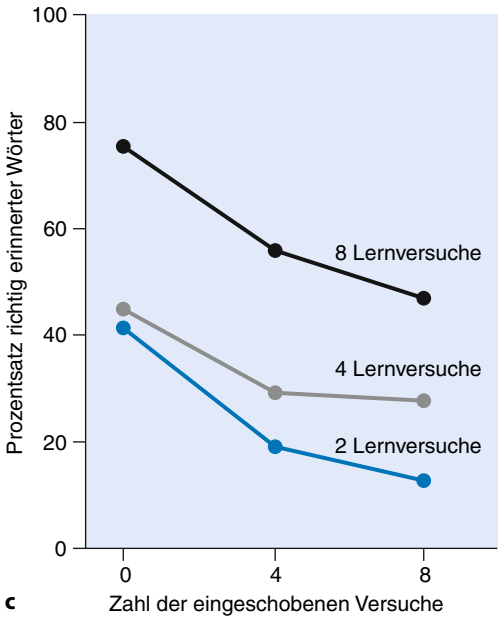
a

retroaktive Hemmung				zeigt:
Exp.-Gr. (I)	lernt A	lernt B	reproduziert A	→ Leistungsdefizit
Kontroll-Gr. (II)	lernt A	—	reproduziert A	

proaktive Hemmung				zeigt:
Exp.-Gr. (I)	lernt A	lernt B	reproduziert A	→ Leistungsdefizit
Kontroll-Gr. (II)	—	lernt B	reproduziert B	



b



c

Abb. 8.8 Proaktive und retroaktive Interferenz Abbildungsteile (**a**) und (**b**): Lässt man eine Experimentalgruppe eine Originalliste (*A*) lernen und danach ein interpoliertes, zwischengeschobenes Material (*B*) und lässt sie danach die Originalliste reproduzieren, so zeigt sich hier eine Leistungseinbuße gegenüber der Kontrollgruppe, die nur eine Originalliste (*A*) lernt und danach aber keine weitere Liste zu lernen hat und zur gleichen Zeit dann das Material (*A*) reproduzieren soll. Entsprechendes gilt für die proaktive Hemmung. Teil c der Abbildung zeigt den Prozentsatz der richtig erinnerten Wörter beim Behalten eines Prosatextes in Abhängigkeit von der Anzahl interpolierter (Stör-)Lernversuche bei verschiedener Anzahl von Lernversuchen und in Abhängigkeit von der zuvor erreichten Behaltenssicherheit. Selbst bei acht aufeinander folgenden Lerndurchgängen mit zwischengeschaltetem Störmaterial ist die Behaltenseinbuße beträchtlich

einzelne Elemente einer anderen Art eingebettet (s. unten), so werden diese isolierten Reihenglieder sofort und erheblich besser behalten. Dieser Zusammenhang wird **Von-Restorff-Effekt** genannt.

laf – rig
⌗ ⊐
dok – pär
89 – 46
rot grün
zül – dap
S – B
tög – fern

8.2.7 Interferenzphänomene

Nachdem Ebbinghaus zahllose Listen sinnloser Silben gelernt hatte, stellte er bei seinen Experimenten fest, dass er etwa 25 % der neuen Listen, die er lernen wollte, nicht behalten konnte, da sich die vielen ähnlichen Silben gegenseitig störten. Diesem Phänomen der **Interferenz** sind Müller und Pilzecker (1900) in ihren Untersuchungen nachgegangen. Sie fanden: Wird zunächst eine Serie sinnloser Silben gelernt und anschließend eine zweite Serie, so wird die Erinnerungsleistung der vorher gelernten Serie durch die zweite Serie (Störmaterial) beeinträchtigt – im Vergleich zu einer Lernbedingung, in der nur die erste Serie gelernt wurde (Kontrollgruppe). Dieses Phänomen wird als Rückwirkende oder **Retroaktive Hemmung**, bzw. **Retroaktive Interferenz** bezeichnet. Analog lässt sich zeigen, dass ein vorher gelerntes Material auf die Wiedererinnerung eines später gelernten einen hemmenden Einfluss ausübt. Dies wird als vorwärts wirkende oder **proaktive Hemmung** bzw. **proaktive Interferenz** bezeichnet (Abb. 8.8a).

Je größer die Ähnlichkeit zweier Listen von Lernmaterial, umso größer ist die gegenseitige hemmende Wirkung. So zeigt sich auch in der Praxis, dass zwei Vokabellisten derselben Fremdsprache stärker miteinander interferieren als Vokabellisten unterschiedlicher Sprachen oder mit einer Liste mathematischer Formeln (◘ Abb. 8.8b). Bekannt ist auch, dass die alte PIN Ihrer Bankkarte oder Ihres Handys mit der neu gelernten PIN interferiert.

Das Lernen vieler ähnlicher Elemente wird jedoch erleichtert, wenn die ähnlichen Elemente auf zwei oder mehrere Listen aufgeteilt werden, da dies die Interferenzen vermindert. Dieser **Listentrennungseffekt** geht offenbar auf die *beiläufig* miterlernte Listentrennung zurück, die ihrerseits zu verringerter Interferenz führt. Bei *Inter*listenähnlichkeit bricht die mitgelernte Listentrennung jedoch nach etwa sieben Tagen zusammen und führt zu einem starken Behaltensverlust (Interferenzen), nicht hingegen bei unterschiedlichen Listen mit nur *Intra*listenähnlichkeit (Becker-Carus 1970).

Interferenz ist sicherlich auch eine Erklärung dafür, warum die von Ebbinghaus gefundene Behaltenskurve gleich zu Beginn so beträchtliche Verluste aufweist. Die vielen Listen mit ähnlichen Items führten in seinem Gedächtnis zu einer Vermischung (Underwood 1957).

Proaktive Interferenz

Die hemmende Wirkung eines vorausgegangenen Lernmaterials auf Lernen und Erinnern neuer Information wird als proaktive Interferenz oder proaktive Hemmung bezeichnet.

Retroaktive Interferenz

Die hemmende Wirkung nachfolgender Lerninhalte auf die Reproduktion zuvor gelernter Information wird als retroaktive Interferenz oder retroaktive Hemmung bezeichnet.

Die Gedächtnispsychologie hat mit dem auf Ebbinghaus zurückgehenden Ansatz der Untersuchung des verbalen Lernens mit weitgehend sinnfreiem Material über Jahrzehnte beachtliche Ergebnisse zum Verständnis des Gedächtnisses erarbeitet. Dabei blieben jedoch die komplizierenden Einflüsse von Bedeutungen und Sinnzusammenhängen als Störvariablen ausgeklammert. Erst mit der „kognitiven Wende" kamen die im Gedächtnis ebenfalls ablaufenden *mentalen Prozesse* mehr ins Blickfeld, und erst ab den 1970er Jahren konzentrierte man sich darauf, wie Information verarbeitet wird. Heute wird in gedächtnispsychologischen Untersuchungen meist sprachliches Lernmaterial (Buchstaben, Wörter, Sätze, Texte) verwendet. So ist auch die neuere Gedächtnispsychologie in weiten Teilen eine Psychologie des Sprachgedächtnisses und damit eine *Psychologie des verbalen Lernens*. Weniger untersucht dagegen sind das Behalten von Bewegungsabläufen, Klangfolgen, Gerüchen, motorischen oder intellektuellen Fertigkeiten.

Wir kommen nun zurück auf die in ▶ Abschn. 8.1.2 genannten drei grundlegenden Gedächtnissysteme und beginnen – dem Informationsfluss gemäß – mit dem sensorischen Gedächtnis.

8.3 Das sensorische Gedächtnis

Die aus der Umwelt durch unsere Sinnesorgane aufgenommenen physikalischen Reize werden direkt nach ihrer Aufnahme durch die Sinnesrezeptoren originalgetreu für eine äußerst kurze Zeit (Bruchteile einer Sekunde) *sinnesspezifisch* zwischengespeichert. Dieses **sensorische Gedächtnis** (*sensory store*) ist derart flüchtig, dass wir seine Existenz normalerweise gar nicht bemerken. Es kommt offenbar jeder Sinnesmodalität gesondert zu und zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- Es besitzt eine sehr hohe Kapazität, die alle eingehenden Informationen registriert, und zwar vor jeglicher Selektion oder kategorialer Zuordnung. Es handelt sich also um ein präkategoriales Gedächtnis (Crowder und Morton 1969).
- Die Repräsentation ist originalgetreu.
- Die Gedächtnisdauer ist extrem kurz.

Die Existenz des sensorischen Gedächtnisses ist von großer Wichtigkeit, denn ohne einen solchen Zwischenspeicher würden wir die eingehenden Reize nur so lange „wahrnehmen" können, wie sie physikalisch anwesend sind, was zu kurz wäre, um sie mit unserer Aufmerksamkeit zu erfassen, zu erkennen und zur Verarbeitung weiterzuleiten. Die Existenz des sensorischen Gedächtnisses wurde von George Sperling (1960) in einer Reihe scharfsinniger Experimente (▶ Exkurs 8.1) nachgewiesen. Sie lassen erkennen, dass der sensorische Speicher zunächst mehr Information aufnimmt, als die folgenden Stufen der Analyse zu verwenden im Stande sind. Wenn wir ein komplexes Bild nur für einen kurzen Moment dargeboten bekommen, so können wir mit unserer Aufmerksamkeit nur einen geringen Teil der Informationsmenge aus dem Bild entnehmen, weil das Bild uns nicht lange genug präsent ist. Dies führt zu dem Eindruck, dass nur dieser Teil erfasst sei. Sind wir aber rechtzeitig nach Reizende instruiert, auf welchen Teil des Bildes wir unsere Aufmerksamkeit richten sollen, so gelingt es uns, über jeden beliebigen Teil mit großer Genauigkeit zu berichten, wie die in ▶ Exkurs 8.1 dargestellten Untersuchungen zeigen.

Die Speicherdauer des sensorischen Gedächtnisses ist nur sehr kurz, die Speicherkapazität ist jedoch beträchtlich.

Noch exakter werden die Ergebnisse, wenn bei dem teilweisen Bericht nicht eine ganze Reihe, sondern jeweils nur ein einzelner markierter Buchstabe wiedergegeben werden soll (▶ Exkurs 8.2).

Hier zeigt sich, dass die Versuchspersonen den markierten Buchstaben immer richtig identifizieren können. Sie müssen also zu einem frühen Zeitpunkt tatsächlich noch alle neun Buchstaben im sensorischen Speicher verfügbar gehabt haben, um den hinterher beliebig markierten wiedergeben zu können.

Das von Sperling nachgewiesene sensorische Gedächtnis wird auch als **ikonisches Gedächtnis** bezeichnet. Für einen flüchtigen Moment registriert das Auge die exakte fotografische Repräsentation des Wahrnehmungsfeldes, aus der wir jedes beliebige Teil, aber nur nach etwa einer Zehntelsekunde, abrufen können.

Exkurs 8.1

Experiment: Kapazität des sensorischen Gedächtnisses

Werden Versuchspersonen gebeten, eine Reizvorlage mit drei Reihen von Buchstaben (siehe Abb. 8.9a) zu betrachten, die nur für den Bruchteil einer Sekunde (1/20 s) dargeboten wird, und danach möglichst viele Buchstaben aus dem Gedächtnis zu nennen, so können sie bei dieser Aufgabenstellung, die als **Methode des vollständigen Berichtens** bezeichnet wird, nur vier, maximal fünf Buchstaben benennen. Daraus erhebt sich die Frage: Werden die anderen Buchstaben nicht gesehen, oder ist mit dieser Zahl die Grenze der Speicherkapazität bereits erreicht? Oder könnte dies auch darauf zurückzuführen sein, dass zwar alle Buchstaben vom Auge aufgenommen wurden, aber die Information hier nur für sehr kurze Zeit zum Abruf vorgehalten wird?

Um diese Hypothese zu prüfen entwickelte Sperling (in seiner Doktorarbeit 1960) eine einfallsreiche Methode, die **Methode des teilweisen Berichtens** (Sperling 1960). Hierbei werden die Versuchspersonen jeweils kurz nach Präsentation der Buchstabentafel durch ein Tonsignal (Abb. 8.9a) aufgefordert, nur eine kleine Menge, nämlich eine bestimmte Buchstabenreihe, wiederzugeben. Die Versuchsperson erfährt also erst nach der Darbietung, welcher Buchstabe erinnert werden soll. Wenn sie jetzt jeden der markierten Buchstaben richtig wiedergeben kann, muss sie zu diesem Zeitpunkt noch alle neun Buchstaben im sensorischen Gedächtnis gehabt haben, um den jeweils markierten Buchstaben wiedergeben zu können.

Wie aus den Graphen (Abb. 8.9b) zu ersehen, konnten die Versuchspersonen die markierte Buchstabenreihe nahezu immer vollständig identifizieren. Dies belegt die zumindest kurzzeitige vollständige Speicherung der gesamten Buchstabentafel.

Wurde das Signal nicht sofort dargeboten, wurde der Abruf mit zunehmender Verzögerung immer schlechter. Bei einer Verzögerung von etwa 1 s entsprach die Zahl der erinnerten Elemente derjenigen, die auch sonst mit der Methode des vollständigen Berichtens wiedergegeben werden konnten.

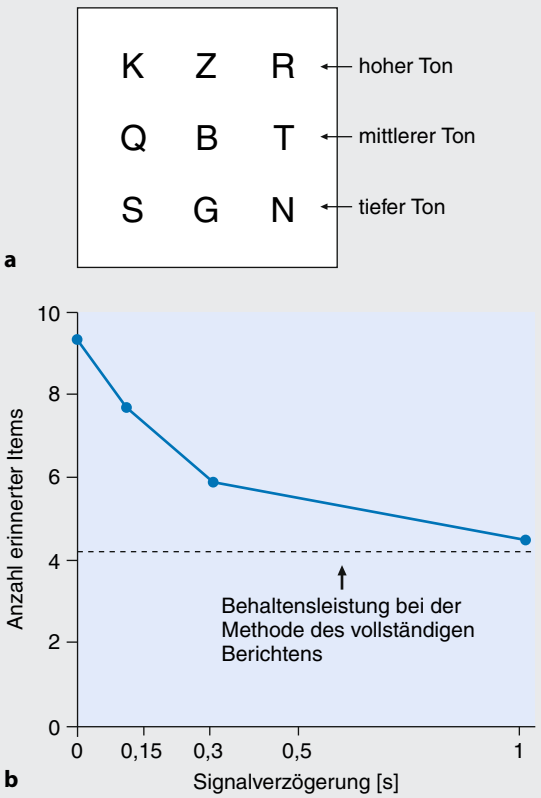


Abb. 8.9 Experiment von Sperling. Schematische Darstellung der Versuchsvorgabe (**a**) und der Ergebnisse (**b**). Wird das Signal (Ton), das angibt, welche Buchstaben widergegeben werden sollen, kurz nach dem Display präsentiert, können die Buchstaben zuverlässig wiedergegeben werden. Die Behaltensleistung sinkt jedoch schon bei kurzer Signalverzögerung, und nach 1 s Verzögerung können nur noch etwa vier Buchstaben erinnert werden. (Sperling 1960)

Spätere Untersuchungen mit dem gleichen Verfahren haben gezeigt, dass wir auch über ein ähnlich flüchtiges auditives Gedächtnis verfügen. Dieses wird als **echoisches Gedächtnis** bezeichnet (Cowan 1988; Lu et al. 1992). Inhalte des echoischen Gedächtnisses verschwinden jedoch wesentlich langsamer. Hier hält die Erinnerung der letzten gesprochenen Wörter etwa 3–4 s. Dies ist uns auch aus der Alltagserfahrung bekannt. Wenn wir gelegentlich fragen: „Was hast du gesagt?“, können wir das Gesagte plötzlich doch noch wie ein Echo im Bewusstsein wahrnehmen und, ohne abzuwarten, die gestellte Frage beantworten.

Die im visuellen, ikonischen Gedächtnis gespeicherten Inhalte werden als Ikon bezeichnet. Sie bestehen nur etwa eine halbe bis eine Sekunde.

Die im auditiven, echoischen Gedächtnis gespeicherten Inhalte werden als Echo bezeichnet. Sie bestehen nur wenige Sekunden.

Eine weitere Besonderheit des sensorischen Speichers scheint die **rückwirkende Maskierung** zu sein, die dafür sorgt, dass die einzelnen Reize die jeweils nachfolgenden nicht störend überdauern,

Exkurs 8.2

Experiment: Zur Kapazität des sensorischen Speichers

Wird einer Versuchsperson eine Tafel mit neun oder mehr Buchstaben (wie in Abb. 8.10a gezeigt) für nur 50 ms dargeboten, so kann sie normalerweise nur vier, maximal fünf Buchstaben davon lesen. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass zwar alle Buchstaben vom Auge aufgenommen werden, aber der Großteil bis zum Aussprechen vergessen ist. Um diese Hypothese zu prüfen, verwendete Sperling wieder die Methode des teilweisen Berichtens. Hierbei werden alle neun oder mehr Buchstaben für nur 50 ms dargeboten, aber es wird nachträglich der Ort nur eines Buchstabens durch eine Färbung markiert, den die Versuchsperson wiedergeben soll (Abb. 8.10a, unten). Die Versuchsperson erfährt also erst nach der Darbietung, welcher Buchstabe erinnert werden soll. Wenn sie jetzt jeden der markierten Buchstaben richtig wiedergeben kann, muss sie zu diesem Zeitpunkt noch alle neun Buchstaben im sensorischen Speicher haben, um den jeweils markierten Buchstaben wiedergeben zu können. Wie aus den Graphen (Abb. 8.10b) zu ersehen, können die Versuchspersonen den markierten Buchstaben bei einer Matrix von bis zu zwölf Zeichen immer richtig identifizieren.

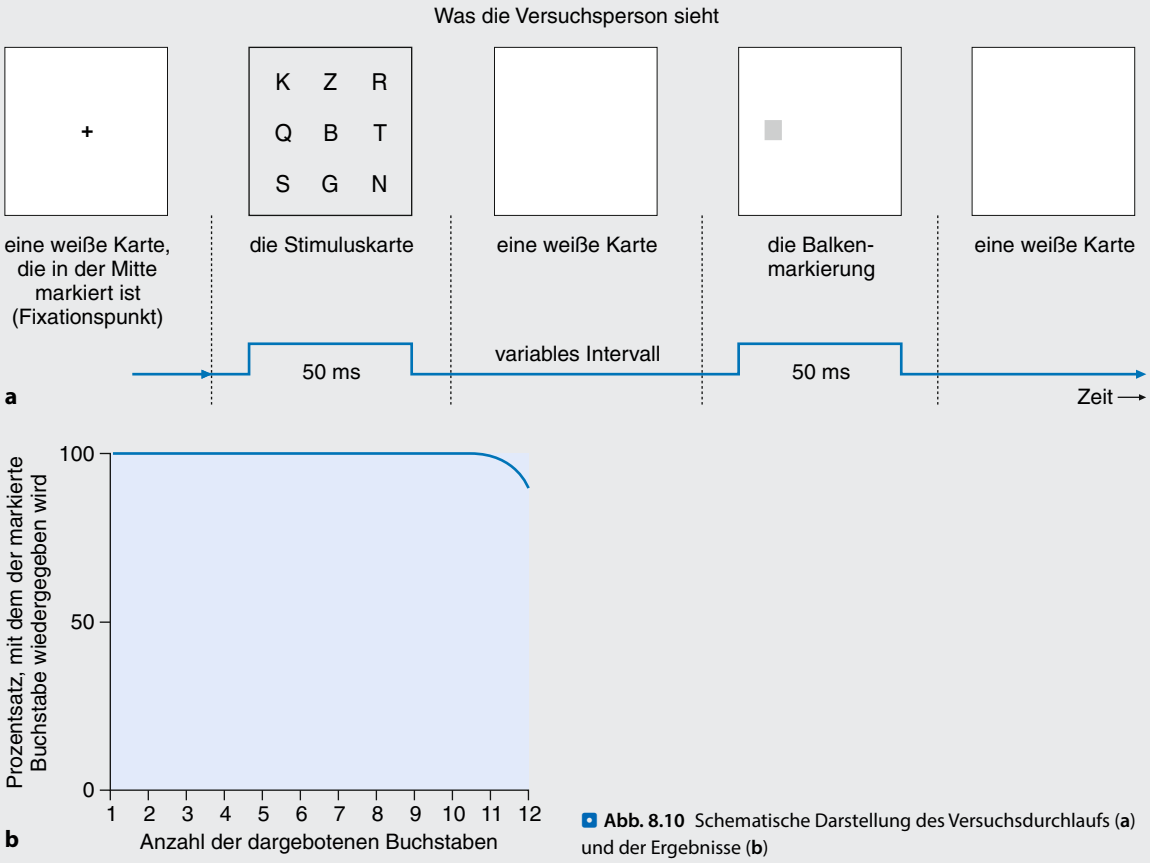


Abb. 8.10 Schematische Darstellung des Versuchsdurchlaufs (**a**) und der Ergebnisse (**b**)

Exkurs 8.3

Genauer betrachtet: Rückwirkende Maskierung

Bei den Untersuchungen zum visuellen sensorischen Speicher kam es bei einigen Markierungsformen zu einer zunächst unerwarteten Beobachtung. Werden in dem bereits in ▶ Exkurs 8.2 dargestellten Experiment statt der Einfärbungen kreisförmige Markierungen zur Bezeichnung des wiederzugebenden Buchstabens verwendet, so scheint die kreisförmige Markierung den Buchstaben auszulöschen, den sie umgibt. Die Versuchspersonen sahen zwar die umgebenden Buchstaben (Abb. 8.11), aber dort, wo anschließend der Kreis präsentiert wurde, sahen sie nur den Kreis, aber keinen Buchstaben mehr. Dieses für die weitere Forschung äußerst wichtige Phänomen wird als **rückwirkende Maskierung** bezeichnet. Zur Erklärung dieses Phänomens werden zwei Aspekte diskutiert:

1. Die physiologische Summierung der Spuren beider Signale könnte beim abklingenden Bild zu einer Reduzierung von Klarheit und Kontrast führen, das heißt zu einer Verminderung der Informationsverarbeitung des Bildes.
2. Die Analyse des ersten Bildes könnte unterbrochen werden, wenn vor dem Abschluss der Analyse ein zweites Bild dargeboten wird.

Unabhängig von der noch ausstehenden Erklärung zeigt das Phänomen die sinnvolle Plastizität des Systems. Sensorische Erinnerungen müssen sich so lange halten, dass ein Gefühl der Kontinuität der Wahrnehmung entstehen kann, aber nicht so lange, dass die Erinnerungen mit neuen Sinneseindrücken interferieren. Durch das Phänomen der rückwirkenden Maskierung ist gezeigt, dass neue ähnliche Inputs die Verarbeitung vorangegangener unterbrechen können, sodass es hier nicht zu einem Informationsstau kommt.

Exkurs 8.3 (*Fortsetzung*)

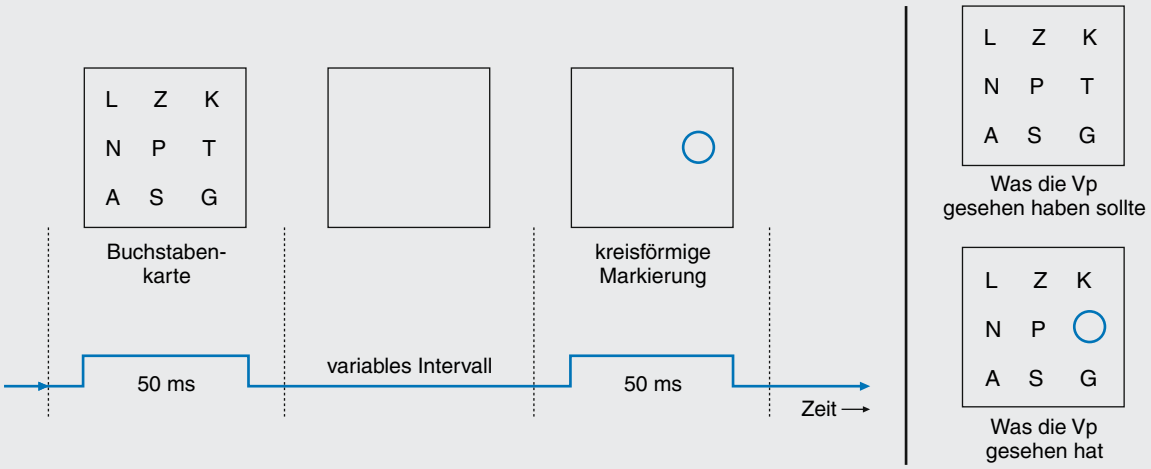


Abb. 8.11 Schematische Darstellung des Versuchsverlaufs zur rückwirkenden Maskierung

8

Exkurs 8.4

Genauer betrachtet

Bereits Atkinson und Shiffrin (1968) benutzten gelegentlich des Ausdruck: *working memory* für das Kurzzeitgedächtnis, weil sie annahmen, dass es auch zugleich der Ort ist, an welchem weitere Verarbeitungen stattfinden, wie z. B. beim Multiplizieren von 87 × 6, wobei man zwischenzeitlich das Produkt von 7 × 6 = 42 festhalten muss, während man 80 × 6 multipliziert, um dann beide Produkte zu verbinden (nach Lieberman 2012).

sondern von diesen gelöscht werden und so zu einem kontinuierlichen Wahrnehmungsfluss beitragen. Den experimentellen Beleg dieses Phänomens beschreibt ▶ Exkurs 8.3 beim ikonischen Speicher.

8.4 Das Arbeitsgedächtnis/ Kurzzeitgedächtnis (KZG)

Aus der Menge der von unseren Sinnesorganen aufgenommenen und im jeweiligen sensorischen Speicher nur kurz zwischengespeicherten Information gelangen nur die Anteile in den Kurzzeitspeicher/das Arbeitsgedächtnis, denen wir unsere Aufmerksamkeit zuwenden. Wie wir bereits früher gesehen haben, ist unsere Aufmerksamkeit selektiv, und so erhält unser Kurzzeitgedächtnis auch nur die Informationen oder Wahrnehmungsinhalte, die wir mit unserer Aufmerksamkeit ausgewählt haben. Häufig bestimmt die aktuelle Handlungsintention, welche Informationen besonders beachtet und deshalb encodiert und gespeichert werden. Das bedeutet aber zugleich, dass vieles von dem, was wir erleben oder mit unseren Sinnesorganen wahrnehmen, erst gar nicht in unser Kurzzeitgedächtnis hineinkommt und dementsprechend natürlich später auch nicht erinnert werden kann, da die gesuchten Inhalte gar nicht gespeichert wurden.

Wenn Sie zum Beispiel etwas eingekauft haben und dabei vielleicht sogar der Verkäuferin ins Gesicht geblickt haben, werden Sie zumeist selbst kurz danach nicht in der Lage sein, die Frage zu beantworten, welche Augenfarbe die Verkäuferin hatte oder ob sie einen Ring am Finger trug, außer Sie hätten bewusst darauf geachtet.

Andererseits erhält das Arbeitsgedächtnis auch Informationen aus dem Langzeitgedächtnis zur bewussten Verarbeitung. Denn das Arbeitsgedächtnis ist offenbar die einzige Stufe des Erinnerns, auf welcher Material *bewusst* verarbeitet wird. Aber diese Inhalte entschwinden in etwa 20 s, wenn sie nicht rasch bearbeitet, wiederholt oder mit sinnvollen Bedeutungen encodiert werden. Schon in der kurzen Spanne vom Lesen der Telefonnummer bis zum Wählen der Telefontasten entschwindet uns die Nummer, wenn wir sie nicht aktiv im Bewusstsein aufrechterhalten. Weiter, auch um eine „Sinnesinformation" zu erkennen oder zu klassifizieren (das ist ein Ring, ein Gesicht), brauchen Sie bereits gespeicherte Information.

Die Vorstellungen eines **Kurzzeitgedächtnisses** gehen auf die Arbeiten von Broadbent (1958) und dann Atkinson und Shiffrin (1968) zurück, die die Theorie am systematischsten entwickelten. Sehr verkürzt besagte sie, dass mit Aufmerksamkeit versehene Informationen (aus dem sensorischen Gedächtnis) in ein zwischengeschaltetes Kurzzeitgedächtnis (*short-term memory*) überführt werden. Die meisten eingehenden Informationen gehen schnell verloren, wenn sie nicht memoriert oder anderweitig verwendet werden. Durch sogenannte Erhaltenswiederholungen (*maintenance rehearsal*)wird die Information hier lange genug gehalten, damit sie in das Langzeitgedächtnis transferiert werden kann. Das Kurzzeitgedächtnis wies nur eine begrenze Kapazität (±7 Elemente) zum Behalten von Informationen auf. Vielfach wurde die begrenzte Kapazität auch mit der **Gedächtnisspanne** gleichgesetzt, die die Zahl der Elemente bezeichnet, die man unmittelbar nach der Darbietung wiedergeben kann.

Zur Erklärung der begrenzten Speicherkapazität wurden verschiedene Modellvorstellungen entwickelt; dazu gehören das Displacement-Modell, das Aktivierungsmodell und der informationstheoretische Ansatz, bei denen die neuere Ansicht eines „Arbeitsgedächtnisses" (▶ Exkurs 8.4) noch nicht

in Betracht gezogen wurde. Sie werden im *Zusatztext online* kurz dargestellt.

Baddeley und Hitch (1974) kamen aufgrund ihrer Untersuchungen dann zu der Auffassung, dass das **Kurzzeitgedächtnis** auch als eine Art kognitiver Arbeitsplatz (*mental workbench*) fungieren könne, und schlugen ein etwas komplexeres Modell vor, das sie „***Working Memory***" nannten, um es von den früheren Modellen des Kurzzeitgedächtnis abzugrenzen, die sich primär mit der Speicherung befassten; aber auch, um seine Rolle als System zu unterstreichen, das auch komplexe kognitive Aktivitäten unterstützt (Baddeley et al. 2010). Seitdem gibt es, je nach Untersuchungsansatz, unterschiedliche Vorstellungen von einem Working Memory (Arbeitsgedächtnis), dem der sensorische Kurzzeitspeicher vorangestellt ist (Eysenck und Keane 2010), was sich auch in unterschiedlichen Darstellungen in verschiedenen Lehrbüchern niederschlägt.

Als **Arbeitsgedächtnis** spielt dieser Teil des Gedächtnisses eine wichtige Rolle bei allen Denk- oder Kopfrechenleistungen, bei denen verschiedene Inhalte gleichzeitig für kurze Zeit bereitgehalten werden müssen, wie zum Beispiel beim Bilden von Zwischensummen oder mehrfachen Multiplikationen. Ebenso ist das Arbeitsgedächtnis bei der Sprachverarbeitung involviert. Wenn wir einen Text lesen oder einer Unterhaltung folgen, müssen spätere Satzteile mit vorangegangenen in Verbindung gebracht werden, die kurzfristig gespeichert sein müssen. Das Modell von Baddeley und Hitch (1974) umfasste ursprünglich drei Komponenten. Eine von diesen, die **phonologische Schleife** (*phonological loop*), ist darauf spezialisiert, verbal sprachbasiertes Material zu behalten. Ein zweites Subsystem, der **visuell-räumliche Notizblock** (*visuo-spatial sketchpad*) hat die gleiche Funktion für visuell und/oder räumlich encodierte Inhalte. Später fügte Baddeley (2000) dem Modell ein weiteres Subsystem, den **episodischen Buffer**, hinzu. Dieser integriert Informationen verschiedener Modalitäten in episodischer Form. Das ganze System wird kontrolliert von einer **Zentralen Exekutive** (*central executive*), einem aufmerksamkeitsbegrenzten System, das die Inhalte der Subsysteme auswählt und manipuliert. Es fungiert gewissermaßen als übergeordnete Kontrollinstanz (Abb. 8.12), wobei die phonologische Schleife als integriertes Modell des verbalen KZG angesehen werden kann. Insgesamt wird damit angenommen, dass das Arbeitsgedächtnis einen temporären Arbeitsplatz zur Durchführung komplexer kognitiver Aktivitäten vorsieht (Baddeley et al. 2010). Somit lassen sich die verschiedenen unterscheidbaren Speicherungsarten wie folgt definieren.

Sensorisches Gedächtnis

Unmittelbare, flüchtige Zwischenspeicherung sensorischer Informationen im Gedächtnissystem.

Kurzzeitgedächtnis

Aktiviertes Gedächtnis, das erfasste Informationsinhalte für kurze Zeit festhält (z. B. sieben Ziffern einer Handynummer), um sie dann abzuspeichern oder zu vergessen.

Arbeitsgedächtnis

Neuerer erweiterter Begriff für das KZG, der zudem die bewusste aktive Verarbeitung von Informationen, sowie Vollzüge wie Urteilen, Lernen und Verstehen umfasst (nach Baddeley et al. 2010).

Langzeitgedächtnis

Zeitüberdauernder und unbegrenzt aufnahmefähiger Speicher des Gedächtnissystems, der Wissen, Fertigkeiten und Erfahrungen umfasst.

8.4.1 Encodierung (*encoding*) im KZG/ Arbeitsgedächtnis

Während im sensorischen Gedächtnis Informationen in den einzelnen Sinnesmodalitäten gespeichert werden, ist im Arbeitsgedächtnis sowohl eine modalitätsspezifische als auch eine amodale Repräsentation möglich.

Hierzu gibt es zahlreiche Untersuchungen und Hypothesen. Diskutiert werden drei Formen der Codierung:

1. Akustische Codierung,
2. Visuelle Codierung,
3. Semantische Codierung.

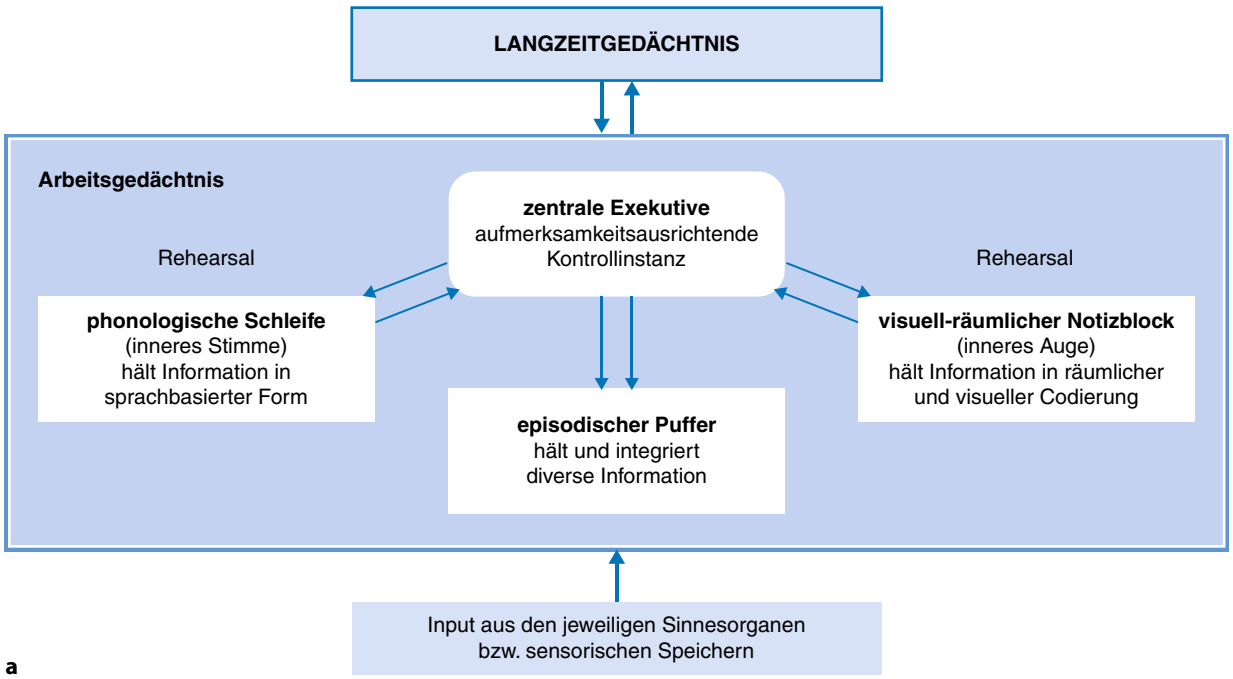
Wenn wir uns zum Beispiel kurzfristig eine Telefonnummer zum Wählen merken wollen, könnten wir uns die Zahlenfolgen bildlich als geschriebene Zeichen vorstellen. Wir könnten sie uns aber auch akustisch als Klangfolge merken, wie sie ausgesprochen werden (in unserer Mutter- oder einer anderen Sprache). Wir könnten sie uns semantisch durch eine sinnhafte Verknüpfung (zum Beispiel eine bedeutsame Geschichtszahl) merken. Im letztgenannten Fall würde jedoch bereits eine Verbindung zum Langzeitgedächtnis aufgebaut, die, wenn die Verknüpfung hält, auch ein langfristiges Behalten ermöglicht.

Nachgewiesenermaßen kommen alle drei Codierungsformen für die kurzzeitige Gedächtnisspeicherung beim Menschen vor.

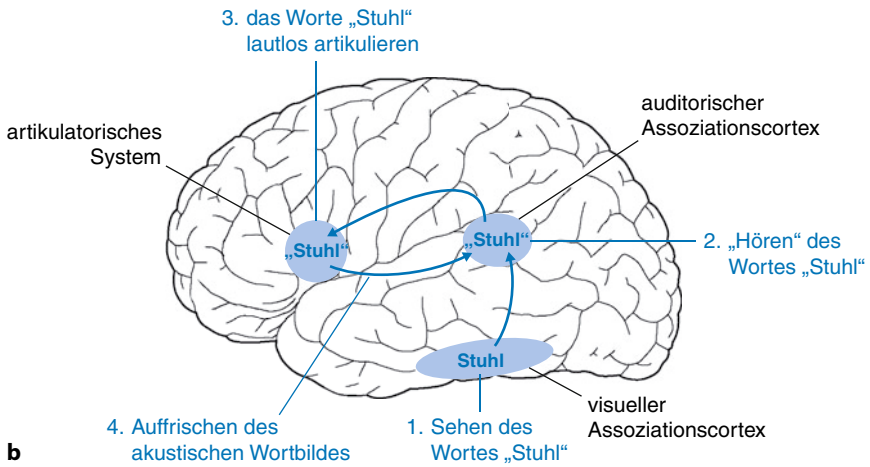
Akustische Encodierung

In dem angeführten Fall, wenn wir uns kurzfristig eine Telefonnummer merken wollen, neigen die meisten Menschen dazu, die Telefonnummer – auch die visuell aufgenommene – akustisch zu memorieren (akustischer Code), indem sie sich die Nummer innerlich wiederholt vorsagen. Dieses innere aktive Wiederholen oder **Rehearsal** wird neuerdings auch – im Hinblick auf die Funktion – als **phonologische Schleife** (*phonological loop*), oder auch als „artikulatorische Schleife" beziehungsweise als akustischer Buffer.

Demgegenüber spricht man vom *räumlich-visuellen Buffer*, wenn die Information kurzfristig visuell-bildlich gespeichert wird (Baddeley 1986). Da sich mithilfe bildgebender Verfahren (PET) zeigen ließ, dass die beiden Funktionen durch jeweils verschiedene Gehirnstrukturen vermittelt werden, wird heute angenommen, dass es sich um zwei verschiedene Arbeitsgedächtnisse handelt.



a



b

Abb. 8.12 Das Arbeitsgedächtnis nach Baddeley (2001) besteht aus einer zentralen Exekutive und drei untergeordneten Systemen: der phonologischen Schleife, dem episodischen Puffer und dem visuell-räumlichen Notizblock. (Nach Eysenck und Keane 2010)

Das Einspeichern von Inhalten im Kurzzeitgedächtnis wurde vornehmlich an verbalem Material untersucht. Dabei zeigte sich, dass dieses hier vorrangig in akustischer Form – dem Klang entsprechend – behalten wird, selbst wenn es visuell aufgenommen wurde.

Experimentell konnte das folgendermaßen belegt werden: Versuchspersonen wurden gebeten, eine Liste von sechs Buchstaben (zum Beispiel R, K, C, B, S und H) kurz zu betrachten, und unmittelbar danach, die erinnerten Buchstaben auf ein Blatt Papier niederzuschreiben. Obgleich diese Aufgabe wieder sehr einfach ist, traten dabei gelegentlich Verwechslungsfehler auf, die Schlüsse auf die verwendete Codierung zulassen. Die falsch erinnerten Buchstaben ähnelten den richtigen zumeist im Klang, aber nicht im Aussehen. So wurde beispielsweise der Buchstabe C eher mit dem ähnlich klingenden T verwechselt, nicht aber mit dem ähnlich aussehenden O (Conrad 1964), was darauf hinweist, das in akustischer Form encodiert wurde. Ein weiteres überzeugendes Beispiel zeigt ▶ Exkurs 8.5.

Dass aber auch für verbales Material Kurzzeiterinnern ohne akustische Encodierung möglich ist, zeigt die Tatsache, dass auch taube oder taubstumme Menschen ein Kurzzeitgedächtnis für verbale Inhalte haben, Vermutlich greifen sie auf eine der beiden anderen Alternativen der Encodierung zurück, insbesondere auf die visuelle Codierung (Identifikation nach Zeichen der Gehörlosensprache) oder die semantische Codierung nach Kategorien oder Klassen visuell beobachteter Ereignisse. Dafür spricht, dass die bei ihnen auftretenden Verwechslungsfehler eher nach dem ähnlichen Aussehen oder der Bedeutung, nicht aber nach dem Klang erfolgen (Frumkin und Anisfeld 1977).

Exkurs 8.5

Genauer betrachtet: Codierung – akustisch-visuell?

Einen interessanten Beleg für die akustische Codierung visueller Elemente im Kurzzeitgedächtnis verdanken wir einer Untersuchung von Zhang und Simon (1985) aus dem chinesischen Sprachraum. Sie verwendeten für ihre Untersuchung chinesische Schriftzeichen, sogenannte Charaktere, aus denen sich – ähnlich unseren Silben – einzelne Wörter zusammensetzen. Zumeist besteht ein Wort aus zwei Schriftzeichen. Jedes Schriftzeichen hat einen klanglichen Namen, den es jedoch häufig mit anderen Schriftzeichen gemeinsam hat. Wird chinesischen Versuchspersonen nun eine Reihe von (1) unterschiedlich klingenden oder (2) gleich klingenden Schriftzeichen für kurze Zeit gezeigt (visuell), die sie anschließend in der richtigen Reihenfolge niederschreiben sollen, so zeigte sich, dass die Teilnehmer etwa sechs Charaktere richtig wiedergeben können, wenn sie alle unterschiedlich klingende Namen haben. Wenn alle verwendeten Charaktere jedoch gleich klingende Namen haben – also nicht akustisch codierbar sind –, konnten die Teilnehmer höchstens die Hälfte – also drei – Charaktere richtig wiedergeben, die sich durchaus, wie ◘ Abb. 8.13 zeigt, deutlich visuell voneinander unterscheiden. Das Ergebnis macht zugleich aber ebenfalls deutlich, dass auch eine visuelle Codierung, wenn auch häufig unvollständig, möglich ist.

◘ **Abb. 8.13** Reizvorlage mit entweder gleichklingenden oder unterschiedlich klingenden Schriftzeichen

妈	mā	Mutter (Mama)	拉	lā	ziehen
吗	má	Fragezeichen (?)	拿	nā	nehmen
麻	má	Leine	趴	pā	Bauchlage
嘛	má	was	他	tā	er
马	mǎ	Pferd	蛤	hā	Muschel
码	mǎ	Hafen	卡	kā	Lastwagen
骂	mà	schimpfen	八	bā	acht

Exkurs 8.6

Genauer betrachtet: Eidetische Vorstellung

Dass eine visuelle Codierung prinzipiell möglich ist, zeigt die bei einigen wenigen Menschen, insbesondere Kindern, anzutreffende Fähigkeit der visuellen Codierung als **eidetische Vorstellung** (griech.: *eidos* = Bild). Das heißt, sie sind in der Lage, ein nur kurz gezeigtes visuelles Bild mit fast fotografischer Klarheit im Gedächtnis aufrechtzuerhalten, und zwar sogar für mehrere Minuten. In dieser Zeit können sie auf Nachfrage alle Details des Bildes beschreiben oder Gegenstände abzählen, so als hätten sie das Originalbild noch vor Augen (Haber 1969). Es bleibt jedoch fraglich, ob dieses Phänomen der doch anders definierten Kurzzeitspeicherung noch zuzuordnen ist.

Exkurs 8.7

Genauer betrachtet: Prozedurale Encodierung

Ferner gibt es Hinweise darauf, dass die Erinnerungsleistung für akustisch präsentiertes Material auch durch eine zusätzliche **prozedurale Encodierung** verbessert werden kann (vgl. prozedurales Gedächtnis). Versuchspersonen können Handlungsphrasen (z. B. „den Hut aufsetzen") besser erinnern, wenn sie diese nicht nur hören, sondern auch pantomimisch oder tatsächlich ausführen. Dieser sogenannte Tu-Effekt (Engelkamp und Krumnacker 1980) weist darauf hin, dass prozedurale Encodierung möglich ist.

Visuelle Encodierung

Verbale Inhalte, wie auch unsere Telefonnummer, können wir uns andererseits auch visuell einprägen, indem wir sie uns bildlich, z. B. als Ziffernfolge, vorstellen Auch wenn normal hörende Menschen nach den vorliegenden Untersuchungen bei der Kurzzeitspeicherung zumeist eine akustische Codierung verwenden, wenn es sich vornehmlich um verbales Material handelt, so ist andererseits klar, dass die Kurzzeitspeicherung nicht verbaler Inhalte (die beispielsweise schwer beschreibbar sind oder räumlich-bildhaften Charakter haben) über eine visuelle Codierung erfolgt. Mit Baddeley (1986) wird angenommen, dass dies über einen *visuell-räumlichen Notizblock (visuo-spatial sketchpad)*, oder einem r*äumlich-visuellen Buffer erfolgt*, in welchem die Information kurzfristig visuell-bildlich gespeichert wird.

Der visuell-räumliche Notizblock dient zur temporären Speicherung und Manipulation visueller Muster und räumlicher Bewegung. Wir identifizieren sichtbare Objekte, nehmen ihre Lokalisation war, oder wir finden unseren Weg durch unsere Umgebung. Wenn wir die Augen schließen, können wir das Gesehene visuell erinnern und diese erinnerten Bilder beschreiben. In manchen Fällen können solche Bilder mit hoher Genauigkeit auch länger erhalten bleiben (► Exkurs 8.6). Unser visuell-räumliches Gedächtnis ermöglicht es uns, nicht nur gerade Gesehenes zu vergegenwärtigen, sondern auch aus dem Langzeitgedächtnis zurückgeholte Inhalte zu bearbeiten (nach Eysenck und Keane 2010; Carlson et al. 2004).

Semantische Encodierung

Eine Telefonnummer kann jedoch auch semantisch encodiert werden. Die Nummer 301069 könnte beispielsweise als der Geburtstag von M. encodiert werden. Diese Art der Encodierung, die zumeist mit den besten Erinnerungsleistungen einher-

Exkurs 8.8

Experiment: Gedächtnisspanne

Lesen Sie die folgende Reihe von Zufallszahlen einmal zügig durch und decken Sie sie danach sofort zu:
7 5 3 8 2 5 9 4 1 6
Versuchen Sie danach sofort, davon so viele Ziffern wie möglich in der richtigen Reihenfolge, oder auch einer anderen, niederzuschreiben.
Wiederholen Sie nun den Gedächtnistest mit der folgenden Reihe zufällig ausgewählter Buchstaben:
R M S O F P T J Z P
Wenn Sie dabei keine unerwarteten Assoziationen gebildet haben und Ihr Kurzzeitgedächtnis so arbeitet wie das der meisten Menschen, so werden Sie nun sicher nicht weniger als fünf, aber auch nicht mehr als neun Einheiten richtig erinnert haben.
Fazit: Ohne die Möglichkeit eines Rehearsal verblassen die Gedächtnisinhalte im Kurzzeitgedächtnis und gehen verloren.

8

geht, zeichnet sich dadurch aus, dass das zu lernende Material mit bereits gespeicherten Inhalten des Langzeitgedächtnisses verbunden wird. Diese „tiefere" Verarbeitung werden wir in ▶ Abschn. 8.4.3 und 8.6.2 sowie bei der Chunk-Bildung genauer besprechen. Daneben gibt es auch noch die Möglichkeit der prozeduralen Encodierung (▶ Exkurs 8.7).

Im Arbeitsgedächtnis wird die aus dem sensorischen Gedächtnis aufgenommene Information einerseits akustisch, visuell oder semantisch encodiert und durch aktives Rehearsal aufrechterhalten, andererseits aber auch kognitiv weiterbearbeitet.

8.4.2 Speicherung und Speicherkapazität im Kurzzeitgedächtnis

Das Arbeitsgedächtnis als *Kurzzeitspeicher* hat nicht nur eine kurze Behaltensdauer, die dem KZG seinen Namen gab, sondern auch eine recht eng begrenzte **Speicherkapazität** (*limited capacity*), die nur kurzzeitiges Speichern (*storage*) erlaubt. Sie liegt mit einer erstaunlichen Regelmäßigkeit bei einer Menge von 7 ± 2 Items, das heißt, unter normalen Umständen können Menschen mindestens fünf Einheiten im Kurzzeitspeicher halten, aber auch in der Regel nicht mehr als neun (dies gilt auch für nicht westliche Kulturen; Yu et al. 1985). Bereits Ebbinghaus (1885), der Begründer der experimentellen Gedächtnisforschung, stellte diese scharfe Grenze bei seinen Experimenten mit sinnfreien (assoziationsfreien) Silben bei sich selbst fest. Und der Psychologe Miller (1956) war von der Konstanz dieses immer wieder beobachtbaren Phänomens so fasziniert, dass er ihm ein ganzes Buch widmete mit dem Titel *The magic number seven plus or minus two.*

Diese begrenzte Speicherkapazität des Kurzzeitgedächtnisses für das Behalten einzelner unzusammenhängender Elemente wie Zahlen, Buchstaben, Wörtern oder auch Gegenständen wird auch als **unmittelbare Gedächtnisspanne** (*memory span*) bezeichnet.

Zum besseren Verständnis sollten Sie das in ▶ Exkurs 8.8 dargestellte Experiment selbst nachvollziehen.

Allerdings ergeben sich erhebliche Unterschiede für verschiedene Materialien. Beispielsweise hängt die unmittelbare Gedächtnisspanne von verbalem Material maßgeblich davon ab, wie lange es dauert, dieses zu artikulieren (▶ Exkurs 8.9). So kann man mehr Wörter behalten, wenn kurze anstatt lange Wörter verwendet werden, da diese sich schneller aussprechen lassen. Dieser **Wortlängeneffekt** (Baddely et al. 1975) wird erklärt durch die Speicherung in der phonologischen Schleife, deren Umfang etwa einer Sprechdauer von 2 s entspricht (Baddeley und Hitch 1974).

Gedächtnisspanne
Die Gedächtnisspanne (*memory span*) ist die Anzahl der Informationseinheiten, die ein Individuum nach einmaliger Darbietung fehlerfrei und in richtiger Reihenfolge reproduzieren kann.

Die Gedächtnisspanne beträgt jedoch nur bei unmittelbarer Reproduktion drei bis fünf (oder 7 ± 2) Einheiten. Verzögert man den Zeitpunkt der Reproduktion des Lernmaterials, können dramatische Einbußen der Erinnerungsleistung beobachtet werden, wenn eine aktive Aufrechterhaltung der Informationen (*maintenance rehearsal*) verhindert wird. Schon in der kurzen Spanne vom Lesen der Telefonnummer bis zum Wählen der Telefontasten entschwindet uns die Nummer, wenn wir sie nicht aktiv aufrechterhalten. Das Experiment in ▶ Exkurs 8.10 zum Behalten im Arbeitsgedächtnis, das Sie selbst leicht nachvollziehen können, zeigt, wie die Gedächtnisspanne einbricht, wenn das Lernmaterial nicht aktiv wiederholt werden kann.

8.4.3 Verarbeitung im KZG/Arbeitsgedächtnis

Inhalte, die ins Kurzzeitgedächtnis aufgenommen sind, können hier nur dann länger erhalten bleiben, wenn sie entweder, wie besprochen, durch Rehearsal (1) aktiv gehalten werden (siehe Experiment 8.4), oder (2) wenn sie mit bereits gespeicherten Inhalten verbunden werden. Dies geschieht beim sogenannten **Chunking**.

Chunk-Bildung oder Chunking bezeichnet einen Prozess, der sogar zu einer Steigerung der Behaltensleistung des Kurzzeitgedächtnisses führt, in dem die Information in bedeutungstragende Einheiten gruppiert wird. Der Begriff „Chunk" geht auf Miller (1956) zurück und bezeichnet die größte bedeutungstragende Informationseinheit (*meaningful unit*), die wir in dem zu lernenden Material finden können. Ein Chunk kann ein einzelner Buchstabe sein oder eine Zahl, eine Buchstabenfolge, ein Wort, eine Folge von Items oder Wörtern oder sogar ein ganzer Satz, der eine bekannte *meaningful unit* darstellt, oder weiter eine Idee oder ein Konzept. Beispielsweise besteht die Folge 1 9 8 4 aus vier Ziffern, welche die Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses fast aufbrauchen würden. Wenn Sie die Ziffernfolge aber als Jahreszahl oder als den Titel des bekannten Buches von George Orwell ansehen, bilden sie zusammen lediglich einen Chunk, und Sie könnten noch weitere solche Einheiten behalten. Die Beispiele in ▶ Exkurs 8.11 zeigen, wie durch die Bildung solcher bedeutungstragenden Einheiten die Menge der im Kurzzeitgedächtnis

Exkurs 8.9

Genauer betrachtet: Gedächtnisspanne und Wortlängeneffekt

Untersuchungen mit Angehörigen verschiedener Sprachgemeinschaften zeigen einen Zusammenhang zwischen der Gedächtnisspanne, wie sie in der in ▶ Exkurs 8.8 dargestellten Ziffernaufgabe gemessen wird, und der Artikulationsdauer der jeweiligen Ziffern (Naveh-Benjamin und Ayres 1986). Eine besonders hohe Gedächtnisspanne von 9,9 fand sich bei Sprechern des Kantonesischen, in dem die mittlere Artikulationsdauer pro Ziffer lediglich 265 ms beträgt (Hoosain und Salili 1988) während die Gedächtnisspanne bei Sprechern des Arabischen, wo die mittlere Artikulationsdauer pro Ziffer ca. 345 ms beträgt, im Durchschnitt nur bei 5,9 lag.

Ein weiterer Einflussfaktor ist die genaue Art der Aufgabenstellung. In klassischen Methoden der Erfassung der Gedächtnisspanne werden den Versuchspersonen sukzessive längere Ziffernlisten dargeboten, und die Gedächtnisspanne wird als die längste noch korrekt memorierte Liste operationalisiert. Davon abweichend wurde neuerdings die *running span procedure* eingeführt, bei der Versuchspersonen fortlaufend Ziffern präsentiert werden. Die Reproduktion der Lernelemente erfolgt auf ein Signal hin, das zu einem unvorhersehbaren Zeitpunkt erscheint. Mit dieser Prozedur werden nur etwa drei bis fünf Elemente wiedergegeben, sodass erheblich kürzere Gedächtnisspannen als mit klassischen Methoden gemessen werden. Aufgrund derartiger und weiterer Befunde wurde die Annahme formuliert, dass unter Bedingungen, in denen keine Mechanismen der aktiven Aufrechterhaltung zur Anwendung kommen, die Gedächtnisspanne etwa vier informationstragende Einheiten umfasst (Cowan 2001, 2010).

Exkurs 8.10

Experiment: Kein passives Behalten im Kurzzeitgedächtnis

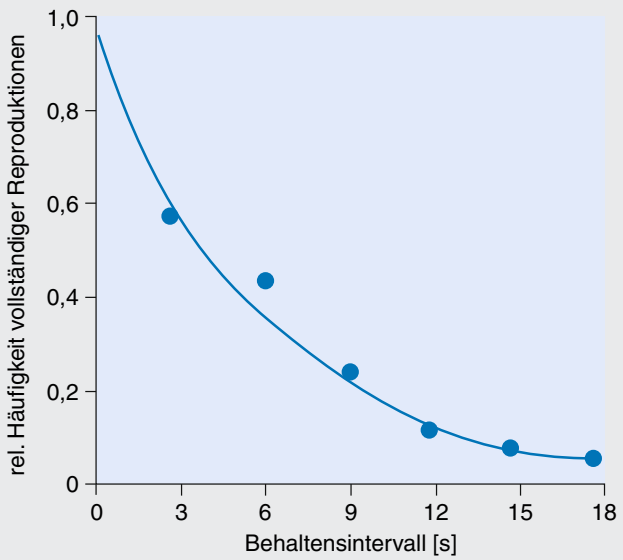
Ein auf den ersten Blick überraschendes Ergebnis zum Gedächtnis erhielten zwei Psychologen der Universität von Indiana bei einem einfachen, aber mehrfach bestätigten Experiment. Peterson und Peterson (1959) baten ihre Versuchspersonen, drei Buchstaben, wie zum Beispiel G, S und K, zu lernen und diese 18 s später wiederzugeben. Die Aufgabe scheint zunächst völlig trivial. Aber die Versuchspersonen waren zu ihrer eigenen Überraschung nicht in der Lage, sich an die drei Buchstaben zu erinnern. Der Grund ist einfach: Um zu vermeiden, dass die Versuchspersonen das Gedächtnismaterial wiederholen konnten, wurde zwischen Darbietung und Abrufsignal eine ablenkende Aufgabe eingeschoben. Die Versuchspersonen mussten in Dreierschritten von einer vorgegebenen dreistelligen Zahl (zum Beispiel 547) rückwärts zählen, bis der Versuchsleiter das Abrufsignal gab. Dann sollten die erinnerten Buchstaben wiedergegeben werden. Variiert man in weiteren Experimenten die Zeit bis zum Abruf, so ergibt sich der in ◘ Abb. 8.14 dargestellte Gedächtnisverlauf. Nach 3 s können die Buchstaben nur noch in etwa 30 % der Fälle erinnert werden, und schon nach 12 s können meist kaum noch alle Buchstaben genannt werden.

(Dieses einfache Experiment können Sie mithilfe eines Freundes, der Ihnen die Lernaufgabe vorgibt und die Zeit stoppt, mühelos nachvollziehen.)

Dies belegt: Ohne die Möglichkeit, ein auch nur geringes Lernmaterial zu wiederholen oder zu bearbeiten, nimmt die Behaltensleistung im Kurzzeitgedächtnis sehr schnell ab und ist nach 18 s nahezu völlig erloschen. Aber dieser reine Fall kommt offenbar selten vor, sodass andere Autoren von einer durchaus längeren Gedächtnisspanne für das Kurzzeitgedächtnis ausgehen (siehe dazu *Zusatztext online*).

Testen Sie Ihr Arbeitsgedächtnis/Kurzzeitgedächtnis (mit Download XL-Gedächtnistrainer): ▶ http://www.memoryxl.de/gedaechtnistraining/gedaechtnis/kurzzeitgedaechtnis.html

◘ **Abb. 8.14 Behaltenskurve im KZG.** Ergebnis des Experiments von Peterson und Peterson (1959). Die Reproduktionsleistung sinkt mit dem Behaltensintervall, wenn aktives Wiederholen verhindert wird



Exkurs 8.11

Genauer betrachtet: Chunk-Bildung

Betrachten Sie die folgende Buchstabenliste, sie besteht aus 18 Buchstaben:
D E R H U N D S A H D I E K A T Z E
Wie Sie schon wissen, werden Sie diese Buchstaben nach einmaligem Lesen sicher nicht alle behalten können. Vielleicht behalten Sie die letzten sieben Buchstaben. Aber auch eine bloße Gruppierung in insgesamt sieben Blöcke wie beispielsweise die folgenden:
DE RHU NDS AHD IEK ATZ E
hilft Ihnen sicher nicht viel weiter, da diese Buchstabengruppen für Sie keine Bedeutung tragen, also für Sie keine Chunks sind. Wenn Sie aber feststellen, dass Sie dieselbe Buchstabenreihe auch in folgende Blöcke einteilen können: „Der Hund sah die Katze", dann dürfte es kein Problem mehr sein, die 18 Buchstaben ihrer Reihenfolge nach vollständig zu behalten, denn sie sind nun in sinnvolle Einheiten, nämlich in aus dem Langzeitspeicher bekannte Wörter, zusammengefasst (umcodiert) worden. Aber auch Umcodierungen von Buchstabenfolgen in bedeutungshaltige Nichtwortblöcke haben den gleichen Effekt für das Behalten. So ist zum Beispiel die Buchstabenfolge: IB-MFB-ITVU-SA in dieser Aufteilung schwer zu behalten, auch wenn sie nur vier Blöcke umfasst. Allein die einfache Gruppierung in zumeist bekanntere Chunks führt dazu, dass die Buchstabenfolge leicht erinnert werden kann, nämlich
IBM-FBI-TV-USA (Bower und Springston 1970). Dasselbe gilt natürlich für Zahlen, zum Beispiel bei Telefonnummern, deren Ziffern wir uns in Gruppen zu zwei oder drei Zahlen schon besser merken können, noch besser allerdings, wenn wir sie ebenfalls mit Inhalten aus dem Langzeitgedächtnis verbinden können, wie zum Beispiel geschichtlichen Jahreszahlen, Geburtstagen oder Ähnlichem (vergleiche ▶ Abschn. 8.8.1 Chunking als Behaltensstrategie).

8

gespeicherten und präsenten Informationen beträchtlich erweitert werden kann.

Das Arbeitsgedächtnis hat, der klassischen Ansicht zufolge, eine begrenzte Kapazität von bis zu 7 ± 2 Informationseinheiten, wenn keine Prozesse der Aufrechterhaltung zur Anwendung kommen.

Das Arbeitsgedächtnis hat ebenfalls eine kurze Behaltensdauer. Sie ist von der laufenden Bearbeitung (Rehearsal) und Vernetzung der Inhalte abhängig.

8.4.4 Abruf von Arbeitsgedächtnisinhalten

Infolge der Möglichkeit, dass wir im Kurzzeit-/Arbeitsgedächtnis Chunks bilden können, womit zugleich auch Verbindungen zu Inhalten des Langzeitgedächtnisses verknüpft sind, wird eine Untersuchung der Abrufprozesse (*retrieval*) des reinen Kurzzeitspeichers schwierig und relativiert andererseits die Ergebnisse solcher Untersuchungen.

Normalerweise funktioniert der Abruf von Inhalten des Arbeitsgedächtnisses problemlos und die Inhalte unseres Kurzzeitgedächtnisses sind uns sofort präsent. Dies trifft zu, wenn es sich um die Wiedergabe des gesamten Inhaltes handelt, so wie er eingespeichert wurde. Werden wir jedoch aufgefordert, ein bestimmtes Gedächtniselement, zum Beispiel eine bestimmte Ziffer aus einer Zahlenreihe, abzurufen, so läuft offenbar, wie Forschungsergebnisse zeigten, ein **interner Suchprozess** ab, bei dem alle im Gedächtnis befindlichen Elemente einzeln geprüft werden. Dabei ist die Suchzeit, die sich allerdings im Millisekundenbereich abspielt, von der Gesamtzahl der aktuellen Gedächtniselemente abhängig. Je mehr Items im Kurzzeitspeicher enthalten sind, desto länger dauert der Abrufprozess, wie Sternberg (1966, 1969) in mehreren Untersuchungen mit dem nach ihm benannten Sternberg-Paradigma zeigen konnte (▶ Exkurs 8.12).

Die Suchzeit für Inhalte im Arbeitsgedächtnis steigt linear mit der Anzahl der gespeicherten Elemente und unterscheidet sich nicht für Positiv- und Negativ-Urteile.

8.5 Das Langzeitgedächtnis

Das dritte, wohl umfassendste Gedächtnissystem ist das **Langzeitgedächtnis** (LZG, *long-term memory*). Es stellt die dritte Stufe unserer Informationsverarbeitung dar. Hier werden Informationen gespeichert, die aus dem Kurzzeitgedächtnis neu encodiert werden. Es finden sich hier sowohl Informationen, die wir erst vor wenigen Minuten aufgenommen haben (zum Beispiel Inhalte oder Sätze aus einem laufenden Gespräch), als auch alle Erfahrungen, die wir im Laufe unseres Lebens gespeichert haben. Die einzelnen Items oder Sequenzen werden vornehmlich ihrer Bedeutung entsprechend aufgenommen, verarbeitet, vernetzt und assoziativ miteinander verflochten. Im Langzeitgedächtnis werden alle Erfahrungen, Informationen, Wörter, Kategorien, Regeln und Urteile sowie auch Emotionen und Fertigkeiten gespeichert. Seine Kapazität scheint unbegrenzt, seine Behaltensdauer potenziell lebenslang.

Bei der Behandlung des Langzeitgedächtnisses werden wieder die drei Phasen der Encodierung, Speicherung und des Abrufs unterschieden, wobei sich jedoch insofern einige Komplikationen ergeben, als es gegenseitige Abhängigkeiten gibt, die bei der Darstellung zu gewissen inhaltlichen Überlappungen führen.

Das Langzeitgedächtnis speichert Informationen über längere Zeitintervalle, von Minuten bis lebenslang. Seine Kapazität scheint unbegrenzt.

8.5.1 Encodierung

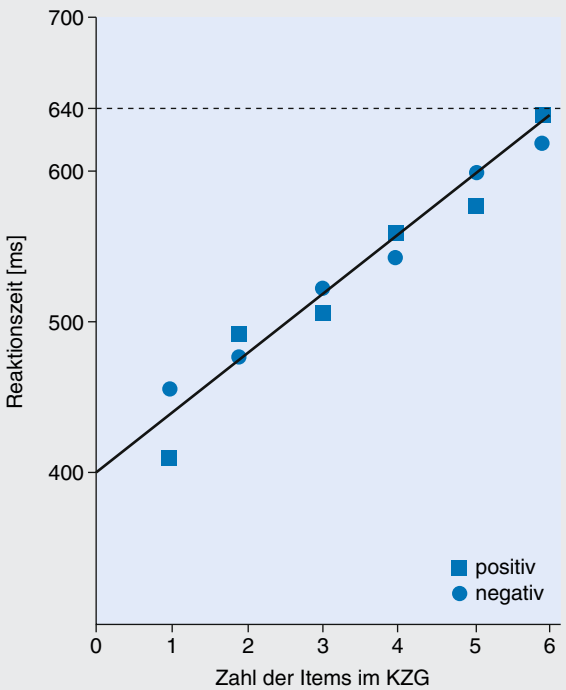
Die Einspeicherung in unser Langzeitgedächtnis kann grundsätzlich auf zweierlei Weise erfolgen. Ein Großteil von Informationen erreicht unser Gedächtnis, ohne dass es dazu einer besonderen Anstrengung bedarf. Die Aufnahme erfolgt automatisch. So kön-

Exkurs 8.12

Experiment: Rückruf als Suchprozess

In seinen klassischen Experimenten wies Sternberg (1966) mit dem von ihm entwickelten Probentest nach, dass beim Abruf von Inhalten aus dem Kurzzeitgedächtnis ein Suchprozess abläuft. Bei jedem der zahlreichen Durchgänge eines solchen Experiments wird den Versuchspersonen jeweils eine Lernliste von ein bis sechs Elementen (z. B. Buchstaben) vorgegeben. Unmittelbar danach wird der Versuchsperson dann ein Testitem (Probe) vorgegeben, und sie hat zu entscheiden, ob diese Probe in der Lernliste enthalten war oder nicht. Besteht beispielsweise die Gedächtnisliste aus den Ziffern 2 9 6 3 5 und folgt als Testitem die Ziffer 6, so sollte die Versuchsperson so schnell wie möglich mit Ja antworten, indem sie einen entsprechenden Knopf drückt, andererseits sollte sie den Nein-Knopf drücken, wenn bei der gleichen Liste als Testitem die Ziffer 7 gegeben wird, denn die 7 befindet sich nicht in der vorgegebenen Liste. Als abhängige Variable wurde nicht die Genauigkeit, sondern nur die Reaktionszeit gemessen, zwischen der visuellen Vorgabe des Testitems und dem Drücken des Reaktionsknopfes.
Die Ergebnisse einer solchen Untersuchung zeigt ◘ Abb. 8.15. Es gibt offensichtlich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Antwortzeiten der Ja- und der Nein-Antworten. Alle Entscheidungen verteilen sich entlang einer geraden Linie, die anzeigt, dass die Reaktionszeit direkt mit der Länge der Gedächtnisliste wächst. Aus diesem Ergebnis ist weiterhin abzulesen, dass die Reaktionszeit bei jedem weiter hinzukommendem Item im Kurzzeitgedächtnis um jeweils den gleichen festen Betrag von etwa 40 ms wächst. Beginnend mit einer Reaktionszeit von etwa 400 ms (bei nur einem Item in der Liste), die offenbar notwendig sind, um die Testziffer zu encodieren und die Reaktion auszuführen, wächst die Reaktionszeit jeweils um weitere 40 ms. Diese scheinen benötigt zu werden, um das Testitem mit jeweils einem Item der Liste zu vergleichen. Bei einer Gedächtnisliste von sechs Items ergibt das $6 \times 40 + 400 = 640$ ms (letzte Punkte in der Grafik).
Aus diesen Ergebnissen wird weiterhin sichtbar, dass es sich um eine vollständige serielle Suche handelt (exhaustive serielle Suche), denn unabhängig davon, an welcher Stelle innerhalb der Gedächtnisliste das Gesuchte steht, wird jeweils offenbar die gesamte Liste abgesucht. Bei einer alternativen Möglichkeit eines unvollständigen Absuchens und sofortigem Abbruch der Suche, sobald das Testitem gefunden ist (Ja-Antworten), müsste die gefundene Reaktionszeit der jeweiligen Stellung der gesuchten Ziffer in der Zahlenreihe entsprechen und nicht der Gesamtlistenlänge. Zur Erklärung dieses Befundes nahm Sternberg an, dass die Vergleichsprozesse auch dann fortgesetzt wurden, wenn bereits eine Übereinstimmung des Testreizes mit einem Element der Liste festgestellt wurde (serielle exhaustive Suche).
Spätere Analysen zeigten jedoch, dass die Annahme parallel ablaufender Vergleichsprozesse ebenfalls im Einklang mit den erhaltenen Ergebnissen steht (Überblick bei Townsend 1990). Ein leicht nachzuvollziehender Umstand, der auch bei paralleler Verarbeitung zu einem Anstieg der Reaktionszeit mit der Anzahl vorgegebener Reize führen sollte, findet sich in der Annahme einer begrenzten Gesamtverarbeitungskapazität, welche auf alle gleichzeitig ablaufenden Vergleichsprozesse aufgeteilt werden muss. Je größer die Anzahl der Prozesse ist, die zu einem Zeitpunkt ablaufen, umso weniger Kapazität erhält jeder einzelne von ihnen, was eine insgesamt höhere Bearbeitungsdauer zur Folge hat, wie bereits von der Aktivierungstheorie interpretiert.
Auch nach der Aktivierungstheorie des Kurzzeitgedächtnisses (*Zusatztext online*) lassen sich die von Sternberg gefundenen Ergebnisse ebenfalls interpretieren. Hier wird angenommen, dass die Entscheidung, ob ein Testitem im Kurzzeitgedächtnis vorhanden ist oder nicht, abhängig ist von dem mit jedem Item verbundenen Aktivitätsniveau. Je mehr Items im Kurzzeitgedächtnis gespeichert sind, desto weniger Aktivität entfällt auf jedes einzelne Item, sodass die Erkennung insgesamt mehr Zeit benötigt (Monsell 1979).

◘ **Abb. 8.15 Ergebnisse zum Sternberg-Paradigma.** Die Reaktionszeiten zur Entscheidung, ob ein Teststimulus im KZG vorhanden ist oder nicht, steigen linear mit der Anzahl der Einträge im KZG und unterscheiden sich nicht für positive (Ja-) und negative (Nein-) Antworten. (Aus Gruber 2011)



nen wir beispielsweise Ereignisse einer Geburtstagsfeier, die wir gestern erlebt haben, auch heute noch gut wiedergeben. Solche unbeabsichtigte und weitgehend unbewusste Einspeicherung von **inzidenteller Information** (lat.: *incidere*: beiläufig eintreten) wie Raum, Zeit, Frequenz oder was es gestern zum Abendessen gab, aber auch von gut gelernter Information wie Wortbedeutungen wird als **automatische Encodierung** bezeichnet. Demgegenüber erfordern andere Informationsbereiche eine willentlich bewusste und eher mühevolle **aktive Encodierung** (*effortful processing*), wie zum Beispiel das Behalten der Inhalte dieses Kapitels oder die Aufnahme neuer Information, wie Namen und auch Telefonnummern, in das Langzeitgedächtnis.

Automatische Encodierung

Unter automatischer Encodierung (*automatic processing*) versteht man die unbewusste Einspeicherung von zufällig anfallenden Informationen sowie auch von gut gelernten Informationen (Wortbedeutungen).

Aktive Encodierung

Unter aktiver Encodierung (*effortful processing*) versteht man die bewusste Form der Encodierung, die Aufmerksamkeit und bewusste Anstrengung erfordert.

Die wesentlichen Teile unserer Kenntnisse über die Funktionen des Gedächtnisses resultieren aus Untersuchungen zur *aktiven Encodierung*, Speicherung und Wiedererinnerung. Die Einspeicherung in unser Langzeitgedächtnis erfolgt danach vor allem auf vier unterschiedliche Weisen:

1. **Semantische Encodierung**,
2. **Visuelle Encodierung**,
3. **Akustische Encodierung**,
4. **Chunking**.

Daneben gibt es noch weitere Encodierungs- und Speicherungsformen, die in ▶ Abschn. 8.5.2 behandelt werden.

Semantische Encodierung

Insbesondere für verbales Material steht die Codierung nach der Bedeutung (*encoding by meaning*) im Vordergrund. Wenn wir eine längere Liste von Wörtern wieder erinnern oder gelernte Vokabeln wieder aufsagen sollen, so treten dabei häufig bestimmte Fehler auf. Wir erinnern Wörter, die den eigentlich gelernten in ihrer Bedeutung ähneln. So erinnern wir das Wort „schnell" anstelle des in der Originalliste gelernten Wortes „eilig" (Kintsch und Buschke 1969). Deutlicher wird diese Beobachtung, wenn es sich um Sätze handelt, die wir nach einer gewissen Zeit wiedergeben sollen, wie zum Beispiel: „Dann wurde Elke eine innere Stimme gewahr." Schon wenige Minuten später können wir meist nicht entscheiden, ob wir nicht einen anderen Satz gleichen Inhalts gehört haben, zum Beispiel: „Dann hörte Elke eine Stimme von innen" (Bransford und Franks 1971). Obgleich die tatsächlich verwendeten Wörter nicht richtig erinnert werden, wird doch der semantische Inhalt, die Bedeutung, richtig erinnert. In dieser Weise verfahren wir durchgängig in unserem täglichen Leben, wenn wir das, was wir gehört oder gelesen haben, mit eigenen Worten wiedergeben.

Weitere Untersuchungen und Befunde zur Bedeutung semantischer Verknüpfungen und eines elaborierten Einspeicherns werden wir in ▶ Abschn. 8.6.2 bei der Theorie der Verarbeitungstiefe kennenlernen.

Nach der Verarbeitung einer sprachlichen Äußerung erinnern Menschen oft nur ihre Bedeutung und nicht ihren exakten Wortlaut.

Visuelle Encodierung

Neben der Bedeutungsspeicherung, die die vorherrschende Art der Repräsentation verbaler Inhalte im LZG zu sein scheint, können verbale Inhalte zum Teil nicht minder effektiv auch viusuell oder akustisch encodiert werden. So erinnern wir einmal gelernte Gedichte beispielsweise Wort für Wort, nicht aber nach dem semantischen Inhalt, den wir uns nachträglich vergegenwärtigen können; wir erinnern Gesichter eher bildlich oder bekannte Stimmen eher akustisch. Vorrangig werden jedoch, wie bekannt, bereits bildhafte Erlebnisse oder Episoden visuell encodiert.

Es gibt Belege dafür, dass Bilder und bildhafte Erlebnisse sogar leichter erinnert werden als Sätze (Paivio 1971). Nach Paivio (1986) ist die bildhafte Vorstellung sogar eine der effektivsten Formen der Encodierung, zumal sie sowohl für verbale als auch für visuelle Erinnerungen gleichzeitig eine Grundlage darstellt. Das Wortpaar „Haus – Koffer" kann so zum Beispiel als Haus vorgestellt werden, auf dessen Dach ein Koffer liegt. Eine solche bildliche Verknüpfung führt zu einer besseren Behaltensleistung des eigentlich verbalen Materials, wie eine Untersuchung von Bower (1972) zeigte (▶ Exkurs 8.13).

Es sind wohl weniger Wissensdaten, die wir im Langzeitgedächtnis bildhaft speichern, als Erlebnisse, die von sich aus bereits bildhaft sind. Es gibt viele Beispiele dafür, dass hier nicht erst eine Umcodierung in verbal-semantische Codes erfolgt. So können wir uns mühelos bildhaft daran erinnern, wo wir zum Beispiel gestern zu einer bestimmten Zeit gewesen sind, wie die Wohnung des Freundes eingerichtet ist, bei dem wir gestern waren, aber auch die Wohnung des Elternhauses, das wir seit Jahren nicht mehr besucht haben. Viele unserer allerfrühesten Erinnerungen, die wir an unsere Kindheit haben, sind größtenteils bildhafter Natur. Dank der Dauerhaftigkeit erregender Bilderlebnisse können weit zurückliegende Situationen wie mentale Schnappschüsse vor einem „inneren Auge" lebendig und detailliert auftauchen, insbesondere, wenn es sich um Momente höchster Freude oder tiefsten Schmerzes oder Entsetzens handelt. Für viele Kriegsveteranen sind solche auch visuell-akustischen Bilderinnerungen von Fronterlebnissen ein nahezu unauslöschlicher Bestand ihres Langzeitgedächtnisses (Fredrickson und Kahneman 1993).

Andererseits gibt es eine Reihe experimenteller Untersuchungen, in denen der Vorteil einer visuellen Codierung auch von verbalem Material aufgezeigt werden konnte. Unter dem Aspekt der bedeutsamen Verarbeitung zeigt das erwähnte Experiment von Bower (1972), dass eine visuelle Assoziation (Pferd springt über den Tisch) die Behaltensleistung erheblich steigert. Wei-

Exkurs 8.13

Experiment: Visuelle Codierung

Bower (1972) ließ seine Versuchspersonen in diesem Experiment eine Liste von Wortpaaren lernen, ähnlich dem üblichen Vokabellernen, wobei die Versuchspersonen, wenn ihnen das erste Wort eines Paares genannt wurde (Stimulus), das dazugehörige zweite Wort (Response) erinnern sollten, zum Beispiel „Pferd – Tisch".
Die Versuchspersonen der Experimentalgruppe wurden zuvor instruiert, dass sie sich die Wortpaare durch Vorstellung eines visuellen Bildes, zum Beispiel eines über einen Tisch springenden Pferdes, einprägen sollten, während die Kontrollgruppe keinen solchen Hinweis erhielt, sondern nur aufgefordert wurde, die Liste zu lernen. Das Ergebnis: Die Experimentalgruppe, die sich eine bildliche Vorstellung machen sollte, konnte 75 % der Wortpaare richtig erinnern, während die Kontrollgruppe nur 35 % erinnerte.
Aber auch durch den ausdrücklichen Hinweis auf die Verwendung einer semantischen Codierung kann die Behaltensleistung wesentlich verbessert werden. Dies konnte Bower in Abwandlung des oben dargestellten Experiments dadurch zeigen, dass er die Versuchspersonen der Experimentalgruppe diesmal aufforderte, das zu lernende Wortpaar mit einem Satz zu verbinden, zum Beispiel: „Das Pferd schubst den Tisch."
Auch diese Anweisung führt zu einer Behaltensverbesserung. Die so instruierte Versuchspersonengruppe konnte doppelt so viele Items richtig erinnern wie die Kontrollgruppe. Es bleibt allerdings fraglich, ob die Aufforderung zur semantischen Bearbeitung nicht doch auch mit einer visuell-bildlichen verbunden ist.

tere Beispiele visueller Codierung, die sich beim Lernen gezielt nutzen lassen, werden in ▶ Abschn. 8.9 (Gedächtnisstrategien) dargestellt.

Akustische Encodierung

Obgleich semantische und visuelle Encodierung beim Langzeitgedächtnis insbesondere beim Lernen verbalen Materials im Vordergrund stehen und vornehmlich untersucht wurden, so zeigen einfache Beobachtungen, dass es auch andere Encodierungen für das LZG gibt. Wenn sich beispielsweise der Gesprächspartner am Telefon nur mit „Hallo" meldet, so können wir ihn oft schon allein an der Stimme erkennen, die wir offenbar als akustisches, klangliches Muster im Langzeitgedächtnis abgespeichert haben. Man spricht hier von **akustischer Encodierung.** Ebenso können wir ganze Melodien oder Lieder der Tonfolge nach vollständig erinnern, wobei uns vielfach die wachgerufene Melodie erst den zugehörigen verbalen Text in Erinnerung bringt.

Weitere Encodierungen

Weitere Wiedererkennungsleistungen machen deutlich, dass die Encodierung im LZG sehr vielfältig sein kann. Ähnlich wie wir visuelle Eindrücke unmittelbar wiedererkennen, können wir auch einen besonderen Geschmack, einen bestimmten Geruch oder eine Tastempfindung direkt wiedererkennen, was besagt, dass im Langzeitgedächtnis entsprechende **Geschmacks-, Geruchs- und Tast-Codierungen** vorliegen müssen.

Letztere sind oft, je nach früheren Erfahrungen, mit emotionalen Assoziationen verbunden. Solche Empfindungen wirken oft im Sinne von Hinweisreizen, die früher erlebte Situationen wachrufen und dadurch das in dieser Situation Gelernte besser erinnern lassen, was wir als *Encodierspezifität* bzw. *Kontexteffekt* nochmals genauer besprechen werden.

8.5.2 Konsolidierung

Wie zu Beginn dieses Kapitels erwähnt, braucht es nach dem Modell von Atkinson und Shiffrin (1968) eine gewisse Zeit, bis die im Kurzzeit-/Arbeitsspeicher aufgenommene Information im Langzeitgedächtnis permanent behalten wird. Eine Möglichkeit, dies zu erklären, ist die bereits vor 100 Jahren von Müller und Pilzecker (1900) vorgeschlagene **Konsolidierungstheorie** *(consolidation theory).* Sie geht von der grundlegenden Idee aus, dass das Bilden einer Gedächtnisspur eine gewisse Zeit benötigt, in der sie zunehmend gefestigt, d. h. konsolidiert, wird.

Das würde erklären, warum bei der retrograden Amnesie (Gedächtnisverlust) das Nichterinnern-Können vor allem die kurz vor der Hirnverletzung oder der Krankheit liegenden Ereignisse betrifft, während länger zurückliegende Geschehnisse weniger oder gar nicht betroffen sind, da sie mit der Zeit schon besser konsolidiert wurden. Dieser Konsolidierungsvorgang wurde später von Hebb (1949) sowie von McGaugh (1966) auf überdauernde neurophysiologische Veränderungen an den übertragenden Synapsen zurückgeführt. Diese grundlegenden Vorgänge werden wir in ▶ Abschn. 8.9 genauer besprechen.

Einige neuere Aspekte zur Konsolidierungsforschung werden in ▶ Exkurs 8.14 und ▶ Exkurs 8.15 dargestellt

8.5.3 Speicherung im Langzeitgedächtnis

Die dauerhafte Speicherung im Langzeitgedächtnis kann auf verschiedene Weise erfolgen; dies betrifft vor allem die unterschiedliche Speicherung von explizitem und implizitem Wissen. Einen Überblick über die derzeit weitgehend gängige und in verschiedenen Lehrbüchern vertretene, von Squire (1992) vorgeschlagene **Klassifikation des „Gedächtnisses"** in verschiedene Systeme und Prozesse gibt das Schema in ◘ Abb. 8.18. (Ein weiterer Klassifikationsbaum zum Gesamtgedächtnis findet sich in *Zusatztext online*.)

Im Langzeitgedächtnis wird nicht nur über die Sinnesorgane von außen kommende Information verschiedenster Art gespeichert, sondern auch intern generierte Information, wie eigene Gedankengänge, Überlegungen, Meinungen, Einstellungen oder Werte. Vermutlich werden all diese Inhalte nicht in gleicher Weise in einem einheitlichen Gedächtnisspeicher abgelegt. Je nach der Herangehensweise hat die Gedächtnisforschung unterschiedlich das Gedächtnis als eine Menge von verschiedenen *Systemen* betrachtet und beschrieben, oder sie hat die Betonung auf die Analyse von Gedächtnis*prozessen* oder *-strukturen* gelegt.

Zunächst wird in der Forschung vielfach unterschieden zwischen dem expliziten und dem impliziten Gedächtnis (▶ Ab-

Exkurs 8.14

Genauer betrachtet: Speicherung durch Konsolidierung

Besonders deutlich wird die Notwendigkeit der Konsolidierung einer aufgenommenen Information, wenn man Erinnerungen nach traumatischen Ereignissen betrachtet. Zum Beispiel konnten sich American-Football-Spieler, die während des Spieles eine Gehirnerschütterung erlitten hatten und unmittelbar nach dem Ereignis in der Lage waren, dessen Hergang zu berichten (z. B. „… hit from the front while I was blocking on the punt"), einige Minuten später nicht mehr daran erinnern (Lynch und Yarnell 1973).
Einerseits lässt sich vermuten, dass Konsolidierung Zeit bedarf, da die molekularen und zellulären Prozesse nur langsam dauerhafte Erinnerungen formen können. Dem steht jedoch gegenüber, dass Speicherung im Arbeitsgedächtnis unmittelbar erfolgen kann. Deshalb wurde die Hypothese formuliert, dass eine langsame Konsolidierung im Langzeitgedächtnis vorteilhaft ist, da dadurch weitere Prozesse die Stärke des Konsolidierungsprozesses (also Stärke des Einspeicherns) modulieren können (z. B. Gold und McGaugh 1975).
Aktuelle Ansätze postulieren drei separate Konsolidierungsprozesse, die sich hinsichtlich der Dauer der konsolidierten Information unterscheiden (Abb. 8.16). Ein eher kurzfristiger Konsolidierungsprozess sorgt für die Speicherung von Informationen von Sekunden bis zu Stunden. Ein weiterer Prozess speichert Informationen für Stunden bis Monate. Die Trennung dieser beiden Konsolidierungsarten scheint sinnvoll, da unterschiedliche psychotrope Substanzen jeweils selektiv die eine oder andere Art der Konsolidierung stören. Ein dritter Konsolidierungsprozess schließlich speichert Informationen für Monate- bis lebenslang (McGaugh 2000; Siehe dazu das integrative Gesamtschema Abb. 8.40).

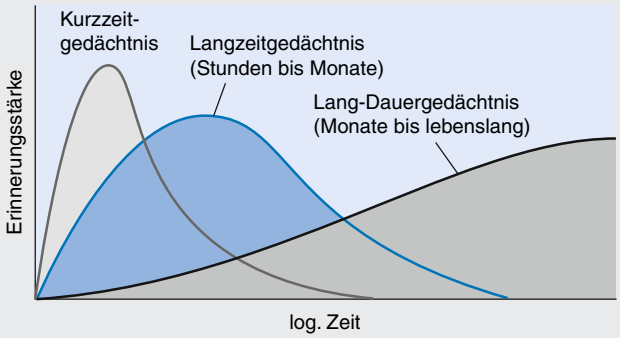


Abb. 8.16 Verschiedene Konsolidierungsprozesse in Abhängigkeit von der Dauer der Speicherung. (McGaugh 2000)

Exkurs 8.15

Genauer betrachtet: Konsolidierung deklarativer und prozeduraler Gedächtnisinhalte im Schlaf

In verschiedenen Gedächtnisuntersuchungen mit diversen Lernmaterialien konnte ein förderlicher Einfluss einer zwischen Lern- und Testphase liegenden Schlafperiode demonstriert werden (z. B. Jenkins und Dallenbach 1924). Neuere Untersuchungen legen eine differenzierte Sicht auf die während des Schlafes ablaufenden Konsolidierungsprozesse nahe (Überblick bei Born und Plihal 2000). Insbesondere scheinen verschiedene Schlafphasen (Tiefschlaf- vs. REM-Phasen) für unterschiedliche Arten von Gedächtnisinhalten von besonderer Bedeutung zu sein. In diesem Zusammenhang konnten Plihal und Born (1997) zeigen, dass die Gedächtnisleistung für deklaratives Material (Wortpaar-Assoziation; Abb. 8.17a) von einer Periode frühen Nachtschlafes – welcher zum größeren Teil aus Tiefschlafphasen besteht –, nicht aber von einer gleich langen Periode späten – REM-Phasen-dominierten – Nachtschlafes profitiert, während sich das umgekehrte Ergebnismuster für die Lernleistung in einer prozeduralen Aufgabe (Spiegelzeichnen; Abb. 8.17b) fand. Weitergehende Untersuchungen legen nahe, dass der förderliche Einfluss des frühen Nachtschlafes durch die Hemmung der Kortisolfreisetzung in diesen Schlafphasen bzw. der hieraus wegfallenden Wirkung auf die hippocampale Formation vermittelt wird.

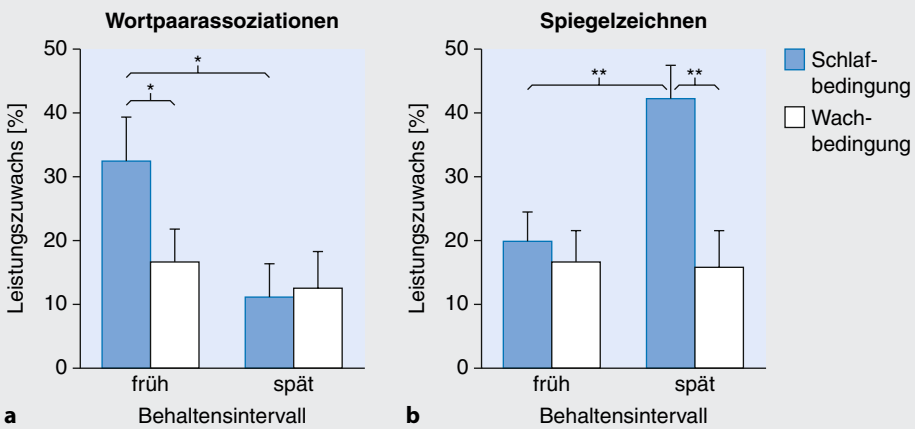


Abb. 8.17 Gedächtnisleistungen (angegeben in Prozent Leistungszuwachs) in einer deklarativen Aufgabe (**a**) und einer prozeduralen Aufgabe (**b**) in Abhängigkeit von frühem oder spätem Nachtschlaf bzw. Wachphasen. (Plihal und Born 1997)

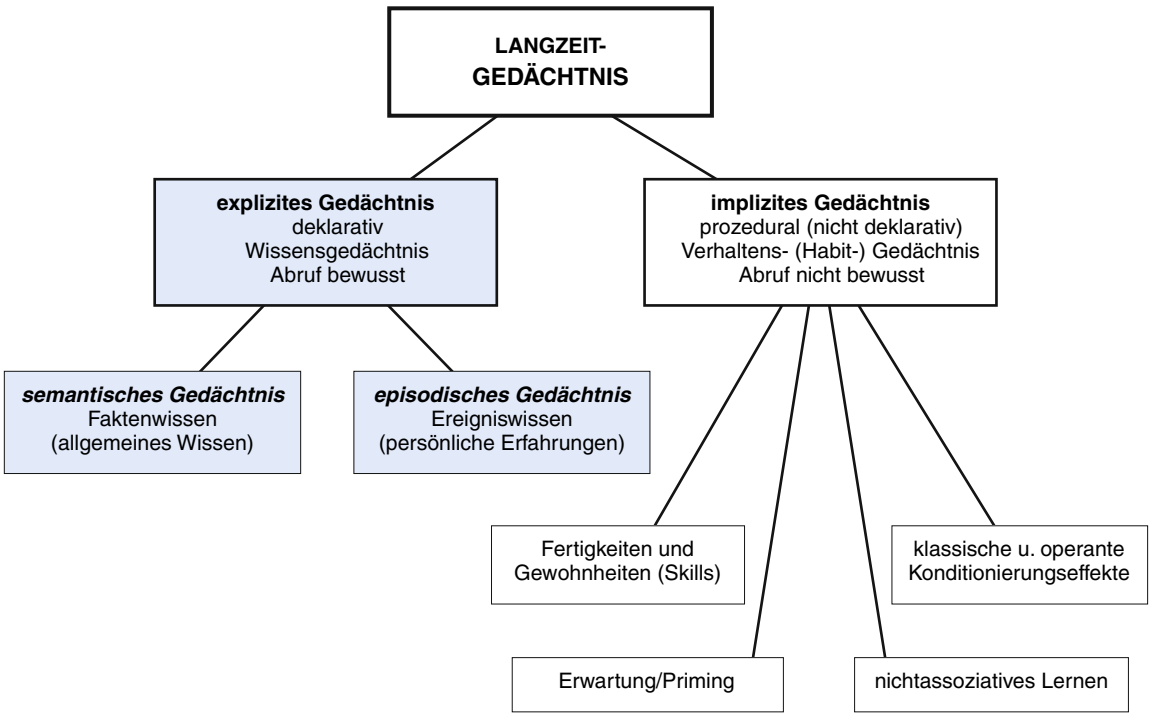


Abb. 8.18 Klassifikation der Gedächtnisprozesse. Das explizite (deklarative) Gedächtnis ist für die bewusste Erinnerung von Fakten und Ereignissen zuständig und wird vornehmlich hippocampal vermittelt. Das implizite (prozedurale) Gedächtnis ist für das Behalten von Fertigkeiten, Bewegungsfolgen, Gewohnheiten und Regeln sowie assoziatives Lernen beim klassischen und operanten Konditionieren verantwortlich

schn. 8.6.4). Das **explizite Gedächtnis** bezieht sich auf Gedächtnisinhalte, die wir bewusst reproduzieren können. Es umfasst unser kognitives Wissen. Das **implizite Gedächtnis** hingegen bezieht sich auf Gedächtnisinhalte, die uns nicht bewusst sind. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist das Wissen über die Tastatur einer Schreibmaschine. Versierte Schreibkräfte können den Aufbau der Schreibtastatur nicht wiedergeben, aber ihre Finger „wissen", wo sich die Tasten befinden. Implizites Gedächtnis ist dadurch definiert, dass wir nicht über ein Bewusstsein darüber verfügen. Es wird nach Anderson (1996) auch als **prozedurales Gedächtnis** bezeichnet (▶ Abschn. 8.6.4).

Andererseits wird in der Literatur zwischen deklarativem und prozeduralem (oder nichtdeklarativem) *Wissen* unterschieden (Anderson 1996; Cohen und Squire 1980). Dabei werden diese beiden Wissensformen den entsprechenden Gedächtnissystemen zugeordnet (◘ Abb. 8.18).

Die Funktionen des prozeduralen Gedächtnisses werden häufig weiter unterteilt in Fertigkeiten und Gewohnheiten, Erwartungen/Priming, nichtassoziatives Lernen und klassische und operante Konditionierungseffekte. Hier wird die enge Assoziation von Lernpsychologie und Gedächtnispsychologie deutlich, die sich jedoch in verschiedenen Forschungstraditionen unabhängig voneinander entwickelte. Die Funktionen des impliziten, prozeduralen Gedächtnisses werden üblicherweise – und so auch hier – im Rahmen der Lernpsychologie behandelt (▶ Kap. 7).

Die kognitive Gedächtnispsychologie hat sich vor allem ausführlich mit der **Wissensspeicherung** und **Wissensrepräsentation** des expliziten, deklarativen Gedächtnisses befasst, das nach Tulving (1999) unterteilt wird in ein **semantisches Gedächtnis**, in welchem Faktenwissen gespeichert wird, und ein **episodisches Gedächtnis**, das für die Speicherung von Ereignissen verantwortlich. Das semantische Gedächtnis beinhaltet danach unser symbolisch repräsentiertes Wissen über die Welt. Es ist das generische (auch für andere gültige) kategorische Gedächtnis, das die grundlegenden *Bedeutungen* von Wörtern und Begriffen speichert ohne Berücksichtigung von deren raumzeitlichen Erfahrungskontext.

Das episodische Gedächtnis dagegen speichert autobiografische Informationen, das heißt unsere eigenen persönlichen Erfahrungen und Wahrnehmungen einschließlich ihrer raumzeitlichen Kontextbeziehungen (▶ Abschn. 8.6.5).

Das Behalten im (semantischen) Langzeitgedächtnis ist nach unseren derzeitigen Kenntnissen insbesondere von drei Faktoren abhängig:

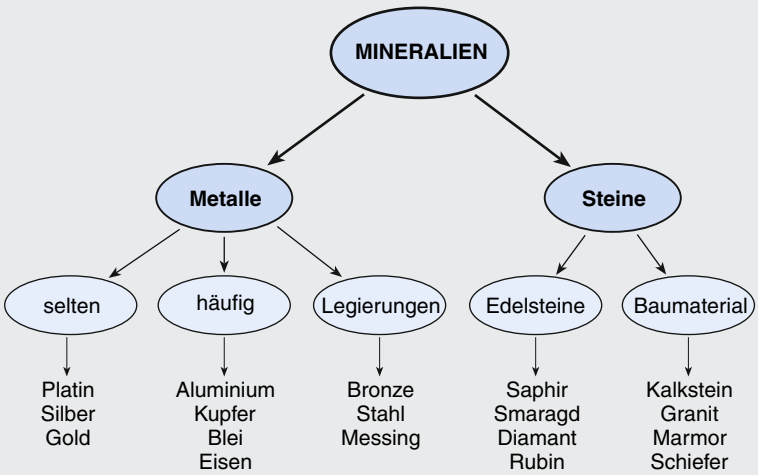
1. von der **Elaboration** des Materials, zum Beispiel in Form der bereits besprochenen visuellen, akustischen oder semantischen Codierung. Elaboration ist dabei der Oberbegriff für die Ausarbeitung des Materials bei der Encodierung. Sie spielt bei den Gedächtnistheorien im Zusammenhang mit der Verarbeitungstiefe eine wichtige Rolle und wird in diesem Zusammenhang genauer besprochen;
2. von der **Organisation des Wissens**, die ebenfalls bei der Einspeicherung erfolgt;
3. von dem **Kontext**, in welchem das Material gelernt wurde.

Befassen wir uns zunächst mit den beiden letzten Punkten, Organisation und dem Kontext.

Exkurs 8.16

Experiment: Zur Gedächtnisorganisation

Die Versuchspersonen hatten mehrere Wortlisten zu lernen, wobei den Versuchspersonen der Experimentalgruppe diese Wörter in Form eines hierarchisch strukturierten Baumdiagramms vorgegeben wurden (siehe ◘ Abb. 8.19), das sie für eine Minute betrachten konnten.
Den Versuchspersonen der Kontrollgruppe wurden die gleichen Wörter, jedoch in zufälliger Anordnung mit einer davon unabhängigen Baumstruktur, vorgegeben. Danach wurden die Versuchspersonen aufgefordert, sämtliche Wörter der insgesamt vier vorgegebenen Diagramme in beliebiger Reihenfolge zu reproduzieren. Die Versuchspersonen, die eine hierarchisch strukturierte Vorgabe bekommen hatten, konnten etwa 65 % der Wörter richtig erinnern, während die Personen der Kontrollgruppe nur etwa 19 % der Wörter reproduzieren konnten. Wenn man die Reihenfolge analysierte, in der die Versuchspersonen der organisierten Bedingung die Wörter reproduzierten, wurde darüber hinaus deutlich, dass sie dies offenbar anhand der vorgegebenen Baumstruktur durchgeführt hatten, indem sie von einem hierarchischen Cluster zum anderen weitergingen und so auch die Möglichkeit hatten, gezielt nach noch nicht wiedererinnerten Wörtern innerhalb einer bestimmten Kategorie zu suchen.



◘ **Abb. 8.19 Gedächtnisorganisation.** Darbietung von Wortlisten in Form eines hierarchisch strukturierten Baumdiagramms. (Anderson 1996)

Organisation des Wissens

Dass eine Strukturierung und Organisation des Gedächtnismaterials für das Behalten und Wiedererinnern von großer Bedeutung sind, konnte in verschiedenen Experimenten gezeigt werden. Eine der gebräuchlichsten Möglichkeiten der Organisation ist die **hierarchische Strukturierung** von Lernmaterial, die zugleich auch eine effektive Hilfe für die spätere Reproduktion des gelernten Materials bietet. Das Prinzip und der Behaltenseffekt wurden in einer Untersuchung von Bower et al. (1969) anschaulich demonstriert (► Exkurs 8.16).

Die Ergebnisse derartiger Untersuchungen zeigen deutlich, dass die Strukturierung von Lerninhalten wesentlich zu einer effektiven Speicherung und einer besseren Erinnerung beiträgt.

Neben der häufig verwendeten Baumstruktur gibt es auch etliche andere Möglichkeiten, Wissensstoffe zu strukturieren, wofür Sie auch in dem vorliegenden Lehrstoff etliche Beispiele finden können (siehe auch ► Abschn. 8.8 Gedächtnisverbesserung). Besonders effektiv ist die *eigene* Wissensorganisation beim Durcharbeiten eines Lehrstoffes wie dem vorliegenden, da Sie dabei bereits in Ihrem Langzeitgedächtnis vorliegende bekannte Strukturen verwenden können.

Die klare Strukturierung von Lerninhalten führt zu effektiverer Speicherung und einer besseren Erinnerung.

Kognitive Netzwerke

Weitere Kenntnisse über die Art und Weise, wie in unserem semantischen Langzeitspeicher Gedächtnisinhalte gespeichert sind, haben Untersuchungen zum *konzeptuellen Wissen* erbracht. Wie schon das letzte Beispiel (► Exkurs 8.16) deutlich macht, spielt die hierarchische Strukturierung eine wichtige Rolle.

Man geht heute davon aus, dass unser konzeptuelles Wissen in unserem semantischen Langzeitgedächtnis wesentlich in Form sogenannter **semantischer Netzwerke** sowie **propositionaler Netzwerke** gespeichert wird. Dabei wird angenommen, dass innerhalb einer Sprach- und Kulturgemeinschaft durch den Sprachgebrauch sich gleichartige konzeptionelle Verbindungen und Abstraktionen entwickeln, über die wir alle verfügen.

Diese Art semantischer Netzwerke ist nach Quillian (1966) hierarchisch geordnet, sodass übergeordnete Sachverhalte auch für untergeordnete Kategorien gültig sind und diese somit aus ersteren abgeleitet werden können. Die in ◘ Abb. 8.20 dargestellte **hierarchische Netzwerkstruktur** skizziert die Verbindung solcher kategorialen Tatsachen durch sogenannte isa-Verbindungen zwischen den jeweiligen Kategorien (in der Kognitionspsychologie versteht man unter einer isa-Verbindung die Relation zwischen Ober- und Unterbegriff derart: Ein Buchfink ist ein (*is a*) Beispiel für Vogel). Nimmt man an, dass die einzelnen Sachverhalte (Merkmale), die für mehrere Unterbegriffe gelten, nur bei dem zugehörigen Oberbegriff gespeichert sind, so sollte die Abrufbarkeit auch von der Länge der zurückzulegenden

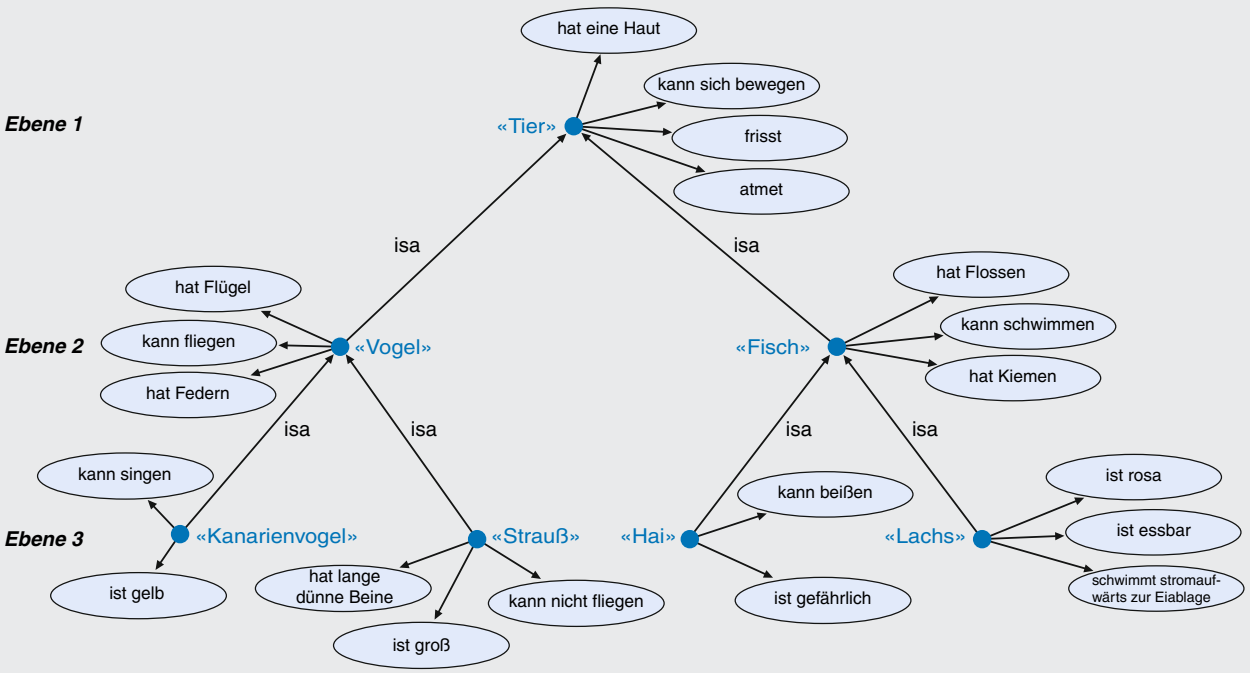
Exkurs 8.17

Experiment: Hierarchische Gedächtnisstruktur

Ausgehend von der in ◘ Abb. 8.20 dargestellten hypothetischen Gedächtnisstruktur über drei aufeinander bezogene hierarchische Ebenen ließen Collins und Quillian (1969) ihre Versuchspersonen verschiedene Aussagen über Konzepte (Sätze) danach beurteilen, ob sie richtig oder falsch waren, zum Beispiel: „Ein Hai kann schwimmen" (richtig); „Eine Forelle hat Flügel" (falsch); „Ein Kanarienvogel ist gelb" (richtig). Die Antwort sollte schnellstmöglich durch das Drücken einer von zwei Tasten erfolgen. Gemessen wurde die Reaktionszeit als abhängige Variable. Hier zeigten sich deutliche Unterschiede, je nachdem, ob die Aussage sich auf ein und dieselbe kategoriale Ebene bezog oder ob höhere Ebenen zur Beurteilung der Aussage notwendig waren.
So wurden zum Beispiel die drei folgenden Aussagen miteinander verglichen:

1. Ein Kanarienvogel kann singen (gleiche Ebene; 1,31 s).
2. Ein Kanarienvogel hat Federn (zwei Ebenen; 1,38 s).
3. Ein Kanarienvogel hat eine Haut (drei Ebenen; 1,47 s).

Wenn unser kategoriales Wissen so aufgebaut ist wie in ◘ Abb. 8.20 skizziert, dann müsste man erwarten, dass Satz 1 (gleiche Ebene) schneller verifiziert wird als Satz 2 (zwei Ebenen) und dieser wieder schneller als Satz 3 (drei Ebenen). Genau das war der Fall, wie die oben aufgeführten Reaktionszeiten belegen. Das heißt, die Reaktionszeiten nehmen mit der Anzahl der aufzusuchenden Knoten zu. Daraus folgerten die Autoren, dass die zur Bestätigung des ersten Satzes notwendige Information unmittelbar bei dem Knoten „Kanarienvogel" gespeichert ist, die für die Bestätigung des zweiten Satzes notwendige Information (Merkmal: „Federn zu haben") jedoch von dem übergeordneten Knoten (Konzept: Vogel) abgeleitet werden muss, wo dieses Merkmal lokalisiert ist. Auch das Merkmal „Haut zu haben" ist nicht gesondert beim „Kanarienvogel" gespeichert, sondern findet sich bei dem hierarchisch höheren Oberbegriff „Tier". Diese Ergebnisse sprechen somit für eine hierarchische Gedächtnisanordnung. Allerdings zeigen spätere Untersuchungen (Conrad 1972), dass auch die Häufigkeit, mit der man bestimmten Sachverhalten in der Erfahrung begegnet, zu verkürzten Abrufzeiten (auch bei eigentlich höher gelegenen Merkmalen) führt. Es wird angenommen, dass in solchen Fällen die Information auch direkter bei dem treffenden abgefragten Konzept (Kanarienvogel) gespeichert sein kann.



◘ **Abb. 8.20 Hierarchische Gedächtnisstruktur.** Beispiel eines hierarchischen Netzwerks zur Repräsentation von Wissen über Vögel und Fische. (Anderson 1996)

Wegstrecke abhängig sein, was Collins und Quillian (1969) mit dem in ▶ Exkurs 8.17 dargestellten Experiment belegen konnten.

Andererseits wird jedoch argumentiert, dass es nicht sehr wahrscheinlich ist, dass wir bei sehr einfachen Fragen erst die isa-Verbindungen zwischen den Knoten absuchen, sondern dass wir vielmehr auf gespeicherte **Prototypen** (typische Beispiele eines Vogels) zurückgreifen. So brauchen wir zum Beispiel zur Bestätigung der Aussage: „Ein Strauß ist ein Vogel" zumeist mehr Zeit als für die Beantwortung: „Ein Spatz ist ein Vogel", denn ein typischer Vogel sollte fliegen können, was ein Strauß nicht kann (Lindsay und Norman 1981)

(Weitere Ausführungen dazu, zu kognitionspsychologischen Ansätzen finden Sie in ▶ Kap. 9 sowie im *Zusatztext online*).

Semantisches Wissen ist in semantischen oder propositionalen Netzwerken repräsentiert.

Kontext

Neben der Organisation der Gedächtnisinhalte haben spezifische Kontextinformationen Einfluss auf die Speicherung im Langzeitgedächtnis. Die Encodierung von Reizen findet immer unter spezifischen Kontextbedingungen statt. Diese werden of-

Exkurs 8.18

Experiment: Abrufhinweis

In einem einfachen Experiment konnten Tulving und Pearlstone (1966) die Wirkung von Abrufhilfen demonstrieren. Die Versuchspersonen wurden gebeten, sich eine lange Liste verschiedenster Wörter (siehe Tabelle) einzuprägen, wobei es sich um Namen von Tieren, Früchten, Farben oder anderen Gruppierungen handelte. Bei der späteren Gedächtnisprüfung wurden die Versuchspersonen in zwei Gruppen geteilt. Der einen Gruppe wurden dabei die unten in der Tabelle genannten Oberbegriffe wie Tier, Frucht und Farbe als Hinweisreize gegeben, unter die sich die Wörter der Liste einordnen ließen.

Erinnerungsliste		
Hund	Baumwolle	Öl
Katze	Wolle	Gas
Pferd	Seide	Kohle
Kuh	Kunstseide	Holz
Apfel	Blau	Doktor
Orange	Rot	Rechtsanwalt
Pfirsich	Grün	Lehrer
Banane	Gelb	Zahnarzt
Stuhl	Messer	Fußball
Tisch	Löffel	Baseball
Bett	Gabel	Basketball
Sofa	Pfanne	Tennis
Messer	Hammer	Hemd
Pistole	Säge	Socken
Gewehr	Nägel	Hose
Bombe	Schraubenzieher	Schuhe
Abrufhinweise		
Tiere	Kleider	Brennstoff
Früchte	Farbe	Berufe
Möbel	Utensilien	Sportarten
Waffen	Werkzeug	Kleidung

(nach von Tulving und Pearlstone 1966)

Die Kontrollgruppe erhielt dagegen keine weiteren Informationen zur Liste. Wie zu erwarten, konnten die Versuchspersonen, die die Abrufhinweise erhalten hatten, wesentlich mehr Wörter erinnern als die Kontrollgruppe. Wenn anschließend auch den Versuchspersonen der Kontrollgruppe ebenfalls die Retrieval Cues zur Verfügung gestellt wurden, konnten sie genauso viele Wörter erinnern wie die Experimentalgruppe. Diese Ergebnisse demonstrieren, dass für ein Nichterinnern-Können allein Probleme während des Abrufens verantwortlich sein können (vgl. auch ▶ Exkurs 8.17).

fenbar in gewissem Umfang im Gedächtnis mitgespeichert und können, werden sie erneut vorgegeben, als Abrufhinweise dienen. An bestimmte Dinge, aber auch gelernte verbale Inhalte, erinnern wir uns besser, wenn wir uns in demselben Kontext, in derselben Umgebung und/oder in derselben Situation befinden, in welcher wir die Inhalte encodiert haben (Estes 1972). Diesen Kontexteffekt werden wir im nächsten Abschnitt beim Abruf aus dem Langzeitgedächtnis genauer besprechen.

8.5.4 Abruf aus dem Langzeitgedächtnis

Häufig kommt es vor, dass wir uns an bestimmte Dinge, die wir erlebt haben und die wir eigentlich wissen müssten, gerade nicht erinnern können. Das ist besonders ärgerlich, wenn wir uns in einem Examen befinden. Erstaunlicherweise sind uns in vielen Fällen die besagten Inhalte nach der Prüfung oder später jedoch wieder präsent. Das zeigt, dass die Information offenbar unter bestimmten Bedingungen oder zu einem bestimmten Zeitpunkt nur nicht zugängig und damit nicht abrufbar war, aber doch nicht in dem Sinn „vergessen", dass sie aus dem Gedächtnis gelöscht wären.

Das Beispiel verdeutlicht die Tatsache, dass ein „Nichterinnern-können" von Inhalten des Langzeitgedächtnisses nicht unbedingt auf den Verlust dieser Gedächtnisinhalte zurückzuführen ist, sondern vielmehr darauf, dass der Zugriff auf diese Informationen zu bestimmten Zeiten oder unter bestimmten Umständen nicht möglich ist oder auch, weil wir an einer falschen Stelle suchen. Insofern wird das Abrufen aus dem Langzeitgedächtnis vielfach verglichen mit dem Auffinden eines Buches in einer großen Bibliothek. Das Nichtauffinden eines Buches muss nicht notwendigerweise heißen, dass das Buch nicht vorhanden ist. Es mag auch daran liegen, dass wir an einem falschen Platz suchen, es an einem anderen Ort abgestellt ist, oder dass die Bibliotheksverweise falsch sind, und es darum nicht auffindbar ist.

Hierin wird auch ein wesentlicher Unterschied des Langzeitgedächtnisses zum Arbeitsgedächtnis gesehen, bei dem ein „Nichterinnern-können" eines bestimmten Items darauf zurückgeführt wird, dass die Speicherkapazität überschritten war, denn weder veränderte Suchstrategien noch Situationsänderungen können hier das verlorene Item wieder zu Tage fördern.

Methoden des Abrufs

Offenbar ist es nicht ohne Bedeutung, in welcher Weise wir die Information aus dem Langzeitspeicher abrufen. Es macht einen großen Unterschied, ob wir Inhalte frei reproduzieren sollen, oder ob wir bestimmte Dinge nur wiedererkennen sollen. So werden bei der Prüfung des Langzeitgedächtnisses zumeist zwei Methoden unterschieden:

1. **Freie Reproduktion** (*free-recall*) Hier haben wir einen früher gelernten Gedächtnisinhalt zu reproduzieren, für den wir keine besonderen Hinweisreize oder Abrufhilfen erhalten, zum Beispiel: Wie heißt die Hauptstadt von Kolumbien? Oder: Wen hast du auf der Party getroffen?
2. **Wiedererkennen** (*recognition*) Hier werden wir gefragt, ob wir einen dargebotenen Reiz als einen bereits früher erfahrenen wieder erkennen können, zum Beispiel: Welches ist die Hauptstadt von Kolumbien: (1) Medellin, (2) Quito, (3) Bogotá, (4) Kali? Oder: War Anton auch auf der Party?

Wie bereits deutlich geworden sein dürfte, unterscheiden sich die beiden Verfahren darin, dass sie in unterschiedlichem Maße *Abrufhilfen* zur Verfügung stellen und dadurch unterschiedliche Erarbeitungsprozesse angeregt werden. Da die Abrufhilfen bei einer Wiedererkennungsaufgabe generell ausführlicher und zweckmäßiger sind als bei der freien Reproduktion, führen Wiedererkennungsaufgaben üblicherweise zu besseren Erinnerungsleistungen (Tulving 1974). Darum erleben Studenten bei schriftlichen Prüfungen Mehrfachwahlaufgaben (Wiedererkennen) oft als leichter als Ergänzungsaufgaben (freie Reproduktion; vgl. dazu die Ebbinghausschen Vergessenskurven in ◘ Abb. 8.3). Ein richtiges Antworten kann aber auch auf andere Weise zustande kommen. Bisweilen entscheiden wir uns anhand des Gefühls der Vertrautheit (*feeling of familiarity*) für eine der Antwortalternativen und können dabei die korrekte Antwort treffen, ohne über eine eigentliche Erinnerung *(recollection)* der abgefragten Information zu verfügen (für eine Diskussion dieser Zwei-Prozess-Annahme siehe Mandler 2008).

Wie diese Darlegungen zeigen, kommt den Abrufhilfen beim Rückruf aus dem Langzeitgedächtnis eine bedeutende Rolle zu.

Abrufhinweise

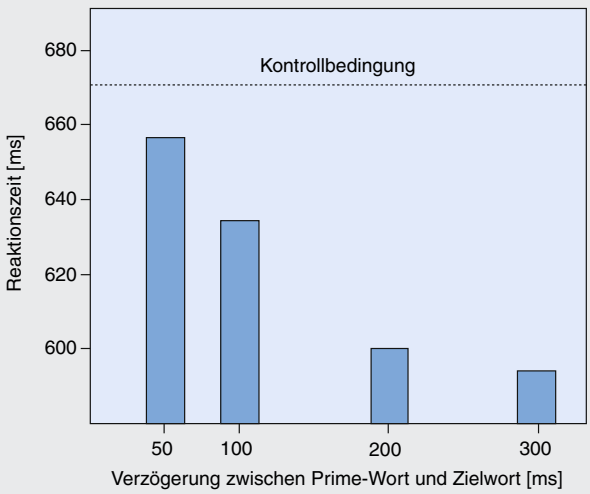
Um Gedächtnisinhalte oder Informationen aus dem Langzeitgedächtnis abzurufen, verwenden wir absichtlich oder unabsichtlich sogenannte **Abrufhinweise** (*retrieval cues*). Sie können von außen durch andere Personen oder auch in Form von Prüfungsfragen an uns herangetragen werden (Welche Gedächtnisprinzipien fallen Ihnen zu den Forschungen von G. Sperling ein?) oder sie können von uns selbst intern als Fragen aufgeworfen werden (Woher kenne ich diese Person? Wie war doch noch ihr Name? War sie nicht auch auf der Party?). Solche Fragen dienen als Hinweise, die, wenn sie richtig codiert sind, zu der gesuchten Information führen, ähnlich wie die korrekte Signatur uns zu dem gesuchten Buch aus der Bibliothek verhilft. Hier wie dort (wie die Beispiele zeigen) gibt es oft mehr als einen Schlüssel. Bisweilen jedoch verfügen wir nicht über den passenden Abrufhinweis, so dass der Abruf nicht gelingt, wie das vielfach in Wissensprüfungen der Fall ist, wenn der Prüfer andere „Schlüsselwörter" benutzt, als die, unter denen der Prüfling die Information abgespeichert hat. Wird die Frage nach dem gleichen Inhalt etwas anders formuliert oder aber in einem anderen Zusammenhang gestellt, kann die Antwort oft sofort oder leichter gefunden werden, was sich auch experimentell demonstrieren lässt (► Exkurs 8.18).

Abrufhinweise gehen im Wesentlichen auf die Einprägungsphase der Gedächtnisinhalte zurück. Sie beruhen auf den Assoziationen, die wir während der Encodierung gebildet haben. Während dieser Zeit oder auch bei späteren Bearbeitungen entsteht ein mehr oder weniger eng verwobenes Netz von Assoziationen, das wir gespeichert halten. Wird durch einen gegebenen Abrufhinweis in diesem Netz ein gewisser Bereich von Assoziationen aktiviert, so wird dieses Bahnen oder „Wecken von Assoziationen" auch als **Priming** bezeichnet (James1890). Vielfach

Exkurs 8.19

Genauer betrachtet: Priming-Effekte

Zur Demonstration von Priming-Effekten ließen Ratcliff und McKoon (1981) ihre Versuchspersonen sich eine Reihe von Sätzen merken, wie zum Beispiel: „Der Arzt hasste das Buch." Danach wurde ihnen am Bildschirm eine Worterkennungsaufgabe vorgegeben, bei der jeweils ein Hauptwort (zum Beispiel „Buch") dargeboten wurde. Die Versuchsperson hatte zu entscheiden, ob dieses Zielwort in dem zuvor gelernten Satz enthalten war oder nicht. Wird nun zusätzlich, kurz bevor das Zielwort dargeboten wird, noch ein Prime-Wort, das aus demselben Satz entstammt, als Bahnungshilfe eingeblendet (zum Beispiel „Arzt"), so zeigt sich, dass unter dieser Bedingung das Zielwort („Buch") schneller erkannt wird als unter der Kontrollbedingung ohne ein Bahnungs-Wort. Wie ◘ Abb. 8.22 zeigt, ist dieser Priming-Effekt von der Zeitdifferenz zwischen der Vorgabe von Prime-Wort und Zielwort abhängig. Untersucht wurde der Bereich zwischen 50 und 300 ms. Alle Intervalle waren damit zu kurz, um eine bewusste Erwartung bestimmter Wörter zuzulassen. Man kann daher die sinkenden Reaktionszeiten als Hinweis darauf interpretieren, mit welcher Geschwindigkeit die automatische Aktivierungsausbreitung entlang der gelernten Assoziationsverbindungen im Netzwerk (hier von „Arzt" zu „Buch") verläuft. Je mehr Zeit (bis ca. 250 ms) nach dem Prime-Wort zur Aktivierungsausbreitung zur Verfügung steht, desto schneller wird das Zielwort erkannt. Umgekehrt spiegelt der Abfall der Reaktionszeiten die Geschwindigkeit der Aktivierungsausbreitung wider.



◘ **Abb. 8.22** Abhängigkeit des Priming-Effekts von der Zeitdifferenz zwischen Prime und Zielwort

erfolgt die Aktivierung (das Priming) des Assoziationsbereichs auch, ohne dass uns dies bewusst wird, wie das auch bei Kontextvariablen der Fall ist (vergleiche ◘ Abb. 8.21). Bereits bei drei Monate alten Säuglingen konnte durch die Vorgabe von Retrieval Cues aus der Lernphase der Abruf von sonst scheinbar vergessenen Verhaltensreaktionen aktiviert werden (Rovee-Collier und Hayne 1987).

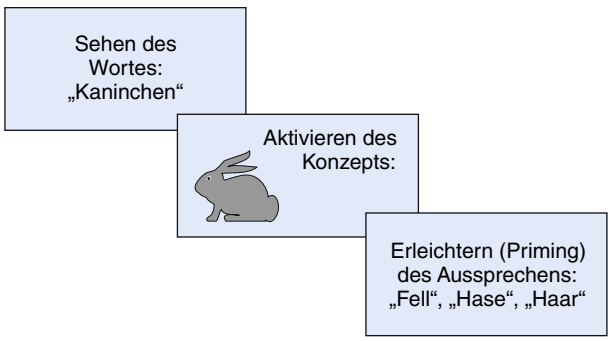
Abrufhinweise

Reize, die uns zur Verfügung stehen, wenn wir nach einer Erinnerung suchen, heißen Abrufhinweise (*retrieval cues*).

Exkurs 8.20

Genauer betrachtet: Ein Abrufreiz-Problem

Wird Versuchspersonen eine Liste von Sätzen vorgegeben, von denen einer das Wort „piano" enthält, so können die Abrufhinweise „something heavy" und „something melodious" hilfreich sein, um eine spätere Erinnerung an das Wort hervorzurufen. Welcher der beiden Hinweise der effektivere ist, hängt dabei davon ab, wie der Satz, der „piano" enthielt, beschaffen war. Lautete der Satz „The man lifted the piano", was den Gewichtsaspekt des Instruments in den Vordergrund stellt, so wirkt „something heavy" hilfreicher als „something melodious". Lautete der Satz dagegen „The man tuned the piano", wodurch der „Musikalitätsaspekt" betont wird, ist es umgekehrt (Barclay et al. 1974).



◘ **Abb. 8.21 Priming.** Das Sehen oder Hören des Wortes „Kaninchen" aktiviert verwandte Assoziationen des Konzepts und erleichtert damit das Aussprechen zugehöriger Worte, was als Priming bezeichnet wird. (Bower 1986)

Eingehender hat sich die moderne kognitive Gedächtnisforschung im Zusammenhang mit der Netzwerktheorie mit dem *assoziativen Priming* befasst (vgl. auch *Zusatztext online* propositionale Netzwerke). Darunter wird eine unbewusste Bahnung von Wissensstrukturen verstanden, die durch *Aktivationsausbreitung* innerhalb eines kognitiven propositionalen Netzes entlang der vorhandenen, als Pfade bezeichneten Verbindungen erfolgt und damit die Abrufbarkeit mitaktivierter Konzepte oder Items erleichtert. Wird zum Beispiel einer Versuchsperson das Wort „Hund" dargeboten, wird nicht nur dieses Konzept aktiviert, sondern ebenso, mit geringer Verzögerung, weitere Konzepte der Netzwerkumgebung wie vielleicht „Knochen" oder „Fleisch". Derartige Priming-*Effekte* der Aktivationsausbreitung konnten in verschiedenen Experimenten (▶ Exkurs 8.19) aufgezeigt werden, die zugleich einen Hinweis auf die Geschwindigkeit der Aktivationsausbreitung im Netzwerk geben. Aus diesen Experimenten lässt sich ableiten, dass die Geschwindigkeit und die Wahrscheinlichkeit des Zugriffs auf einen Gedächtnisinhalt durch dessen Aktivationshöhe bestimmt werden. Diese hängt einerseits von der Häufigkeit und dem Zeitpunkt seines letzten Abrufes ab, wie auch andererseits von der Aktivationsausbreitung zugehöriger assoziativer Gedächtnisinhalte.

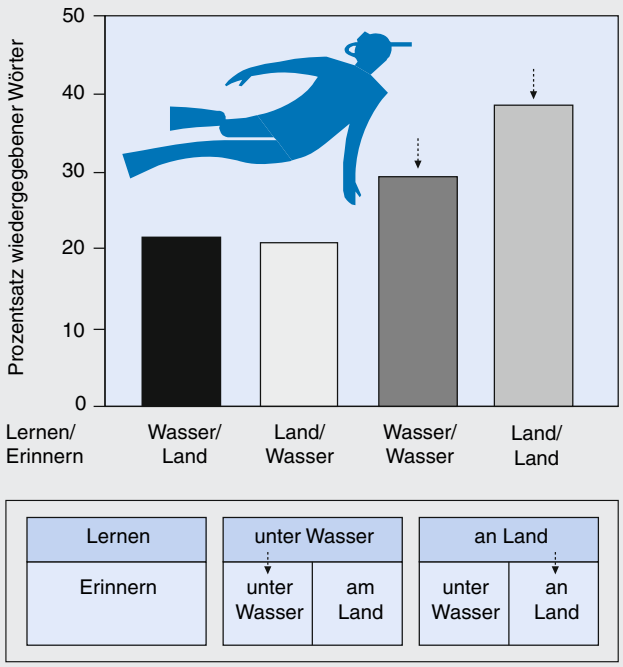
Problematisch ist es jedoch, wenn mit dem gleichen Abrufhinweis verschiedene Informationen verbunden sind. Wollen wir mit einem solchen Abrufhinweis eine bestimmte Zielinformation wiederfinden, so führt dies zu einer Interferenz zwischen den verschiedenen Informationen, die hierbei gleichzeitig mitaktiviert werden. Wenn wir zum Beispiel von einem Freund, der

Exkurs 8.21

Experiment: zum Kontexteffekt

In einem viel zitierten Experiment ließen Godden und Baddeley (1975) Sporttaucher eine Liste von Wörtern unter zwei deutlich verschiedenen Kontextbedingungen lernen. Die eine Gruppe von Tauchern lernte die Liste, während sie sich etwa 15 m unter Wasser aufhielt. Die Teilnehmer der anderen Gruppe lernten die Liste, während sie am Strand saßen. Zur Behaltensprüfung wurde dann später jede Gruppe geteilt, wobei jeweils die eine Hälfte unter Wasser abgeprüft wurde, die andere am Strand.

Es zeigte sich, dass die Erinnerungsleistung überlegen ausfiel, wenn der Abruf in demselben Kontext wie das Einprägen vorgenommen wurde: Wie ◘ Abb. 8.23 zeigt, erinnerten die Taucher wesentlich mehr Wörter (40 %), wenn sie in derselben Situation getestet wurden, in der sie auch gelernt hatten. Hatten sie unter Wasser gelernt, konnten sie sich unter Wasser auch besser erinnern; hatten sie an Land gelernt, war ihre Erinnerungsleistung am Land besser.



◘ **Abb. 8.23 Kontexteffekt.** Die Erinnerungsleistungen sind besser, wenn Kontextbedingungen in der Lern- und Abrufphase übereinstimmen

umgezogen ist, eine neue Telefonnummer erhalten haben, die wir uns merken wollen, so führt das zu Schwierigkeiten beim Abruf, weil der Hinweisreiz „Telefonnummer des Freundes" gleichzeitig sowohl die alte als auch die neue Nummer in unserem Gedächtnis aktiviert, wodurch die Aktivation für das gesuchte Zielitem (die neue Telefonnummer) vermindert wird. Diese Verminderung ist umso stärker, je mehr weitere Items (hier: Nummern) mit dem Hinweisreiz verbunden sind. Ein weiteres Abrufproblem wird in ▶ Exkurs 8.20 dargestellt

Der Abruf von Information wird verbessert, wenn die Hinweisreize (Kontexte) von Abruf- und Encodierungssituation übereinstimmen.

Kontexteffekte Wenn wir uns in den Kontext oder die Situation versetzen, in der wir etwas erlebt oder gelernt haben, kann dies den Abruf aus dem Gedächtnis als Prime aktivieren. So wird es uns zum Beispiel auch leichter fallen, die Namen oder Gesichter unserer früheren Klassenkameraden aus der Schule zu erinnern, wenn wir die alte Schule oder den damaligen Klassenraum aufsuchen, als wenn wir am Arbeitsplatz danach gefragt werden. Diesen Effekt des kontextabhängigen Lernens und Behaltens haben Godden und Baddeley (1975) in einem bekannten Experiment mit Flossentauchern nachgewiesen (▶ Exkurs 8.21). Das Prinzip, dass mit zunehmend größerer Ähnlichkeit zwischen dem Kontext der Codierungssituation und der späteren Abrufsituation das Erinnern erleichtert wird, wird auch als Encodierspezifität bezeichnet.

Auch wenn wir uns an bestimmte Erlebnisse aus der Kindheit erinnern wollen, so wird die Erinnerung wesentlich erleichtert und differenzierter, wenn wir den Platz des damaligen Geschehens wieder aufsuchen. Hier dienen die damaligen **Kontextreize** als **Abruf**- oder **Erinnerungshilfen.** Von dieser Art der Erinnerungsaktivierung wird auch in der Kriminalistik Gebrauch gemacht, indem Zeugen an den Ort des Geschehens gebracht werden, um dort ihre Aussagen zu machen (genauer in: *Zusatztext online*). Der Kontext, in welchem wir ein Ereignis oder einen Lerninhalt eingespeichert haben, ist oft einer der stärksten *retrieval cues*, insbesondere auch dann, wenn es sich um emotionale Erlebnisse handelt. Sie können dann am Ort des Geschehens in voller Deutlichkeit wieder präsent sein.

Kontexteffekte sind möglicherweise auch für die sogenannte Déjà-vu-Erfahrung (französisch für „bereits gesehen") verantwortlich sein, wenn wir plötzlich einem Menschen begegnen, den wir zu kennen glauben, den wir aber tatsächlich noch nie gesehen haben. Hier wird angenommen, dass Umgebungsreize, die bestimmten früheren Erfahrungen ähneln, unbewusst diese

früheren Erlebnisse wachrufen und uns das Gefühl vermitteln, die Person oder die Situation schon einmal gesehen zu haben (Alcock 1981; Lampinen 2002).

Neben der Ähnlichkeit der äußeren Umstände (externe Kontexte) können auch ähnliche innere Zustände oder Befindlichkeiten (interne Kontexte) beim Encodieren und Abrufen das Erinnern erleichtern. Zum Beispiel können wir Erlebnisse, die wir unter Drogeneinfluss (beispielsweise durch Alkohol, Marihuana) oder in ekstatischer Freude gemacht haben, dann wieder besser oder überhaupt erinnern, wenn wir uns wieder in einem gleichartigen Zustand befinden. So wurden Verbesserungen der Erinnerungsleistung gefunden, wenn sowohl in der Lern- als auch in der Abrufphase eine geringe Menge an Marihuana oder Alkohol konsumiert wurde, als wenn dieses nur in einer der beiden Phase passierte (Eich 1980). Diese Tatsache wird als **zustandsabhängiges Lernen** (*state-dependent learning*) bezeichnet. In ähnlicher Weise verfälschen auch Stimmungen unsere Erinnerungen. So fallen Ihnen viele frohe Erinnerungen nicht ein, wenn Sie sich in einem depressiven Zustand befinden, und umgekehrt wird es Ihnen schwerfallen, sich an traurige Momente Ihres Lebens zu erinnern, wenn Sie sich auf einer Party in Hochstimmung befinden. Jemand, der vergessen hat, wo er in betrunkenem Zustand sein Geld versteckt hat, erinnert sich an den Ort bisweilen erst wieder, wenn er wieder betrunken ist (DeSteno et al. 2000).

Stimmungen während der Abrufsituation können schließlich auch zu kontextspezifischen Erinnerungsverfälschungen führen. So zeigten Untersuchungen an Personen, die zur Zeit der Befragung an Depressionen litten, dass sie bei der Befragung ihre Eltern als zurückweisend, strafend oder Schuld erzeugend erinnern, während Personen, die als Kinder depressiv waren, es aber bei der Befragung nicht mehr sind, ihre Eltern so beschreiben wie Personen, die nie depressiv waren (Lewis 1992).

Als Kontexteffekt (*context effect*) bezeichnet man die Beobachtung, dass gelernte Information im gleichen Kontext besser behalten und erinnert wird als bei einem Kontextwechsel. Prinzip der Encodierspezifität.

Encodierspezifität

Das Prinzip, dass der spätere Abruf von Information verbessert wird, wenn die Hinweisreize (Kontext) von Abruf- und Codierungssituation übereinstimmen.

8.5.5 Ursachen des Vergessens

Die wohl älteste uns überlieferte Erklärung des Vergessens ist die von Platon (427–347 v. Chr.) in seinem Dialog *Theaitetos* (Platon 1961) gegebene Metapher der wächsernen Tafel, in der sich unsere Gedanken oder Wahrnehmungen einprägen: „… und was sich da abgeprägt hat, dessen erinnern wir uns … solange das Abbild sich auf der Tafel hält. Wenn es aber verwischt wird oder überhaupt nicht die Kraft gehabt hat sich abzuprägen, so haben wir es vergessen und wissen es nicht."

Beide von Platon für das Vergessen angeführten Erklärungen werden neben anderen Erklärungen auch noch heute als mögliche Ursachen des Vergessens diskutiert. In Betracht gezogen werden heute folgende Möglichkeiten:

1. **Nichteinprägung** – Der gesuchte Gedächtnisinhalt wurde gar nicht erst gespeichert beziehungsweise nicht genügend eingeprägt und kann daher auch nicht abgerufen werden.
2. **Zerfall (decay)** – Der gespeicherte Gedächtnisinhalt geht im Laufe der Zeit verloren, verbleicht, verblasst. Oder nach Ebbinghaus (1885): Die eingravierte Gedächtnisspur, das Engramm (griech.: graphein = zeichnen, ritzen) zerfällt.
3. **Ersetzen (displacement) und Entfallen** – Die gespeicherten Items werden wegen begrenzter Kapazität des Gedächtnisspeichers durch neu eingegebene Informationen dem Alter nach ersetzt und sind dann nicht mehr abrufbar (KZG).
4. **Nichtzugänglichkeit** – Die gespeicherte Information ist unter bestimmten Umständen bisweilen nicht zugängig. Ihr Abruf scheint blockiert. Dafür kommen folgende Gründe in Betracht:
   - **Interferenz:** Ähnliche Gedächtnisinhalte interferieren miteinander und blockieren dadurch den Abruf.
   - **Nichtauffindbarkeit:** Die Information ist (wie ein Buch) unter einem anderen Etikett, anderer Signatur abgespeichert als die, unter der wir danach suchen (Misslingen des Abrufes).
   - **Emotionale Faktoren:** Starke Erregung kann sowohl mit der Aufnahme als auch mit dem Abruf von Gedächtnisinhalten interferieren.
   - **Motivationales Vergessen:** Unliebsame Erlebnisinhalte können für das Bewusstsein unzugänglich werden.

Nachfolgend werden wir diese möglichen Ursachen des angeblichen „Vergessens" im Einzelnen ausführlicher besprechen. Dabei werden wir beim Thema Interferenz auch nochmals auf Unterschiede im Abrufprozess zurückkommen. Über den ersten Punkt dieser einleitenden Aufstellung (Nichtspeicherung) haben wir bereits bei der Betrachtung der Encodierung ausführlich gesprochen, so dass wir ihn hier nur der Vollständigkeit halber nochmals mit aufführen.

Nichteinprägung

bezieht sich auf die Tatsache, dass wir infolge unserer begrenzten Aufmerksamkeitskapazität nicht alle im sensorischen Speicher bereitgestellten Informationen ins Kurzzeitgedächtnis aufnehmen und uns einprägen können (vergleiche die Ausführungen zum Kurzzeitgedächtnis, ► Abschn. 8.4).

Zerfall (*decay*) von Gedächtnisspuren

Der Zerfall von Gedächtnisinhalten für das *sensorische Gedächtnis* ist nachweislich die Regel, und auch beim *Arbeitsgedächtnis* tritt Zerfall auf, wenn keine Erhaltenswiederholung der eingegangenen Informationen erfolgt.

Obgleich es plausibel erscheint, dass auch im Langzeitgedächtnis viele Erinnerungen durch einen irgendwie gearteten Zerfall der Gedächtnisinhalte verloren gehen, ließ sich dies experimentell nicht mit Sicherheit belegen. (Dafür müsste man im Experiment sicherstellen, dass in der Zwischenzeit bis zum Abruf der Information Einflüsse wie Interferenzen oder Veränderungen durch weitere kognitive Aktivitäten, Unzugänglichkeiten oder motivationale Gründe ausgeschlossen werden können.) Zwar haben wir

Exkurs 8.22

Genauer betrachtet: Tip-of-the-Tongue-Zustände

Einer der Ersten, die dieses „Gefühl, es zu wissen" (*feeling of knowing*) untersuchte, war Hart (1965). Er stellte fest, dass Personen bei Wissensfragen, bei denen sie ein starkes Wissensgefühl zu haben berichten, aber die Antwort nicht wussten, wesentlich häufiger in der Lage waren, den richtigen Inhalt wiederzuerkennen, als solche, die nur ein geringes Wissensgefühl hatten. Das spricht dafür, dass dies *feeling of knowing* durchaus nicht unbegründet ist. Tatsächlich wird nach Reason und Lucas (1984) etwa die Hälfte der Fälle von Tip-of-the-tongue- (TOT-)Zuständen durch verschiedene Suchstrategien gelöst. Die restlichen werden wieder hälftig durch spezifische externe Erinnerungsanstöße wachgerufen oder tauchen offenbar plötzlich spontan auf.

im Bereich des *Wissensgedächtnisses* durchaus das Erlebnis, dass die Erinnerungen im Laufe der Zeit „verschwommen, unklar oder dunkel werden". Wir erinnern uns an das, was wir gestern erlebt haben, meist besser als an das, was eine Woche oder einen Monat oder noch länger zurückliegt. Im Gegensatz dazu bleiben jedoch *motorische Fertigkeiten* wie Skifahren oder Schwimmen über Jahre hinweg erhalten, auch wenn sie zwischenzeitlich nicht wieder geübt werden. Auch manche belanglosen Dinge wie Schlagertitel, Werbespots oder sogar in der Kindheit gelernte Kinderreime oder auch längere Gedichte bleiben bis ins hohe Alter nahezu vollständig im Gedächtnis erhalten, auch wenn Personen jahrelang nicht auf diese Informationen zugegriffen hatten.

Ersetzen und Entfallen (*displacement*)

Ersetzen und Entfallen von Gedächtnisinhalten durch neu hinzukommende Information wird als bedeutsamer Faktor nur für das Kurzzeitgedächtnis diskutiert, obwohl auch für den sensorischen Speicher ähnliche Phänomene (Maskierung) zu beobachten sind.

Nichtzugänglichkeit

Die gespeicherte Information ist unter bestimmten Umständen nicht zugänglich. Ihr Abruf scheint blockiert. Das kann verschiedene Gründe haben: Einer der am eingehendsten untersuchten Aspekte hierbei ist der Erlebniszustand, bei dem wir uns sicher sind, dass wir es wissen, aber unfähig sind, es wirklich zu erinnern. Das Wort liegt uns „auf der Zunge", aber es ist nicht zugänglich. Dies wird als **Tip-of-the-tongue-Phänomen** oder **-Effekt** bezeichnet. Oft, aber nicht immer, helfen Abrufhinweise („Es beginnt mit K …"), um das blockierte Wort zu finden (▶ Exkurs 8.22).

Welche Ursachen für dieses Phänomen der Nichtzugänglichkeit verantwortlich sind, ist noch nicht endgültig geklärt (Baddeley 1997). Klarer scheinen die Zusammenhänge bei den folgenden Formen der Nichtzugänglichkeit – Interferenz, Nichtauffindbarkeit, emotionale Faktoren und motiviertes Vergessen – zu sein.

Interferenz

Die gegenseitige Beeinflussung gelernter, vor allem sehr ähnlicher Materialien, wird als Interferenz oder als interaktive Hemmung bezeichnet. Sie gilt als eine der wichtigsten Faktoren, die den Abruf behindern können. Interferenzen zwischen einem bereits gespeicherten und einem neuen Lernmaterial können sowohl das Erlernen als auch das Behalten beider beeinflussen. Wie diese Prozesse der **proaktiven** und **retroaktiven Interferenz** im Einzelnen zu verstehen sind, haben wir bereits in ▶ Abschn. 8.2.7 (Grundlagen der Gedächtnisforschung) ausführlicher besprochen. Am anfälligsten gegenüber Interferenzen scheint das Kurzzeitgedächtnis zu sein, während Materialien, die bereits im Langzeitgedächtnis eingespeichert sind, sich dort gegenseitig vermutlich weniger stören. Wohl aber können starke Interferenzeffekte auftreten, wenn die gespeicherten Inhalte wieder abgerufen werden sollen (▶ Exkurs 8.23), wobei es vermutlich auch zu Schwächungen des „Abrufpfades" kommen kann (siehe *Zusatztext online*).

Abrufmodelle

Zur Interpretation und Erklärung der Ergebnisse derartiger Experimente werden zurzeit zwei verschiedene **Abrufmodelle** diskutiert:

1. **Abruf als Suchprozess:** Hier wird angenommen, dass das Wiedererkennen des vorgegebenen Satzes (◘ Abb. 8.24) durch ein Absuchen der gespeicherten Informationen erfolgt. Die Berufsbezeichnung erschließt zunächst den zu prüfenden Suchbereich. Um die Aussage „Der Arzt trinkt ein Bier" wiederzuerkennen, erschließt das Wort „Arzt" den Suchbereich, der nur zwei Pfade hat („… ist im Laden" und „… trinkt ein Bier"), die abgesucht werden müssen. Dagegen müssen in dem anderen Fall, wenn der Suchbereich „Notar" angesprochen wird, drei verschiedene Pfade abgesucht werden, um den vorgegebenen Satz, zum Beispiel „Der Notar sucht ein Buch", wiederzuerkennen, was eine entsprechend längere Reaktionszeit zur Folge hat.
2. **Abruf als Aktivationsprozess:** Nach der Aktivationsausbreitungshypothese erfolgt das Wiedererkennen über eine entsprechende Aktivierung der jeweiligen im Gedächtnis vorhandenen Repräsentationen. In unserem Beispiel vereinfacht dargestellt: Um den Satz „Der Arzt trinkt ein Bier" wiederzuerkennen, wird zunächst die Repräsentation „Arzt" aktiviert, von wo aus die Aktivation sich über die verschiedenen (hier nur zwei), mit diesem Nomen verbundenen Pfade ausbreitet (vgl. ◘ Abb. 8.24). Die Wiedererkennung erfolgt, wenn sich genügend Aktivation bis zur gesuchten Repräsentation „trinkt ein Bier" ausgebreitet hat. Geht man von einer jeweils begrenzten anfänglichen Aktivation aus, wird die für jede Verbindung verbleibende Aktivierungsenergie umso geringer sein, je mehr Pfade von einer Quelle wegführen. Das heißt, je mehr Tatsachen mit der Berufsbezeichnung verbunden sind, desto schwächer wird die Aktivität auf jedem der Pfade und desto länger dauert es, bis genügend Aktivität die jeweilige Tatsachenaussage erreicht. Da sich im Beispielfall „Arzt" die Aktivation nur auf zwei Pfade aufteilen muss, im Beispielfall „Notar" jedoch auf drei Pfade, wird im zweiten Fall die Aktivationshöhe geringer sein, und es wird damit länger dauern, bis die jeweils erforderliche Aktivationsstärke erreicht ist und die Wiedererkennung erfolgt.

Exkurs 8.23

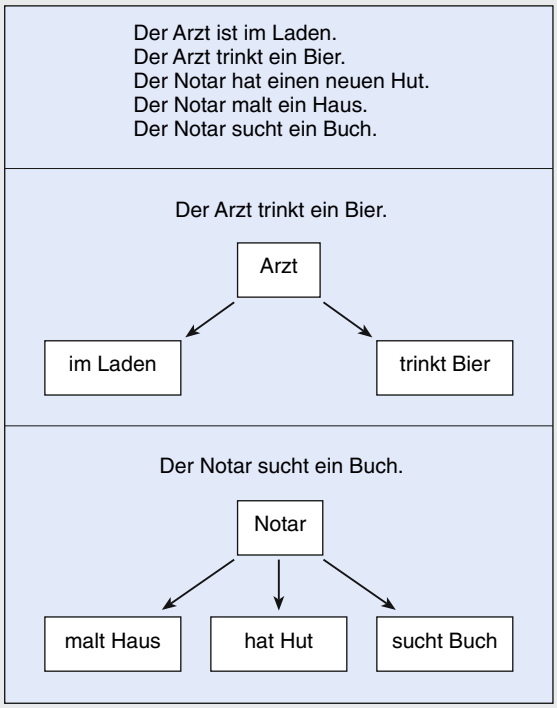
Experiment: Interferenzeffekte

Dass Interferenzeffekte auch auf der Ebene des Faktenwissens beim Abrufen dieser Inhalte auftreten können, wurde von Anderson und Mitarbeitern in verschiedenen Experimenten gezeigt. Einen Einblick gibt das folgende Experiment (Anderson 1983). Die Versuchspersonen lernten zunächst eine Reihe von einfachen Assoziationen zwischen bestimmten Tatsachenaussagen und einer Berufsbezeichnung (◘ Abb. 8.24), zum Beispiel könnten sie gelernt haben.

Der Arzt ist im Laden.
Der Arzt trinkt ein Bier.
Der Notar hat einen neuen Hut.
Der Notar malt ein Haus.
Der Notar sucht ein Buch.

Hierbei ist also eine Berufsbezeichnung (Arzt) nur mit zwei Tatsachen zu assoziieren, während der andere Berufsname (Notar) mit drei Aussagenverbunden ist. Nachdem die Versuchspersonen diese Assoziationen gründlich gelernt hatten, wurde ihnen später ein Wiedererkennungstest vorgegeben, in welchem sie die gelernten Fakten zu den Berufsbezeichnungen, die als Abrufreize verwendet wurden, wiedererkennen sollten. Bei diesem Test zeigte sich, dass die Versuchspersonen jeweils länger brauchten, um die Fakten bei der Berufsbezeichnung „Notar" wiederzuerkennen als die Fakten, die mit der Berufsbezeichnung „Arzt" verbunden worden waren. Das heißt also: Je mehr Fakten mit einem Begriff assoziiert sind, desto länger dauert der Abruf jedes einzelnen Faktums (Anderson 1983).

Wie verschiedene weitere Experimente zeigen konnten, können derartige Interferenzen durchaus auch zum vollständigen Misslingen des Abrufs führen, wenn bei hoher Interferenz die gebildeten Assoziationen nur schwach sind.



◘ **Abb. 8.24** Zu lernende Aussagen und damit unterschiedlich verbundene Assoziationen

Je mehr Fakten mit einem Begriff assoziiert sind, desto länger dauert der Abruf jedes einzelnen Faktums, denn die Zeit zum Wiedererkennen einer Proposition ist umgekehrt proportional zu ihrer Aktivationshöhe.

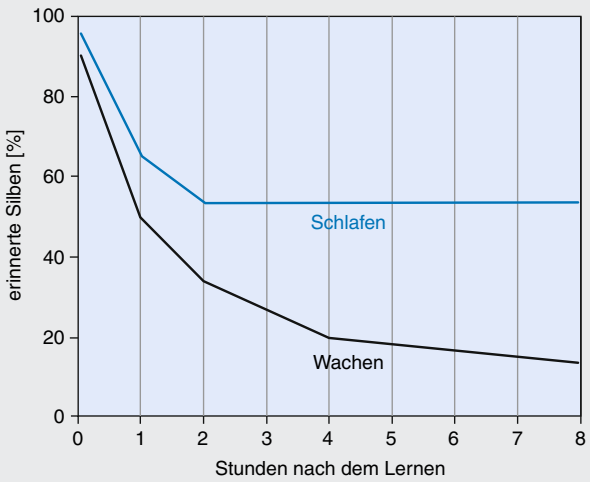
Das in ▶ Exkurs 8.23 dargestellte Untersuchungsbeispiel macht deutlich: Wenn mit dem gleichen Hinweisreiz verschiedene Informationen verbunden sind und wir mit dem Hinweisreiz eine bestimmte Zielinformation wiederfinden wollen, so führt dies zu einer Interferenz mit den anderen Informationen, die hierbei gleichzeitig mitaktiviert werden. Bei der Diskussion um die Ursachen des Vergessens taucht die Frage auf, ob es sich bei dem angenommenen *Zerfall von Gedächtnisinhalten* nicht in Wirklichkeit um Interferenzeffekte mit zusätzlichen Gedächtnisinhalten handelt, die gelernt werden. Dies führte zu der Frage, ob Versuchspersonen ein Lernmaterial besser behalten, wenn sie nach dem Lernen schlafen (unter der Annahme, dass hier keine neuen Informationen aufgenommen werden), als wenn sie wach sind. Dies konnte bereits von Jenkins und Dallenbach (1924) in einem klassischen Experiment nachgewiesen werden (▶ Exkurs 8.24).

Neuere Untersuchungen von Fowler et al. (1973) konnten bestätigen, dass die Zeit etwa eine Stunde vor Beginn des Nachtschlafes eine besonders gute Zeit zum Lernen ist, nicht dagegen die letzten Minuten vor dem Einschlafen. Auch Ekstrand (1972) kommt nach einem Literaturüberblick zu dem Schluss, dass während der Schlafperiode weniger vergessen wird. Allerdings scheint die entscheidende Variable nicht der Schlaf selbst zu sein, sondern die Tageszeit, zu der gelernt wird, denn in der Nacht gelerntes Material wird auch dann besser behalten, wenn die Versuchspersonen nachts wachgehalten wurden und erst am Tage schliefen (Hockey et al. 1972). Weitere Untersuchungen machten dann aber deutlich, dass das Material dann am besten behalten wird, wenn während des Lernens ein hoher Aktivierungsgrad besteht,

Exkurs 8.24

Experiment: Retroaktive Interferenz bei Wachen und Schlafen

Jenkins und Dallenbach (1924) ließen ihre (zwei) Versuchspersonen Tag für Tag eine Reihe von sinnlosen Silben lernen. Anschließend wurden die Silben nach verschieden langen Zeiten des Schlafens (in der Nacht) und des Wachens bis zu acht Stunden danach abgerufen. Wie ◘ Abb. 8.25 zeigt, waren die Behaltensleistungen in diesem Test wesentlich besser, wenn die Versuchspersonen nach dem Lernen schlafen konnten, als wenn sie wach blieben, was dafür spricht, dass Vergessen nicht so sehr durch Zerfall, sondern zumindest zu einem großen Teil auf Interferenz, Hemmung oder Störung durch neue Materialien zurückzuführen ist.



◘ **Abb. 8.25** Retroaktive Interferenz bei Wachen und Schlafen. Nach dem Lernen aufgenommene Information während des Wachens schwächt die Behaltensleistung. Dagegen ist die Behaltensleistung wesentlich besser, wenn wir nach dem Lernen schlafen und damit die Interferenz mit dem Tageserleben vermeiden

und dieser lag für viele der Versuchspersonen in den frühen Abendstunden (Anderson 1995).

Nichtauffindbarkeit

Wie bereits ausführlich besprochen, können Informationen oft deshalb nicht abgerufen werden weil passende Abrufreize fehlen oder der Kontext des Abrufes nicht zum Encodier-Kontext passt. Ein Nichtauffinden-Können mit dem Gefühl, „ich weiß es nicht" ist häufig insbesondere in Wissensprüfungen der Fall, wenn wir nach Inhalten gefragt werden, die bei uns unter einem ganz anderen Begriff, einem anderen Etikett und vielleicht auch noch in einem anderen Zusammenhang gespeichert wurden. Werden wir zum Beispiel nach dem Plastik-Chip-System gefragt, so kann es durchaus sein, dass wir nicht auf all das kommen, was wir unter dem Stichwort *token economy* oder unter dem deutschen Äquivalent „Münzsystem" gespeichert haben. Auch das Umgekehrte kann der Fall sein, je nachdem, nach welchem Lehrbuch wir gelernt haben.

Emotionale Faktoren

Erlebnisse, die für uns mit starken Emotionen verbunden waren, bleiben uns oft fast unauslöschlich in Erinnerung. Aber emotionale wie motivationale Faktoren können auch dazu beitragen, dass wir bestimmte Erinnerungen kaum wieder ins Bewusstsein zurückrufen können. Nach Atkinson et al. (1993) lassen sich fünf verschiedene emotionale Einflussfaktoren beim Langzeitgedächtnis unterscheiden:

1. Sowohl stark positive als auch stark negative emotionale Erlebnisse, die uns emotional bewegen, beanspruchen unser Bewusstsein für längere Zeit, und wir beschäftigen uns folglich länger mit ihnen als mit anderen alltäglichen Erlebnissen. Sie prägen sich dann besonders stark im Gedächtnis ein. Der Schreck und die emotionale Erregung, die uns erfassen, wenn wir plötzlich in einen lebensbedrohlichen (Auto-)Unfall oder einen Banküberfall verwickelt sind, lassen uns einerseits ein solches Erlebnis für Jahre nicht vergessen – auch wenn sich auf Nachfragen oft herausstellt, dass viele, vielleicht auch wichtige Details der Situation nicht erinnert werden können. Während das Nichterinnern-Können weitgehend darauf zurückzuführen ist, dass die Details bei hoher Erregung in der Schrecksekunde gar nicht erst encodiert wurden, so zeigt sich, dass die wahrgenommenen und uns erregenden Anteile von uns wieder und wieder reaktiviert werden, wenn wir sie Freunden erzählen oder selbst darüber nachdenken, sodass ein ständiges aktives Wiederholen (Rehearsal) und Organisieren stattfindet, was zu einer besseren Abspeicherung im und Erinnerung aus dem Langzeitgedächtnis führt (Neisser 1982).
2. So genannte **Blitzlichterinnerungen** (*flashbulb memories*), wie sie in der amerikanischen Literatur unter den starken emotionalen Erinnerungen gesondert unterschieden werden, bestehen darin, dass bei stark emotionalen Ereignissen die *äußeren Umstände* schlaglichtartig und dauerhaft festgehalten werden, unter denen wir ein emotional geladenes Ereignis wahrnahmen. Sonst belanglose Dinge, wie der Ort, an dem wir uns befanden, als uns die schreckliche Nachricht von Ereignissen wie der Challenger-Explosion oder dem Attentat auf John F. Kennedy oder dem Einsturz des World Trade Centers in New York erreichte, oder wer sie uns mitteilte, bleiben uns in Erinnerung. Es wird angenommen, dass solche erschütternden Ereignisse einen besonderen Gedächtnismechanismus aktivieren, der die Situation ähnlich wie eine Blitzlichtaufnahme festhält (Brown und Kulik 1977), doch gibt es hierüber bisher keine genaueren Erkenntnisse.
3. Negative Emotionen, Erwartungs- oder Versagensängste, wie sie häufig in wichtigen Examenssituationen auftreten und zeitweise eine Art Paniksituation auslösen, führen dazu, dass wesentliche Teile des Langzeitgedächtnisses blockiert zu sein scheinen und gestellte Fragen nicht beantwortet werden können. Wahrscheinlich, so wird angenommen, beeinflusst hierbei die Angst das Gedächtnis nicht direkt, sondern es interferieren vielmehr die mit der Angst verbundenen Angstgedanken mit dem eigentlichen Abruf und machen ihn dadurch unmöglich (Holmes 1974).
4. Ferner können sich Emotionen auch durch *Kontext-Effekte* beim zustandsabhängigen Lernen auf das Behalten und Vergessen gelernter Inhalte auswirken, da unser emotionaler Zustand während des Lernens als Teil des Kontextes verstanden

Exkurs 8.25

Genauer betrachtet: Beispiel einer Verdrängung

Zwei Mädchen im Alter von etwa zwölf Jahren wurden von ihren Eltern unter Bedingungen, die für die Mädchen unglaublich demütigend waren, in ein Bordell gebracht. Als dies bekannt wurde und die Mädchen vor Gericht ihre Geschichte erzählten, gaben sie sehr detailliert Informationen, die ihre Eltern und andere Verantwortliche schwer belasteten. Als aber die Mädchen einige Monate später wieder befragt wurden, ließen sie die meisten Einzelheiten aus, selbst diejenigen, welche sich auf den drastischen Teil ihrer Erlebnisse bezogen. Als ihnen ihre frühere Aussage vorgelesen wurde, bestritten sie mit anscheinender Aufrichtigkeit, dass sich solche Ereignisse je zugetragen hätten, und deuteten mit Entrüstung an, dass diese Geschichten wahrscheinlich erfunden seien, „um sie schlecht zu machen" (Erickson 1938). Ähnliche Beispiele gibt es bei einer Menge von Frauen, die in ihrer Jugend vergewaltigt wurden, das Geschehen bald danach schon absolut nicht erinnern können (Selbstschutz), bisweilen aber mit einem Leidensdruck nicht fertig werden, bis hin zu Borderline-Störungen. Weit später aber unter besonderen emotionalen Zuständen oder therapeutischer Behandlung können die traumatischen Erinnerungen unerwartet wiederkehren und bewusst werden (Süddeutsche Zeitung, 27.08.2012; ausführlicher in *Zusatztext online*).

werden kann. Was wir in einer emotional freudig erlebten Situation gelernt haben, fällt uns in einer bedrückten Stimmung nicht ein und umgekehrt.

5. Schließlich bezeichnet man als affektive Hemmung die Beobachtung, dass starke Gefühlserlebnisse das Behalten vorausgegangener Wahrnehmungsinhalte beeinträchtigen können. So wird das Erinnern nachweislich gestört, wenn Angst vor dem Versagen mit dem Material assoziiert wird (Worchel 1955) oder wenn sich Frustration oder andere unangenehme Erlebnisse zwischen Lernen und Erinnerung einschieben (Zeller 1950).

Motiviertes Vergessen

Unliebsame Erlebnisinhalte können für das Bewusstsein unzugänglich werden. Welche Mechanismen diesem Phänomen zu Grunde liegen, ist noch nicht restlos geklärt. Aus tiefenpsychologischer Sicht werden hierfür Mechanismen der Verdrängung verantwortlich gemacht.

Es gibt eine Reihe von Anhaltspunkten dafür, dass wir bestimmte Erlebnisse oder Informationen willentlich vom Erinnern ausschließen, wenn sie als zu schmerzhaft oder zu demütigend erlebt werden. Solche Gedächtnisinhalte können unzugänglich werden, weil sie mit persönlichen, nicht erträglichen Problemen verbunden sind oder die Selbstachtung einer Person zu bedrohen scheinen. Freud (1916/1980) nahm an, dass derartig traumatische Erlebnisse, insbesondere in der Kindheit, durch den Prozess der Verdrängung dem wachen Bewusstsein entzogen und in den Bereich des Unbewussten verdrängt werden. Hier bleiben sie in der Regel unerreichbar, außer wenn es durch therapeutischen Eingriff (Psychoanalyse) gelingt, die mit dem Erlebnis verbundenen bedrohlichen Emotionen zu verändern. Ein Beispiel einer solchen Erinnerungshemmung ist in ▶ Exkurs 8.25 wiedergegeben.

Auch in unserem Alltag treten nicht selten Fälle solchen motivierten Vergessens auf, wenn wir zum Beispiel Namen von Personen, die uns unsympathisch sind, oder Verabredungen und Termine (Zahnarzt), die uns zutiefst unangenehm sind, vergessen. Auch Erlebnisse aus der Vergangenheit, die Ängste oder Schuldgefühle hervorrufen könnten oder unser Sicherheitsgefühl bedrohen, scheinen bisweilen aus dem Gedächtnis verschwunden. Dieser Prozess, durch den sich das Bewusstsein vor der Erinnerung unannehmbarer oder schmerzhafter Informationen schützt, indem der Abruf aus dem Langzeitgedächtnis aktiv blockiert wird, bezeichnet man mit Freud als **Verdrängung** (*repression*). Problematisch bleibt, dass sich derlei Beobachtungen und Erklärungsannahmen schwerlich experimentell untersuchen und bestätigen lassen.

Vergessen kann unterschiedliche Ursachen haben. Experimentelle Belege gibt es für das Nichteinprägen und die Nichtzugänglichkeit von Informationen. Ein Zerfall von Informationen im Langzeitgedächtnis kann dagegen nicht experimentell belegt werden.

8.6 Wie viele Gedächtnisse haben wir? Unterschiedliche Gedächtnistheorien

In diesem Kapitel geht es um die Unterscheidung und physiologische Grundlage verschiedener Gedächtnissysteme sowie die Frage, wie und wo wird was gespeichert? Gibt es unterschiedliche Gedächtnissysteme zum Beispiel für unser theoretisches Faktenwissen einerseits und unsere praktischen Fähigkeiten andererseits? Sind für die Unterscheidung von Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis auch tatsächlich unterschiedlich funktionierende Gedächtnissysteme zuständig? Zu diesen Fragen werden wir zunächst verschiedene Gedächtnistheorien mit ihren experimentellen Belegen darstellen und uns, darauf fußend, einigen bekannten Gedächtnisstrategien zuwenden. Schließlich werden wir uns abschließend mit den biologischen Grundlagen und deren Funktion bei der Gedächtnisspeicherung befassen.

Sowohl für die Unterscheidung von Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis als auch für die Unterscheidung von explizitem und implizitem Gedächtnis gibt es Hinweise dafür, dass wir es tatsächlich mit unterschiedlichen Speichern zu tun haben. Für die Annahme unterschiedlicher Speichersysteme für Kurz- und Langzeitgedächtnis kamen die ersten Hinweise von Untersuchungen an amnestischen Patienten, die zeigten, dass beide Systeme in unterschiedlicher Weise geschädigt sein können. Bei nahezu allen Formen von Amnesie (Gedächtnisverlust) haben die betroffenen Personen gravierende Schwierigkeiten, sich an lang zurückliegende Ereignisse oder zum Beispiel an den Namen eines lange nicht mehr gesehenen Freundes zu erinnern. Sie sind jedoch ohne Schwierigkeit in der Lage, den Namen einer eben vorgestellten Person nach wenigen Sekunden noch richtig zu wiederholen. Solche Beobachtungen gaben Anlass, die Modellvorstellungen über die Existenz spe-

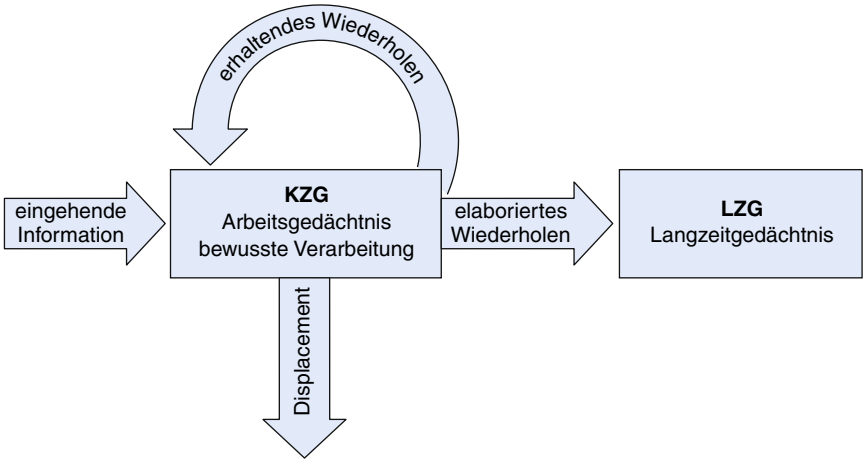


Abb. 8.26 Zwei-Speicher-Modell des Gedächtnisses. Neue Informationen oder Items gelangen zunächst in ein Kurzzeitgedächtnis (*KZG*). Um erhalten zu bleiben, müssen die Items ständig aktiv gehalten bzw. wiederholt werden (*maintenance by rehearsal)*. Hierbei wird die Information gleichzeitig in das Langzeitgedächtnis (*LZG*) übertragen, wo sie dauerhaft gespeichert wird. Bei Beendigung des Wiederholens wird das Item im KZG sehr bald durch neu eingehende Items ersetzt und geht aus dem KZG verloren

zifischer und gesonderter Gedächtnissysteme weiter zu konkretisieren.

8.6.1 Zwei-Speicher Modelle

Bisher waren wir bereits davon ausgegangen, dass Kurzzeitgedächtnis und Langzeitgedächtnis zwei qualitativ unterscheidbare Anteile unseres Gedächtnissystems sind. Diese Annahme wird von einer Reihe von Untersuchungen gestützt, die sich mit dem Transfer vom Kurzzeit- zum Langzeitgedächtnis befassen. Ausgehend von Experimenten zur freien Reproduktion von gelernten Listen und der dabei erhaltenen seriellen Positionskurve (vgl. ▶ Exkurs 8.26) entwickelten vor allem Atkinson und Shiffrin (1971, 1977) eine **Zwei-Stufen-Theorie** (*dual memory theory*) oder **Zwei-Speicher-Theorie** des Gedächtnisses, an der sich, wie wir noch sehen werden, auch die meisten neurophysiologischen Untersuchungen orientieren.

Nach dieser Theorie wird angenommen (wie bereits in ▶ Abschn. 8.4. und ▶ Exkurs 8.10, besprochen), dass die in das Kurzzeitgedächtnis aufgenommene Information hier nur erhalten werden kann, wenn sie durch mehrfache **Erhaltenswiederholungen** (*maintenance rehearsal*) aufrechterhalten wird – andernfalls geht sie beim stufenweisen *displacement* (Ersetzung durch neue Inhalte) oder durch Zerfall verloren. Um die im Kurzzeit-/Arbeitsspeicher zunächst zwischengespeicherte Information auf Dauer zu erhalten, muss sie in irgendeiner Weise in das Langzeitgedächtnis transferiert werden. Es wird angenommen, dass dieser Transfer durch **integrative Wiederholung** (*integrative rehearsal*) oder **elaboriertes Wiederholen**, bei dem die verschiedenen Encodierungen ausgearbeitet werden, erfolgt. Das Grundschema dieses Vorgangs ist in ◘ Abb. 8.26 in vereinfachter Version dargestellt.

Einfaches Wiederholen der aufgenommenen Items führt zu einem Erhalt im Kurzzeitgedächtnis, zunehmend elaborierteres Wiederholen führt zu dem notwendigen Transfer in das Langzeitgedächtnis. Sobald das Wiederholen beendet wird, wird das Item durch neu eingehende Informationen ersetzt (*displaced*) und geht damit aus dem Kurzzeitgedächtnis verloren.

Experimentelle Belege dafür, dass es sich bei diesem Transfer ins Langzeitgedächtnis tatsächlich um den Übergang zwischen zwei qualitativ unterschiedlichen Speichersystemen handelt, resultierten zunächst aus den Untersuchungen zur freien Reproduktion (*free-recall experiments*) beim Listenlernen (vgl. ▶ Exkurs 8.26) sowie den Beobachtungen an amnestischen Patienten mit spezifischen Großhirnläsionen (z. B. Baddeley und Warrington1970; Liebermann 2012).

Diese einfachen grundlegenden Befunde zum seriellen Positionseffekt bilden den Ausgangspunkt für Zwei-Speicher-Modelle des Gedächtnisses. Danach sind die zuletzt präsentierten Wörter mit großer Wahrscheinlichkeit noch im Arbeits-/Kurzzeitgedächtnis präsent und daher leicht abrufbar (Recency-Effekt). Die bessere Erinnerung der Wörter am Anfang der Liste erklärt sich dagegen daraus, dass sie zu Beginn des Lernexperimentes in einen noch nicht aufgefüllten Kurzzeitspeicher aufgenommen wurden, sodass sie öfter wiederholt werden konnten und durch dieses Rehearsal ins Langzeitgedächtnis gelangten *(Primacy Effekt)*. Für die Items des mittleren Teils stand für diesen Transfer ins Langzeitgedächtnis jeweils nur eine Sekunde zur Verfügung, so dass der Prozentsatz der reproduzierten Wörter hier gering bleibt.

Lässt man den Versuchspersonen jedoch mehr Zeit (2 s pro Item), sodass ein längeres Rehearsal möglich ist, dann führt das, wie nach der Theorie erwartet, durchgehend zu einer besseren Reproduktionsleistung außer für die letzten noch aus dem Kurzzeitgedächtnis erinnerten Items (◘ Abb. 8.27c).

Gibt man den Versuchspersonen in einem weiteren Experiment unmittelbar nach der Präsentation der gesamten Liste für etwa 30 s mathematische Aufgaben zu rechnen, so dass ein Rehearsal für die letzten Wörter der Liste verhindert wird, so führt das erwartungsgemäß dazu, dass nur die Erinnerungsleistung aus dem Kurzzeitgedächtnis reduziert wird, wie die untere Kurve in ◘ Abb. 8.27d zeigt (Atkinson und Shiffrin 1971, 1977). Die unterschiedliche Beeinflussbarkeit der Erinnerungsleistung für die ersten und mittleren Items auf der einen Seite und den letzten Items auf der anderen stützt das Erklärungsmodell, dass diese Leistungen durch unterschiedliche Behaltenssysteme vermittelt werden. Oder anders gesehen, das Modell bietet eine einfache Erklärung für beide beobachteten Effekte, primacy und recency Effekt (vgl. auch ▶ Exkurs 8.46; zur weiteren Diskussion *Zusatztext online*).

Exkurs 8.26

Experiment: Der serielle Positionseffekt bei freier Reproduktion

Beim einmaligen Lernen von Listen unzusammenhängender Wörter tritt ein Phänomen auf, das wir auch beim schnellen Merken einer Telefonnummer oder der Vorstellung von Personen auf einer Party kennen. Nachdem wir die Nummer oder den Namen für einige Sekunden wussten, haben wir sie auf einmal völlig vergessen. Sie waren offenbar nur im Kurzzeitgedächtnis gespeichert, aber nicht rechtzeitig ins Langzeitgedächtnis transferiert worden. Diesen Bereich des Gedächtnistransfers untersuchen Experimente zur freien Reproduktion des seriellen Lernens.

Den Versuchspersonen wird eine Liste unzusammenhängender Wörter (Abb. 8.27a) einmalig zum Behalten vorgegeben. 20 oder 40 Wörter werden nacheinander visuell oder akustisch dargeboten, und die Versuchspersonen haben jeweils genau 1 s Zeit, um jedes Wort zu betrachten. Nach der einmaligen Vorgabe der gesamten Liste müssen die Versuchspersonen sofort möglichst viele Wörter in beliebiger Reihenfolge – darum **freie Reproduktion** – reproduzieren, was Sie mit der beigegebenen Wortliste selbst einmal ausprobieren sollten. Trägt man nun (über mehrere Wortlisten gemittelt) den Prozentsatz der erinnerten Wörter in Abhängigkeit ihrer Stellung innerhalb der Wortliste auf, so erhält man eine **serielle Positionskurve** von etwa U-förmiger Gestalt (Abb. 8.27b–d), wie sie von Murdock 1962 gefunden wurde. Wie die Kurven deutlich machen, variiert die Wiedergabeleistung mit der Position eines Wortes innerhalb der Liste. Am besten erinnert werden (natürlich) die Wörter am Ende der Liste, die wir offenbar noch im Kurzzeitgedächtnis haben. Dies wird auch als **Recency-Effekt** bezeichnet. Aber auch die Wörter vom Anfang der Liste werden deutlich besser erinnert als der verbleibende große Mittelteil – was als **Primacy-Effekt** bezeichnet wird.

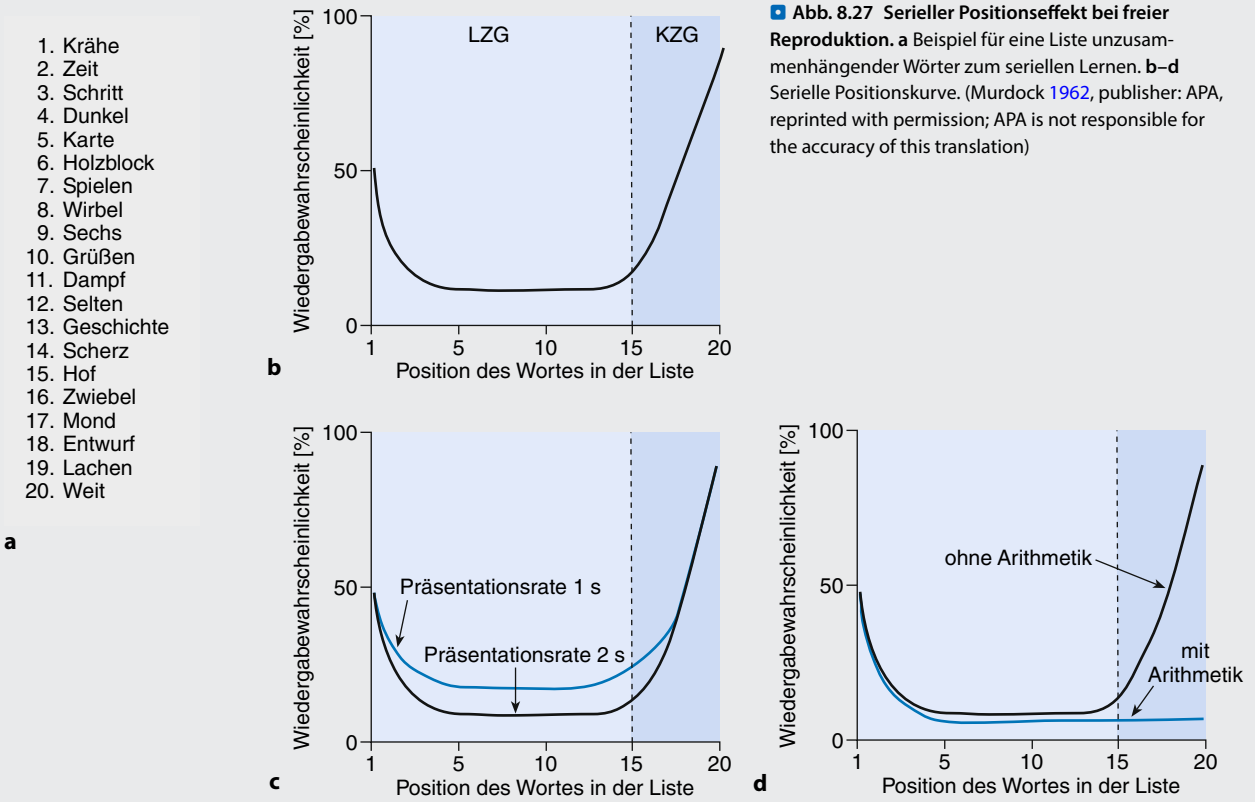


Abb. 8.27 Serieller Positionseffekt bei freier Reproduktion. a Beispiel für eine Liste unzusammenhängender Wörter zum seriellen Lernen. **b–d** Serielle Positionskurve. (Murdock 1962, publisher: APA, reprinted with permission; APA is not responsible for the accuracy of this translation)

Aktuell existieren neben der Annahme getrennter Speicher auch wieder Ein-Speicher-Modelle, in denen die Inhalte des Arbeitsgedächtnisses aus den aktivierten Repräsentationen des Langzeitgedächtnisses bestehen (z. B. Cowan 1999; Oberauer 2009). Neurophysiologische Befunde sprechen jedoch für die Verantwortlichkeit verschiedener Hirnareale für die unterscheidbaren Gedächtnisprozesse (vgl. ▶ Exkurs 8.31)

Die klassische Trennung in Arbeits- und Langzeitgedächtnis wird auch aktuell wieder skeptisch diskutiert.

8.6.2 Theorie der Verarbeitungstiefe

Die Mehr-Speicher-Modelle, insbesondere das Zwei-Stufen-Modell des Gedächtnisses, wurden auch schon zu Beginn der 1970er-Jahre von verschiedenen Autoren der Kognitionspsychologie in Zweifel gezogen (Shallice und Warrington 1970). Die kanadischen Psychologen F. I. Craik und R. S. Lockhart stellten schließlich 1972 die Notwendigkeit und Berechtigung der Mehrspeichermodelle grundsätzlich infrage (Craig und Lockhart 1972). In ihrem einflussreichen Artikel argumentierten sie, dass das Entscheidende nicht die Dauer des Memorierens der Information sei, um ins Langzeitgedächtnis zu kommen, son-

dern vielmehr die Tiefe der Verarbeitung, in der die Information verarbeitet wird. Sie schlugen statt mehrerer Speicher eine Einspeicherkonzeption vor, die sogenannte **Theorie der Verarbeitungstiefe** (*levels of processing theory*). Diese besagt, dass die zu speichernde Information in mehreren Stufen (*levels of processing*) bearbeitet werden kann, wobei das Memorieren die Gedächtnisleistung nur dann verbessert, wenn das Material in einer bedeutungshaltigen (tiefen) Weise memoriert wird, wogegen ein passives Memorieren nicht zu einer besseren Gedächtnisleistung führt. Dieses Modell nur eines einzigen Gedächtnissystems geht davon aus, dass dieses System nach unterschiedlichen Verarbeitungsebenen differenziert ist. Von den Autoren wurde in der Folgezeit eine Reihe von experimentellen Belegen erbracht, die ihrer Meinung nach diesen Ansatz stützen, wie dies exemplarisch in ▶ Exkurs 8.27 dargestellt ist. Dabei erhalten die Versuchspersonen in der Lernphase unterschiedliche sogenannte Orientierungsaufgaben zu den Wörtern, die sie sich merken sollen, wodurch eine bestimmte Verarbeitungstiefe des Wortes (visuell, akustisch, semantisch) induziert werden sollte.

Die dargestellten Ergebnisse machen deutlich, dass die semantische Verarbeitung verbaler Inhalte wesentlich zu einer besseren Behaltensleistung beiträgt und dass unterschiedliche Bearbeitungen, die allerdings auch unterschiedliche Zeit benötigen, zu unterschiedlichen Behaltensleistungen führen.

Die Ergebnisse dieses Experiments demonstrieren zugleich nochmals, dass die Bedeutungscodierung (*coding by meaning*) für die Speicherung verbalen Materials im Langzeitspeicher die besten Ergebnisse erbringt.

Ein Hauptproblem bei der Beweisführung der Theorie der Verarbeitungstiefe wird darin gesehen, dass es oft schwierig ist, im Voraus festzulegen, welche Aufgaben eine tiefe und welche eine oberflächliche Verarbeitungsebene beinhalten – ein Beispiel dafür zeigt die Methode der Orte, die Loci-Methode (▶ Abschn. 8.8.2).

Verbales Material wird am besten behalten, wenn es nach seiner Bedeutung – semantisch oder bildhaft – codiert und möglichst „tief" nach seiner Bedeutung elaboriert wird.

8.6.3 Theorie des aktivierten Langzeitgedächtnisses

Eine bisher in den Lehrbüchern der Allgemeinen Psychologie kaum beachtete Modellvorstellung, das Verhältnis von KZG und LZG zu verstehen, stellen wir in ▶ Exkurs 8.28 gesondert dar.

8.6.4 Explizites und implizites Gedächtnis

In ▶ Abschn. 8.5.2 haben wir bereits auf die Unterscheidung von **explizitem** und **implizitem** Gedächtnis hingewiesen. In dieser Formulierung bezieht sich die Unterscheidung auf die jeweils zugrunde liegende Erfahrung zum Zeitpunkt der Wiedergabe der Gedächtnisinhalte. Erfolgt die Wiedergabe bewusst und willentlich, also **intentional**, wird dies als *explizites* Lernen und Gedächtnis bezeichnet (◘ Abb. 8.18). Erfolgt die Wiedergabe dagegen ohne willentliche Anstrengung und nicht bewusst (zum Beispiel durch eine Handlung), wird dies als *implizites* Gedächtnis bezeichnet. Wie wir noch sehen werden, handelt es sich auch hier um zwei gesonderte Gedächtnissysteme, mit auch unterschiedlicher anatomischer Lokalisation.

Unter *expliziten oder auch deklarativen* Gedächtnisinhalten versteht man all das Wissen, auf welches wir bewusst zugreifen und welches wir in irgendeiner Form „deklarieren", also anderen mitteilen können. Man spricht in diesem Zusammenhang auch vom „*Wissen, dass*". Abgegrenzt von dem explizit/deklarativen Gedächtnis wird das *implizite Gedächtnis*, über dessen Inhalt wir üblicherweise keine explizite Auskunft geben können. Neben den bereits behandelten Phänomenen des nichtassoziativen Lernens, klassischen und operanten Konditionierens und Primings wird hierzu insbesondere auch das sogenannte **prozedurale Gedächtnis** gezählt, welches die Grundlage unserer perzeptuellen, motorischen und kognitiven *Fertigkeiten* darstellt. Man spricht hierbei auch vom „Wissen, wie".

Betrachten wir zunächst als Beispiel unser Wissen über die Tastatur eines Keyboards oder eines Rechners. Es zeigt zugleich, dass wir Dinge „wissen", die wir nicht beschreiben können. Personen, die die Tastatur mit den Fingern beherrschen, sind jedoch gewöhnlich nicht in der Lage, den Aufbau der Tastatur ***explizit*** richtig wiederzugeben, aufzuzeichnen oder zu beschreiben, es sei denn, sie stellen sich vor, wie sie schreiben. Die Finger finden blindlings die richtigen Tasten, das heißt, sie „wissen, wie" sie sich bewegen müssen, um die richtigen Tasten zu treffen, aber es besteht kein bewusster Zugang zu diesem Wissen, auch wenn dieses bewusste Wissen anfangs beim Lernen des Schreibens vorhanden gewesen sein mag. Den wesentlichen Unterschied, wie das Wissen abgespeichert ist, erfahren wir erst beim Abruf.

Fragt man einen perfekten Schwimmer, wie und in welcher Reihenfolge er seine Arme und Beine bewegt, oder fragt man Flöten-, Geigen- oder Klavierspieler nach den Griffen oder Fingersätzen, die sie verwenden, so werden sie dies schwerlich direkt beantworten können, und man müsste schließen, dass sie kein Wissen darüber besitzen, während ein Ausüben der jeweiligen Tätigkeit erkennen ließe, dass dies Wissen ***implizit*** vorhanden ist. Auch Fahrradfahren ist schwer konkret beschreibbar, aber einfach zu demonstrieren. Gegensätzlichkeiten dieser Art zwischen explizitem und implizitem Wissen werden auch als **Dissoziation** bezeichnet (zur Dissoziationsmessung *Zusatztext online*).

In der gegenwärtigen Literatur werden die Begriffe „implizit" und „explizit" vielfach synonym, wenn auch nicht deckungsgleich mit den Begriffen „prozedural" und „deklarativ" gebraucht. Inhaltlich handelt es sich dabei um die altbekannte Unterscheidung zwischen **Verhaltensgedächtnis**, in welchem unser „Können", also unsere Fertigkeiten (Skills), gespeichert sind, und einem **Wissensgedächtnis**, in welchem unser verbalisierbares „Faktenwissen" gespeichert ist.

Explizites Gedächtnis

Das Gedächtnis für Fakten und Erfahrungen, die man bewusst wissen und „deklarieren" kann, wird als explizites oder deklaratives Gedächtnis (Wissensgedächtnis) bezeichnet.

Exkurs 8.27

Experiment: Verarbeitungstiefe

Zur Operationalisierung unterschiedlicher Verarbeitungsebenen des Gedächtnisses, wie sie von der *Theorie der Verarbeitungstiefe* angenommen werden, führten Craik und Mitarbeiter eine Serie von Versuchen durch, in denen die Versuchspersonen jeweils durch zusätzliche Fragestellungen ein vorher gezeigtes Wort unterschiedlich tief verarbeiten sollten. Den Versuchspersonen wurden nacheinander einzelne Wörter blitzlichtartig für 0,2 s auf einem Schirm gezeigt, und sie mussten anschließend jeweils eine Frage beantworten, die sich auf dieses Wort bezog. Insgesamt gab es zumeist drei unterschiedliche Fragetypen, die zugleich unterschiedliche Verarbeitungstiefen repräsentieren beziehungsweise induzieren sollten (Abb. 8.28a):

- Erste Ebene (oberflächlich): Frage nach der Schriftart des Wortes (zum Beispiel: „Ist es in Großbuchstaben geschrieben?").
- Zweite Ebene: Frage nach Klang/Aussprache des Wortes (zum Beispiel: „Reimt sich das Wort auf Ofen?").
- Dritte Ebene: Frage nach der inhaltlichen Bedeutung des Wortes (zum Beispiel: „Passt das Wort in den Satz: Er ließ den/die/das … fallen?").

Die Fragen mussten, wie Abb. 8.28a zeigt, mit ja oder nein beantwortet werden. Gemäß der Theorie wird angenommen, dass die Verarbeitungstiefe bei Fragen der ersten Art am geringsten ist, bei Fragen der zweiten Art (nach dem Klang) tiefer ist und bei Fragen der dritten Art, die auf der semantischen Ebene liegen, am tiefsten ist. Entsprechend sollten sich (1) die Verarbeitungszeiten (längste Zeit für die semantische Verarbeitung) und (2) die Behaltensleistungen verteilen. Die Ergebnisse sind in Abb. 8.28b zusammengefasst. Bei dem späteren Behaltenstest, in welchem sowohl Wiedererkennen als auch Reproduktion (in verschiedenen Versuchsreihen) gemessen wurden, zeigte sich übereinstimmend, dass die bei weitem besten Behaltensleistungen für die Items gefunden wurden, die mit einer Frage nach dem semantischen Inhalt verbunden waren. Weniger förderlich war dagegen die Beschäftigung mit dem Wortklang oder gar nur mit der Schreibweise (Craik und Tulving 1975). In weiteren Experimenten, in welchen nur der dritte Fragentyp verwendet wurde, konnte Craik (1977) zeigen, dass auch die Länge des Fragesatzes auf die Verarbeitungstiefe einwirkt. Wurde der Satz zum Beispiel in folgender Weise erweitert: „Der alte Mann humpelte durch den Raum und ließ den/die/das … fallen", so führte dies im Vergleich zur kurzen Version zu einer deutlich besseren Behaltensleistung, was ebenfalls dafür spricht, dass eine notwendig aufwendigere *Deutungselaboration* zu einer besseren Gedächtnisleistung führt. Offenbar ist jedoch nicht weiter geklärt, ob diese tiefere Verarbeitung eher rein semantisch oder auch bildhaft erfolgt.

a

gezeigtes Wort	Frage	Antwort ja	Antwort nein	Art der Verarbeitung	Beantwortungszeit [s]
SEGEL	Ist das Wort in Großbuchstaben geschrieben?	✓		Form (Schreibweise)	0,5
WARTEN	Reimt es sich auf Ofen?		✓	Reim (Aussprache)	0,6
AUTO	Passt es in den Satz: *Das Mädchen ließ d.. ... fallen*?		✓	Satz (Bedeutung)	0,7

zunehmende erwartete Verarbeitungstiefe

b

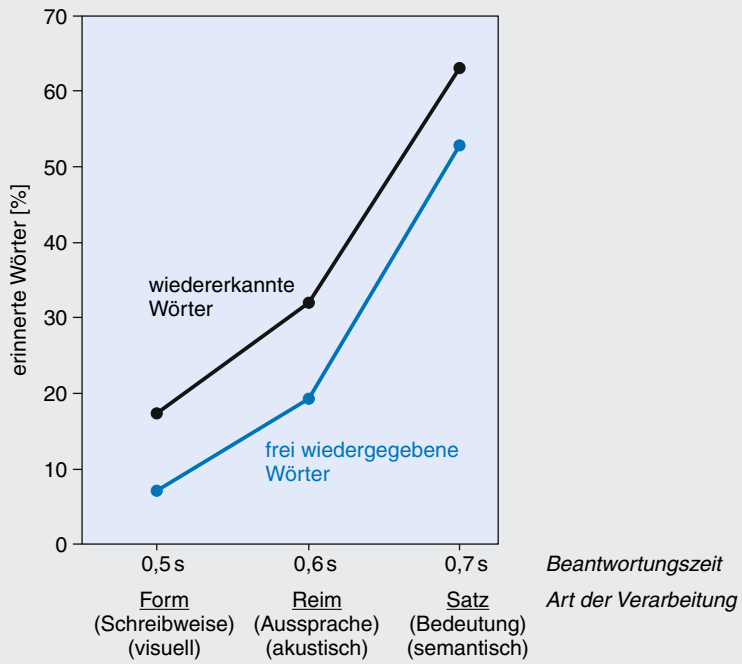


Abb. 8.28 **a** Beispiele für Reizvorgaben und Fragen zur Bestimmung der Verarbeitungstiefe. **b** Ergebniszusammenfassung: Prozentsatz erinnerter Wörter bei unterschiedlicher Verarbeitungstiefe

Exkurs 8.28

Genauer betrachtet: Das Kurzzeitgedächtnis als aktiviertes Langzeitgedächtnis

Eine ganz andere Denkmöglichkeit, das Verhältnis zwischen Kurzzeit- und Langzeitspeicherung zu erklären, geht davon aus, das Kurzzeitgedächtnis, KZG (*short-term memory*, STM) zweckmäßiger als ein Subsystem des LZG zu konzipieren, welches aus denjenigen Elementen (Items) im Langzeitspeicher (*long-term store*, LTS) besteht, die sich gerade in einem aktivierten Zustand befinden, anstatt das KZG als ein System zu betrachten, in welchem das Material zwischengespeichert wird, bevor es das LZG erreicht (Shiffrin und Schneider 1977; Davelaar et al. 2005). Wenn wir beispielsweise das Wort „Baum" lesen, wird von den von dem Blatt Papier reflektierten Lichtstrahlen, die unser Auge erreichen, im Gehirn eine Serie von Prozessen angestoßen, die letztlich zu einer Aktivierung derjenigen Region unseres Gehirns führen, die unser Wissen über dieses Wort enthalten. Shiffrin und Schneider (1977) bezeichneten den hierfür zuständigen Satz von Neuronen als Knoten (*node*). Sie nahmen weiter an, dass jedes Wort seinen eigenen Knoten im Gehirn hat, der immer dann aktiviert wird, wenn das Wort wahrgenommen wird. Wenn wir also das Wort „Baum" lesen, wird im LTS der Knoten aktiviert, der dieses Konzept repräsentiert. Aus dieser Sicht ist der Kurzzeitspeicher einfach die Menge von Orten oder Knoten im Langzeitspeicher, die gerade zu einem bestimmten Zeitpunkt aktiviert sind. Damit erübrigt sich die Vorstellung, den Kurzzeitspeicher als einen gesonderten Speicher zu betrachten, der dem Langzeitspeicher vorangeht. Die Metapher eines *active memory* interpretiert den Kurzzeitspeicher einfach als einen Teilsatz von Items im Langzeitspeicher, nämlich derjenigen Items, die gerade aktiviert sind (Liebermann 2012).
Nach diesem Modell ist die Aktivierung eines jeweiligen Knotens nur temporär, und wenn sie endet, gehen alle Spuren des Wortes verloren. Um einen dauerhaften Erhalt zu gewährleisten, müssen wir das Wort mit anderen zu dieser Zeit aktiven Inhalten (z. B. dem Kontext) verknüpfen. In unserem Beispiel könnte das die Person sein, die uns den Zettel mit dem Wort „Baum" überbracht hat. Dadurch wird entsprechend auch das Erinnern erleichtert. Wenn wir später gefragt werden, was wir gelesen haben, hilft die Erinnerung an die Person, auch das Wort auf dem Zettel zu erinnern. Nach dem Shiffrin-Schneider-Modell bedeutet die Langzeitspeicherung nicht den Transfer eines Items von einem Kurz- in einen Langzeitspeicher, sondern vielmehr die Bildung neuer Verbindungen (*connections*) zwischen solchen Knoten im Langzeitspeicher, die derzeit aktiviert sind. Dabei kann die Dauer der Aktivierung durch aktives Rehearsal verlängert werden.
Es ist jedoch bisher nicht klar, ob diese beiden Sichtweisen, das Atkinson-Shiffrin-Modell und das Shiffrin-Schneider-Modell, grundsätzlich unterschiedlich sind oder ob es nur zwei unterschiedliche Metaphern zur Beschreibung desselben Systems sind (Liebermann 2012).

Implizites Gedächtnis

Die verfügbare Gedächtnisleistung (oft eine Leistungsverbesserung) unabhängig von bewusster Erinnerung (an die gemachte Erfahrung), wird als implizites oder prozedurales Gedächtnis (Verhaltensgedächtnis) bezeichnet.

Das **prozedurale (implizite) Gedächtnis** ist nach Anderson (1995) dadurch definiert, dass wir nicht über ein Bewusstsein darüber verfügen. Dementsprechend werden bisweilen sehr unterschiedliche Dinge als implizite Gedächtnisinhalte verstanden. Zumeist wird dem impliziten Gedächtnis ein Wissen über das Ausführen von Aufgaben (Können) zugeschrieben, wie zum Beispiel beim erwähnten Fahrradfahren. In anderen Untersuchungen werden dem impliziten Gedächtnis ferner auch Fähigkeiten, wie das Buchstabieren von Wörtern, oder perzeptuelle Informationen, die zum Wiedererkennen von Wörtern benötigt werden, zugeschrieben (vgl. ▶ Exkurs 8.30), denn Versuchspersonen mit einer Amnesie zeigen bezeichnenderweise in beiden oben genannten Fällen keinerlei Einschränkungen, also weder bei motorischem noch bei verbalem (implizitem) Können, wobei Letzteres die Grundlage von **Priming-Effekten** (▶ Exkurs 8.19) bildet. Ein Beispiel für das Lernen und Anwenden einer kognitiven prozeduralen Fähigkeit ohne ein kognitiv bewusstes Verständnis wird in ▶ Exkurs 8.29 geschildert.

Da sich das Nicht-Behalten- und das Nicht-Lernen-Können bei amnestischen Patienten nur auf das deklarative Gedächtnis bezieht, sollten sie trotz ihrer Amnesie in der Lage sein, diese Informationen zu erlernen. Dies konnte von Phelps (1989) in einer Untersuchung nachgewiesen werden. Die Ergebnisse beider Untersuchungen sprechen für die unabhängige Existenz zweier Gedächtnissysteme in dem Sinn, dass ein prozedurales Gedächtnis ohne das Vorhandensein eines deklarativen Gedächtnisses nachgewiesen werden konnte.

Für die verschiedenen Arten impliziten Lernens (vgl. ◘ Abb. 8.18) konnten als strukturelle anatomische Voraussetzung unterschiedliche Hirnsysteme identifiziert werden, die sich primär in subcorticalen Regionen befinden (◘ Tab. 8.2.). Dem entspricht die Tatsache, dass die meisten der prozeduralen Lerninhalte eher automatisch ablaufen, der bewussten Erinnerung schwer zugänglich sind und keinen aktiven bewussten Suchprozess benötigen. Dagegen sind für das deklarative Lernen und Behalten vornehmlich corticale Prozesse sowie Prozesse des medialen Temporallappen-Hippocampus-Systems verantwortlich.

Da das so lokalisierte *prozedurale Fertigkeitengedächtnis* entwicklungsgeschichtlich älter ist, kann es auch in der Ontogenese früher genutzt werden als das deklarative Gedächtnis, dessen Hirnstrukturen erst etwa ab dem fünften Lebensjahr voll zu funktionieren scheinen, weshalb wir uns an frühere Ereignisse nur schwer bewusst erinnern können.

Wohl mit die stärksten Hinweise auf eine solche Zweiteilung unseres Gedächtnissystems stammen, wie schon angedeutet, aus Beobachtungen und Untersuchungen mit Patienten, die unter einer Amnesie leiden. Lässt man amnestische Patienten zum Beispiel eine Geschichte mehrmals lesen, so zeigt sich bereits beim zweiten Lesen, dass sie die Geschichte schneller und sicherer lesen können (implizites Gedächtnis), aber sie können sich danach nicht daran erinnern, die Geschichte vorher schon einmal gesehen zu haben (explizites Gedächtnis). Oder wenn sie Golf auf einem neuen Platz gespielt haben, so können sie sich daran nicht mehr erinnern, obgleich sich ihr Spiel auf diesem Platz mit der Erfahrung verbessert hat. Oder zeigt man amnestischen Patienten wiederholt ein beliebiges Wort wie zum Beispiel „Parfum", so werden sie stets verneinen, dieses Wort schon einmal gesehen zu haben. Aber wenn sie gefragt werden, welches Wort ihnen als Erstes einfällt, wenn ihnen die ersten drei Buchstaben „Par" gezeigt werden, antworten sie unmittelbar mit dem eingeprägten Wort (dazu Experiment in ▶ Exkurs 8.30)

Exkurs 8.29

Experiment zum nicht bewussten prozeduralen Wissen

Ähnlich wie wir motorische Fähigkeiten (z. B. Fahrradfahren) implizit lernen und durch Ausführen abrufen können, ohne das Gelernte verbalisieren zu können, können auch eher kognitive Fähigkeiten implizit gelernt und abgerufen werden. Dies zeigt folgendes Experiment von Berry und Broadbent (1984). Sie gaben ihren Versuchspersonen die Aufgabe, in einer am Computer simulierten hypothetischen Zuckerfabrik die Produktionsmenge des erzeugten Zuckers (abhängige Variable) zu kontrollieren. Dies war möglich durch Veränderung (Variation) der Anzahl der eingesetzten Arbeitskräfte (unabhängige Variable). Hierzu sahen die Versuchspersonen auf dem Bildschirm jeweils die Produktionsmenge des laufenden Monats in 1000 t (zum Beispiel 6000 t). Ihre Aufgabe war es dann jeweils, die Anzahl der einzusetzenden Arbeitskräfte für den folgenden Monat (in Vielfachen von 100 Arbeitern, zum Beispiel 700) zu bestimmen und einzugeben. Sie sahen dann die daraus resultierende Menge der Zuckerproduktion dieses folgenden Monats. Je nachdem, ob sie mit ihrer Entscheidung der Zielvorgabe der Zuckerproduktion (die ihnen zuvor genannt worden war), zum Beispiel zwischen 8000 und 10.000 t, näher kamen oder nicht, mussten sie dann für den nun folgenden Monat die Anzahl der einzusetzenden Arbeitskräfte entsprechend erniedrigen oder erhöhen, um so die Zuckerproduktionsmenge in den gewünschten Rahmen zu bringen und dort zu halten. Eine Beispielserie von Inputs und Outputs zeigt die Tab. 8.1.

Der in der Beispielserie zum Ausdruck kommende Zusammenhang zwischen Anzahl der Arbeitskräfte (A, in Hunderter-Einheiten), der produzierten Zuckermenge im kommenden Monat (Z, in Tausender-Einheiten) und der im Vormonat produzierten Menge (Z_1, in Tausendereinheiten) war durch die Formel $Z = 20 \times A - Z_1$ vorgegeben, wobei zusätzlich bisweilen eine Zufallsfluktuation von 1000 t Zucker hinzugefügt wurde. Diese Regel war den Versuchspersonen jedoch nicht bekannt. Um die Produktionsmenge dieser hypothetischen Zuckerfabrik in den Griff zu bekommen, erhielten die Versuchspersonen (Oxford-Studenten) jeweils 60 Versuchsdurchgänge. Obgleich sie nach dieser Zeit die zu Grunde liegende Regel nicht angeben konnten, gelang es ihnen recht gut, durch ihre Entscheidungen die Produktionsmenge in der Zielvorgabe zu halten. Ihre guten Lernleistungen konnten die Versuchspersonen nur auf eine „Art von Intuition" oder ein inneres Gefühl für die Richtigkeit zurückführen. Obgleich also kein explizites Wissen vorlag, hatten die Versuchspersonen implizites Wissen über die richtige Regelung der Produktionsmenge erworben und gezeigt.

Tab. 8.1 Werte der unabhängigen und abhängigen Variablen im Zuckerexperiment

Arbeitskräfteeinsatz (A)	Zuckerproduktion (Z) in Tonnen
	6000
700	
	8000
900	
	10.000
800	
	7000
1000	
	12.000
900	
	6000
1000	
	13.000
1000	
	8000

Tab. 8.2 Explizit-deklaratives und implizit-prozedurales Gedächtnis im Überblick

	Deklaratives Wissensgedächtnis	Prozedurales Habitgedächtnis
Ort	Hippocampus	Motorischer und prämotorischer sowie lateral-präfrontaler Cortex
	Dorsomedialer Nucleus des Thalamus	Extrapyramidale Kerne (Striatum)
	Sekundäre sensorische Areale	Cerebellum
	Präfrontaler Cortex	Limbische und diencephale Verstärkerstrukturen
Codierung	Konfigurationen von Reizen und Reaktionen (propositionell) – kognitiv (episodische und semantische Inhalte)	S-R- und S-S-Assoziationen (Wahrscheinlichkeitslernen) – behavioral (Verhaltensakte, Gewohnheiten (*habits*))
	Speichert Fakten, Episoden und Daten: „Gewusst, was"	Speichert gezielte Bewegungsfolgen (*skills*) und Regeln (Prozeduren): „Gewusst, wie"
	Kann in einem Durchgang gelernt werden (Alles-oder-nichts-Lernen)	Benötigt Wiederholungen
Wiedergabe	Konsolidierung	Keine Konsolidierung (*automatic processing*)
	Nur über aktiven, intentionalen Suchprozess zugänglich (*controlled processing*)	Kein aktiver Suchprozess notwendig
	„Reflektiv": Wiedergabe stark von Kontext und elaborierter Verarbeitung abhängig	„Reflexiv": Wiedergabe weniger stark von Kontext abhängig
	Elaborierte Verarbeitung notwendig	Elaborierte Verarbeitung nicht notwendig
Auslöser für Wiedergabe	*Incentives*, propositionelle *cues* (Hinweisreize)	CS und S^D

Tab. 8.2 (*Fortsetzung*)

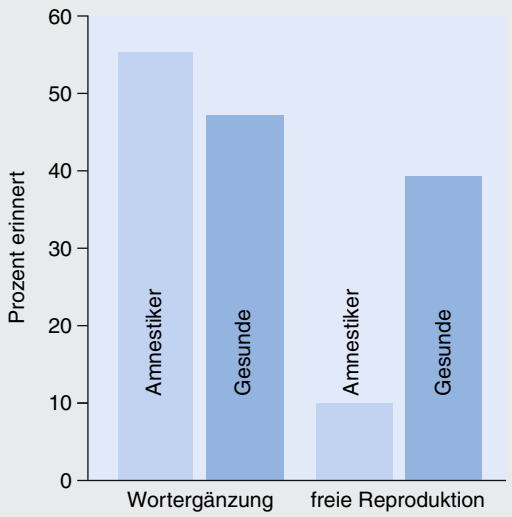
	Deklaratives Wissensgedächtnis	Prozedurales Habitgedächtnis
Behalten	Zielgerichtete Erwartungen werden aufgebaut und bestätigt bzw. verworfen	Verstärkung stabilisiert Habit
	Für viele Verarbeitungssysteme zugänglich	In den Verarbeitungssystemen (z. B. visuell, motorisch) selbst enthalten
	Phylogenetisch jung, ontogenetisch spät (ab 3 bis 5 Jahre)	Phylogenetisch alt, ontogenetisch früh (infantile „Erinnerungen“)
	Der bewussten Erinnerung zugänglich	Der bewussten Erinnerung schwer zugänglich

Exkurs 8.30

Experiment: Implizites Gedächtnis, Priming

In einem solchen Experiment wird typischerweise untersucht, inwieweit Personen in der Lage sind, Wörter einer zuvor gelernten Wortliste später entweder frei zu reproduzieren (explizit) oder aus vorgegebenen Wortfragmenten zu rekonstruieren (implizit). In einer Untersuchung von Graf und Mandler (1984) erhielten zwei Gruppen von Versuchspersonen, amnestische und normale Personen, eine Liste von Wörtern vorgelegt, die sie sich einprägen sollten. Danach wurden die Versuchspersonen gebeten, die Wörter frei zu reproduzieren. Wie die Abb. 8.29 zeigt, erzielten die Amnestiker weitaus schlechtere Ergebnisse als die Gesunden.
Wurde den Versuchspersonen dann aber eine Wortergänzungsaufgabe gestellt, in der ihnen jeweils die ersten drei Buchstaben eines Wortes vorgegeben wurden, die sie zu einem kompletten Wort ergänzen sollten, zum Beispiel „Blu …“ (für „Blume“), so waren auch die amnestischen Patienten durchaus in der Lage, die Buchstaben zu Wörtern zu ergänzen, die in der zuvor gelernten Liste enthalten waren (Abb. 8.29). Beim Wortvervollständigen hatten also offenbar auch die amnestischen Personen einen Zugang zu den Gedächtnisinhalten, der ihnen beim bewussten freien Reproduzieren nicht möglich scheint.
Der diesem Experiment zu Grunde liegende Lerneffekt, dass die vorher gezeigte Wortliste die Wortergänzungsaufgabe erleichtert, ist uns bereits als Priming bekannt (▶ Exkurs 8.18). Die Größe eines solchen Priming-Effekts lässt sich dann genauer abschätzen, wenn man das Experiment in folgender Weise variiert: Werden bei der Wortergänzungsaufgabe außer Wortfragmenten aus der gelernten Liste auch Wortfragmente von vorher nicht gezeigten Wörtern vorgegeben, so zeigt sich ein deutlicher Unterschied. Die Wortergänzung gelingt wesentlich häufiger, wenn es sich um Wörter aus der gelernten Liste handelt, statt um Nicht-Listenwörter. Die vorher gezeigte Liste erleichtert oder „primed“ also die Leistung bei der Wortergänzungsaufgabe. Damit konnte gezeigt werden, dass das implizite Gedächtnis trotz der Amnesie erhalten bleibt.

Abb. 8.29 Vergleich Prozentsatz erinnerter Wörter bei Amnestikern und Gesunden mit und ohne Priming



Ein Großteil unserer Kenntnisse über das implizite Gedächtnis stammt aus Untersuchungen an amnestischen Personen. Die **Amnesie** ist ein teilweiser Verlust der Erinnerungsfähigkeit auf Grund neuronaler Schädigungen, wie zum Beispiel Hirnverletzungen infolge von Verkehrsunfällen, Schlaganfällen, Encephalitis, elektrokonvulsivem Schock, Alkoholismus (Korsakow-Syndrom) oder auch chirurgischen Eingriffen wie der Entfernung des Hippocampus zur Reduzierung von Epilepsie. Es handelt sich um ***anterograde Amnesie***, wenn die Personen unfähig sind, neues Faktenwissen aufzunehmen oder zu erinnern, wie zum Beispiel Tageserlebnisse. Hierher gehört der im ▶ Exkurs 8.31 besprochene Patient H. M., der seinem behandelnden Arzt täglich neu vorgestellt werden musste (Verlust des Faktenwissens). Als ***retrograde*** (rückwärts weisende) ***Amnesie*** wird, wie wir schon gesehen haben, die Unfähigkeit bezeichnet, sich an Ereignisse zu erinnern, die mehr oder weniger kurz vor der Hirnverletzung

Exkurs 8.31

Genauer betrachtet: Der Fall des H. M.

Einer der am besten untersuchten Amnesiefälle ist ein als „Fall H. M." bekannt gewordener Patient, dem wegen unbehandelbarer epileptischer Anfälle beide medialen Temporallappen sowie die vorderen Drittel des Hippocampus entfernt wurden. Dies führte zu einer ausgeprägten anterograden (vorwärts gerichteten) Amnesie, sodass er über viele Jahre nahezu nicht in der Lage war, sich an neue Ereignisse zu erinnern: „Jeder Moment erscheint mir klar, aber was war gerade davor? Es ist, wie wenn man gerade aus einem Traum erwacht. Ich kann mich einfach nicht erinnern …" (Milner et al. 1968, S. 216). Dagegen zeigte er erstaunliche Fähigkeiten, sich implizite Gedächtnisinhalte neu anzueignen. So machte er beispielsweise beachtliche Fortschritte bei verschiedenen perzeptiv-motorischen Lernaufgaben, wie zum Beispiel bei einem Stiftlabyrinth oder beim Spiegelzeichnen (ein nur im Spiegel sichtbares Bild muss mit dem Stift nachgezogen werden), aber auch in schwierigen Denkaufgaben wie dem *Turm von Hanoi* (siehe ▶ Exkurs 10.9).
Des Weiteren zeigen auch PET-Scans des tätigen Gehirns sowie Autopsien amnestischer Patienten, dass neues explizites Erinnern von Namen, Bildern und Ereignissen über die als Hippocampus bekannten limbischen Strukturen des Gehirns erfolgen (◘ Abb. 2.19).
Weiter noch: Die für das explizite Erinnern zuständigen hippocampalen Strukturen scheinen ähnlich wie der Cortex lateralisiert zu sein, denn Patienten mit Läsionen des linken Hippocampus haben Schwierigkeiten mit der Erinnerung verbaler Information, nicht aber mit der Erinnerung visueller Darstellung oder Lokalisationen, während Patienten mit Störungen des rechten Hippocampus umgekehrt Probleme mit der Erinnerung visuell-räumlicher Inhalte haben (Schacter 1996).

Exkurs 8.32

Genauer betrachtet: Evidenz für unterschiedliche Speicher

Auch die Evidenz für diese Unterscheidung stammt maßgeblich aus Untersuchungsergebnissen, die an hirngeschädigten Patienten gefunden wurden. In der Regel finden sich stärkere Gedächtniseinbußen in Bezug auf persönliche Erlebnisse als in Bezug auf „öffentliche Ereignisse" oder allgemeines Faktenwissen. Viele Patienten sind trotz massiver Probleme beim Erinnern autobiografischer Ereignisse weitgehend unauffällig und verfügen über das nötige semantische Wissen für die üblichen Alltagsanforderungen. Die Beeinträchtigung der Erinnerung an Episoden aus dem eigenen Leben kann dabei bis zum nahezu vollständigen Verlust aller persönlichen Informationen reichen. Tulving (2002) beschreibt die asymmetrischen Defizite eines Patienten mit ausgedehnter Hirnschädigung, insbesondere frontaler Areale, wie folgt: „He cannot recollect any personally experienced events […] whereas his semantic knowledge acquired before the critical accident is still reasonably intact. His knowledge of mathematics, history, geography, and other ‚school subjects', as well as his general knowledge of the world is not greatly different from others' at his educational level." (S. 14).
Hierbei ist allerdings zu bedenken, dass semantisches Wissen im Gedächtnis sehr viel redundanter repräsentiert sein könnte – nämlich als Bestandteil vieler verschiedener Episoden –, wohingegen jede spezifische Episode per definitionem lediglich ein einziges Mal vorkommt. Allerdings wird die Unterteilung episodisch/semantisch auch durch doppelte Dissoziationen gestützt: So existieren Fallbeschreibungen von Patienten, die einen Verlust großer Teile des Schulwissens (mathematische, geografische und historische Kenntnisse) bei intakter Erinnerung persönlich relevanter autobiografischer Informationen aufweisen (z. B. De Renzi et al. 1987). Zudem gehen episodische und semantische Gedächtnisaufgaben in gewissem Ausmaß mit unterschiedlichen Hirnaktivierungen einher (z. B. Nyberg 1998).

oder der Erkrankung liegen, womit das Kurzzeitgedächtnis betroffen sein dürfte. Abgesehen von diesen Gedächtnisverlusten erscheinen amnestische Personen durchaus normal, sowohl ihr Wissen über die Welt als auch ihr Vokabular und ihre Intelligenz scheinen durchaus normal.

Explizites und implizit-prozedurales Gedächtnis werden nach Dissoziationsbefunden insbesondere bei Patienten mit Hirnschädigungen als separate Gedächtnissysteme betrachtet.

Die erst in den letzten Jahren möglich gewordene Unterscheidung von prozeduralem und deklarativem Gedächtnis und ihre Bindung an unterschiedliche Hirnstrukturen löst die seit Jahrzehnten anhaltenden Meinungsdifferenzen zwischen Behavioristen und Kognitivisten. Wie heute erkenntlich, haben wir offenbar zwei Gedächtnissysteme, die tandemartig miteinander verknüpft sind, und beiderlei Lern- und Behaltensvorgänge laufen zumeist nebeneinander und miteinander ab.

8.6.5 Episodisches und semantisches Gedächtnis

Für das explizite deklarative Gedächtnis findet sich in verschiedenen Lehrbüchern eine weitere auf Tulving (1972) zurückgehende Unterteilung in *episodisches Ereigniswissen* und *semantisches Faktenwissen*. Dem episodischen Gedächtnis werden persönliche Erfahrungen zugerechnet; hier werden autobiografische Informationen gespeichert einschließlich ihrer zeit- und kontextbezogenen Codierung, zum Beispiel die Erinnerung an einen Geburtstag, an den eigenen Hochschulabschluss oder die Erinnerung an das letzte Mittagessen, wobei die eigenen Erlebnisse im Vordergrund stehen. Das semantische Gedächtnis bezieht sich dagegen auf allgemeingültige Wahrheiten und das allgemeine Weltwissen. Es wird auch kategorisches Gedächtnis genannt, das die grundlegenden Bedeutungen von Dingen speichert, ohne Berücksichtigung des raumzeitlichen Erfahrungskontextes, zum Beispiel das Wissen, dass die Woche sieben Tage hat oder dass das Wort „Junggeselle" einen unverheirateten Mann bezeichnet oder die Formel des Weber-Fechnerschen Gesetzes. Wie die Beispiele zeigen, ist das Wissen hier nicht in Bezug auf uns selbst codiert, sondern in Bezug zu anderem grundlegenden Wissen.

Exkurs 8.33

Experiment: Rekonstruktion durch Inferenz

Den Versuchspersonen wurde ein Film über einen Verkehrsunfall gezeigt, zu dem ihnen anschließend einige Fragen gestellt wurden, um ihre Erinnerungsleistung zu testen. Dabei wurden auch inhaltlich gleiche Fragen in unterschiedlicher Weise gestellt, mit dem Effekt, dass die unterschiedlich formulierten Fragen auch unterschiedliche „Erinnerungen" über den gleichen Sachverhalt, zum Beispiel die geschätzte Geschwindigkeit der verunglückten Wagen, hervorbrachten. Wurden die Testpersonen gefragt: „How fast were the cars going when they smashed into each other?" („Wie schnell waren die Autos, als sie ineinanderrasten?"), gaben sie bedeutend höhere Geschwindigkeitsschätzungen ab, als wenn sie gefragt wurden: „How fast were the cars going when they hit each other?" („Wie schnell waren die Autos, als sie aufeinandertrafen?"). Offenbar führt die „smashed"-Frage zu der Schlussfolgerung, dass es sich wohl um einen sehr schweren Unfall gehandelt habe, vielleicht schwerer, als man zunächst meinte, was zu einer im Sinne der Frage veränderten Erlebniserinnerung führt. Dann wurden alle Versuchspersonen eine Woche später nochmals gebeten, sich an den Verkehrsunfall zu erinnern, und dabei wurde auch die Frage gestellt: „Did you see any broken glass?" („Haben Sie irgendwelche Glasscherben gesehen?"). Obgleich im Film keinerlei zerbrochenes Glas oder Glasscherben zu sehen gewesen waren, berichteten etwa doppelt so viele der Versuchspersonen, die vor einer Woche die „smashed"-Frage erhalten hatten, dass sie sich an Glasscherben erinnerten (ein Drittel), wie diejenigen, die die „hit"-Frage erhalten hatten (14 %). Ganz offensichtlich veränderte allein das bei der Frage veränderte Verb die Erinnerung an den Unfall, und das zu dieser Zeit rekonstruierte Gedächtnis enthielt nun Details, wie das zerbrochene Glas, die in dem im Film gezeigten Unfall tatsächlich nicht vorhanden waren (Loftus und Palmer 1974; Loftus et al. 1985).

Das episodische Gedächtnis

speichert Informationen über persönliche Erlebnisse und Episoden.

Das semantische Gedächtnis

encodiert allgemeines Wissen in Relation zu anderen Wissensbeständen und nicht in Relation zur eigenen Person.

Die Annahme, dass es sich auch hierbei um unterschiedliche Gedächtnisspeicher handelt, geht wiederum auf Beobachtungen an amnestischen Patienten zurück, bei denen, wie bereits besprochen, nur die Erinnerung an persönliche Erlebnisse und Episoden nicht mehr möglich ist, während das semantische, früher gelernte Faktenwissen erhalten bleibt, was dafür spricht, dass es sich tatsächlich um zwei verschiedene Gedächtnissysteme handelt (► Exkurs 8.32).

8.7 Konstruktives Gedächtnis

Unser Gedächtnis leistet in vielen Fällen bei weitem nicht das, was wir von ihm erwarten. Es lässt uns Dinge oder Zusammenhänge erinnern, die es so aber gar nicht gegeben hat, und wir sind dabei fest von der Richtigkeit überzeugt. Wir erinnern oft mehr oder anderes, als was sich tatsächlich zugetragen hat. So erinnerte sich beispielsweise der bekannte Gedächtnisforscher Neisser (1982) lebhaft daran, dass er die Bekanntgabe des Bombardements auf Pearl Harbor als Unterbrechung einer Baseballspielübertragung im Radio hörte. Jahre später realisierte er, dass amerikanische Baseballspiele nicht im Dezember stattfinden, in dem das Bombardement erfolgte. Obgleich er nun wusste, dass die Erinnerung nicht stimmte, blieb diese „falsche" Erinnerung für ihn erhalten.

Zahlreiche ähnliche Beispiele weisen darauf hin, dass unser Gedächtnis nicht, wie es zunächst den Anschein hat, tatsachengetreu arbeitet, das Wahrgenommene unverändert speichert und das Abgespeicherte später wie ein Kopiergerät unverändert wiedergibt. Vielmehr lassen sich unsere Gedächtnisleistungen, wie schon Sir Frederic Charles Bartlett (1932) angenommen hatte, im Sinne eines Konstruktions- und Rekonstruktionsprozesses begreifen. Wahrgenommene Ereignisse werden nicht einfach kopiert, sondern es werden vielmehr Abbildungen der Ergebnisse konstruiert, die abgespeichert werden, und beim Abruf aus dem Gedächtnis werden die Ereignisse aus den gespeicherten Repräsentationen abgeleitet und rekonstruiert oder konstruiert. Dies bezeichnet man als **konstruktives Gedächtnis** (*constructive memory*). Bei diesem Gedächtnisprozess greift unser Gedächtnissystem auf bereits gespeicherte, bekannte Inhalte zurück, wie wir das bereits in ► Abschn. 8.6.2 (Verarbeitungstiefe) gesehen hatten.

Wenn wir etwas wiedergeben wollen, was wir vor Kurzem gehört oder gelesen haben, so erinnern wir uns dabei nicht an den wörtlichen Text, sondern wir erinnern uns vielmehr an den wesentlichen Inhalt, an allgemeine Vorstellungen oder Tatsachen dessen, was gesagt oder gelesen wurde, was man also aus dem Gehörten oder Gelesenen abstrahiert, vereinfacht, konzentriert hat. Somit wird das Abrufen zu einer *Problemlöseaufgabe*, bei der bisweilen verschiedene Informationsanteile zusammengebracht und wieder als Ganzes erinnert werden. Dies Modell macht erneut deutlich, dass (wie beim Vergessen) die Erinnerung auf zweierlei Weise gestört oder verändert werden kann, nämlich (1) sowohl bei der konstruktiven Verarbeitung und Encodierung wie auch (2) bei dem rekonstruktiven Abruf des Erinnerten. Wenn wir zum Beispiel den Satz hören: „Der Bauer zog sich die Schuhe aus, als er vom Feld kam", neigen wir dazu, uns vorzustellen, dass es sich dabei um grobes Schuhwerk oder Stiefel handele. Diese folgerichtige Erweiterung des gehörten Satzes, die aus unserem Verstehenwollen resultiert, wird automatisch zu der Erinnerung hinzugefügt. So ergänzen wir die vielleicht unvollständige Originalinformation durch unser allgemeines Wissen über die gegebene Situation oder den gegebenen Zusammenhang (bei der Feldarbeit trägt man grobes Schuhwerk, keine Tanz- oder Tennisschuhe). Der gleiche Plausibilitätsverlauf kann auch beim Abruf der gespeicherten Inhalte stattfinden. So gesehen erscheint unser konstruktives Gedächtnis als ein Nebenprodukt unseres notwendigen Bemühens, das Wahrgenommene zu verstehen.

Exkurs 8.34

Genauer betrachtet: Inferenzen bei Gedächtnistest

Inferenzen können nach vorliegenden Untersuchungen sowohl beim Einspeichern als auch beim Abrufen Einfluss auf die erinnerten Inhalte nehmen, wobei es bisweilen schwierig ist, eine genaue Entscheidung darüber zu treffen. In einer typischen Untersuchung ließen Sulin und Dooling (1974) ihre Versuchspersonen zunächst folgende Textpassage lesen: „Carol Harris braucht professionelle Hilfe. Von klein auf war Carol Harris ein schwieriges Kind. Sie war wild, störrisch und gewalttätig. Mit acht Jahren war sie immer noch schwer erziehbar. Ihre Eltern machten sich Sorgen über ihren Geisteszustand. Weit und breit gab es keine geeignete Einrichtung für ihr Problem. Ihre Eltern beschlossen schließlich, etwas zu unternehmen. Sie stellten einen Privatlehrer für Carol ein."
Diesen Text gaben sie auch einer zweiten Gruppe von Personen zu lesen, jedoch wurde hier der Name Carol Harris durch den Namen Helen Keller[1] ersetzt. Beide Gruppen wurden eine Woche später einem Wiedererkennungstest unterzogen, in welchem sie vorgegebene Sätze darauf hin beurteilen sollten, ob diese in dem gelesenen Textabschnitt vorgekommen waren. Einer der kritischen Sätze, der *nicht* in dem vorgegebenen Text vorkam, lautete: „Sie war taub, stumm und blind." Aus der Gruppe, die den Carol-Harris-Text gelesen hatten, glaubten nur 5 %, diesen Satz gelesen zu haben, während aus der Helen-Keller-Gruppe jeder Zweite (50 %) bejahte, diesen Satz gelesen zu haben. Dieses erwartete Ergebnis lässt sich wohl nur so interpretieren und verstehen, dass die zweite Gruppe die gelesene Geschichte mit Gedächtnisinhalten elaborierte oder vermischte, die sie bereits über Helen Keller wusste. Zu welchem Zeitpunkt diese Elaboration stattfand, lässt sich hiernach noch nicht eindeutig festlegen, aber zumindest erschien es den Versuchspersonen zum Zeitpunkt des Testes nicht unvernünftig, dass dieser Satz im ursprünglich gelernten Material vorgekommen war.
Dooling und Christiaansen (1977), die den Carol-Harris-Text ebenfalls verwendeten, variierten das Experiment in der Weise, dass sie ihre Versuchspersonen den Carol-Harris-Text lesen ließen und ihnen erst eine Woche später, unmittelbar vor dem Wiedererkennungstest, mitteilten, dass es sich bei Carol Harris in Wirklichkeit um Helen Keller handle. Unter diesen Bedingungen kann eindeutig eine Inferenz erst zum Testzeitpunkt stattfinden. Und tatsächlich kam es auch unter diesen Versuchsbedingungen zu einer ganzen Reihe von Inferenzfehlern, wobei auch der Satz: „Sie war taub, stumm und blind" akzeptiert wurde. Damit war belegt, dass auf Inferenzen beruhende Rekonstruktionen zumindest auch zum Zeitpunkt des Erinnerns erfolgen.

1 Helen Keller (1880–1968) war eine auch heute noch in den USA bekannte Schriftstellerin, die mit 19 Monaten Augenlicht und Gehör verlor, von einer hingebungsvollen Lehrerin unterrichtet wurde, so dass sie studieren und mit der Promotion zum Doktor der Philosophie (Dr. phil) abschließen konnte.

Unterschieden werden zumeist drei Arten konstruktiver Prozesse unseres Gedächtnisses: (1) *Inferenzen* (inhaltliche Schlussfolgerungen), (2) *Stereotype* und (3) *Schemata*.

8.7.1 Inferenzen als konstruktive Prozesse

Um uns an einen gespeicherten Gedächtnisinhalt zu erinnern, benutzen wir den Teil, den wir wirklich abrufen können, und schließen auf das, was wir außerdem erinnert haben müssten. Es gibt viele Belege dafür, dass wir solche Inferenzen zum Zeitpunkt des Abrufs ausführen. Zumeist sind wir uns dabei der Tatsache nicht bewusst, dass wir Schlussfolgerungen ziehen beziehungsweise **Inferenzen** bilden und nicht allein das Gespeicherte wiedergeben – eine Erkenntnis, die insbesondere bei der Beurteilung von *Augenzeugenberichten* berücksichtigt werden muss, wie die in ▶ Exkurs 8.33 dargestellten Untersuchungen von Elizabeth Loftus an über 20.000 befragten Personen zeigen.

Beim Erinnern werden offenbar, ohne dass wir es in jedem Fall merken, Lücken mit plausiblen Einzelheiten aufgefüllt, die sich aus dem allgemeinen Kontext ergeben. Wie das Beispiel in ▶ Exkurs 8.33 zeigt, kann dies auch durch später (bei der ersten Befragung) aufgenommene Informationen erfolgen und sich in einer dann weiteren Befragung auswirken.

In zahlreichen Folgeexperimenten, in denen Versuchspersonen, die ein bestimmtes, vorher erlebtes Ereignis bezeugen sollten, zwischenzeitlich keine oder irreführende zusätzliche Informationen erhielten und dann einem Gedächtnistest unterzogen wurden, zeigte sich immer wieder, wie leicht und mit wie geringen Missinformationen selbst Personen mit gutem Erinnerungsvermögen dazu gebracht werden können, falsche „Informationen" zu erinnern. So konnten sogar Studenten mit gutem Gedächtnis dazu verleitet werden, ein Vorfahrtsschild fälschlich als Stoppschild oder einen Hammer als Schraubenzieher zu erinnern oder, dass sich eine nicht existierende Scheune am Tatort befand (Loftus 1979, 1993).

Dies hat umfangreiche Implikationen für die Befragung von Zeugen durch die Polizei oder vor Gericht. Je nach Art der Fragestellung kann der Befrager bestimmte Details implizieren und falsche Erinnerungen beim Zeugen induzieren (oder zumindest wahrscheinlicher machen).

Da Erinnern weitgehend ein *Rekonstruktionsprozess* ist, können wir also bisweilen nicht sicher sein, ob die Erinnerungen wirklich so real sind, wie wir sie als real erleben, insbesondere dann nicht, wenn sie weit in unserer Vergangenheit liegen. Auch ein wiederholtes Vorstellen nicht existenter Ereignisse kann zu falschen Erinnerungen führen. Ein Beispiel, wie permanente Assoziationen durch Inferenz das Erinnern eines Textes systematisch verzerren können, verdeutlicht ▶ Exkurs 8.34.

Wenn uns die Eltern wiederholt Begebenheiten erzählten, die sich in unserer Kindheit zugetragen haben (sollen), kommt es nicht selten vor, dass wir diese später als eigene Erlebnisse „erinnern" (▶ Exkurs 8.35).

Erinnerungen an erlebte Ereignisse werden rekonstruiert und dabei mit plausiblen Einzelheiten aufgefüllt (konstruktives Gedächtnis). Falsche Erinnerungen können dabei auch durch die Art der Fragestellung induziert werden.

Exkurs 8.35

Genauer betrachtet: Erinnern von Nichtereignissen und Einbildungseffekte

In einer Studie von Hyman et al. (1995; Hyman und Pentland 1996) wurden Studenten der Universität Washington gebeten, sich an tatsächliche Kindheitserlebnisse zu erinnern, von denen ihre Eltern den Versuchsleitern zuvor berichtet hatten. Dabei wurden die Studenten in einer der Sitzungen auch nach einem vorgegebenen falschen Ereignis, wie zum Beispiel dem Umstoßen eines Sektglases bei einer Hochzeit, gefragt. Die Studenten wurden angehalten, zwischen den Sitzungen die Erlebnisse nochmals zu überdenken. Als sie dann beim dritten Interview unter anderem gebeten wurden, etwa zu erinnern: „Was geschah, als du sechs Jahre alt warst und auf einer Hochzeit warst?", wurde unter anderem auch das *suggerierte* Nichtereignis als Erinnern wiedergegeben. Insofern kann dies auch als Beispiel der **Suggestion** gesehen werden.

8.7.2 Stereotype

Vielfach ergänzen wir das, was wir über eine Person wissen, meist allerdings nicht bewusst, auch durch Informationen aus in unserem Gedächtnis gespeicherten sozialen Stereotypen. Der Begriff des Stereotyps wird in verschiedenen Gebieten der Psychologie und Psychiatrie unterschiedlich definiert. Hier verstehen wir ihn als Paket vereinfachender schematisierender Vorstellungen über Persönlichkeitseigenschaften und physisches Erscheinungsbild einer ganzen Gruppe oder Klasse von Menschen, Nationen oder Berufen. Wir können so zum Beispiel eine stereotype Vorstellung von einem typischen Amerikaner, Schweden oder Italiener oder auch von einem typischen Gastarbeiter, Rechtsanwalt oder Straßenfeger haben.

Wenn wir nun Informationen über eine uns zunächst fremde Person aufnehmen, sei es, dass wir sie persönlich kennenlernen, sei es, dass wir von ihr durch Erzählung erfahren, neigen wir sehr bald dazu, sie einem uns bekannten Stereotyp zuzuordnen (er ist wie ein typischer Schwede, ein typischer Rechtsanwalt und so weiter). Bei einer späteren Erinnerung an die besagte Person kommt es dann oft zu Verschiebungen der erinnerten Details in Richtung auf das uns vertraute Stereotyp. Wir erinnern zum Beispiel die Schwedin mit viel blonderem Haar und viel blaueren Augen, als die uns damals als Schwedin vorgestellte Person wirklich hatte.

Stereotyp

Ein Stereotyp ist eine Menge von Inferenzen (oft von Vorurteilen) über die Persönlichkeits- oder Körpermerkmale einer ganzen Klasse von Personen.

8.7.3 Schemata

Im Zuge der Untersuchung konstruktiver Gedächtnisprozesse während der 1970er-Jahre wurde immer deutlicher, dass unser semantisches Gedächtnis Strukturen beinhaltet, die umfassender sind als einfache Konzepte, wie sie von Loftus et al. (1985) angenommen wurden. Doch bereits Sir Frederic C. Bartlett (1932) schlug in seinem klassischen Buch *Remembering* eine Interpretation des Gedächtnisses vor, die annahm, dass wir neu gelerntes Material in Form bereits existierender Strukturen einspeichern und erinnern, die er als **Schema** oder Schemata (Plural) bezeichnete. Er nahm an, dass die nachweisbaren Einnerungsverschiebungen generell ähnlich in der Weise verlaufen, wie wenn wir unsere Erinnerungen an Personen in vorhandene Stereotype einpassen. Nach Bartlett bezeichnet ein Schema eine organisierte Struktur, die unser Wissen und unsere Erwartungen hinsichtlich eines bestimmten Aspekts der Welt umfasst. Mit anderen Worten: Schemata sind Modelle eines Teiles unserer Umwelt und unserer Erfahrungen. Sie sind mentale Repräsentationen, zum Beispiel einer Klasse von Menschen (Stereotype), Klasse von Objekten, Ereignissen oder Situationen. Ähnlich wie Stereotype eine Klasse von Menschen (zum Beispiel Italiener, Homosexuelle) repräsentieren, werden auch andere allgemeine Kategorien, wie Schrank, Haus, Tisch oder Hund, als **Schemata** verstanden, die eine gewisse Klasse von Objekten repräsentieren. Solche allgemeinen Kategorien, die gängig erlebte soziale Abläufe von Ereignissen beschreiben, wie zum Beispiel „in einen Bus einsteigen" oder „in ein Restaurant gehen", werden auch spezifischer als **Skripte** (*scripts*) bezeichnet (Schank und Abelson 1977). Sie stellen gewissermaßen Ereignisschemata dar. So haben wir aufgrund unserer Erfahrungen zum Beispiel ein recht genaues Schema (Skript) von einem Restaurantbesuch: Wir gehen hinein, finden einen Tisch, erhalten eine Menükarte, bestellen, warten, erhalten das bestellte Menü und so weiter. Oder wir haben ein Skript, wie wir uns verhalten, um mit dem Bus zu fahren: aufsuchen der Bushaltestelle, warten, Knopf drücken zum Türöffnen (falls nötig), einsteigen, zahlen oder entwerten, festhalten und so weiter.

Wie die Beispiele zeigen, sind Schemata keine einzelnen Wissenselemente, sondern *Wissensbündel*, die an einen Begriff gebunden sind und durch diesen aktiviert werden können (zum Beispiel „Restaurantbesuch", „Busfahren"). Daher impliziert allein das Hören oder Erinnern von Begriffen bestimmte Erwartungen, die für einzelne Menschen, je nach ihren gespeicherten Schemata, unterschiedlich sein können. An manchen Orten gehört es sich zum Beispiel beim Eintritt in ein Restaurant, dass man wartet, bis man einen Platz zugewiesen bekommt. Vielfach sind Skripts auch kulturabhängig.

Die Verwendung solcher Schemata sowohl beim Wahrnehmen und Denken als auch beim Erinnern wurde in verschiedenen Experimenten nachgewiesen (► Exkurs 8.36). Im Gedächtnis gespeicherte Schemata erlauben uns, große Mengen von Information schnell und ökonomisch zu filtern, zu organisieren und zu speichern. Unter Verwendung differenzierter Schemata erübrigt es sich bei jedem neuen Objekt, Ereignis oder Person, der wir begegnen, alle Details zu speichern. Es genügt zu bemerken, dass es sich um ein bestimmtes, bereits im Gedächtnis gespeichertes Schema handelt, und wir brauchen nur noch Abweichungen oder besondere Merkmale zu encodieren und zu erinnern. Diese kognitive Ökonomie hat jedoch zur Folge, dass das wahrgenom-

Exkurs 8.36

Experiment: Gedächtnis und Schemata

Den Einfluss, den *aktivierte Schemata* auf das Erinnern von selbst erlebten Begebenheiten haben, konnten Brewer und Treyens (1981) auf bemerkenswerte Weise in einem einfachen Experiment nachweisen. Sie führten nacheinander und jeweils einzeln insgesamt 30 Versuchspersonen in einen Raum, wie er in der ◘ Abb. 8.30 dargestellt ist, wobei ihnen gesagt wurde, dass es sich um das „Büro des Versuchsleiters" handle. Hier sollten die Versuchspersonen so lange warten, bis der Versuchsleiter im Laborraum nachgesehen hatte, ob die vorangehende Versuchsperson schon fertig ist. Nach einer Wartezeit von 35 s kam der Versuchsleiter zurück und brachte die wartende Person aus dem Büro in einen benachbarten Seminarraum. Hier erhielt sie die Instruktion, dass sie nun alles aufschreiben sollte, was sie von dem „Büro" (dem eigentlichen Experimentalraum) noch im Gedächtnis hatte.

Die Ergebnisse bestätigten voll die Erwartung, dass die Versuchspersonen sich insbesondere an solche Ausstattungsgegenstände erinnern würden, die zu einem typischen Büroschema gehören, und dass möglicherweise sogar typische Bürogegenstände erinnert werden, die sich aber gar nicht in dem Experimentalraum befunden hatten. So erinnerten sich beispielsweise 29 von 30 Teilnehmern daran, dass in dem Büro ein Stuhl und ein Schreibtisch stand. Aber nur acht Versuchspersonen erinnerten sich an den anatomischen Schädel und das Notizbrett. Ferner gaben tatsächlich neun Versuchspersonen an, dass sie Bücher gesehen hätten, die aber nicht vorhanden waren.

Die Ergebnisse zeigen, dass wir, insbesondere wenn die Erinnerung flüchtig oder lückenhaft ist (35 s Beobachtungszeit), dazu neigen, uns von unseren Schemaerwartungen bei dem Erinnern unwissentlich beeinflussen zu lassen.



Abb. 8.30 Blick in das „Büro des Versuchsleiters". (Brewer und Treyens 1981)

Exkurs 8.37

Genauer betrachtet: Schemata „Krieg der Geister"

In seinem klassischen Werk *Remembering* stellte der britische Psychologe Sir Frederic C. Bartlett (1932) einige eindrucksvolle Belege für die Rolle von Schemata bei Gedächtnisprozessen dar, die er in seinen Experimenten mit englischen Probanden vor dem Ersten Weltkrieg sichern konnte. Seine wohl bekannteste Geschichte, die er von Studenten jeweils nacherzählen ließ, war „The war of the ghosts" („Der Krieg der Geister"), die wiederholt auch zu weiteren Forschungsarbeiten verwendet wurde. Die Geschichte gehört zur mündlichen Überlieferung der Indianerstämme von der Westküste Kanadas und passt zu deren Schemata über die Abläufe in ihrer Welt. Sie passt jedoch weder in unsere kulturellen Schemata noch in die der britischen Oberschicht zu Zeiten König Edwards, aus der Bartletts Versuchspersonen stammten.

Die Geschichte ist etwa 30 Buchzeilen lang und handelt von Kriegern, Kämpfen an einem Fluss, einem Indianer, der getroffen wurde, sich aber nicht krank fühlt, „mit den Geistern geht", zu Hause ankommt und erzählt: „Etwas Schwarzes kam aus seinem Mund" – und tot ist.

Die Versuchspersonen hatten die Geschichte, nachdem sie sie gehört hatten, nach unterschiedlich langen Verzögerungszeiten (direkt nach dem Lesen bis nach mehreren Jahren) wiederzugeben – entsprechend der Methode der wiederholten Reproduktion (*repeated reproduction*). Daneben wurde auch die Methode der seriellen Reproduktion (*serial reproduction*) verwendet, bei der eine Versuchsperson die Geschichte liest und sie einer anderen weitererzählt und diese sie ihrerseits einer dritten Person erzählt und so weiter.

Wie zu erwarten, zeigten sich bei Bartletts Versuchspersonen deutliche Verzerrungen in den reproduzierten Geschichten, die zudem im Laufe der Zeit zunahmen. Große Teile der Geschichte, die den Versuchspersonen wegen des fehlenden Verständnisses des kulturellen Hintergrundes offensichtlich unklar waren, wurden weggelassen, zahlreiche Einzelheiten wurden geändert und neue Informationen hinzugefügt. Die unwissentlichen Veränderungen in Einzelheiten waren insofern systematisch, als sie sich ihren eigenen kulturellen Schemata anpassten. So wurde zum Beispiel aus dem Satz: „Etwas Schwarzes kam aus seinem Mund" in der Reproduktion: „Er hatte Schaum vor dem Mund" oder „Er erbrach sich", oder die Rolle der Geister wurde ins Gegenteil verkehrt. So wurde die Geschichte den Versuchspersonen insgesamt verständlicher, entsprach aber nicht exakt dem, was sie gelesen hatten, sondern passte sich zunehmend den eigenen kulturellen Schemata an (Bartlett 1932).

Exkurs 8.38

Genauer betrachtet: Begriffe aktivieren Schemata

In einer Reihe von Experimenten konnten Bransford und Johnson (1972) eindrücklich demonstrieren, welchen Einfluss Wissensstrukturen (Schemata), die zuvor durch einen Begriff aktiviert wurden, sowohl auf das Verstehen als auch auf die Verarbeitung und damit auch auf die Erinnerbarkeit haben.
In einer exemplarischen Untersuchung bekamen jeweils zwei Versuchspersonengruppen ein und dieselbe kurze Geschichte zu lesen oder erzählt, die jedoch mit unterschiedlichen Titeln versehen war. So erhielt eine Gruppe die Geschichte mit dem Titel „Die Beobachtung einer Friedensdemonstration vom 40. Stockwerk aus", während die andere Versuchspersonengruppe den Text unter dem Titel „Raumfahrt zu einem bewohnten Planeten" erhielt. Der gemeinsame Text, der weitgehend zu beiden Titeln passte, enthielt unter anderem jedoch einen Satz, der nur unter der „Raumfahrt"-Überschrift verständlich schien: „Die Landung war sanft und die Atmosphäre glücklicherweise so beschaffen, dass keine besonderen Anzüge getragen werden mussten."
Bei der späteren Wiedergabe der erinnerten Inhalte zeigte sich, dass immerhin über die Hälfte der Versuchspersonen, die den Text unter dem „Raumfahrt"-Aspekt gelesen hatten, sich an diesen Satz erinnerte, während sich aus der Gruppe, denen als Überschrift der Friedensdemonstrationstitel gegeben wurde, nur sehr wenige an den Satz erinnern konnten, der, wie ersichtlich, nur schwer mit dem Thema einer Friedensdemonstration in Verbindung gebracht werden kann. Hier war der Satz in dem aktivierten Schema offensichtlich nur schwer verständlich oder schwer zu integrieren, sodass er auch zumeist nicht erinnert werden konnte.

Exkurs 8.39

Genauer betrachtet: Illustrierendes Beispiel

Wir lesen:
1. Rolf und Dieter gingen ins Kino.
2. Rolf und Dieter sprachen über Einkäufe, während sie in der Schlange warteten.
3. Rolf musste während des Films immer husten, sodass Dieter sich gestört fühlte.

Durch Satz 1 wird unser Kinoschema aktiviert, so dass wir geneigt sind, eher Satz 3 zu behalten als Satz 2, der sich weniger auf unser Kinoschema bezieht. Wenn wir später nach der Geschichte von dem Kinobesuch gefragt werden, wird damit unser Kinoschema aktiviert, was uns wiederum eher zu Satz 3 führt. Das heißt, auch der Abrufprozess wird von dem aktivierten Schema beeinflusst, indem es den Suchprozess steuert (Brewer und Nakamura 1984).

mene, gespeicherte und erinnerte Objekt, Ereignis oder Ablauf verzerrt wird, wenn es nicht recht zu dem verwendeten Schema passt, wie das Experiment in ▶ Exkurs 8.36 zeigt.

F. Bartlett, der die Wirkung von Schemata auf das Gedächtnis als Erster systematisch untersuchte, konnte bereits 1932 mit einem später vielfach wiederverwendeten Ansatz nachweisen, dass wir unwissentlich geneigt sind, wiedererzählte Geschichten oder Wissensinhalte gemäß uns bekannten Schemata (konstruktiv) zu verändern (▶ Exkurs 8.37).

Bei den dabei auftretenden Veränderungen lassen sich drei Arten konstruktiver Prozesse unterscheiden.

1. **Assimilieren** (*assimilation*): Die Einzelheiten werden so verändert, dass sie zu unserem Hintergrundwissen (Schema) passen.
2. **Nivellieren** (*leveling*): Die Geschichte wird vereinfacht.
3. **Akzentuieren** (*sharpening*): Bestimmte Einzelheiten werden besonders hervorgehoben.

Dabei kann es vorkommen, dass auch Handlungen oder Gegenstände erinnert werden, die in der zu erinnernden Geschichte oder Beschreibung gar nicht vorgekommen sind, die aber typischerweise zu dem verwendeten Schema, zum Beispiel eines Restaurantbesuchs, gehören (Bower et al. 1979). Wenn jemand zum Beispiel nur folgende Sätze gehört hat: „Rolf bestellte ein Steak. Er trank Rotwein zu seinem Essen. Er gab ein großzügiges Trinkgeld", so liegt es nahe, dass er beim späteren Abruf auch erinnert, dass Rolf das Steak gegessen hat. Auch konnte nachgewiesen werden, dass aus derselben Geschichte Details unterschiedlich gut oder auch gar nicht erinnert werden können, je nach dem bei der Encodierung aktivierten Schema, wie das Beispiel in ▶ Exkurs 8.38 zeigt.

So können zum Beispiel von ein und derselben Geschichte (oder auch eines Zeitungsartikels) ganz unterschiedliche Einzelheiten erinnert werden, je nachdem, unter welchem Titel sie präsentiert wird.

Schemata können also sowohl den Encodierungs- als auch den Rückruf-Abruf-Prozess des Langzeitgedächtnisses beeinflussen. Ist während des Lesens einer Geschichte ein bestimmtes Schema präsent, so neigen wir dazu, hauptsächlich die Dinge gut abzuspeichern, die schemabezogen sind. Da sich auch der spätere Abrufprozess vornehmlich an den jeweils aktivierten Schemata orientiert, werden nicht passende Anteile weniger gut oder gar nicht erinnert (dies wird in ▶ Exkurs 8.39 illustriert).

Schema

Ein Schema ist eine kognitive Repräsentation einer Klasse von Objekten, Personen, Ereignissen oder Situationen. Es ist ein Wissensbündel, das Generalisierungen encodiert. Schemata beeinflussen sowohl Prozesse des Encodierens in das LZG als auch Prozesse des Abrufs.

8.8 Gedächtnisverbesserung und Lernstrategien

Den Techniken zum Lernen und Behalten von Information schenkten bereits die alten Griechen viel Beachtung. Das Wissen über diese Gedächtniskunst war ein wesentlicher Bestandteil der Kenntnisse der damaligen Redner. Daher stammt der auch heute noch vielfach verwendete Begriff **Mnemotechniken** (griech: Mneme: Gedächtnis, Erinnerungsvermögen) für die vielfältigen Memorisierungsstrategien. Etliche von ihnen enthalten merkwürdige geistige Umwege. Wenden wir diese jedoch richtig an, so funktionieren sie überraschend gut.

Exkurs 8.40

Genauer betrachtet: Das Codierungssystem von „S. F."

Ihre Erfahrung als Langstreckenläuferin veranlasste die Versuchsperson S. F. dazu, bei einem solchen Behaltenstest jeweils vier Ziffern als Laufzeiten zu verschlüsseln. Die Sequenz 4 1 6 wurde als eine gute Zeit für einen Ein-Meilen-Lauf zusammengefasst, die Sequenz 5 32 8 als eine schlechte Zeit und so weiter. Da der Versuchsperson viele verschiedene Laufzeiten bekannt waren, konnte sie schnell entsprechend passende Chunks in ihrem Gedächtnis finden. Kurze oder nicht passende Sequenzen, die nicht als Laufzeiten interpretiert werden konnten, wurden als Alter oder Geburtsdaten bekannter Familienangehöriger codiert. Darüber hinaus wurden die so gespeicherten Viererblöcke von der Versuchsperson auch noch hierarchisch organisiert, sodass zum Beispiel ein Chunk (eine Laufzeit) im Kurzzeitgedächtnis auf drei verschiedene weitere Laufzeiten verweist. So konnte die Versuchsperson beim Abruf des gespeicherten Kurzzeitchunks zunächst zur ersten der drei bekannten Laufzeiten gehen und ihre vier Ziffern reproduzieren, dann die vier Ziffern der zweiten Laufzeit und schließlich die der dritten. In dieser Weise konnten bereits mit einem im Kurzzeitgedächtnis erinnerten Dreierchunk $3 \times 4 = 12$ Ziffern erinnert werden, was sich bei sieben möglichen Chunks im Kurzzeitgedächtnis entsprechend erhöht. Wie Abb. 8.31 zeigt, konnte die Versuchsperson von Chase und Ericsson nach einem Jahr Übung ihr Zahlengedächtnis auf mehr als 18 Items erweitern. Auch wenn wir selbst die Leistung dieses Gedächtniskünstlers nicht erreichen werden, so konnten Chase und Ericsson ihre Ergebnisse mit anderen Versuchspersonen wiederholen. Dabei entwickelte jede Versuchsperson ihr eigenes System von Verknüpfungen.

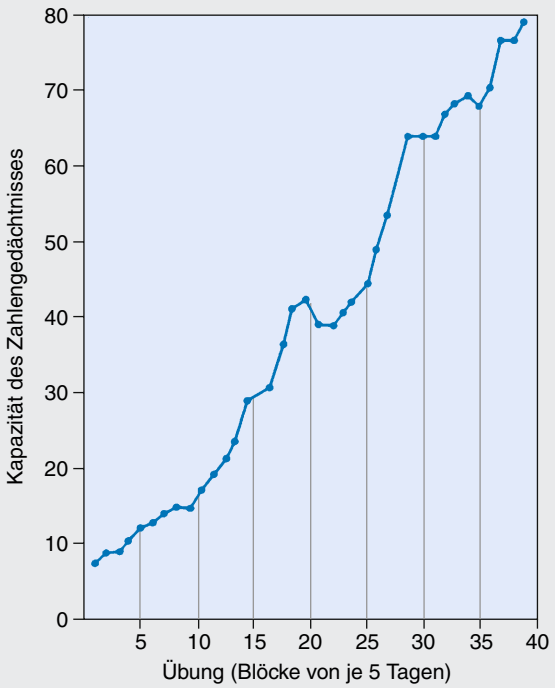


Abb. 8.31 Behaltensleistung eines Gedächtniskünstlers, der von Chase und Ericsson untersucht wurde. Die Kurve zeigt die zunehmende Behaltensleistung des Zahlengedächtnisses im Laufe von 190 Übungsstunden (in 38 Blöcken von je 5 Tagen) auf das Zehnfache

Der entscheidende Trick zur Verbesserung von Gedächtnisleistungen besteht darin, die zu lernenden Dinge so zu organisieren, dass sie im Bedarfsfalle wieder gefunden werden können. Organisation ist daher das wesentliche Grundprinzip jedes effektiven Datenabrufs. Auch das menschliche Gedächtnis macht hier keine Ausnahme.

In diesem Abschnitt werden wir einige Techniken für die Verbesserung von Gedächtnisleistungen (*improving memory*) besprechen. Wir greifen dabei auf zum Teil bereits dargelegte Grundprinzipien der verschiedenen Gedächtnissysteme zurück, wobei wir uns hier jedoch auf den im akademischen Studium wichtigen Bereich des Gedächtnisses für Fakten (*deklaratives Gedächtnis*) konzentrieren werden. Wir beginnen mit Ausführungen zur Verbesserung der Arbeitsgedächtnisspanne und werden uns dann einer Reihe von Verfahren zuwenden, die sich für die Verbesserung des langfristigen Behaltens bewährt haben.

8.8.1 Chunking als Behaltensstrategie

Auch in der Praxis hat sich das bereits besprochene **Chunking** vielfach bewährt und lässt sich systematisch ausweiten. Das Grundprinzip liegt in der Neucodierung einzelner Items durch Gruppierung in größere Muster auf der Grundlage von Informationen, die wir im Langzeitgedächtnis gespeichert haben. So wird es Ihnen ohne Chunking sicher schwerfallen, die folgende Sequenz von 16 Ziffern zu behalten: 1848194518711989. Wenn Sie aber die Ziffern nach Daten wichtiger Ereignisse in der deutschen Geschichte gruppieren (1848–1945–1871–1989, womit nur vier Chunks entstehen), wird es Ihnen unschwer gelingen, bereits nach einem kurzen Blick alle Ziffern in der richtigen Reihenfolge wiederzugeben, sofern auch Ihnen die Geschichtszahlen bekannt sind (Französische Revolution beziehungsweise Kommunistisches Manifest, Ende des Zweiten Weltkrieges, Kaiserproklamation Versailles, deutsche Wiedervereinigung). Auch Altersangaben oder Geburtstage bekannter Familienangehöriger eignen

sich zur Codierung von Ziffernfolgen. Leider aber lassen sich nicht alle Ziffernfolgen, die wir uns merken wollen, so einfach umcodieren, wie in diesem Beispiel, da wir zumeist nicht genügend exakt passende Daten in unserem Gedächtnis gespeichert haben. Wenn wir uns jedoch ein *Codierungssystem* aneignen können, das sich an beliebige Zahlenfolgen anpassen lässt, so können wir unsere Kurzzeitgedächtnisspanne beträchtlich erhöhen.

Paradebeispiel für die Entwicklung eines solchen Codierungssystems ist die von Chase und Ericsson (1982) untersuchte und als „S. F." bekannt gewordene Versuchsperson, die innerhalb von eineinhalb Jahren ihre Gedächtnisspanne durch intensives Training (drei bis fünf Stunden pro Woche) von den üblichen 7 ± 2 auf ganze 80 Zufallszahlen erweitern konnte (▶ Exkurs 8.40).

Dass dieses Chunking-Prinzip nicht allein auf das unmittelbare Zahlengedächtnis beschränkt ist und auch praktische Relevanz haben kann, konnten Ericsson et al. (1980) durch eine Untersuchung mit einem Kellner nachweisen, der vollständige Essensbestellungen für 16 Personen bewältigen konnte, ohne etwas aufzuschreiben.

Untersuchungen mit Schachexperten zeigten, dass diese die Stellung von 20 bis 25 Schachfiguren auf einem Schachbrett korrekt reproduzieren können, auch wenn sie dieses nur wenige Sekunden gesehen haben. Diese erstaunliche Gedächtnisleistung funktioniert jedoch nur, wenn die Schachfiguren in einer sinnvollen Anordnung auf dem Brett stehen, so dass die Experten ihre im Langzeitgedächtnis gespeicherten Chunks für das Memorieren nutzen können (Chase und Simon 1973). Das Erlernen eines derartigen Codierungssystems befähigt Personen also zu erstaunlichen Gedächtnisleistungen. Jedoch ist der Lernaufwand dafür zumeist beträchtlich.

Wesentlich weniger aufwändig und weniger umfangreich, aber im gewöhnlichen Alltag dafür doch recht effektiv, lässt sich ein Chunking anwenden, das die einzelnen Items (Ziffern) in einem rhythmischen Muster oder nach zeitlichen Abständen beim Sprechen gruppiert – ein Chunking, das auch oft in Werbesendungen angewandt wird. So lässt sich die Ziffernfolge 1 8 4 3 8 5 9 2 6 9 2 7 rhythmisch ausgesprochen (184, Pause, 385, Pause, 926, Pause, 927) zumeist viel leichter merken als die ungegliederte Ziffernfolge.

Chunking

das – vielfach automatische – Organisieren einzelner Items in handhabbare und/oder vertraute Einheiten (Chunks).

8.8.2 Bildhafte Vorstellung und räumliche Zuordnung

Bei diesen das Langzeitgedächtnis betreffenden Mnemotechniken liegt das Prinzip darin, die zu lernenden Elemente auf sinnvolle Weise bildhaft zu verbinden, auch dann, wenn sie vielleicht keine solchen Verbindungen zueinander haben.

Die Loci-Technik

Diese *Methode der Orte* (*loci*), die schon von den klassischen griechischen Rednern verwendet wurde, lässt sich insbesondere dann gut anwenden, wenn wir uns eine Reihe unverbundener Wörter oder Bezeichnungen merken wollen, wie das zum Beispiel bei einer Einkaufsliste oder der zu behandelnden Stichwörter bei einem Vortrag oder Referat nötig ist. Zum Erreichen der notwendigen sinnvollen „Verbindungen" greift man auf eine bereits vorhandene geordnete Sequenz räumlicher oder geografischer Orte zurück, die uns bereits bekannt ist: der Grundriss unserer Wohnung, der morgendliche Weg zur Arbeitsstätte oder die Einrichtung unseres Wohnzimmers. Der erste Schritt besteht nun darin, dass wir uns den *mentalen Spaziergang* durch eine solche bildlich dargestellte Umgebung vergegenwärtigen (◘ Abb. 8.32 zeigt in lustiger Weise zum Beispiel markante Orte entlang des Weges zur Universität). In einem zweiten Schritt verbinden wir die zu erinnernden Wörter durch eine bildliche Vorstellung mit den verschiedenen Lokalisationen entlang dieses Weges. Wollen wir uns zum Beispiel folgende Einkaufsliste merken: Brot, Eier, Butter, Salami, Cornflakes, Salat, Seife, Marmelade, Hühnchen, Kaffee, so können wir beispielsweise das erste Element der Liste (Brot) gewissermaßen am Anfang dieses Weges deponieren, indem wir uns vorstellen, wie ein großer Brotlaib unsere Haustür blockiert und wir es schwer haben, die Haustür überhaupt zu öffnen. Das zweite zu merkende Element, die Eier, deponieren wir in dem Segelboot am Strand, das wir uns übervoll mit Eiern vollgestopft vorstellen (◘ Abb. 8.33).

Dabei ist es unwichtig, ob diese Assoziationen Sinn machen; wichtig ist vielmehr, dass wir uns diese Assoziationen jeweils plastisch und klar vorstellen. Entsprechend verfahren wir nun mit den weiteren Elementen unserer Einkaufsliste wie (◘ Abb. 8.33) beispielhaft zeigt: Der Zug transportiert ein Stück Butter, vor der Ortseinfahrt ist die Straße mit Salamischeiben bedeckt, am Strand weht uns eine Wolke Cornflakes entgegen, vor dem Wald rollen Salatköpfe bergab und so weiter. Wenn wir uns die zu merkenden Elemente in dieser Weise eingeprägt haben, können wir sie auch sehr einfach in der richtigen Reihenfolge wiedererinnern, wenn wir den uns bekannten mentalen Spaziergang wiederholen.

Diese Methode funktioniert, wenn sie richtig angewandt wird, schon nach wenigen Übungen und ist als visuelles Verfahren ein Renner unter den Gedächtnisstrategien.

Bei der Loci-Technik werden die zu erinnernden Einheiten bildhaft mit einer bekannten räumlichen Sequenz, einem Weg (Loci) verknüpft, die dann als Hinweisreize für den richtigen sequenziellen Abruf dienen.

Das Visualisieren

Aber auch schon das einfache bildhafte Vorstellen (Imaginieren oder *Visualisieren*) erleichtert das Lernen neuer Informationen und fördert zudem die Qualität der Reproduktionen. Wie leicht sich bildhafte Vorstellungen produzieren lassen, ist allerdings abhängig von der Art des zu lernenden Materials. Personen, die aufgefordert werden, sich zu dem Lernmaterial ungewöhnliche Vorstellungen zu machen, erbringen in der Regel wesentlich bessere Gedächtnisleistungen als Personen, die ohne solche Vorstellungen arbeiten. Daher tragen auch Visualisierungen, Diagramme oder bildhafte Strukturierungen in Vorlesungen oder Büchern (wie auch in audiovisuellen Medien) wesentlich zu ei-

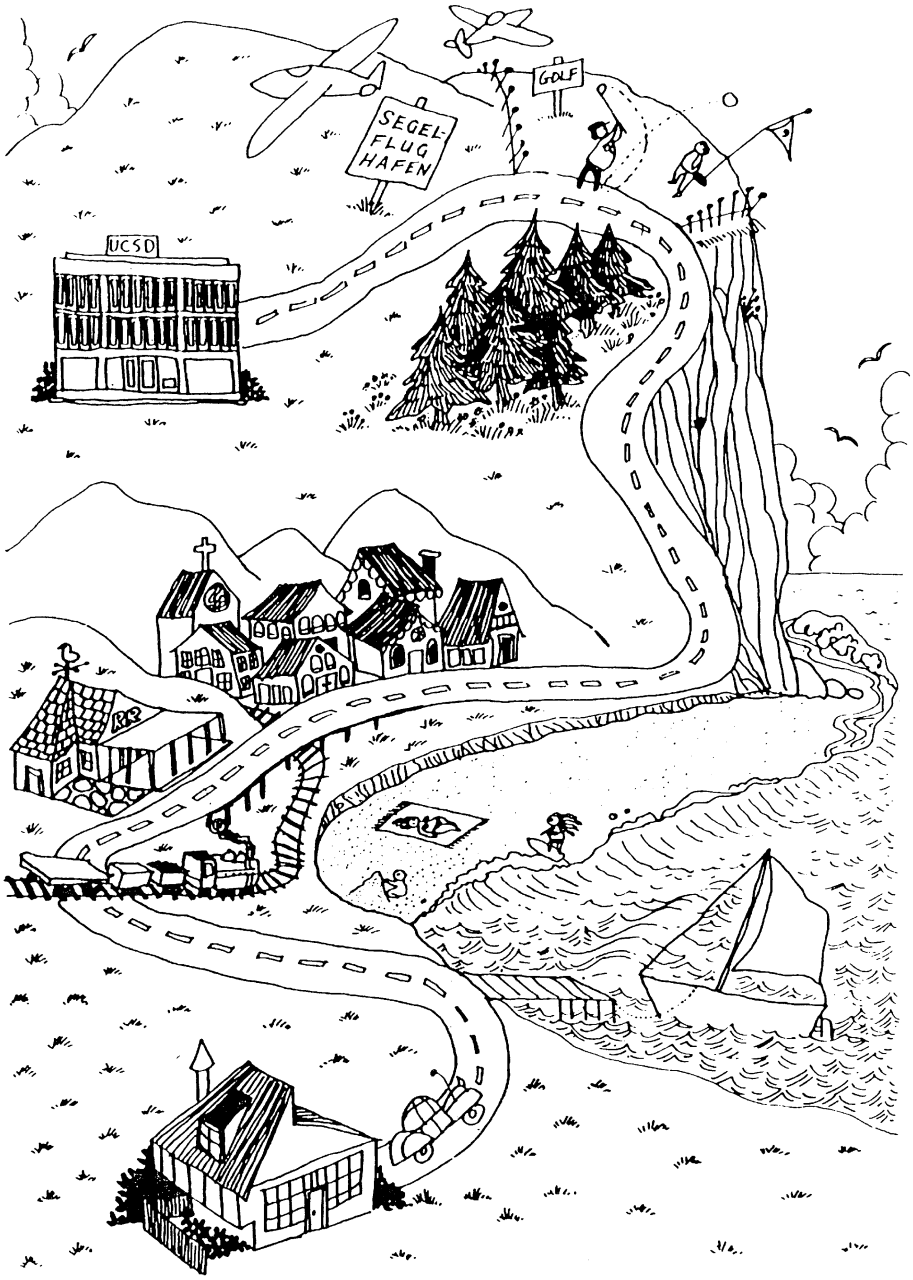


Abb. 8.32 Illustration zur Loci-Technik I. Eine mögliche vorhandene Sequenz von Orten entlang eines Weges zur Arbeitsstätte. (Lindsay und Norman 1981)

ner besseren Behaltensleistung bei, wenn der Lernende sich Zeit nimmt, sich die Visualisierungen einzuprägen.

Die diesen Strategien zu Grunde liegende Idee ist, dass man schon vorhandene Kenntnisse als Anker und Kontexte für neue Kenntnisse nutzt (Gebrauch einer bereits vorhandenen Struktur). So codieren Sie das Material in immer größere, höherstehende und bedeutsamere Einheiten um.

Die Methode der Schlüsselbegriffe

Eine weitere Methode, bei der ebenfalls imaginative Schritte zur Anwendung kommen, ist die Methode der Schlüsselbegriffe (*key-word method*), Sie hat sich beim Vokabellernen von Fremdsprachen bewährt. Das Prinzip lässt sich an folgendem Beispiel veranschaulichen: Sie wollen zum Beispiel das spanische Wort „carta" lernen, was „Brief" bedeutet. Zuerst versuchen Sie, für das noch ungewohnte spanische Wort „carta" ein deutsches Wort zu finden, das ähnlich klingt, wie etwa „Karte". Nun stellen Sie sich ein möglichst konkretes visuelles Bild eines Briefes vor, der auf einer Landkarte liegt. Wenn Sie sich nun dieses visuelle Bild, das beide Elemente enthält, gut einprägen können, so können Sie später mit diesem Bild die gesuchte Verknüpfung sehr leicht wiederherstellen. Auch wenn diese Methode recht kompliziert erscheint, erleichtert sie, wie Untersuchungen gezeigt haben, in hohem Maße das Erlernen des Vokabulars einer Fremdsprache (Atkinson 1975; Pressley et al. 1982).

Bei der Methode der Schlüsselbegriffe werden eigentlich beziehungslose Elemente (Wörter) bildhaft



Abb. 8.33 Illustration zur Loci-Technik II. Inhalte, die wir uns der Reihe nach merken wollen, „deponieren" beziehungsweise assoziieren wir mit markanten Orten entlang des bekannten Weges. (Lindsay und Norman 1981)

mit bekannten Schlüsselbegriffen assoziiert, was das Auffinden erleichtert.

8.8.3 Kognitive Elaboration

Der Grundgedanke einer aufwendigeren und tieferen vernetzenden Verarbeitung des zu lernenden Materials ist, dass durch die vielfältig aufgebauten Verbindungen zwischen den Items die Anzahl der Rückrufmöglichkeiten gesteigert wird. Wenn Sie sich ein bestimmtes Ereignis oder einen bestimmten Sachzusammenhang merken wollen, den sie gelesen haben, vielleicht zum Beispiel den Aufbau oder die Funktion des Innenohres, so ist dieses Wissen dadurch zu vertiefen und zu elaborieren, dass man sich selbst Fragen über die Wirkungsweise, die Ursachen und die Folgen stellt, zum Beispiel: Wo trifft der Schall auf? Ist die Schallwelle stark genug, um von den Rezeptoren wahrgenommen zu werden? Gibt es eine Verstärkung? Wenn ja, wie sieht diese Verstärkung aus? Werden die Rezeptoren direkt erregt? Wozu dient die Endolymphe? Wie muss sie beschaffen sein? Gibt es Parallelen zu anderen Sinnesorganen? Und so weiter. Auf diese Weise werden bedeutungsvolle Verbindungen aufgebaut, es wird Vernetzung erreicht, und auch Rückrufanker (*retrieval cues*) werden geschaffen, die das spätere Erinnern erleichtern.

Das Prinzip der kognitiven Elaboration lässt sich als mnemonischer Kunstgriff beim Lernen von unzusammenhängenden Wortlisten verwenden, indem die Bedeutsamkeit dadurch erhöht

Exkurs 8.41

Experiment: Bedeutsame Elaboration

In diesem Experiment demonstrierten Bower und Clark, wie sich eine Reihe unzusammenhängender Wörter durch Verbindung mittels einer erfundenen Geschichte effektiver merken lässt. Die Versuchspersonen bekamen eine Liste von zehn unzusammenhängenden Substantiven, die sie sich in der vorgegebenen Reihenfolge merken sollten. Es wurde eine Experimental- und eine Kontrollgruppe gebildet, wobei jeder Versuchsperson der Experimentalgruppe eine Versuchsperson der Kontrollgruppe zugeordnet wurde, die dieselbe Zeit zum Lernen hatte. Während die Versuchspersonen der Kontrollgruppe keine Anweisung erhielten, wie die Listen zu lernen seien, erhielten die Versuchspersonen der Experimentalgruppe die Aufgabe, eine Geschichte zu erfinden, in der die vorgegebenen Wörter in der richtigen Reihenfolge auftreten. In der von einer Versuchsperson erfundenen folgenden Beispielgeschichte sind die zu erinnernden vorgegebenen Wörter jeweils großgeschrieben: „Ein GEMÜSE kann zu einem wirksamen INSTRUMENT für den Studenten werden. Eine Karotte kann ein NAGEL für den ZAUN oder die MAUER sein, aber ein HÄNDLER der KÖNIGIN würde über dieses DING klettern und die KAROTTE einer ZIEGE schenken." Insgesamt hatte jede Versuchsperson zwölf derartige Listen zu lernen, Da jede Liste nur 10 Wörter enthielt, konnten sich beide Gruppen direkt nach dem Lernen einer Liste an fast alle Wörter der Liste erinnern. Nachdem jedoch alle Listen dargeboten und gelernt worden waren, wurde erneut getestet. Dabei erhielten die Versuchspersonen jeweils das erste Wort der zu erinnernden Liste und wurden gebeten, die ganze Liste in richtiger Reihenfolge zu reproduzieren. Hier zeigte sich ein hochsignifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Abb. 8.34). Die Versuchspersonen, die Geschichten erfunden hatten, konnten sich an 94 % der Wörter aller Listen erinnern, während die Versuchspersonen der Kontrollgruppe nur 14 % behielten.

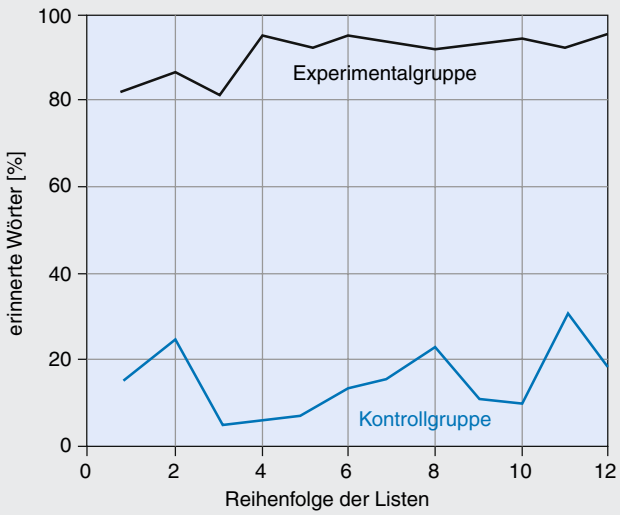


Abb. 8.34 Prozentsatz der erinnerten Wörter der zwölf Listen

wird, dass man die einzelnen unzusammenhängenden Wörter in eine Geschichte oder in Sätze eingliedert. Gleichzeitig wird das Material hierbei auch strukturiert und organisiert. Dieses Verfahren, das nahezu ebenso effektiv ist wie die Loci-Methode, haben Bower und Clark (1969) in dem in ▶ Exkurs 8.41 dargestellten Experiment demonstrieren können.

Das spätere Abrufen und Erinnern von Informationen hängt, wie das Beispiel in ▶ Exkurs 8.41 schon zeigt, wesentlich von der Strukturierung und Organisation der Informationen zum Zeitpunkt der Encodierung ab. In dem angeführten Beispiel wurde es den Versuchspersonen auf diese Weise möglich, zwölf Listen von insgesamt 120 Wörtern zu 90 % richtig und in der richtigen Reihenfolge zu erinnern.

Es gibt viele Möglichkeiten, neue Inhalte und unser Wissen darüber zu organisieren. Jeder von uns hat sich im Laufe seiner Lerngeschichte, vielleicht nicht immer bewusst, eine Organisation seiner Gedächtnisinhalte angelegt. Diese Organisation lässt sich jedoch zumeist wesentlich verbessern. Das Wissen von Experten ist systematisch und wohl organisiert und verfügt meistens über eine Hierarchie von jeweils weiteren Untereinheiten. Eine solche *hierarchische Baumstruktur* der Wissensinhalte macht es dann leicht, einerseits sich einen Überblick über das erreichbare Wissen zu schaffen, andererseits über eine solche Baumstruktur die gesuchten Inhalte leichter zu finden und abzurufen (vergleiche hierzu das Experiment in ▶ Exkurs 8.16). Wenn Sie sich in ein neues Fachgebiet einarbeiten wollen, so ist es für das spätere Behalten von großer Bedeutung, sich zunächst einen wohl organisierten systematischen Überblick über das Themengebiet geben zu lassen, so dass Sie ein Raster entwickeln können, in dem Sie bereits vorhandenes Wissen wie auch das zu erwartende, neu hinzukommende Wissen systematisch eingliedern und miteinander verbinden können. So wird es für das Behalten eines Textes wie dem vorliegenden äußerst nützlich sein, die einzelnen, auf den ersten Blick vielleicht unverbundenen Themen (möglichst auf einem Blatt Papier visualisiert) aufeinander bezogen hierarchisch zu organisieren. Bereits das Inhaltsverzeichnis dieses Kapitels mit seinen Titeln und Untertiteln zeigt Ihnen, wie die Wissenspakete der einzelnen Abschnitte organisiert sind, und kann Ihnen somit eine wesentliche Hilfe für die Verarbeitung und den späteren Abruf bieten. Wenngleich die Verarbeitung der vorgegebenen Organisation eine effektive Hilfe für den Abruf darstellt, hat sich gezeigt, dass es oft noch zweckmäßiger ist, sich

selbst seine eigene hierarchische Strukturierung und Zuordnung zu schaffen, um das Erinnern zu optimieren.

Eine weitere bekannte Strukturierungshilfe, die Schlüssel-Wort-Technik, finden Sie in *Zusatztext online*.

Durch eine gute Organisation des zu lernenden Materials wie auch durch verknüpfende Elaboration lässt sich die Menge der behaltenen Information beträchtlich erhöhen.

8.8.4 PQRST-Methode

Eine der bekanntesten Techniken zur Verbesserung der Gedächtnisleistung ist nach Atkinson et al. (1990) die PQRST-Methode. Sie wurde entwickelt, um Studenten eine Hilfe an die Hand zu geben, das Behalten und Erinnern von Prüfungswissen aus Text- und Lehrbüchern zu verbessern (Thomas und Robinson 1982).

Die fünf Buchstaben der PQRST-Methode stehen für die englischen Wörter der fünf nacheinander durchzuführenden Schritte des Lernens: *Preview, Question, Read, Self-recitation* und *Test* (Vorschau, Fragen, Lesen, Selbstrezitation und Testen). Konkret würde das zum Beispiel für das Durcharbeiten eines Kapitels des Buches bedeuten, dass man sich

(1) zunächst einen *Überblick* (**P**) über den im Kapitel behandelten Stoff verschafft, in dem man sich die wichtigsten Überschriften und Themenpunkte vergegenwärtigt – wobei das Inhaltsverzeichnis hilfreich sein kann –, die Zusammenfassung sorgfältig liest und sich dann der Kapiteleinleitung zuwendet, die zumeist ebenfalls eine kurze Übersicht über die zu behandelnden Themen enthält. Auf diese Weise kann man sich bereits eine erste Vorstrukturierung und Organisation für das zu lernende Material schaffen, die man sich möglicherweise auch schon als hierarchische Baumstruktur visualisieren kann.

(2) Im zweiten Schritt formuliert man sich nun aus den Überschriften und Unterüberschriften *Fragen* (**Q**), die man sich selbst stellt, zum Beispiel: „Was versteht man unter Chunkbildung?“, „Wie groß ist die Speicherkapazität des Kurzzeitgedächtnisses?“ Nachdem man sich solche Fragen gestellt und notiert hat, wird

(3) der Text sorgfältig *gelesen* (**R**) und man versucht, aus dem gelesenen Text die gestellten Fragen zu beantworten. Zum Beispiel: In der Regel umfasst die Gedächtnisspanne des Kurzzeitspeichers 7 ± 2 Items, aber kann ihre Zahl durch Chunking erweitert werden? Wie und wie weit?“

(4) Nun sollte man in der *Selbstrezitations*stufe (**S**) die wichtigsten Inhalte und Ideen des gelesenen Absatzes selbst leise, oder besser laut mit eigenen Worten wiedererzählen, um somit bereits hier das Abrufen (*retrieval*) zu praktizieren. (5) Der letzte Schritt, der *Test* (**T**) erfolgt, nachdem man das ganze Kapitel durchgearbeitet hat. Man versucht nun alle wichtigen Fakten und inhaltlichen Bezüge fortlaufend zu reproduzieren ohne erneut nachzusehen. Dabei ist es oft vorteilhaft, die erinnerten Punkte und Stichworte zu notieren, so dass einem bei dieser Selbstprüfung deutlich wird, welche Teile noch nicht vollständig beherrscht werden.

Wie ersichtlich, stellt die PQRST-Methode im Grunde einfach die praktische Anwendung der am Anfang dieses Kapitels dargestellten Erkenntnisse der Gedächtnisverbesserung dar (nach Atkinson et al. 1990). Sie werden bemerkt haben, dass „PQRST“ ein Schlüsselwort ist, das auf einer Ihnen längst bekannten Buchstabenfolge (alphabetische Reihenfolge) aufbaut, an die neue Inhalte „angehängt“ werden und die somit den Abruf der einzelnen „Schritte“ auch in der richtigen Reihenfolge erleichtert. – Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist vielleicht ferner, dass das gleiche Schlüsselwort auch in einem anderen Wissensbereich (physiologische Grundlagen) Verwendung findet, wo die verschiedenen Wellenanteile des Elektrokardiogramms (EKG) die gleichen alphabetischen Bezeichnungen tragen.

PQRST-Methode – eine Technik zum effektiven Lesen und Erarbeiten von Informationen aus Lehrbüchern.

8.9 Neurobiologische Basis des Gedächtnisses

Schon früh gab es die Überlegung, dass ein Engramm, eine Gedächtnisspur, irgendwo im Gehirn niedergelegt sein müsse, wobei unter einem Engramm die von einem spezifischen Gedächtnisinhalt (Information) hervorgerufene, dauernde, strukturelle beziehungsweise elektrochemisch-physiologische Veränderung im Gehirn verstanden wird.

Aus unseren vorausgegangenen Darlegungen wissen wir bereits, dass das Gedächtnis nichts Einheitliches sein kann. So zeigt unter anderem das Phänomen der *retrograden Amnesie*, dass es zunächst eine labile Speicherung gibt, die zum Beispiel durch Schockeinwirkung zerstört wird, während ältere Gedächtnisinhalte erhalten bleiben, die demnach nicht der Amnesie unterliegen. In die gleiche Richtung weisen die Untersuchungen zur *Zwei-Stufen-Theorie* (s. ▶ Abschn. 8.6.1) von Atkinson und Shiffrin (1977), die für die Existenz zweier unterschiedlicher Speicherarten, Kurzzeitgedächtnis und Langzeitgedächtnis, sprechen. Aber auch viele weitere Experimente über die Stabilisierung bei der Gedächtnisbildung lassen erkennen, dass es hier stets eine frühe labile Phase gibt, innerhalb welcher die Festlegung der gemachten Erfahrung anfällig für äußere sowie innere Störungen, wie retroaktive Hemmung oder retrograde Amnesie, ist. Diese Störungen können zum völligen Erlöschen der aufgenommenen Inhalte führen, während sie schon einige Zeit später gänzlich ohne Wirkung bleiben. Hier findet offenbar eine Konsolidierung statt. Über die Dauer dieser Konsolidierungsphase gibt es recht unterschiedliche Befunde. Sie gehen von wenigen Minuten oder noch weniger bis zu Stunden, je nach der Natur der Testsituation, der untersuchten Spezies sowie nach Art und Stärke des Störeffekts. Experimentell ließ sich inzwischen nachweisen, dass jeweils zunächst eine auf bioelektrischen Grundlagen beruhende Erinnerungsspur angelegt wird, die dann durch Konsolidierung in stabile und erstaunlich widerstandsfähige *Engramme* umgewandelt wird. Grundlage der bioelektrischen Speicherung sind reverberatorische Erregungskreise.

Exkurs 8.42

Genauer betrachtet: Reverberatorische Erregungskreise

Der Nachweis reverberatorischer Neuronenkreise als Grundlage des Kurzzeitgedächtnisses geht auf verschiedene Experimente zurück. In seinen histologischen Untersuchungen konnte Lorente de Nó (1933) nachweisen, dass die Axone von Neuronen oftmals rückläufige kollaterale Verbindungen besitzen und dass nicht selten geschlossene, kreisförmige Verkettungen von unterschiedlicher Länge angetroffen werden (◘ Abb. 8.35a).
Schwieriger hingegen ist es, einen experimentellen Nachweis dafür zu erbringen, dass die geforderten Kreiserregungen tatsächlich längere Zeit hindurch ablaufen können. Burns (1954), dem wohl erstmals ein solcher Nachweis gelang, verwendete dazu eine besondere Technik. Im ansonsten funktionsfähigen Cortex gelang es ihm, durch einen vorsichtigen chirurgischen Eingriff kleine Cortexregionen vom übrigen Nervengewebe so zu isolieren, dass zwar alle leitenden, das heißt neuralen, Verbindungen unterbrochen waren, die Blutgefäßversorgung dieser Areale jedoch intakt blieb. Die so präparierten Inseln (Umschneidungspräparat) stellen also einen nutritiv einigermaßen normal versorgten, erregungsmäßig jedoch vollkommen vom übrigen Nervensystem getrennten Rindenteil dar, dessen Aktivität man an verschiedenen Stellen durch Einbringen feiner Elektroden erfassen und über ein Oszilloskop sichtbar machen kann.
Ist eine solche Cortexinsel zunächst inaktiv und zeigt keine elektrische Spontanaktivität, so kann man diese jedoch durch eine kurze Reizung jederzeit auslösen. Es zeigte sich nun ein überraschendes Ergebnis: Die auf einen solchen Reiz hin erfolgenden Erregungsentladungen klingen nicht sogleich ab, sondern bleiben häufig längere Zeit hindurch beobachtbar. In Einzelfällen konnte durch einen einzigen kurzen Reiz in diesem „Miniaturnervensystem" ein Erregungsprozess angestoßen werden, der eine Stunde lang in unveränderter Stärke andauerte. Somit sprechen sowohl morphologische wie funktionelle Befunde für die Existenz *neuronaler Erregungskreise* in corticalen Gebieten, wie sie für die kurzzeitige Gedächtnisspeicherung postuliert wurden.
Bureš (1959) gelang es schließlich auch, den erwarteten Bezug corticaler Erregungen zu neu gelernten Verhaltensweisen nachzuweisen, und zwar mithilfe der so genannten *cortical spreading depression* (CSD). Dieses Verfahren erlaubt eine nur zeitweise lokale Aktivitätsblockierung des Cortex mittels einer sich ausbreitenden isotonischen Lösung von Kaliumchlorid, die auf eine freigelegte Stelle des Cortex aufgebracht wird. Dies führt zu einer massiven Depolarisation und damit Unerregbarkeit der unmittelbar darunter liegenden Cortexneurone. Diese Blockierung hält je nach Konzentration der verwendeten Lösung für einige Stunden an. Danach kehrt die normale Erregbarkeit wieder zurück (**reversible decortication**).
Werden die Tiere, die eine konditionierte Reaktion (CR) auf einen konditionierten Reiz (CS) gelernt haben, unter CSD gesetzt, so hören sie auf, eine CR auf den CS hin zu zeigen, obgleich die unkonditionierten Reaktionen (UR) unverändert durch den unkonditionierten Stimulus (US) ausgelöst werden können.
Auch nach diesen Ergebnissen sind offenbar konditionierte und unkonditionierte Reaktionen in unterschiedlicher Weise physiologisch gespeichert. Nur die neu gelernte konditionierte Reaktion (Kurzzeitgedächtnis) wird durch Blockierung der reverberatorischen Neuronenaktivität in einem bestimmten Cortexareal unterbunden.
Hebb (1949) nahm nun an, dass das Kurzzeitbehalten einer Information durch die neuronale Aktivität von geschlossenen zirkulierenden, also **reverberatorischen Neuronenkreisen** gespeichert wird. Zur Langzeitspeicherung kommt es Hebbs Theorie gemäß, wenn die reverberatorische Aktivität lange genug aufrechterhalten wird, wodurch es zu strukturellen Veränderungen an den Synapsen kommt, die dann später folgende Erregungsübertragungen über die gleichen Bahnen leiten. Die so veränderte Übertragung führt dann entsprechend auch zu einem veränderten motorischen Verhalten.
Als zellulären Mechanismus dafür, wie sich eine synaptische Übertragung beim Lernen von Assoziationen ändern kann (◘ Abb. 8.35b), postulierte Hebb (1949), dass prä- und postsynaptisches Neuron gleichzeitig (koinzident) feuern, damit sich die zwischen ihnen liegende Schaltstelle, die Synapse, stärkt. Eine Realisierung dieser *Hebbschen Regel* wurde inzwischen bei der Meeresschnecke *Aplysia* nachgewiesen (◘ Abb. 7.23).

8.9.1 Zellverbände und reverberatorische Neuronenkreise

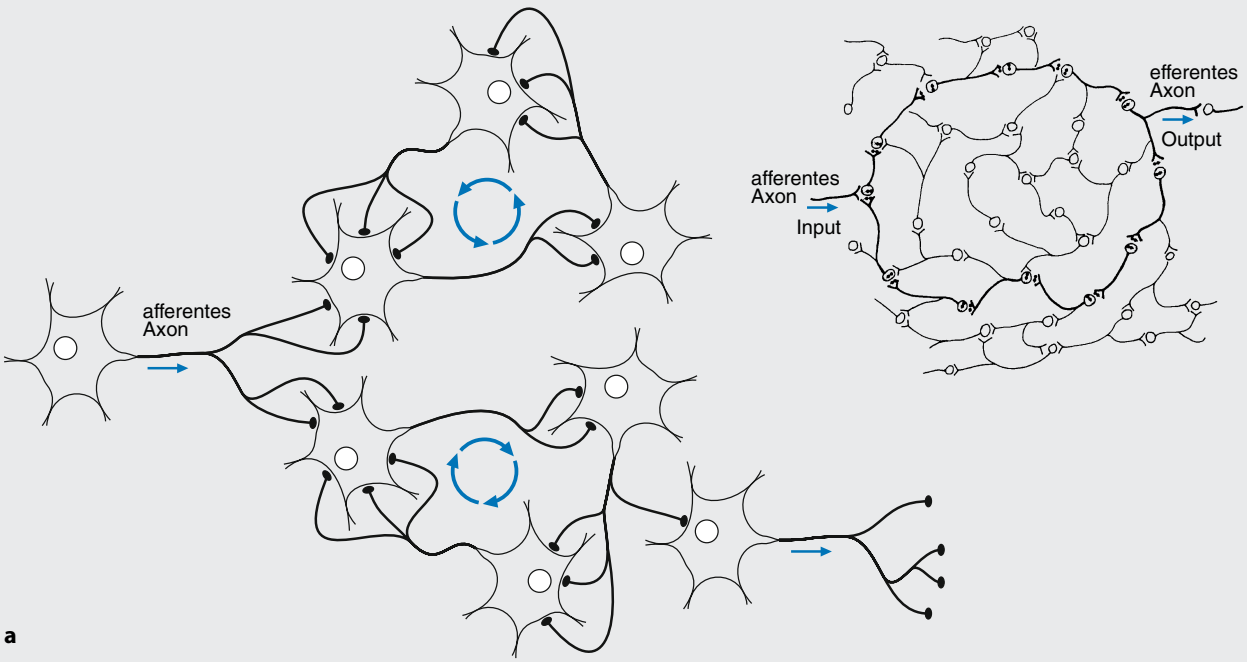
Alle die Zellen, deren Aktivität zur Speicherung und Wiedergabe eines Engramms erforderlich ist, bilden nach der heute wieder aufgegriffenen Theorie von Hebb (1949) einen **Zellverband** (*cell assembly*, Zell-Ensemble). Dem entsprechen die von Lorente de Nó vorgeschlagenen und 1933 entdeckten **reverberatorischen Neuronenkreise** (*reverbaratory circuits*), in denen ein einmal angestoßenes Erregungsmuster (Engramm) für einige Zeit unvermindert zirkulieren kann (Lorente de Nó 1933). Die in ▶ Exkurs 8.42 dargestellten Experimentalergebnisse belegen einerseits die tatsächliche Existenz solcher sich selbst erhaltenden *reverberatorischen Kreisprozesse* sowie andererseits ihren Bezug zum Erhalt neu gelernter Verhaltensweisen.

Damit stellen die in den Zellverbänden ablaufenden reverberatorischen Aktivitäten die neurophysiologische Basis des Kurzzeitgedächtnisses dar. Die kreisförmig in sich geschlossenen Erregungsverläufe (reverberatorische Kreisprozesse) entsprechen den Engrammen. Ein bestimmtes Engramm kann auch aus mehreren solchen reverberatorischen Kreisprozessen bestehen, die selbst wieder zu ausgedehnteren Zell-Ensembles verbunden sind (◘ Abb. 8.35). Es wird angenommen, dass als Resultat einer jeden neuen Lernerfahrung ein neues Aktivitätsmuster im Nervensystem gebildet wird (vgl. die Ausführungen zu den Kohärenzverläufen), das für eine gewisse Zeit als **reverberatorischer Erregungskreis** fortbesteht. Nach mehrfacher Reverberation kommt es nun offenbar zu einer dauerhaften Verankerung der Engramme in den Zellverbänden, und zwar dadurch, dass an bestimmten Synapsen, den so genannten **Hebb-Synapsen**, besondere neurophysiologische Bahnungsprozesse ablaufen. Diese Bahnungsprozesse können jedoch nur dann eindeutig ablaufen, wenn die Zellverbände während einer **Konsolidierungsphase** von weiteren Reizzufuhren ungestört bleiben. Die Aufnahme ähnlicher oder neuer Reize oder Informationen in dieser Zeit führt zu den bekannten Einprägungshemmungen (vgl. retroaktive Hemmung).

Die Konsolidierung des Engramms und damit die Überführung aus einer störungsanfälligen Speicherung in eine dauerhafte Langzeitspeicherung erfolgt, soweit wir heute wissen, nach dem fundamentalen Prinzip, das vielfach als **Hebbsche Regel** bezeichnet wird (▶ Exkurs 8.42).

Sie besagt: Die simultane oder leicht zeitverschobene Erregung von präsynaptischer und postsynaptischer Zelle führt nach mehrfacher und dauerhafter Paarung zu einer Stärkung der Verbindung zwischen ihnen. Hierbei treten bei verschiedenen Konsolidationsprozessen unterschiedliche, anhaltende, strukturelle,

Exkurs 8.42 (*Fortsetzung*)



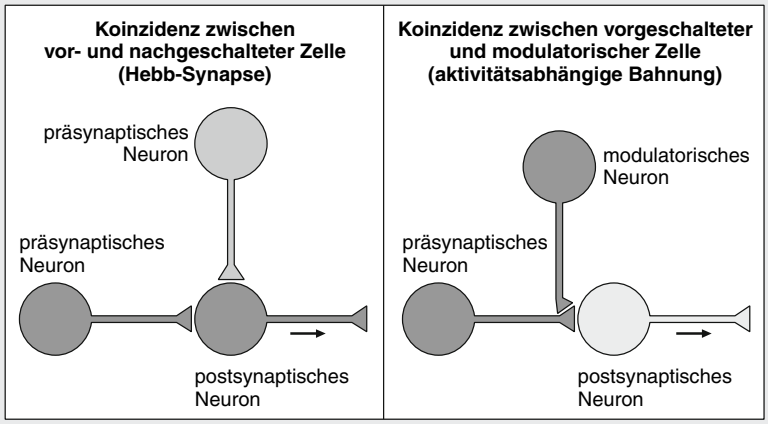


Abb. 8.35 **a** Kreisförmige Neuronenverkettungen zu Neuronenkreisen. **b** Synaptische Übertragungsmechanismen beim Assoziationslernen nach Hebb. (**a** *links* nach Pinel 1997, S. 370; **a** *rechts* nach Becker-Carus 1981; **b** nach Birbaumer und Schmidt 1999)

synaptische und zelluläre Änderungen auf. Dabei kann es sogar zu einer Vermehrung der Rezeptoren an der präsynaptischen Nervenzelle kommen (Abb. 8.36). Sie alle haben das Ergebnis, dass das präsynaptische Neuron danach nur weniger Anreiz für die Ausschüttung seines Transmitters bedarf.

Die längerfristige Erleichterung oder Verstärkung der Erregungsübertragung von einem Neuron auf das nächste (d. h. die ständige Stärkung des Aktionspotenzials eines Neurons) wird auch als **Langzeitpotenzierung** (*long-term potentation*, LTP) bezeichnet (Lynch 2002). Sie stellt den neurophysiologischen Basisprozess des Lernens und Behaltens von Assoziationen dar (Myers 2008).

Die Langzeitpotenzierung wurde insbesondere an Hippocampusneuronen der Ratte untersucht, einer Hirnstruktur, die

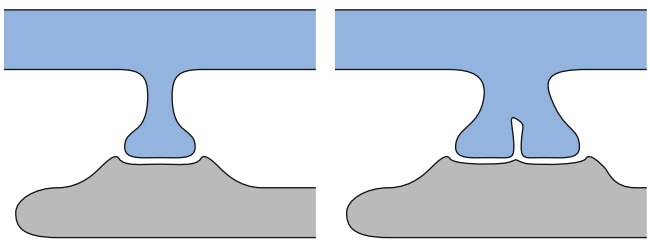


Abb. 8.36 **Verdoppelter Rezeptor.** Zunächst erstreckt sich nur ein Rezeptor zum aussendenden Neuron (**a**), während es nach der Langzeitpotenzierung zu einer Verdopplung der Rezeptoren kommt (**b**), was bedeutet, dass das postsynaptische Neuron (*blau*) eine ausgeprägtere Sensibilität entwickelt hat, um die vom präsynaptischen Neuron freigesetzten Transmittermoleküle zu erfassen. (Nach einer Elektronenmikroskopaufnahme aus Toni et al. 1999)

Exkurs 8.43

Genauer betrachtet: Hebb-Synapsen

Nachgewiesen ist die Funktionsweise von Hebb-Synapsen bei der Ausbildung der okulären Dominanzsäulen (vgl. ▶ Abschn. 3.3.3, Organisation des visuellen Cortex in Säulen), für die die simultane Aktivierung prä- und postsynaptischer Neurone im visuellen Cortex aus beiden Augen notwendig ist. Die Verschließung eines Auges unmittelbar nach der Geburt führt entsprechend zu einer Atrophie der okulären Dominanzsäulen im visuellen Cortex des deprivierten Auges. Das heißt, Nichtbenutzung kann auch zur Inaktivierung oder zum Absterben unbenutzter Neurone führen. Andererseits wird durch simultanes Feuern nicht nur die Stärke der Verbindung der kooperierenden Synapsen erhöht, sondern es erfolgt gleichzeitig eine Schwächung von inaktiven benachbarten Synapsen.

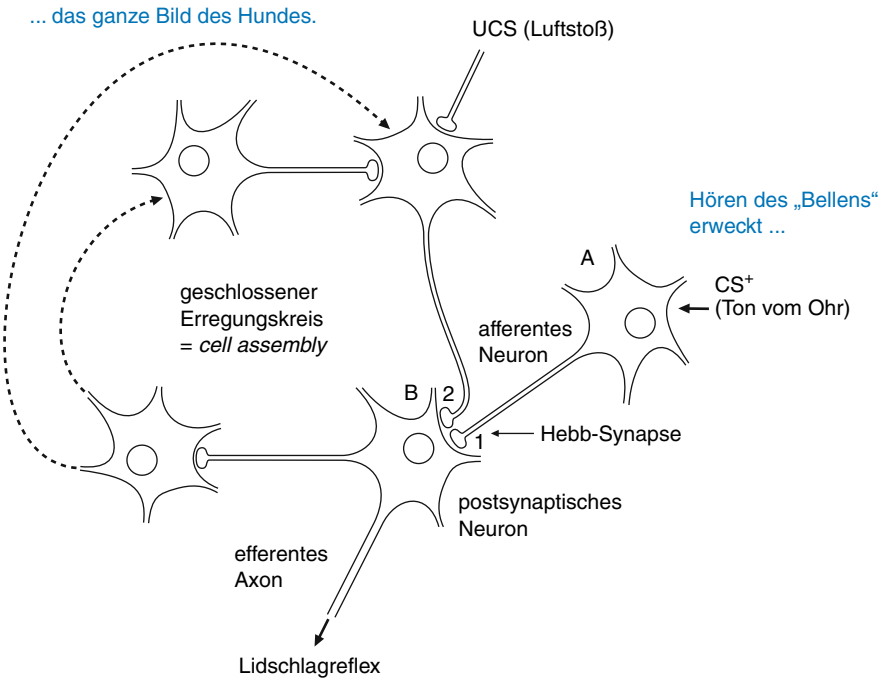


Abb. 8.37 Hebb-Synapse. Schematische Illustration der Funktion einer Hebb-Synapse beim Konsolidierungsprozess einer Pawlowschen Konditionierung

Exkurs 8.44

Genauer betrachtet: Kohärenzverläufe im Experiment

Der Nachweis der Repräsentation von Engrammen in Form von Kohärenzverläufen wurde gewissermaßen durch einen kleinen Trick möglich. John und Killam (1960) verwendeten für die Konditionierung einer Vermeidens-Verhaltensweise einen gewissermaßen „markierten“ Tracer-Reiz als CS. Sie boten Katzen ein schwaches Flimmerlicht, das mit einer dem Organismus angepassten Frequenz von 10 Hz flackerte. Bei der Darbietung eines solchen Flimmerlichtes lassen sich gleich frequente elektrische Entladungswellen von bestimmten Hirnarealen ableiten (*photic driving*). Mithilfe dieser Tracer-Technik war es möglich, bei einer Vielzahl von Elektroden die Hirnbereiche herauszufinden, die solche frequenzspezifischen Entladungsmuster während des fortschreitenden Lernprozesses und des Abrufes zeigen.
Im ersten Teil des Experimentes (Gewöhnung) wurde den Tieren in der Shuttle-Box (vgl. ◘ Abb. 8.40b) für etwa 20 Tage wiederholt jeweils für 15 s nur ein 10-Hz-Flimmerlicht geboten. Hierbei zeigte sich die frequenzspezifische Aktivität über sehr vielen Hirnregionen (◘ Abb. 8.38a): visueller Cortex, Corpus geniculatum laterale, obere Colliculi, Hippocampus und Fornix. Nach etwa 20 Tagen habituierten die frequenzspezifischen Reaktionen in allen subcorticalen Strukturen vollständig; allein im okzipitalen Cortex fanden sich noch vereinzelte Reaktionen (◘ Abb. 8.38b).
Im nächsten Teil des Experimentes wurde nun auf jede Darbietung des 10-Hz-Flimmerlichtes (CS) unmittelbar folgend ein elektrischer Schock (US) über den Fußrost verabreicht. Dabei hatten die Katzen die Möglichkeit, den Schock zu vermeiden, wenn sie lernten, beim Aufleuchten des Flimmerlichtes sofort in das andere Kompartment zu springen. Gleichzeitig mit den ersten Anzeichen der Konditionierung traten auch die frequenzspezifischen hirnelektrischen Reaktionen wieder in verschiedenen Hirngebieten auf. Sie blieben insbesondere deutlich im visuellen Cortex, im Hippocampus und in der mittleren Formatio reticularis (◘ Abb. 8.38c).
Nachdem die Katze den Schock zu vermeiden gelernt hatte, indem sie jeweils rechtzeitig in das andere Kompartment sprang (100%iges Vermeidungsverhalten), verschwanden die frequenzspezifischen Kohärenzmuster abermals in allen subcorticalen Strukturen, blieben aber, wie Abbildungsteil d zeigt, in den Ableitungen aus dem visuellen Cortex bestehen. Das heißt, während des Lernprozesses treten zunächst die repetitiven Antworten auf den CS in den klassischen sensorischen Nervenbahnen auf und wechseln dann im Lauf der weiteren Konditionierung vornehmlich ins extralemniskale System über, um schließlich wieder nach erfolgtem Lernprozess ins sensorische System zurückzukehren.
Wird nun das gelernte Vermeidungsverhalten durch ein Flimmerlicht mit einer anderen Frequenz des CS, zum Beispiel 7 Hz, abgerufen, so zeigt sich erstaunlicherweise tatsächlich wieder das 10-Hz-Frequenzmuster. Solche 10-Hz-Wellen traten jedoch nicht auf, wenn die Tiere keine Vermeidungsreaktion auf den 7-Hz-

Exkurs 8.44 *(Fortsetzung)*

Stimulus zeigten. In diesen Fällen entsprach die Frequenz der Hirnaktivität der Stimulusfrequenz von 7 Hz. Das heißt, die Frequenz der abgeleiteten Hirnaktivität entsprach jeweils der ausgeführten Reaktion und nicht mehr der Stimulusfrequenz. Offenbar wird also das gelernte „Engramm" wieder aktiviert (John 1963). Hierauf aufbauend entwickelte John (1967, 1971) die Vorstellung, dass Lernen und Gedächtnis zunächst nicht an bestimmte Orte im ZNS gebunden sind, sondern dass es sich hierbei um ein Zusammenwirken vieler Neurone handelt, die über einen weiten Cortexbereich verteilt zeitliche Sequenzen kohärenter Muster bilden, die als Träger der Information anzusehen sind.

Diese Grundvorstellung wird auch durch weitere Untersuchungen mit der Tracer-Technik gestützt, in denen der Verlauf der Konditionierung verfolgt werden konnte. Zu Beginn der Konditionierung zeigten sich die im gleichen Rhythmus schwingenden Potenziale über dem visuellen Cortex nur undeutlich, werden dann aber mit zunehmendem Lernerfolg immer ausgeprägter, wobei die Höhe der Potenzialänderungen der Stärke der Assoziation zwischen bedingtem Reiz und Reaktion entspricht (Rowland 1968). Man kann also den Lernerfolg an dem abgeleiteten Erregungsmuster der Neuronenverbände direkt ablesen und somit gewissermaßen das „Engramm" direkt sichtbar machen. Diese Interpretation der Aktivitätsmessungen beinhaltet, dass nicht die Entladungen einzelner Nervenzellen, sondern vielmehr das Entladungsmuster über eine ganze Gruppe von Neuronen (Zellverband) zunächst den Informationsträger von Gedächtnisinhalten darstellt, und dieses Entladungsmuster wird während des Lernvollzugs etabliert, gespeichert und später bei der Erinnerung wieder angeregt.

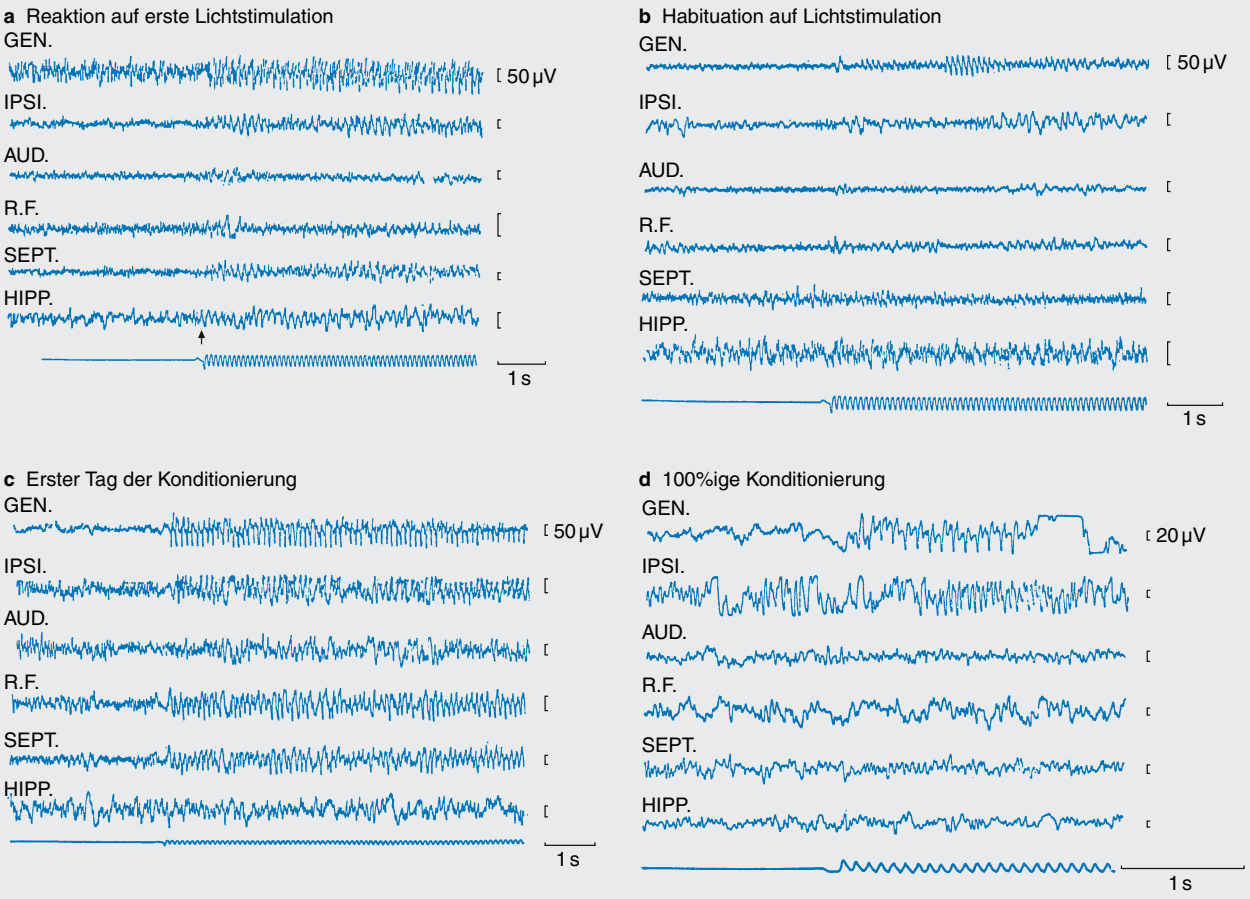


Abb. 8.38 Kohärenzverläufe als Repräsentation von Engrammen in verschiedenen Hirnarealen. (John und Killam 1959)

für Lern und Gedächtnisleistungen von zentraler Bedeutung ist. Hier konnte bei bestimmten Neuronen auch ein assoziatives Verknüpfen von Signalen aus zwei verschiedenen Quellen aufgezeigt werden, wie es dem Paradigma der klassischen Konditionierung entspricht (Schandry 2006).

Simultane Aktivierung von Hebb-Synapsen führt zu einer funktionellen und anatomischen Verstärkung ihrer Verbindung durch Stoffwechseländerungen und/oder Wachstumsprozesse.

Zur Verdeutlichung des Konsolidierungsprozesses über die Funktion von Hebb-Synapsen betrachten wir den konkreten Fall einer Pawlowschen Konditionierung des Lidschlagreflexes am Auge. Vor der Konditionierung löst ein neutrales Tonsignal keinen Lidschlag aus, das heißt, die vom Ohr an Synapse 1 (Abb. 8.37) ankommende Erregung reicht allein nicht aus, die postsynaptische Zelle, an der sowohl Synapse 1 als auch Synapse 2 konvergieren, zu aktivieren. Während der Konditionierung wird nun Synapse 2 gleichzeitig oder kurz vor Synapse 1 über eine somatosensorische Zelle durch einen Luftstoß auf das Auge erregt, der in der post-

synaptischen Zelle die Aktivierung des Lidschlagreflexes auslöst. Die so ausgelöste überschwellige Aktivität der postsynaptischen Zelle verstärkt nun die Erregbarkeit aller Synapsen, die an dieser postsynaptischen Zelle gleichzeitig aktiv waren. Hierzu gehört auch die Erregbarkeit der zunächst schwachen Synapse 1, deren Effizienz sich dadurch erhöht, sodass nach mehreren zeitlichen Paarungen der Ton allein genügt, um die postsynaptische Zelle zum Feuern zu bringen und damit den Lidschlagreflex auszulösen.

In gleicher Weise ist auch die Konsolidierung von Engrammen innerhalb des Wissensgedächtnisses zu verstehen. Auch die ihnen zu Grunde liegenden reverberatorischen Kreisprozesse führen während der Konsolidierungsphase dazu, dass zunächst schwache synaptische Verbindungen zwischen den beteiligten Neuronen bei assoziativ enger zeitlicher Nähe der Erregung kräftiger werden, sodass später nach der Stabilisierung der Verbindung bereits der Anstoß einer Teilaktivität eines solchen Zellverbandes genügt, um das ganze Zell-Ensemble zu aktivieren. Die akustische Wahrnehmung von Hundegebell oder des Wortes „Hund" erweckt das ganze Bild des Hundes, das wir gespeichert haben und das als Engramm den zugehörigen spezifischen Gedächtnisinhalt darstellt (synaptische Theorie spezifischer Gedächtnisinhalte von Hebb 1949; ▶ Exkurs 8.43).

Synaptische Verbindungen vom Hebb-Typ, die also ihre Entladungseigenschaften durch simultane Erregung zweier oder mehrerer Synapsen verändern, finden sich vornehmlich im Neocortex, während die meisten der subcorticalen Verbindungen diese Eigenschaften nicht besitzen.

8.9.2 Engramme als Aktivitätsmuster im Zentralnervensystem (Kohärenz)

Die der Speicherung von Informationen im ZNS zugrunde liegenden *Engramme* (Gedächtnisspuren) werden hier nicht durch lokale Veränderungen an einzelnen Zellen repräsentiert, sondern durch das gleichförmige kohärente Entladungsverhalten (*Kohärenzmuster*) eines mehr oder weniger großen *Zellverbands*. Dies stellt die nun im ZNS speicherbare Information dar und ermöglicht strukturelle Veränderungen für das LZG. Es wird angenommen, dass als Resultat einer jeden neuen Lernerfahrung ein neues Aktivitätsmuster gebildet wird, das sich als sogenannter Kohärenzverlauf im EEG (Elektroenzephalogramm) zeigt. Solche Kohärenzverläufe entstehen durch gleichzeitiges Entladen der zu einem Zellverband gehörenden Neurone. Sie sind in Form und Frequenz für den jeweiligen Gedächtnisinhalt spezifisch. Ihre Erfassung durch hirnelektrische Ableitungen (EEG) ermöglicht es, den Aufbau einer konditionierten Reaktion und den Verlauf der damit verbundenen Erregungsmuster über das Gehirn zu verfolgen (▶ Exkurs 8.44).

Wie zu erwarten, werden die über dem jeweiligen Cortexareal abgeleiteten Potenziale mit zunehmendem Lernerfolg immer ausgeprägter, wobei die Höhe der wellenförmigen Potenzialänderungen der Stärke der Assoziation zwischen CS und der Reaktion entspricht (Rowland 1968). Als Maß für die Kohärenz wird die Amplitudenhöhe der evozierten Potenziale des EEGs oder EMGs (Elektromyogram) über dem jeweiligen Zellverband verwendet. Je mehr Zellen eines Areals synchron geordnet entladen, desto höher wird die Amplitude des evozierten Potenzials oder des EEG-Musters.

Während der Akquisitionsphase einer instrumentellen Konditionierung zeigt sich im EEG die Bildung eines angeglichenen (assimilierten) Rhythmus in der Frequenz des S^D (Flackerlichtreiz) in den Arealen, wo dieser gespeichert wird, nämlich im Hippocampus und dem visuellen System sowie im sensumotorischen Areal, nicht aber im akustischen System. Bei einer späteren Wiedergabe der Information beziehungsweise der gelernten Reaktion, auch auf einen anders frequenten CS hin, tritt der zuvor gelernte EEG-Rhythmus in den entsprechenden Arealen wieder auf, was dahingehend interpretiert wird, dass das gespeicherte Engramm mit einem Kohärenzverlauf wieder aktiviert wird.

Beim Lernprozess bilden sich Zellensembles durch gleichzeitiges kohärentes Feuern. Ihre Stärke wird in der Synchronisation neuronaler Entladungen und EEG- und EMG-Rhythmen sichtbar.

8.9.3 Langzeitspeicherung und Konsolidierung

Gedächtnisinhalte und einmal erlernte Verhaltensweisen erweisen sich nach beendeter Konsolidierung bekanntlich als sehr stabil und resistent gegenüber Störreizen. Sie überdauern unseren Schlaf, Zustände der Narkose, der Bewusstlosigkeit und der Erregung für ein Gutteil unseres gesamten Lebens. Es war daher zu erwarten, dass es sich bei dem Dauergedächtnis eher um biophysikalische oder auch biochemische Strukturveränderungen handeln müsse als nur um flüchtige Impulsmuster.

Schon früh wurde angenommen, dass es zwischen den einzelnen Neuronen zu strukturellen Veränderungen während des Lernvollzuges kommen könne. So zum Beispiel vermutete man, dass eine wiederholte synaptische Aktivität bei längerer Dauer eine Vergrößerung der synaptischen Kontaktfläche zwischen den Neuronen bewirke. In Betracht gezogen wurden auch morphologische Veränderungen, also Wachstumsprozesse am Neuron, die zur Bildung neuer Zellfortsätze führen (Hebb 1949). Beides hat sich, wie wir bereits sahen (◘ Abb. 8.34), inzwischen auch bestätigt.

Seit Foerster (1948) wohl als Erster darauf hingewiesen hatte, welch eine immens große Informationskapazität in den Basensequenzen der Makromoleküle liegt, und Katz und Halstead (1950) die Hypothese wagten, dass Veränderungen in den *Nucleoproteinen des Gehirns* (▶ Exkurs 8.45 bzw. ◘ Abb. 8.39) die Basis für die Gedächtnisphänomene abgeben könnten, kam es zu einer Flut neuer Untersuchungen über die biochemischen Prozesse im Gehirn und ihre Beziehung zu Lernen und Gedächtnis.

Jeder molekulare Mechanismus einer Gedächtnisbildung, der sowohl den stabilen Verhaltensmustern instinktiven Verhaltens als auch erlernten Verhaltensweisen als Grundlage dient, müsste wohl einen relativ guten Zugriff zum Genom, der genetisch vorfixierten Verhaltenssteuerungen, haben. Als Ausdruck der Genfunktionen wirken die verschiedenen Typen der RNA als Vehikel für deren *phänotypische Realisierung*. Dazu kommt, dass in keinen anderen somatischen Zellen eine so starke RNA-Produktion

Exkurs 8.45

Genauer betrachtet: Proteine und ihre Biosynthese

Proteine sind komplexe Großmoleküle. Sie sind ein wesentlicher Bestandteil aller lebenden Zellen. Obgleich es sehr verschiedene Arten von Proteinen gibt, folgen sie alle einem gemeinsamen Konstruktionsprinzip: der peptidartigen, kettenförmigen Zusammensetzung von wenigen 100 bis wenigen 1000 Aminosäureresten (Karlson 1970). In den Zellen des Organismus werden ständig verschiedene Proteine benötigt, die hier aus einfacheren Komponenten zusammengesetzt werden. Die Proteinsynthese wird im Wesentlichen über bestimmte Ribose-Nukleinsäuren (RNS; geläufiger: RNA, *ribonucleic acid*), gesteuert, deren informationsübertragende Struktur von der einer anderen Nukleinsäure gesteuert wird, der Desoxi-Ribose-Nukleinsäure (DNS; bzw. DNA), aus welcher im Wesentlichen das genetische Material der Chromosomen besteht („genetisches Gedächtnis"). Die Nukleinsäuren sind ebenfalls Kettenmoleküle, in denen sich die Mononucleotide, Gruppen aus Phosphorsäure, einem Zucker (Pentose) und einer Purin- oder Pyrimidinbase, zu Ketten zusammenfügen (◘ Abb. 8.39a).

In den Nucleotiden und damit auch in den Nukleinsäuren kommen vier Arten von Basen vor: die Purinbasen Adenin und Guanin, die Pyrimidinbasen Cytosin und Thymin (in der DNA) beziehungsweise Uracil (in der RNA). In den DNA-Molekülen, die sich nur im Nucleolus der Zelle befinden, sind jeweils zwei spiegelbildliche Nucleotid-Ketten zu einem Doppelmolekül vereinigt, das die Form einer Doppelhelix hat (a). Die Basensequenz der DNA-Kette kann nur durch Vermittlung der RNA bestimmen, welche Art Protein in der Zelle synthetisiert wird. Und zwar wird dabei die codierte Sequenz der Basen (b) transkribiert und so auf die sich an ihr formierende Boten-RNA (messenger-RNA, m-RNA) übertragen, deren Basen damit komplementär zu denen des einen abgetasteten Kettenstranges der DNA sind. Die Boten-RNA wandert so zu den Ribosomen, spezifischen Strukturen im Cytoplasma der Zelle, an welchen die Proteinsynthese erfolgt (c). Hier werden nun die Aminosäurereste mittels der ebenfalls schraubigen Transfer-RNA (tRNA) gemäß ihrem Code an die Boten-RNA (mRNA) angelagert. Beide werden untereinander zu einem kettenförmigen Proteinmolekül verbunden. Auf diese Weise bestimmt also zunächst die vorgegebene Basensequenz auf der DNA die Struktur der Basensequenz der RNA. Diese bestimmt dann in einem weiteren Schritt die Struktur des Proteins, welches neu synthetisiert und in das Zellplasma freigesetzt wird (d).

Diese *Transkription* des genetischen Codes bei der Bildung neuer Proteine unterliegt nun unter anderem der **Modifizierung durch Lernen** und den damit verbundenen Erregungsprozessen in der Zelle.

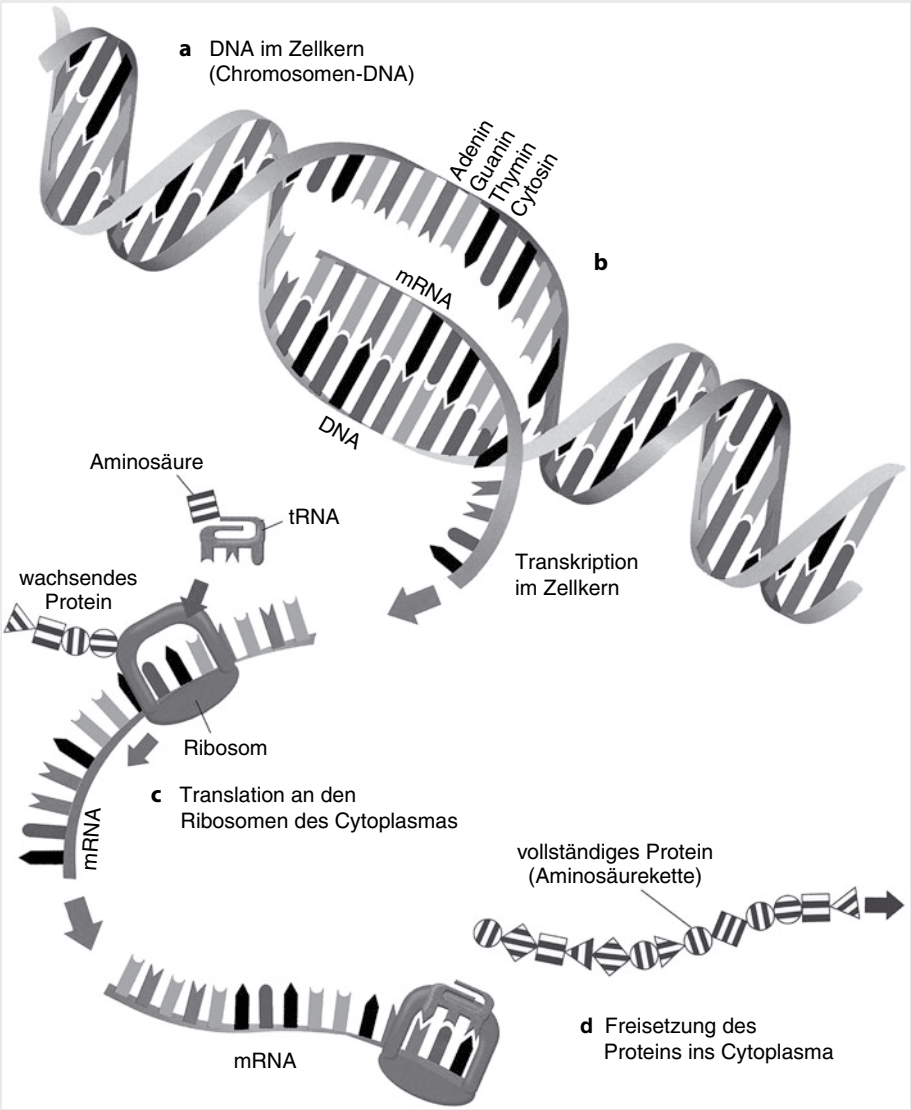


Abb. 8.39 Schematische Darstellung der Proteinbiosynthese. Transkription eines DNA-Abschnittes auf einen komplementären messenger-RNA-Strang (m-RNA) mit anschließender Translation derselben in ein Protein. **a** Teilweise Trennung der beiden Stränge des DNA-Moleküls und Freilegung der Strukturgene. **b** Ablesung des genetischen Codes durch einen m-RNS-Strang und Transport vom Zellkern in das Cytoplasma der Zelle. **c** Der m-RNA-Strang bindet sich im Cytoplasma an ein Ribosom. Dies bewegt sich entlang des m-RNA-Stranges und übersetzt nacheinander die Information in die entsprechende Aminosäure, die vermittels einer transfer-RNA (*tRNA*) an das wachsende Protein angefügt wird. **d** Das ins Cytoplasma freigesetzte Protein (Eiweißmolekül). (Pinel 1997, S. 40 Abb. 2.20 und 2.21)

Exkurs 8.46

Genauer betrachtet: Proteinsyntheseblockierung und Gedächtniskonsolidierung

Besonders eindrucksvoll konnte Agranoff (1967) in verschiedenen Experimenten zeigen, dass die Langzeitspeicherung von bereits gelernten Inhalten nicht erfolgt, wenn während oder nach dem Training die cerebrale Proteinsynthese durch Injektion eines Syntheseblockers (z. B. Pyromycin) in den Liquor des Gehirns gehemmt wird.

Die Wirkungsweise des zumeist verwendeten Syntheseblockers Puromycin (ein Antibiotikum) ist in ◘ Abb. 8.40a dargestellt. Sie beruht darauf, dass Puromycin wegen seiner strukturellen Ähnlichkeit mit bestimmten Bausteinen der Transfer-RNA (vgl. ▶ Exkurs 8.45) mit diesen bei der Biosynthese verwechselt wird und in die wachsende Peptidkette eingebaut wird. Dies führt zum Abbruch der Kettenbildung und damit zum Abbruch der Proteinsynthese am Ribosom der Nervenzelle.

In seinen bekannten Untersuchungen injizierte Agranoff seinen Versuchstieren (Goldfischen) jeweils 2 µg Puromycin zu verschiedenen Zeiten seines Konditionierungsexperiments unter die Schädeldecke auf das Gehirn, was eine bis zu 90-prozentige Blockierung der cerebralen Proteinsynthese zur Folge hatte. Zuvor lernten die Tiere in einem speziell konstruierten Becken (◘ Abb. 8.40b), einer Art Shuttle-Box, nach einem einfachen Vermeidungsparadigma eine in der Mitte gelegene Barriere jeweils auf ein Lichtsignal hin zu überqueren, um einem elektrischen Schlag zu entgehen.

Ohne eine Beeinflussung wird diese Vermeidungsreaktion nach dem Training etwa drei bis 30 Tage unverändert behalten (◘ Abb. 8.40c). Wird nun in dem Gedächtnisexperiment Puromycin direkt nach dem Training gegeben (◘ Abb. 8.40d), so vergessen die Tiere das Gelernte vollständig, und das Training muss von vorne beginnen. Wartet man jedoch nach dem Training und injiziert den Syntheseblocker erst nach ein, zwei oder drei Stunden (◘ Abb. 8.40e), so zeigt sich keine Wirkung auf das Gedächtnis mehr (die Lernkurve kann danach weiter kontinuierlich fortgeführt werden). Eine Injektion nach 30 min führt zu einem mittleren Ergebnis. Von besonderer Bedeutung ist das Ergebnis, wenn die Injektion direkt vor der Durchführung des Trainings erfolgt (◘ Abb. 8.40f) und die Proteinsynthese damit während des Trainings unterbunden ist. Hier zeigt sich, dass die Syntheseblockierung auf das Lernen selbst jedoch in keiner Weise behindernd wirkt. Das Lernkriterium wird gleich schnell erreicht. Aber das einmal Gelernte und im Kurzzeitspeicher niedergelegte Vermeidungsverhalten ist nach zwei Stunden wieder vollständig gelöscht. Damit war recht klar belegt, dass nicht das Lernen, sondern erst die Konsolidierung im Langzeitgedächtnis auf die Proteinbiosynthese angewiesen ist.

Weitere Belege für die Hypothese, dass sich Kurzzeitgedächtnis und Langzeitgedächtnis neurobiologisch unterscheiden, brachten ähnliche Puromycin-Untersuchungen von Barondes und Cohen (1966) an Mäusen (siehe *Zusatztext online*).

Diese Ergebnisse indizieren also eine erste Phase der Informationsspeicherung, die einer funktionierenden Proteinsynthese nicht bedarf und die die Lerninhalte nur für eine Zeit von weniger als drei Stunden zu speichern vermag. Sie indizieren eine zweite Phase der Gedächtnisspeicherung, die zur Bildung von langfristigem Behalten führt und entscheidend auf eine intakte Proteinsynthese im temporalen Cortex angewiesen ist.

Damit gilt diese neurobiologische Unterschiedlichkeit als wichtiges Argument für die Unterscheidung von KZG und LZG.

8

stattfindet wie in den großen Neuronen des Nervensystems (Hydén 1967). Auch ein direkter Bezug zum Lernen wurde wahrscheinlich. So hatte Smirnov (1955) zeigen können, dass nach dem Aufbau einer konditionierten Reaktion die Darbietung des konditionalen akustischen Stimulus (CS) einen verstärkten Turnover der RNA im auditorischen Cortex bewirkt, nicht jedoch in den umliegenden corticalen Regionen, während andere, nicht konditionierte, also neutrale, Reize ohne eine solche aktivierende Wirkung blieben (mehr dazu in *Zusatztext online*).

8.9.4 Gedächtniskonsolidierung und intrazelluläre Proteinbiosynthese

Die wesentliche Komponente Siehe Konsolidierungder Konsolidierung und Überführung der Lerninhalte in ein Langzeitgedächtnis wird heute in der **intrazellulären Proteinbiosynthese** (▶ Exkurs 8.45) gesehen. Sie geht auf die in ▶ Exkurs 8.46 dargestellten Versuchsergebnisse von Agranoff (1967) und seinen Mitarbeitern zurück, die zeigen konnten, dass eine Langzeitspeicherung nicht eintritt, wenn während oder nach dem Training ein Proteinsyntheseblocker (zumeist ein Antibiotikum, zum Beispiel Puromycin) in den Liquor des Gehirns injiziert wird. Hier wird die cerebrale Proteinbiosynthese bei der Übersetzung (Translation) von tRNA in die entsprechende Aminosäure am Ribosom (▶ Kap. 2) gehemmt (mehr in *Zusatztext online*).

Auch auf Grund weiterer Untersuchungen kann heute als sicher gelten, dass der Proteinbiosynthese eine entscheidende Rolle für die Konsolidierung, das heißt die Überführung der flüchtigen Kurzzeitgedächtnisspur in ein dauerhaftes Langzeitgedächtnis, zukommt. Die Bedeutung der Proteinsynthese ergibt sich auch aus der Tatsache, dass Strukturproteine den Aufbau der Zellmembran sowie den Aufbau von Rezeptorproteinen an den Synapsen wie auch die Anzahl und Größe postsynaptischer Verbindungen bestimmen. Dies passt zu der bereits dargestellten Erkenntnis, dass die Spezifität gespeicherter Informationen über Modifikationen der synaptischen Effizienz innerhalb bestimmter neuronaler Zellverbände festgelegt wird. Hierzu sind vermehrt Enzyme (sie bestehen aus Proteinen) notwendig, die die Synthese und den Abbau von Transmittern regeln.

Die entscheidende Rolle der Proteinbiosynthese für die Konsolidierung konnte zunächst von Agranoff (1967) in einem klassischen Experiment an Goldfischen nachgewiesen werden (▶ Exkurs 8.46). Sie wurde in vielfältigen Experimenten auch bei Säugern (Maus) bestätigt. In diesen Experimenten wird die Proteinsynthese im ZNS während oder kurz nach einem klassischen Konditionierungstraining durch die Gabe eines Syntheseblockers unterbunden und die Wiedergabe des Gelernten zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach dem Training geprüft.

Dabei zeigt sich, dass die Injektion vor dem Training das Lernen selbst in keiner Weise beeinträchtigt (◘ Abb. 8.40f), das Gelernte jedoch nicht behalten werden kann und je nach Versuchstierstamm etwa nach zwei Stunden nicht mehr vorhanden ist. Bei der Maus erfolgt im Normalfall die Zunahme der Proteinbiosynthese meist wenige Minuten nach dem Training und kann über längere Zeit anhalten. Bei Maus und Ratte ist die gezielte Hemmung der Proteinbiosynthese in den Amygdalae bei einer passiven Vermeidungsaufgabe, wie generell im Hippocampus,

Exkurs 8.46 (*Fortsetzung*)

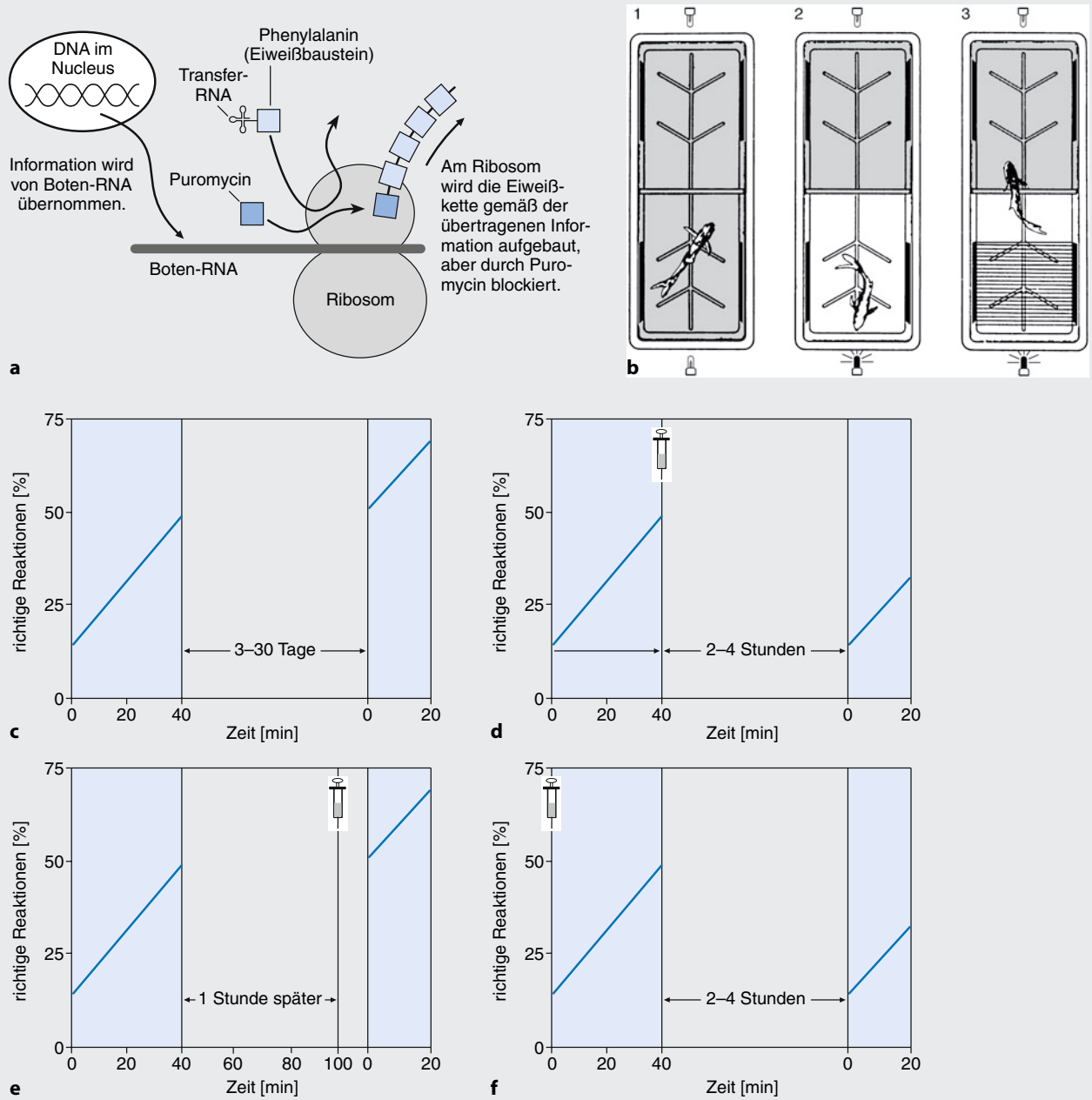


Abb. 8.40 Proteinsyntheseblockierung. (Ergebnisse von Agranoff 1967)

besonders wirksam. Für einen spezifischen Effekt der Proteinbiosyntheseblockierung spricht, dass subcorticale Injektionen hier keinen Einfluss auf das Behalten haben. Die Blockierungen der cerebralen Proteinsynthese sind vorübergehend. Sie beeinträchtigen nicht die Aufnahme neuer Information (Encodierung), sofern die Trainingszeiten sich nicht mit den Wirkungszeiten des Proteinblockers überschneiden. Die Proteinbiosynthese-Inhibition hat auch keinen Einfluss auf die Wiedergabe des Gelernten, da Injektionen zum Zeitpunkt der Wiedergabe keinerlei Effekte zeigen.

Eine Blockierung der cerebralen Bioproteinsynthese während der Konsolidationsphase unterbindet die dauerhafte Speicherung und Wiedergabe des Gelernten.

So scheint es heute sicher, dass die Konsolidierung im Wesentlichen über eine Proteinbiosynthese unter Mitwirkung der genetischen Steuerung (Genexpression) erfolgt und so der Gedächtnisinhalt in der veränderten Struktur und Qualität von Transmittern und synaptischen Rezeptoren verschlüsselt wird, sodass die synaptischen Moleküle selbst Ort des Gedächtnisses sein könnten.

Bedeutsam für unser Verständnis des Gedächtnisses überhaupt ist die Tatsache, dass das Kurzzeitgedächtnis durch die

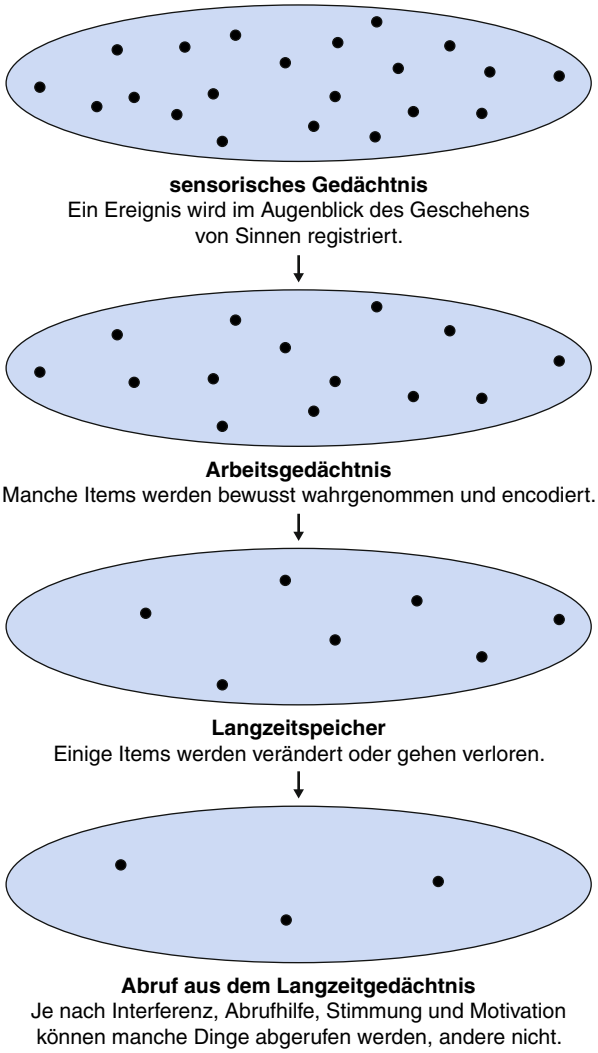


Abb. 8.41 Wann wird wie viel vergessen? In jeder Phase des Gedächtnisprozesses kann es zu Informationsverlusten kommen. Die Grafik vermittelt einen ungefähren Eindruck. Genauere Schätzwerte in ▶ Exkurs 5.1

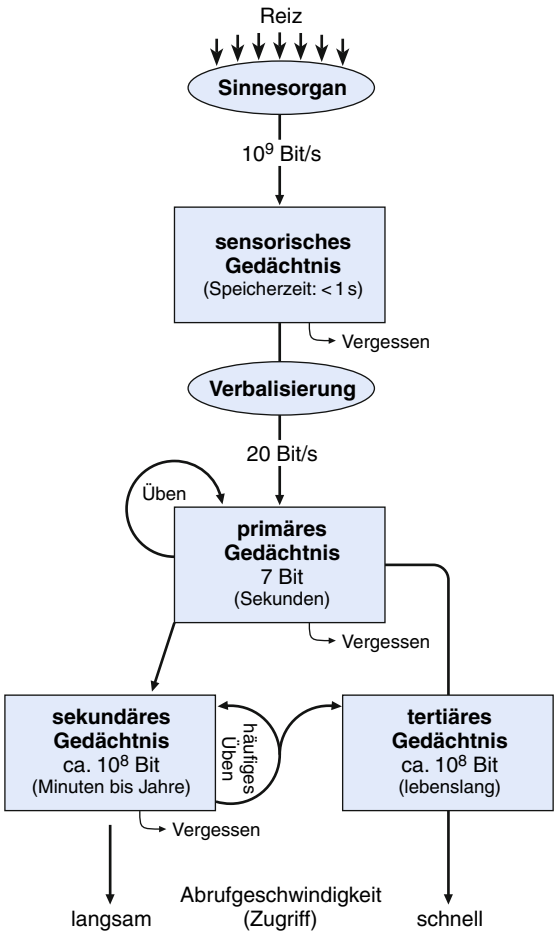


Abb. 8.42 Integratives Gesamtschema der Gedächtnisspeicherung. (Silbernagl und Despopulus 1979)

Proteinbiosynthese-Inhibition nicht beeinträchtigt wird, was deutlich macht, dass eine klare neurobiologische Differenzierung zwischen Kurzzeitgedächtnis und Langzeitgedächtnis besteht. Je nach Tierart und Lernaufgabe kann die Dauer unbeeinflusster Wiedergabe (somit die Dauer des Kurzzeitgedächtnisses) von einigen Minuten bis zu fünf Stunden anhalten. Innerhalb dieser Zeit müssen normalerweise die Gedächtnisinhalte bereits dauerhaft konsolidiert werden. Diese fließende Fixierung der Informationen im Langzeitgedächtnis erfolgt schließlich durch Aktivierung oder Hemmung der vom genetischen Apparat (RNA) gesteuerten Synthese der Kanalproteine der Zellmembran.

Die langfristige Konsolidierung von Gedächtnisinhalten erfolgt offenbar im Wesentlichen über die cerebrale Proteinbiosynthese.

Ein zusammenfassendes Bild der Gedächtnisspeicherung und des damit verbundenen Informationsverlustes über die verschiedenen Phasen des Erinnerungsprozesses gibt ◘ Abb. 8.41 und das sich im Wesentlichen auf Untersuchungen zum **expliziten Gedächtnis** bezieht (vgl. dazu den in Bits errechneten Informationsverlust beim Flaschenhalsmodell des Bewusstseins; ▶ Abschn. 5.1.1).

Nachdem wir eine Reihe verschiedener Ansätze zur Erklärung und Beschreibung der unterschiedlichen Gedächtnisleistungen und der Darstellung der verschiedenen identifizierten Gedächtnissysteme kennengelernt haben, wollen wir abschließend den Versuch von Silbernagl und Despopoulos (1979) vorstellen, die verschiedenen Detailkenntnisse zu einem integrativen Gesamtbild der Informationsspeicherung des Gedächtnisses zusammenzufassen, das auch **implizite** Inhalte umfasst, wie es ◘ Abb. 8.42 darstellt (vgl. auch ▶ Exkurs 8.14 Speicherung durch Konsolidierung). Wie wir gesehen haben, unterscheidet man ein erstes sensorisches Gedächtnis, das den von dem Sinnesorgan aufgenommenen Sinneseindruck nur sehr kurz (<1 s) automatisch festhält. Ein geringer Bruchteil dieser Informationen gelangt weiter in ein primäres Gedächtnis, das rund sieben Einheiten für einige Sekunden speichern kann, wobei die vorher präkategoriale Information meist schon verbalisiert wird. Durch aktives Rehearsal oder kognitive Verarbeitung gelingt von hier aus die Langzeitspeicherung im sekundären (Langzeit-)Gedächtnis, das die Inhalte Minuten bis

Jahre halten kann. Der Abruf gelingt hier jedoch relativ langsam. In einem weiteren angenommenen tertiären Gedächtnis werden besonders häufig geübte Dinge (wie Schreiben, Lesen oder der eigene Name) gespeichert, die lebenslang nicht vergessen werden und die zudem schnell abrufbar bleiben. Nicht berücksichtigt werden von dieser Modellvorstellung allerdings die Unterschiede, die zwischen verschiedenen Inhaltsarten zu bestehen scheinen.

Kritisch hinterfragt

Es lässt sich mit Baddeley (1997) fragen, ob es sinnvoll ist, das Langzeitgedächtnis in zwei gegensätzliche Gedächtnissysteme aufzuteilen, und sie als explizites und implizites Gedächtnis zu bezeichnen. Er argumentiert, dass es viel treffender sei, die Dichotomisierung zu vermeiden und von einem System zu sprechen, das für die Langzeiterinnerung episodischer und semantischer Inhalte verantwortlich ist, und dass das implizite Gedächtnis nicht ein gesondertes System darstellt, sondern vielmehr nur einen Bereich von Mechanismen umfasst, denen gemeinsam ist, dass sie keine erinnerbaren Anteile erzeugen. – Überlegen Sie und sammeln Sie Argumente für und gegen die unterschiedlichen Auffassungen. Ausführungen dazu finden Sie in ► Abschn. 8.6.4.
Eine ähnliche Problematik wirft die Diskussion über die Unterscheidung zwischen dem Kurzeitgedächtnis und einem Arbeitsgedächtnis auf. Haben und brauchen wir überhaupt ein KZG, gibt es hier zwei Gedächtnissysteme, oder nur ein Arbeitsgedächtnis? Oder sind beides nur Bezeichnungen für unterschiedliche Funktionen eines Systems? Es lässt sich kritisch fragen, was wissen wir belegtermaßen wirklich? Ausführungen dazu finden Sie in ► Abschn. 8.4 und Baddeley 2001.

Zusammenfassung

Beim Zustandekommen einer Gedächtnisleistung lassen sich generell *drei Prozessstufen* unterscheiden: Codierung (Aufnahme der zu behaltenden Information), Speicherung (Aufbewahren über der Zeit) und Abruf (Zugreifen auf die gespeicherte Information). Erinnerungsbeeinträchtigungen können durch Fehlfunktionen auf jeder dieser Stufen hervorgerufen werden.

Gedächtnisleistungen werden zudem oftmals nach der Länge des Zeitraums unterschieden, über welchen Informationen zu behalten sind. Hier lässt sich im Groben eine Einteilung vornehmen in (1) sehr kurzzeitige Nachwirkung von Sinneseindrücken (sensorisches Gedächtnis), (2) eine durch aktives Aufrechterhalten, begrenzte Kapazität und Manipulierbarkeit der bereitgehaltenen Information charakterisierte Repräsentation über Sekunden bis zu mehreren Minuten (Kurzzeit-/Arbeitsgedächtnis) und (3) eine quasi unbegrenzte, strukturierte Form der Aufbewahrung (Langzeitgedächtnis). Ein weiteres Einteilungsschema bezieht sich auf die Inhalte des Gedächtnisses, z. B. deklaratives Faktenwissen und prozedurale Fertigkeiten.

Die frühe *Gedächtnisforschung* hat einige generelle Prinzipien offengelegt, beispielsweise einen negativ beschleunigten, asymptotisch verlaufenden Abfall der Erinnerungsleistung über der Behaltenszeit oder Beeinträchtigungen der Erinnerungsleistung durch das Erlernen zusätzlichen Materials (proaktive und retroaktive Interferenz). Sie hat gezeigt, dass verteiltes Lernen effektiver ist als massiertes Lernen, dass die Wiedererkennungsleistung stets besser ist als die des Reproduzierens. Vorgestellt werden Positionseffekte, Interferenz und Isolierungseffekte.

Mit der Methode des teilweisen Berichtens kann gezeigt werden, dass das *sensorische Gedächtnis* eine weit größere Speicherkapazität besitzt, als man es aus Anwendungen der Methode des vollständigen Berichtens einer kurzzeitig dargebotenen Reizvorlage ableiten könnte. Unterschieden werden hier ikonische und echoische Repräsentation.

Die in das *Kurzzeitgedächtnis/Arbeitsgedächtnis* aufgenommene Information bedarf der kontinuierlichen Auffrischung (*rehearsal*). Die Speicherkapazität wird unter anderem durch die Möglichkeit der Zergliederung des zu behaltenden Materials in bedeutungsvolle Einheiten (Chunking) bestimmt. Für das Arbeitsgedächtnis wird eine Strukturierung angenommen, die sowohl materialspezifische Speicherkomponenten als auch eine Instanz zur Organisation und Prozesskoordinierung beinhaltet. Diese werden als phonologische Schleife, visuell-räumliche Notizblock, episodischer Puffer und zentrale Exekutive vorgestellt. Der Abruf aus dem Arbeitsgedächtnis erfolgt mittels eines Suchprozesses, der möglicherweise alle Einzelelemente seriell verarbeitet.

Die im *Langzeitgedächtnis* gespeicherte Information zeichnet sich durch einen hohen Grad an struktureller Organisation aus. Sie bedarf offenbar der Konsolidierung über einen längeren Zeitraum. Wichtige Faktoren für erfolgreiches Erinnern finden sich sowohl auf der Stufe der Codierung (Tiefe der Verarbeitung) als auch auf der Stufe des Abrufs (Verfügbarkeit von *retrieval cues*). Unterschieden werden visuelle und akustische sowie Geruchs- Geschmacks und Tast-Encodierungen. Darüber hinaus ist von Bedeutung die „Passung" der Prozesse in der Lern- und Abrufsituation (Encodierspezifität). Diverse Dissoziationen von Gedächtnisleistungen lassen die Existenz zweier getrennter Gedächtnissysteme für deklarativ-explizites und prozedural-implizites Wissen vermuten. Eine weitere häufige Unterteilung bezieht sich auf semantische vs. episodische Gedächtnisinhalte. Unser konzeptionelles Wissen wird in Form semantischer sowie propositionaler Netzwerke gespeichert. Diese sind hierarchisch strukturiert. Eine klare Strukturierung von Lerninhalten führt zu effektiverer Speicherung und einer besseren Erinnerung.

Die verschiedenen *Methoden des Abrufs* werden vorgestellt sowie Priming- und Kontexteffekte. Als Ursachen des Vergessens werden besprochen: Nichteinprägung, Zerfall. Displacement, Nichtzugängigkeit, sowie emotionale und motivationale Faktoren. Erörtert werden als unterschiedliche Gedächtnistheorien: die Zwei-Speicher-Modelle, Theorie der Verarbeitungstiefe und die Theorie des aktivierten Langzeitgedächtnisses.

Gedächtnisleistungen stellen in vielen Fällen einen konstruktiven Prozess dar, der mithilfe von weiteren Informationen (z. B. aus allgemeinen Schemata) Erinnerungen hervorbringt. Durch das Einüben von *Mnemotechniken* lassen sich Gedächtnisleistungen für spezifische Inhalte deutlich steigern. Besprochen werden die Loci-Methode, das Visualisieren, die Methode der Schlüsselbegriffe, die kognitive Elaboration sowie die PQRST-Methode.

Die *neurobiologische Basis* des Gedächtnisses wird durch reverberatorische neuronale Erregungskreise gebildet sowie durch langfristige synaptische Veränderungen (Langzeitpotenzierung). Die

wesentliche Komponente der Konsolidierung und Überführung der Lerninhalte in ein Langzeitgedächtnis wird heute in der intrazellulären Proteinbiosynthese (▶ Exkurs 8.45) gesehen.

Antworten auf die Einführungsfragen

1. Der Lernerfolg (Anstieg der Gedächtnisleistung mit der Lernzeit) ist größer bei verteiltem Lernen als bei massiertem Lernen.
2. Das sensorische Gedächtnis registriert alle eingehenden Informationen. Diese sind jedoch extrem kurz verfügbar, sodass nicht alle Informationen für die weitere Verarbeitung zur Verfügung stehen, d. h., Sie haben zwar alle Informationen des Plakats registriert, können aber jeweils nur die Teile lesen, die Sie gerade beachten.
3. Die unmittelbare Gedächtnisspanne beträgt nach Miller (1956) 7 ± 2 Einheiten (ca. vier Einheiten nach Cowan 2001). Deshalb können Sie eine kurze Telefonnummer unmittelbar merken, während Sie eine lange Handynummer nicht unmittelbar behalten können.
4. Wenn die Informationen im LZG gespeichert waren, können sie entweder zerfallen sein, oder aber sie sind aktuell nicht zugänglich aufgrund von Interferenz oder Nichtauffindbarkeit. Es gibt jedoch keine ausreichenden experimentellen Belege für Zerfall von Informationen im LZG, obgleich ein Zerfallsprozess plausibel erscheint.
5. Zuletzt präsentierte Namen sind noch im Arbeitsgedächtnis präsent (Recency-Effekt), und zuerst präsentierte konnten häufiger wiederholt (Rehearsal) werden (Primacy-Effekt); deshalb werden die ersten und letztem Items einer Liste besser erinnert als dazwischenliegende Items.
6. Unser Gedächtnis speichert nicht tatsachengetreu. Erlebte Ereignisse werden rekonstruiert, und dabei kann es zu falschen Erinnerungen kommen, wenn Erinnerungslücken mit plausiblen Einzelheiten aufgefüllt werden. Deshalb sind Zeugenaussagen nicht unbedingt verlässlich.
7. Gedächtniskünstler verfügen über verschiedene Strategien, die sie oft lange trainiert haben. Beispielweise können mit der Loci-Technik Begriffe entlang eines bekannten Weges abgespeichert und so zuverlässig erinnert werden.

Fragen zur Wiederholung und Denkanstöße

1. Welche Gründe des Nichterinnern-Könnens kennen Sie?
2. Durch welche (mehrere) Merkmale unterscheiden sich sensorisches Gedächtnis und Kurzzeitgedächtnis?
3. Welche Erkenntnisse über das Gedächtnis gehen auf Ebbinghaus zurück und welche Modifikationen erbrachte die neuere Gedächtnisforschung?
4. Was sind Trigramme und wozu wurden sie verwendet?
5. Gibt es Behaltensunterschiede beim verteilten beziehungsweise massierten Lernen? Worin bestehen sie?
6. Worin besteht der Unterschied zwischen Reproduzieren und Wiedererkennen?
7. Was besagt das Gesetz von Ebbinghaus und wie lässt es sich untersuchen?
8. Diskutieren Sie das Zustandekommen der unterschiedlichen Interferenzerscheinungen beim Listenlernen.
9. Welche Beobachtungen (Experimente) sprechen für die Existenz eines ikonischen beziehungsweise echoischen Gedächtnisses?
10. Was versteht man unter präkategorischer Speicherung?
11. Wann tritt rückwirkende Maskierung auf?
12. Welche Gründe führten dazu, das Kurzzeitgedächtnis auch als Arbeitsgedächtnis zu bezeichnen? Wodurch unterscheiden sie sich?
13. Diskutieren Sie den Nachweis visueller versus akustischer Codierung bei der Speicherung im Langzeit- und im Kurzzeitgedächtnis.
14. Welche Modellvorstellungen zur Erklärung der unmittelbaren Gedächtnisspanne (wie groß ist sie?) kennen Sie?
15. Was versteht man unter Chunk-Bildung und welche Bedeutung hat sie für das Behalten?
16. Was bedeutet semantische Codierung im Langzeitgedächtnis? Was sind semantische Netzwerke?
17. Wie unterscheiden sich semantisches und episodisches Gedächtnis?
18. Wie lässt sich die hierarchische Organisation unseres Wissensgedächtnisses nachweisen?
19. Was versteht man unter propositionalen Netzwerken und wie sind sie aufgebaut?
20. Welche Art Experimente machten die tatsächliche Existenz solcher Netze und Netzwerkknoten wahrscheinlich?
21. Was sind Kontext-Effekte? Welche Rolle spielen sie beim Behalten und Erinnern?
22. Wie lassen sich Priming-Effekte nachweisen und welche Rolle spielen sie für das Erinnern?
23. Welche Ursachen des Vergessens kennen Sie?
24. Wie wirken sich Interferenzeffekte beim Abruf aus dem Langzeitgedächtnis aus und was lässt sich daraus für den Abrufprozess folgern?
25. Inwieweit ist das Erinnern von emotionalen und motivationalen Faktoren abhängig?
26. Was besagt die „dual memory theory“?
27. Wie lässt sich der serielle Positionseffekt beobachten und auf welche Ursachen wurde er zurückgeführt?
28. Welche Argumente sprechen für eine Zwei-Speicher-Theorie des Gedächtnisses und welche für die Theorie der Verarbeitungstiefe?
29. Was bezeichnen die Begriffe implizites und explizites Gedächtnis?
30. Sind prozedurales und deklaratives Gedächtnis zwei unabhängige Gedächtnissysteme? Auf welche Weise und mit welchen Ergebnissen wurde dies untersucht?
31. Was wurde an der Unterscheidung von episodischem und semantischem Gedächtnis kritisiert?
32. Welche drei wichtigen Prozesse sind für unser konstruktives Gedächtnis verantwortlich?

33. Was wird in der Kognitionspsychologie unter den Begriffen Schema und Skript verstanden?
34. Wie wirken sich vorliegende Schemata auf das Erinnern aus und welche Vorteile haben sie für das Behalten?
35. Wie lässt sich die Rolle von Schemata für das Gedächtnis nachweisen?
36. Was sind Mnemotechniken?
37. Wie funktioniert die Loci-Technik?
38. Wie lässt sich bedeutsame Elaboration erreichen?
39. Worin wird die physiologische Basis des Kurzzeitgedächtnisses gesehen und warum?
39. Was versteht man unter reverberatorischen Neuronenkreisen?
40. Wie konnte die Existenz reverberatorischer Neuronenkreise nachgewiesen werden?
41. Wie konnte ihre Bedeutung für das Behalten gelernten Verhaltens nachgewiesen werden?
42. Welche Rolle spielen die Hebb-Synapsen bei der Gedächtniskonsolidierung?
43. Was besagt die Hebb'sche Regel?
44. Wie und wo ließ sich die Funktionsweise von Hebb-Synapsen nachweisen?
45. Was versteht man unter einem Engramm?
46. Welche Rolle spielen Kohärenzverläufe bei der Engrammerhaltung?
47. Worin besteht die physiologische Basis des Langzeitgedächtnisses?
48. Beschreiben Sie die wichtigsten Schritte der Proteinbiosynthese im Hinblick auf die Gedächtnisspeicherung.
49. Welche Experimente sprechen dafür, dass die Langzeitgedächtnisspeicherung über die Proteinbiosynthese erfolgt?

Literatur

Agranoff, B. W. (1967). Memory and protein synthesis. *Scientific American*, *216*, 115–122.

Alcock, J. E. (1981). *Parapsychology: Science or magic?* Oxford: Pergamon.

Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Anderson, J. R. (1995/2000). *Learning and memory*. New York: Wiley.

Anderson, J. R. (1996). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Atkinson, R. C. (1975). Mnemotechnics in second-language learning. *American Psychologist*, *30*(8), 821–828.

Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation* (Bd. 2, S. 89–195). New York: Academic Press.

Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1971). The control of short-term memory. *Scientific American*, *224*, 82–90.

Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1977). Human memory: A proposed system and its control processes. In G. H. Bower (Hrsg.), *Human Memory: Basic Processes*. New York: Academic Press.

Atkinson, R. L., Atkinson, R. C., Hilgard, E. R. et al. (1953^{1}/2000^{13}). *(Hilgard's) Introduction to Psychology.* New York, San Diego, Chicago, San Fransisco, Atlanta: Harcourt Brace Jovanovich, Inc. (deutsch 2001, *Hilgards Einführung in die Psychologie.* Spektrum: Akademischer Verlag).

Atkinson, R. L., Atkinson, R. C., Smith, E. E., Bem, D. J., & Hilgard, E. R. (1990/1993). *Introduction to psychology* (10./11. Aufl.). San Diego: Harcourt, Brace Jovanovich.

Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. Oxford: Clarendon.

Baddeley, A. D. (1997). *Human Memory, Theory and Practice*. Hove: Psychology Press.

Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer. A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 417–423.

Baddeley, A. D. (2001). Is working memory still working? *American Psychologist*, *56*, 851–864.

Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. H. Brower (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation* Bd. 8 London: Academic Press.

Baddeley, A. D., & Warrington, E. K. (1970). Amnesia and the distinction between long- and short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *9*, 176–189.

Baddeley, A. D., Thomson, N., & Buchanan, M. (1975). Word length and the structure of short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour*, *14*, 575–589.

Baddeley, A., Allen, R. J., & Hitch, G. J. (2010). Investigating the episodic buffer. *Psychologica Belgica*, *50*, 223–243.

Bahrick, H. P. (1984). Semantic memory content in permastore: fifty years of memory for Spanish learned in school. *Journal of Experimental Psychology: General*, *113*, 1–29.

Barclay, J. R., Bransford, J. D., Franks, J. J., McCarrell, N. S., & Nitsch, K. (1974). Comprehension and semantic flexibility. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *13*, 471–481.

Barondes, S. H., & Cohen, H. D. (1966). Puromycin effect on successive phases of memory storage. *Science*, *151*, 594–595.

Bartlett, F. C. (1932). *Remembering: A study on experimental and social Psychology*. London: Cambridge University Press.

Becker-Carus, C. (1970). Gedächtnishemmungen und Listentrennungseffekt. *Die Naturwissenschaften*, *57*, 361–362. 10.

Becker-Carus, C. (1981). *Grundriss der Physiologischen Psychologie*. UTB, Bd. 1045. Heidelberg: Quelle & Meyer.

Becker-Carus, C., Ziegler, G., Ludwig, L., Klotz, U., & Wisser, W. (1981). *The effect of Midazolam on sleep in healthy man and patients with sleep disorders*. IIIrd World Congress on Biological Psychiatry, Stockholm. Kongressbericht

Berry, D. C., & Broadbent, D. E. (1984). On the relationship between task performance and associated Verbalizable knowledge. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *36A*.

Birbaumer, N., & Schmidt, R. F. (1999). *Biologische Psychologie* (S. 577). Berlin, Heidelberg: Springer.

Born, J., & Plihal, W. (2000). Gedächtnisbildung im Schlaf: Die Bedeutung von Schlafstadien und Streßhormonfreisetzung. *Psychologische Rundschau*, *51*, 198–208.

Bower, G. H. (1972). Mental imagery and associative learning. In L. Gregg (Hrsg.), *Cognition in learning and memory*. New York: John Wiley.

Bower, G. H., & Clark, M. C. (1969). Narrative stories as mediators for serial learning. *Psychonomic Science*, *14*, 181–182.

Bower, G. H., & Springston, F. (1970). Pauses as recoding points in letter series. *Journal of experimental psychology*, *83*, 421–430.

Bower, G. H., Clark, M. C., Winzenz, D., & Lesgold, A. (1969). Hierarchical retrieval schemes in recall of categorized word lists. *Journal of Verbal learning and Verbal behavior*, *8*, 323–343.

Bower, G. H., Black, J. B., & Turner, T. R. (1979). Scripts in memory for text. *Cognitive Psychology*, *11*, 177–220.

Bower, G. H. (1986). Prime time. In I. P. Eelen (Hrsg.), *Cognitive research and behavior therapy: Beyond the conditioning paradigm*. Amsterdam: North Holland.

Bransford, J. D., & Franks, J. J. (1971). The abstraction of linguistic ideas. *Cognitive Psychology*, *2*, 331–350.

Bransford, J. D., & Johnson, M. K. (1972). Contextual prerequisites for understanding: some investigations of comprehension and recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *11*, 717–726.

Brewer, W. F., & Treyens, J. C. (1981). Role of schemata in memory for places. *Cognitive Psychology*, *13*, 207–230.

Bransford, J. D., & Johnson, M. K. (1972). Contextual prerequisites for understanding: some investigations of comprehension and recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *11*, 717–726.

Brewer, W. F., & Nakamura, G. V. (1984). The nature and functions of schemas. In R. S. Weyer & T. K. Srull (Hrsg.), *Handbook of social cognition* Bd. 1 Hillsdale: Erlbaum.

Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. New York: Pergamon.

Brown, R., & Kulik, J. (1977). Flashbulb memories. *Cognition*, *5*, 73–99.

Bureš, J. (1959). Reversible decortication and behavior. In M. A. Brazier (Hrsg.), *Second conference on the central nervous system and behavior*. New York: Joshua Macy Jr. Foundation.

Burns, B. D. (1954). The production of afterbursts in isolated unanesthetized cerebral cortex. *American Journal of Physiology*, *125*, 427–446.

Buzan, Tony. Fernsehdokumentation *Use your head* wurde 1973 und 1974 beim britischen Rundfunksender https://de.wikipedia.org/wiki/BBC BBC gesendet.

Carlson, N. R., Martin, G. N., & Buskist, W. (2004). *Psychology* (2. Aufl.). Essex: Pearson Education.

Chase, W. G., & Ericsson, K. A. (1982). Skill and working memory. In G. H. Bower (Hrsg.), *The Psychology of learning and motivation* Bd. 16 New York: Academic Press.

Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, *4*, 55–81.

Cohen, N. J., & Squire, L. R. (1980). Preserved learning and retention of pattern analyzing skill in amnesia: Dissociation of knowing how and knowing that. *Science*, *210*, 207–209.

Collins, A. M., & Quillian, M. R. (1969). Retrieval time from semantic memory and language comprehension. In L. W. Gregg (Hrsg.), *Cognition and learning*. New York: Wiley.

Conrad, C. (1972). Cognitive economy in sematic memory. *Journal of Experimental Psychology*, *92*, 149–154.

Conrad, R. (1964). Acoustic confusions in immediate memory. *British Journal of Psychology*, *55*, 75–84.

Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychological Bulletin*, *104*, 163–191.

Cowan, N. (1999). An embedded-processes model of working memory. In A. Miyake & P. Shah (Hrsg.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (S. 62–101). Cambridge: Cambridge University Press.

Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, *24*, 87–185.

Cowan, N. (2010). The magical mystery four: How is working memory capacity limited, and why? *Current Directions in Psychological Science*, *19*, 51–57.

Craik, F. I. M., & Tulving, E. (1975). Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *104*, 268–294.

Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *11*, 671–684.

Craik, F. I. M. (1977). Depth of processing in recall and recognition. In: S. Dornic (Hrsg.) *Attention and performance VI*, Hillsdale, NY: Erlbaum.

Crowder, R. G., & Morton, J. (1969). Precategorial acoustic storage (PAS). *Perception and Psychophysics*, *5*, 365–373.

Davelaar, E. J., Goshen-Gottstein, Y., Ashkenazy, A., Haarmann, H. J., & Usher, M. (2005). The demise of short term memory revised: empirical and computational investigations of recency effects. *Psychological Review*, *112*, 3–42.

De Renzi, E., Liotti, M., & Nichelli, P. (1987). Semantic amnesia with preservation of autobiographic memory. A case report. *Cortex*, *23*(4), 575–597.

DeSteno, D., Petty, R. E., Wegener, D. T., & Rucker, D. D. (2000). Beyond valence in the perception of likelihood: The role of emotion specifity. *Journal of Personality and Social Psychology*, *78*, 397–416.

Dooling, D. J., & Christiaansen, R. E. (1977). Episodic and semantic aspects of memory for prose. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, *3*, 428–436.

Ebbinghaus, H. (1885). *Über das Gedächtnis*. Leipzig: Dunckes & Humbolt. Neuaufl. 1992, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft

Eich, J. E. (1980). The cue-dependent nature of state-dependent retrieval. *Memory & Cognition*, *8*, 157–173.

Ekstrand, B. R. (1972). To sleep, perchance to dream. In C. P. Duncan, L. Sechrest & A. W. Melton (Hrsg.), *Human memory: Festschrift in honor of Benton J. Underwood* (S. 59–82). New York: Appleton-Century-Crofts.

Engelkamp, J., & Krumnacker, H. (1980). Imaginale und motorische Prozesse beim Behalten verbalen Materials. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, *27*, 511–533.

Erickson, H. M. (1938). Negation or reversal of legal testimony. *AMA Archives of Neurology and Psychiatry*, *40*, 548–553.

Ericsson, K. A., Chase, W. G., & Faloon, S. (1980). Acquisition of a memory skill. *Science*, *208*, 1181–1182.

Estes, W. K. (1972). An associative basis for coding and organization in memory. In A. W. Melton & E. Martin (Hrsg.), *Coding processes in human memory*. Washington, DC: Winston.

Eysenck, M. W., & Keane, M. T. (2010). *Cognitive Psychology: A student's handbook* (6. Aufl.). Hove: Psychology Press.

Foerster, H. (1948). *Das Gedächtnis, eine quantenphysikalische Untersuchung*. Vienna: F. Deuticke.

Fowler, M. J., Sullivan, M. J., & Ekstrand, B. B. (1973). Sleep and memory. *Science*, *179*, 302–304.

Fredrickson, B. L., & Kahneman, D. (1993). Duration neglect in retrospective evaluations of affective episodes. *Journal of Personality and Social Psychology*, *65*, 45–55.

Freud, S. (1916/1980). Vorlesung zur Einführung in die Psychoanalyse. In: *Vorlesungen zur Einführung in die Psychoanalyse und Neue Folge* (Bd. 1 der Studienausgabe). Frankfurt/M.: Fischer.

Frumkin, B., & Anisfeld, M. (1977). Semantic and surface codes in the memory of deaf children. *Cognitive Psychology*, *9*, 475–493.

Gold, P. E., & McGaugh, J. L. (1975). A single trace, two process view of memory storage processes. In D. Deutsch & J. A. Deutsch (Hrsg.), *Short-Term Memory* (S. 355–378). New York: Academic Press.

Godden, D., & Baddeley, A. D. (1975). Context-dependent memory in two natural environments: On land and under water. *British Journal of Psychology*, *66*, 325–331.

Graf, P., & Mandler, G. (1984). Activation makes words more accessible, but not necessarily more retrievable. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *23*, 553–568.

Gruber, T. (2011). *Gedächtnis*. Wiesbaden: VS.

Haber, R. N. (1969). Eidetic images. *Scientific American*, *220*, 36–55.

Hart, J. T. (1965). Memory and the feeling-of-knowing experience. *Journal of Educational Psychology*, *56*, 208–216.

Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior: A neuropsychological theory*. New York: John Wiley & Sons.

Hockey, G. R. J., Davies, S., & Gray, M. M. (1972). Forgetting as a function of sleep at different times of day. *Experimental Psychology*, *24*, 386–393.

Holmes, D. S. (1974). Investigations of repression: Differential recall of material experimentally or naturally associated with ego threat. *Psychological Bulletin*, *81*, 632–653.

Hoosain, R., & Salili, F. (1988). Language differences, working memory, and mathematical ability. In M. M. Gruneberg, P. E. Morris & R. N. Sykes (Hrsg.), *Clinical and educational implications* Practical aspects of memory: Current research and issues, (Bd. 2, S. 512–517). Chichester: Wiley.

Hydén, H. (1967). Biochemical aspects of learning and memory. In J. D. Roslansky (Hrsg.), *The human mind*. Amsterdam: North-Holland.

Hyman Jr., I. E., Husband, T. H., & Billings, F. J. (1995). False memories of childhood experiences. *Applied Cognitive Psychology*, *9*, 181–197.

Hyman Jr., I. E., & Pentland, J. (1996). The role of mental imagery in creation of false childhood memories. *Journal of Memory and Language*, *35*, 101–117.

James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York: Holt, Rinehart & Winston. 2 Bände

Jenkins, J. G., & Dallenbach, K. M. (1924). Obliviscence during sleep and waking. *American Journal of Psychology*, *35*, 605–612.

John, E. R., & Killam, K. F. (1959). Electrophysiological correlates of avoidance conditioning in the cat. *Journal of pharmacology and experimental therapeutics*, *125*, 252–274.

John, E. F., & Killam, K. F. (1960). Studies of electrical activity of brain during differential conditioning in cats. In J. Wortis (Hrsg.), *Recent advances in biological psychiatry*. New York: Grune and Stratten.

John, E. R. (1963). Neural mechanisms of decision making. In W. S. Fields & W. Abbott (Hrsg.), *Information storage and neural control*. Springfield: Ill., Thomas.

John, E. R. (1967). *Mechanisms of memory*. New York: Academic Press.

John, E. R. (1971). Brain mechanisms of memory. In J. L. McGaugh (Hrsg.), *Psychology*. New York: Academic Press.
Karlson, P. (1970). *Kurzes Lehrbuch der Biochemie*. Stuttgart: Thieme.
Katz, J. J., & Halstead, W. C. (1950). Protein organization and mental function. *Comparative Psychology Monographs*, *20*(103), 1–38.
Kintsch, W., & Buschke, H. (1969). Homophones and synonyms in short-term memory. *Journal of Experimental Psychology*, *80*, 403–407.
Liebermann, D. A. (2012). *Human Learning and Memory*. Cambridge: Cambridge University Press.
Lampinen, J. M. (2002). What exactly is déja vu? *Scientific American*. scieam.com/askexpert/biology/biology63.
Lewis, M. (1992). Commentary. *Human Development*, *35*, 44–51.
Liebermann, D. A. (2012). *Human Learning and Memory*. Cambridge: Cambridge University Press.
Lindsay, P. H., & Norman, D. A. (1981). *Einführung in die Psychologie: Informationsaufnahme und -verarbeitung beim Menschen*. Berlin: Springer.
Loftus, E. F. (1979). *Eyewitness testimony*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
Loftus, E. F. (1993). The realitiy of repressed memories. *American Psychologist*, *48*, 518–537.
Loftus, E. F., & Palmer, J. C. (1974). Reconstruction of automobile destruction. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *13*, 585–589.
Loftus, E. F., Schooler, J. W., & Wagenaar, W. A. (1985). The fate of memory: Comment on McCloskey and Zaragoza. *Journal of experimental Psychology: General*, *114*(3), 375–380.
Lorente de Nó, R. (1933). Vestibulo-ocular reflex arc. *Archives of Neurology and Psychiatry*, *30*, 245–291.
Lu, Z.-L., Williamson, S. J., & Kaufman, L. (1992). Behavioral lifetime of human auditory sensory memory predicted by physiological measures. *Science*, *258*, 1668–1670.
Lynch, G. (2002). Memory enhancement. The search for mechanism-based drugs. *Nature Neuroscience*, *5*(suppl), 1035–1038.
Lynch, S., & Yarnell, P. R. (1973). Retrograde amnesia: Delayed forgetting after concussion. *American Journal of Psychology*, *86*, 643–645.
Mandler, G. (2008). Familiarity breeds attempts: A critical review of dual process theories of recognition. *Perspectives on Psychological Science*, *3*(5), 392–401.
McGaugh, J. L. (1966). Time-dependent processes in memory storage. *Science*, *153*, 1351–1358.
McGaugh, J. L. (2000). Memory – a century of consolidation. *Science*, *287*, 248–251.
Meili, L., & Rohracher, H. (1963). *Lehrbuch der experimentellen Psychologie*. Brtn: Huber.
Miller, G. A. (1956). The magical number seven plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, *63*, 81–97.
Milner, B., Corkin, S., & Teuber, H. L. (1968). Further analysis of the hippocampal amnesic syndrome: 14-year follow-up study of H. M. *Neuropsychologia*, *6*, 215–234.
Monsell, S. (1979). Recency, immediate recognition memory, and reaction time. *Cognitive Psychology*, *10*, 465–501.
Müller, G. E., & Pilzecker, A. (1900). Experimentelle Beiträge zur Lehre vom Gedächtnis. *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane*, *Ergänzungsband 1*.
Murdock Jr., B. B. (1962). The serial position effect in free recall. *Journal of Experimental Psychology*, *64*, 482–488.
Myers, D. G. (2008). *Psychologie*. Heidelberg: Springer.
Myers, D. G. (2014). *Psychology* (S. 351). New York: Worth. Abb. 9.27
Naveh-Benjamin, M., & Ayres, T. J. (1986). Digit span, reading rate, and linguistic relativity. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *38*, 739–751.
Neisser, U. (Hrsg.). (1982). *Memory observed: Remembering in natural contexts*. New York: Freeman.
Nyberg, L. (1998). Mapping episodic memory. *Behavioral Brain Research*, *90*, 107–114.
Oberauer, K. (2009). Design for a Working Memory. *Psychology of Learning and Motivation*, *51*, 45–100.
Paivio, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. New York: Oxford University Press.
Peterson, L. R., & Peterson, M. J. (1959). Short-term retention of individual Verbal items. *Journal of Experimental Psychology*, *58*, 193–198.
Phelps, E. A. (1989). *Cognitive skill learning in amenstics*. Dissertation. Princeton University.
Pinel, J. P. (1997). *Biopsychologie* (S. 370). Spektrum. engl. Original: John P. J. Pinel, Biopsychology 4E. Allyn and Bacon, Needham Heigths, MA.
Platon (1961). *Theaitetos*. Sämtliche Werke, Bd. 4. Reinbek: Rowohlt.
Plihal, W., & Born, J. (1997). Effects of early and late nocturnal sleep on declarative and procedural memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *9*, 534–547.
Postman, L., & Rau, L. (1957). Retention as a function of the method of measurement. *Univ. Calif. Publ. Psychol.*, *8*, 217–220.
Pressley, M., Levin, J. R., & Delaney, H. D. (1982). The mnemotechnic keyword method. *Review of educational research*, *52*, 61–91.
Quillian, M. R. (1966). *Semantic memory*. Cambridge: Bolt, Beranak and Newman.
Ratcliff, R. A., & McKoon, G. (1981). Does activation really spread? *Psychological Review*, *88*, 454–462.
Reason, J. T., & Lucas, D. (1984). Using cognitive diaries to investigate naturally occuring memory blocks. In J. E. Harris & P. E. Morris (Hrsg.), *Everyday memory, actions and absent-mindedness* (S. 53–70). London: Academic Press.
von Restorff, H. (1933). Über die Wirkung von Bereichsbildungen im Spurenfeld. *Psychologische Forschung*, *18*, 299.
Rovee-Collier, C., & Hayne, H. (1987). Reactivation of infant memory: implications for cognitive development. In H. W. Reese (Hrsg.), *Advances in child development and behavior* Bd. 20 New York: Academic Press.
Rowland, V. (1968). Cortical steady potential. In D. Stellar & J. M. Sprague (Hrsg.), *Progress in physiological psychology* Bd. 2 New York: Academic Press.
Schacter, D. L. (1996). *Searching for memory: The brain, the mind, and the past*. New York: Basic Books.
Schandry, R. (2006). *Biologische Psychologie* (2. Aufl.). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
Schank, R. C., & Abelson, R. (1977). *Scripts, plans, goals, and understanding*. Hillsdale: Erlbaum.
Shallice, T., & Warrington, E. K. (1970). Independent functioning of Verbal memory stores: A neuropsychological study. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *22*, 261–273.
Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic attention and a general theory. *Psychological Review*, *84*, 127–190.
Silbernagl, S., & Despopoulos, A. (1979). *Taschenatlas der Physiologie*. Stuttgart: Thieme.
Smirnov (1955)
Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs*, *74*, 1–29.
Squire, L. R. (1987). *Memory and brain*. New York: Oxford University Press.
Squire, L. R. (1992). Memory and the hippocampus: A synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychological Review*, *99*, 195–232.
Sternberg, S. (1966). High-speed scanning in human memory. *Science*, *153*, 652–654.
Sternberg, S. (1969). Memory-scanning: Mental processes revealed by reaction-time experiments. *American Scientist*, *57*, 421–457.
Sulin, R. A., & Dooling, D. J. (1974). Intrusion of a thematic idea in retention of prose. *Journal of Experimental Psychology*, *103*, 255–262.
Thomas, E. L., & Robinson, H. A. (1982). *Improving reading in every class*. Boston: Allyn & Bacon.
Toni, N., Buchs, P. A., Nikonenko, I., Bron, C. R., & Muller, D. (1999). LTP promotes formation of multiple spine synapses between a single axon terminal and a dendrite. *Nature*, *402*, 401–402.
Townsend, J. T. (1990). Serial vs. parallel processing: Sometimes they look like Tweedledum and Tweedledee but they can (and should) be distinguished. *Psychological Science*, *1*, 46–54.
Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. In E. Tulving & W. Donaldson (Hrsg.), *Organisation of memory*. London: Academic Press.
Tulving, E. (1974). Cue-dependent forgetting. *American Scientist*, *62*, 74–82.
Tulving, E. (1999). Study of Memory: Processes and Systems. In J. K. Foster & M. Jelicic (Hrsg.), *Memory: Systems, process, or function*. Oxford: Oxford University Press.
Tulving, E. (2002). Episodic memory: From mind to brain. *Annual Review Psychology*, *53*, 1–25.

Tulving, E., & Pearlstone, Z. (1966). Availability versus accessibility of information in memory for words. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *5*, 381–391.

Underwood, B. J. (1957). Interference and forgetting. *Psychological Review*, *64*, 49–60.

Worchel, P. (1955). Anxiety and repression. *Journal of abnormal social Psychology*, *50*, 201–205.

Yu, B., Zhang, W., Jing, Q., Peng, R., Zhang, G., & Simon, H. A. (1985). STM capacity for Chinese and English language materials. *Memory and Cognition*, *13*, 202–207.

Zhang, G., & Simon, H. A. (1985). STM capacity for Chinese words and idioms: Chunking and acoustical loop hypotheses. *Memory & Cognition*, *13*, 193–201.

Zeller, A. F. (1950). An experimental analogue of repression. II The effect of individual failure and success on memory measured by relearning. *Journal of experimental Psychology*, *40*, 411–422.

Sprache

Christian Becker-Carus, Mike Wendt

9.1 Sprache und Sprachebenen – 422
9.1.1 Grundeinheiten der Sprache – 422
9.1.2 Sprachliche Form und semantischer Inhalt – 424

9.2 Aspekte und Ebenen des Sprachsystems – 425
9.2.1 Sprachverstehen – 425
9.2.2 Sprachproduktion – 426

9.3 Laut- und Wortverarbeitung – 426
9.3.1 Worterkennung – Was sind Wörter? – 426
9.3.2 Theorien zur Worterkennung – 428
9.3.3 Auditive Worterkennung – 428
9.3.4 Visuelle Worterkennung – 431

9.4 Satzverarbeitung/Satzverstehen – 432
9.4.1 Strukturelles/syntaktisches Wissen – 432
9.4.2 Semantisches Wissen – 433
9.4.3 Pragmatisches Wissen – 433
9.4.4 Modelle der Satzverarbeitung – 433
9.4.5 Serielle vs. parallele Verarbeitung – 435
9.4.6 Neurokognitive Aspekte – 435

9.5 Textverarbeitung – 437

9.6 Wortproduktion und Sprachproduktion. – 438
9.6.1 Konzeptualisierung – 438
9.6.2 Formulierung – 440
9.6.3 Artikulation – 440
9.6.4 Hörerbezug – 441

9.7 Sprachentwicklung – 442
9.7.1 Stufen des Spracherwerbs – 442
9.7.2 Der Erwerb grammatikalischen Wissens – 443

Literatur – 448

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Becker-Carus, M. Wendt, *Allgemeine Psychologie,* DOI 10.1007/978-3-662-53006-1_9

Wenn wir die Sprache des Menschen untersuchen, kommen wir dem nahe, was man als die „Essenz des Menschenwesens" bezeichnen könnte. (Chomsky 1972)

1. In der Linguistik werden sprachliche Äußerungen in als Phrasen bezeichnete zusammenhängende Einheiten zerlegt. Was spricht dafür, dass diese Zerlegung „psychische Realität" aufweist, d. h., dass bei der Verarbeitung von Sprache eine ähnliche Strukturierung vorgenommen wird?
2. Wie wirkt sich unsere langjährige Erfahrung mit dem Klang unserer Muttersprache auf unsere Wahrnehmung von Sprachlauten aus?
3. Wenn ein mehrdeutiges Wortes wie „Bank" oder „Schloss" in einem gesprochenen Satz vorkommt, so wird es zumeist gemäß seiner kontextadäquaten Bedeutung interpretiert. Was lässt sich über die mentale Repräsentation seiner anderen Bedeutung(en) in solchen Situationen aussagen?
4. Wie ist es zu erklären, dass bestimmte Hirnschädigungen mit selektiver Beeinträchtigung der Fähigkeit des (lauten) Lesens für unbekannte und Phantasie-Wörter, andere dagegen mit einem selektiven Ausfall der Lesefähigkeit für Wörter mit irregulärer Schreibweise (auch bekannte) einhergehen?
5. Da die Sprachrezeption auf der sukzessiven Aufnahme einzelner in einem Satz enthaltenen Informationen beruht (insbesondere im Fall des Hörens gesprochener Sprache, bei der die einzelnen Sprachlaute nacheinander präsentiert werden), kann der Inhalt eines Satzes erst ab einem bestimmten Zeitpunkt der Verarbeitung festgestellt werden. Wie werden (mögliche) Inhalte bis zu diesem Zeitpunkt repräsentiert?

Die menschliche Sprache ist eine der größten Leistungen der menschlichen Evolution. In ihrer Vollkommenheit unterscheidet sie den Menschen von anderen Primaten. Sprache ist eng verknüpft mit unserer Fähigkeit, komplexe Gedanken, Ideen und Vorstellungen auszubilden, zu kommunizieren und zu reflektieren oder auch Emotionen auszudrücken. Sprache ist vor allem ein Kommunikationsmittel. Sie umfasst (nach Harley 2008, S. 5) ein komplexes System von Symbolen und Regeln, das uns befähigt zu kommunizieren, aber auch abstrakte Ideen oder Vorstellungen mitzuteilen. Sprache kann aus gesprochenen Lauten oder geschriebenen Schriftzeichen bestehen oder auch durch Mimik und Gestik übermittelt werden (Gebärden, Taubstummensprache). Sprache setzt aber auch andere Fähigkeiten voraus, auf denen sie aufbaut. Dazu gehören unter anderem Denken, Gedächtnis, Wissen und Kategorisieren. Sprache wird (in ihrer Vollkommenheit) als eine genuin menschliche Fähigkeit angesehen, die in allen Kulturen anzutreffen ist. Sie ist jeweils durch bestimmte generelle Regeln strukturiert, die in der Grammatik einer Sprache festgelegt sind.

9.1 Sprache und Sprachebenen

Sowohl beim **Sprachverstehen** (Hören oder Lesen) als auch bei der **Sprachproduktion** (Sprechen oder Schreiben) lassen sich in gleicher Weise *verschiedene Ebenen* unterscheiden, auf denen der jeweilige Sprachprozess abläuft. Wenn wir etwas sagen wollen, beginnen wir zunächst innerlich mit einem Gedanken, den wir aussprechen wollen. Diesen transformieren wir dann „irgendwie" in einen sprachlichen Satz (*sentence*) einer uns geläufigen Sprache, den wir dann mit Wörtern unmittelbar hörbar (bei Gebärdensprache durch Gesten „sichtbar") aussprechen oder niederschreiben. Entsprechend beginnen wir beim Zuhören umgekehrt mit dem Hören der Sprachlaute, die wir (je nach unserer Vorkenntnis) kombiniert als Wörter erkennen, die sich zu Sätzen zusammenschließen, aus denen wir schließlich „irgendwie" die Bedeutung (den Gedanken) entnehmen (Abb. 9.1).

Der hieraus bereits ersichtliche enge Zusammenhang zwischen Denken und Sprache hat schon früh zu einer heftigen Diskussion geführt, inwieweit unser Denken von der jeweiligen Sprache *beeinflusst* wird, wie dies von der **linguistischen Relativitätshypothese** vertreten wird, oder ob unser Denken durch die jeweilige Sprache *determiniert* wird, was als **linguistischer Determinismus** bezeichnet wird (siehe *Zusatztexte online*). Einen kurzen Abriss über die Geschichte der psycholinguistischen Forschung finden Sie in *Zusatztexte online*.

9.1.1 Grundeinheiten der Sprache

Betrachten wir zunächst die einzelnen Grundbausteine, aus denen das hierarchisch gegliederte Sprachsystem besteht. Hierzu gehören **Phoneme** (Sprachlaute), **Morpheme** (Worteinheiten), **Phrasen** (Satzeinheiten) und die **Propositionen** (bedeutungstragende Wissenseinheiten) (Abb. 9.1). Ihr Aufbau und Zusammenhang sind durch Regeln der **Grammatik** mit Syntax und Semantik festgelegt, denen wir uns anschließend zuwenden werden.

Der erste Schritt beim Verstehen der gesprochenen Sprache besteht im Differenzieren beziehungsweise Erkennen der einzelnen Sprachlaute. Auch hier handelt es sich, wie bei der visuellen Wahrnehmung besprochen, um das Erkennen bestimmter Muster. Die gesprochene Sprache ist nicht in gleicher Weise wie die Schrift in diskrete Einheiten gegliedert, sondern der Sprachfluss läuft zumeist ohne Abfall der Schallenergie über Wortgrenzen hinaus, wie physikalische Analysen des Sprachflusses zeigen, und Flussunterbrechungen treten ebenso häufig auch innerhalb eines Wortes auf. Dies wird uns erst dann deutlich, wenn wir eine fremde Sprache hören, die wir selbst nicht beherrschen. Hier hat der Sprachfluss für uns keine erkennbaren Wortgrenzen, die wir bei der eigenen Sprache zu erkennen vermeinen, weil uns die einzelnen Wörter bekannt sind.

Gesprochene Wörter bestehen aus einer Sequenz von einzelnen in der Wahrnehmung unterscheidbaren Sprachlauten. Sie bilden den ersten Baustein der Sprache und werden in der Linguistik als **Phoneme** (Sprachlaute) bezeichnet. Sie bezeichnen die kleinsten bedeutungsunterscheidenden sprachlichen Lauteinheiten (*basic speech sound*) einer gesprochenen Sprache. Wenn wir zum Beispiel das Wort *Kanne* aussprechen, artikulieren wir die Phoneme [k] [a] [n] [ə], die zwar mit den entsprechenden Buchstaben in der Lautschrift korrespondieren, nicht aber mit ihnen identisch sind. Zum Beispiel wird das doppelte *nn* durch

das Phonem [n] dargestellt. Die Buchstaben *V* und *W* in den Wörtern *Vase* und *Wetter* stimmen beide mit dem Phonem [v] überein, klingen also gleich, während der gleiche Buchstabe *V* im Wort *Vetter* genauso ausgesprochen wird wie das *F* im Wort *Futter* und somit hier dem Phonem [f] entspricht. Ersetzen wir dagegen in unserem ersten Beispielwort *Kanne* das erste Phonem durch das Phonem [w], erhalten wir *Wanne*, womit zugleich auch eine andere Bedeutung verbunden ist. Die Änderung eines Phonems führt, wie ersichtlich, zu einer Bedeutungsänderung. Phoneme an sich aber tragen noch keine Bedeutung. Durch unterschiedliche Vokale (Phoneme) zwischen einem /b/ und einem /t/ (Schreibweise für Grapheme) entstehen in der englischen Sprache zwölf unterschiedliche Bedeutungen (*bait*, *bat*, *beat*, *beet*, *bet*, *bit*, *bite*, *boat*, *boot*, *bought*, *bout*, *but*; Fromkin und Rodman 1983). Im Deutschen werden in der gesprochenen Sprache etwa 40 Phoneme unterschieden (► Exkurs 9.1).

Bei geschriebener Sprache spricht man (richtiger) von *Graphemen*. Sie symbolisieren die lautlichen Phoneme und sind in den meisten Sprachen insofern deckungsgleich mit Phonemen. Grapheme (und Phoneme) können auch aus mehreren Buchstaben bestehen (/sch/, oder im Englischen /th/). Zumeist jedoch entsprechen sie, auch in anderen Sprachen, einem Buchstaben. In den meisten Sprachen kann das gleiche Graphem auch, je nach Sprachkontext, für mehrere Phoneme stehen. Auffällig ist das im Englischen, wo die Graphem-Phonem-Korrespondenz besonders gering ist. So wird z. B. in dem englischen Wort *timing* das erste *i* wie [ei] ausgesprochen, das zweite dagegen wie das deutsche *i*.

Phonem

Ein Phonem ist die kleinste sprachliche Lauteinheit in einer gesprochenen Sprache, deren Veränderung zu einer Veränderung der Bedeutung der Äußerung führt (Anderson 1996).

Graphem

Ein Graphem ist eine distinkte Einheit eines Schriftsystems und symbolisiert In Buchstabenschriften eine sprachliche Lauteinheit, im Idealfall Phoneme.

Wenn wir einem Sprechenden zuhören, achten wir jedoch zumeist weniger auf die einzelnen Phoneme, sondern wir nehmen eher Wörter (oder gleich den Sinn eines ganzen Satzes) wahr. Wörter, aber auch Wortteile wie Vorsilben (Präfixe) oder Nachsilben (Suffixe) sind **Spracheinheiten**, die eine Bedeutung tragen. Sie werden als **Morpheme** bezeichnet Sie sind die kleinsten bedeutungstragenden Einheiten einer Sprache (im Gegensatz zum nicht bedeutungstragenden Phonem). Die allermeisten Morpheme sind Kombinationen aus mehreren Phonemen. Es gibt auch einige Morpheme, die aus nur einem Phonem bestehen (z. B. *t* in *nimmt* oder *e* in *Schafe*, im Englischen das Personalpronomen *I* oder im Deutschen das Morphem *ei*).

Morpheme können auch aus einem ganzen Wort bestehen (*Schaf*), andere sind nur Wortbestandteil. Morpheme sind auch nicht immer deckungsgleich mit einer Silbe. So besteht das Wort *Schafe* aus den Silben *scha* und *fe*, aber aus den **Morphemen /**

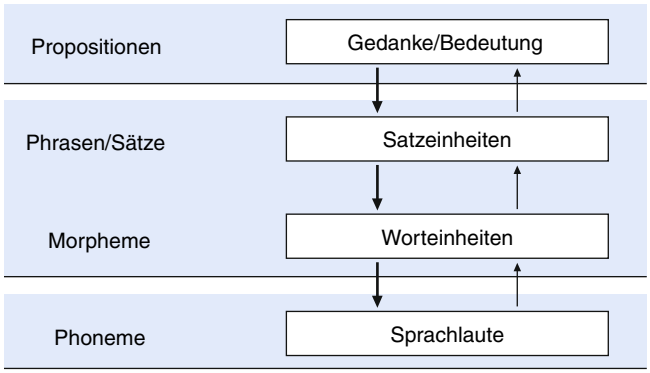


Abb. 9.1 Die drei Ebenen des Sprachverstehens sowie der Sprachproduktion: Gedanken-, Satz und Wörterebene

schaf/ und /e/, die beide eine Bedeutung haben. Während das Morphem /schaf/ eine begriffliche Bedeutung besitzt und eigenständig vorkommen kann (freie Morpheme), bezeichnet das Morphem /e/ den Plural als grammatikalische Kategorie und kommt nicht eigenständig vor (gebundene Morpheme).

Zu den Morphemen gehören auch Präfixe (z. B. /vor/ in *Vorhang*) oder Suffixe (/lich/ in *herzlich*, /e/ als Vergangenheitsform von *hört-e*). Das Wort *ungebraucht* besteht aus vier Morphemen (/un/ge/brauch/t/), und jedes trägt zur Wortbedeutung bei. Zusammengesetzte Wörter (Komposita) werden im Deutschen sehr gern gebildet aus Substantiven (*Kindergarten*) oder mehreren Adjektiven (*goldgelb*), wobei sich auch die Gesamtbedeutung vollständig ändern kann: *umbringen* hat wenig mit der Bedeutung „bringen" zu tun, und *Muskelkater* bedeutet nicht eine besondere Form von „Kater". (Dennoch lässt sich mittels Priming experimentell zeigen, dass solche Komposita die ursprüngliche Bedeutung der in ihnen enthaltenen Wörter, wie Kater, mit aktivieren, trotz des Fehlens eines bedeutungsmäßigen Zusammenhanges (Zwitserlood 1994), zur experimentellen Methodik siehe *Zusatztexte online*.)

Morphem

Ein Morphem ist die kleinste bedeutungstragende Einheit. So ist *Hase* zum Beispiel ein Morphem, das ein Objekt bezeichnet, und *-te* ein Morphem, das die Vergangenheitsform anzeigt. Aber auch Artikel (*der, die, das*) und Präpositionen (*an, auf*) sind Morpheme, da sie eine Bedeutung tragen.

Weiter haben wir zu unterscheiden zwischen Wörtern und deren Bedeutung bzw. Konzept.

Um deutlich zu machen, dass es einen Unterschied gibt zwischen dem Wort *Hase* und der damit bezeichneten Bedeutung „Hase", lässt sich Ersteres gewissermaßen als Name eines Konzeptes auffassen. Das heißt, die Wortbedeutung ist das **Konzept**, das durch das Wort benannt wird. So können verschiedene Wörter wie *dog*, *Hund* oder *chien* das gleiche Konzept bedeuten. Andererseits gibt es Wörter, die mehr als ein Konzept benennen, wie zum Beispiel das Wort *Schloss*, das sowohl das Konzept eines Gebäudes als auch das einer Schließvorrichtung bezeichnen kann. Welches Konzept gemeint ist, ergibt sich dann zumeist aus dem Satzzusammenhang.

Exkurs 9.1

Genauer betrachtet: Phonem- und Lautunterschiede

Wenngleich wir kaum Schwierigkeiten haben, Laute zu unterscheiden, die zu verschiedenen Phonemen unserer Sprache gehören, gelingt uns die Unterscheidung verschiedener Laute, die im Sprachgebrauch demselben Phonem entsprechen, wesentlich schwerer. Betrachten Sie z. B. die Aussprache des ersten Buchstabens in *Kante* und des zweiten in *Akte*. Beide Laute gehören demselben Phonem [k] an und klingen für uns zunächst auch gleich, obwohl nur das [k] in *Kante* von einem Luftausstoß begleitet wird.

Im Deutschen ist dieses Merkmal der nachfolgenden Behauchung eines Konsonanten (Aspiration) linguistisch gesehen nicht bedeutungsunterscheidend und wird daher nicht zwei verschiedenen Phonemen ([k-behaucht] und [k-unbehaucht]) zugeordnet. In Hindi dagegen entsprechen die beiden Varianten von Konsonanten (behaucht, unbehaucht) zwei verschiedenen Phonemen. Andererseits gibt es auch Sprachen, die zwischen Lauten, die wir als zwei unterschiedliche Phoneme betrachten, keine phonetischen Unterscheidungen treffen. So werden im Japanischen die Laute, die unseren Buchstaben bzw. Phonemen [r] und [l] entsprechen, als Ausdruck desselben Phonems wahrgenommen, was Japanern die Unterscheidung zwischen Wörtern wie *Reise* und *leise* erschwert.

Jede Sprache verfügt über ein anderes Phoneminventar. Dies ist einer der Gründe, warum es oft schwer ist, die Aussprache einer Fremdsprache zu erfassen, zumal wenn es um Phonemunterschiede geht, die in der Muttersprache nicht vorkommen (Atkinson et al. 2000, 2014).

In der Sprache sind die einzelnen Wörter gewöhnlich zu Sätzen oder Satzteilen (**Phrasen**) zusammengefügt. Mithilfe der **Syntax** (Satzlehre) einer Sprache, welche die Wortreihenfolge festlegt, führen sie zu Bedeutungseinheiten oder Aussagen, den **Propositionen**.

In der Linguistik wird die kleinste Wissenseinheit, die eine unabhängige Aussage, also einen Bedeutungsinhalt, darstellen kann, als **Proposition** bezeichnet.

Proposition

Eine Proposition ist eine (abstrakte) Bedeutungseinheit, die eine Beziehung zwischen Konzepten, Gegenständen oder Ereignissen ausdrückt. Sie wird auch als *kleinste Wissenseinheit* bezeichnet.

(Diese Definition gilt auf der konzeptionellen Ebene. In anderen Bereichen gibt es auch andere Definitionen. Vgl. Glossar und ▶ Kap. 10 Denken)

Bäume haben Blätter, *Kinder spielen Ball* sind einfache Beispiele für Propositionen. Der Satz:

(1) *Karl trinkt Tee, der stark ist und aus China kommt.*

ist ein Satz mit drei Bedeutungseinheiten. Er enthält die Propositionen *Karl trinkt Tee*, *der Tee ist stark* und *der Tee kommt aus China*.

Grammatik

Ein weiterer notwendiger Baustein einer Sprache ist, aus linguistischer Sicht, ein System von Regeln mit deren Hilfe wir uns anderen Menschen mitteilen und sie verstehen können. Im Detail legt die Grammatik einer Sprache fest, wie Wörter, Phrasen und Sätze gebildet werden. Die Grammatik beinhaltet dabei neben der Semantik (Bedeutungslehre) die folgenden Komponenten (Spering und Schmidt 2008):

- Die **Phonologie** umfasst die Regeln der Lautbildung (Abschnitt 9.6.3, Artikulation) und Regeln der Prosodie (Betonungsmuster, Intonation, Sprachrhythmen).
- Die **Morphologie** einer Sprache umfasst die Regeln der Wortbildung (z. B. Aufbau aus Wortstamm, Präfix und Suffix) sowie der Flexion (Beugung, also Konjugation und Deklination).

Die **Syntax** beinhaltet die Regeln, nach denen aus Wörtern **Phrasen** (Einheiten von Wörtern wie *ein altes Haus*) und Sätze gebildet werden, gemäß sogenannter Phrasen-Strukturregeln (▶ Abschn. 9.4 und Satzverstehen). So besagt eine Regel der deutschen Syntax, dass Adjektive den Substantiven vorangestellt werden (*großer Platz*), während sie im Spanischen in der Regel den Substantiven nachgestellt werden (*plaza mayor*).

Bemerkenswert ist, dass Sprache ausgehend von relativ wenigen Phonemen dennoch eine immense Komplexität erreicht. Im Deutschen lassen sich aus den etwa 40 unterscheidbaren Phonemen mehr als 60.000 Morpheme zusammensetzen, die allein oder miteinander kombiniert die etwa 350.000 Stichwörter des Duden ausmachen, aus denen sich dann eine fast unbegrenzte Anzahl von Sätzen bilden lässt.

Semantik bezeichnet die Gesamtheit aller Regeln, nach denen wir in einer gegebenen Sprache die Bedeutung aus Morphemen, Wörtern oder ganzen Sätzen ableiten (die Wissenschaft von der Bedeutung).

9.1.2 Sprachliche Form und semantischer Inhalt

Aufgrund verschiedener experimenteller Untersuchungsergebnisse (▶ Exkurs 9.2) wird angenommen, dass Propositionen in unserem Gehirn in einer nichtsprachlichen, nonlinguistischen Form repräsentiert sind, denn die gleichen Propositionen – semantischer Inhalt – können, wie im oben genannten Beispiel, durch unterschiedliche konkrete Sätze ausgedrückt werden. So beinhaltet auch der folgende Satz die gleichen drei bereits angeführten Propositionen:

(2) *Der starke Tee, den Karl trinkt, stammt aus China.*

Hier hat sich also nur die Form der sprachlichen Formulierung geändert, was von Chomsky (1965) früher als die *Oberflächenstruktur* einer Sprache bezeichnet wurde, im Gegensatz zur unverändert bleibenden *Tiefenstruktur*, dem Bedeutungsinhalt, der sich auch in einer anderen Sprache unverändert ausdrücken ließe.

Jede Proposition lässt sich weiter unterteilen in ein Subjekt – oder auch Argument – (zum Beispiel *Karl*) und ein Prädikat

Exkurs 9.2

Reaktionszeitexperiment zur Phrasenstruktur

Um nachzuweisen, dass einmal gehörte komplexere sprachliche Sätze in unserem mentalen Speicher unmittelbar in Phrasen-einheiten aufgeteilt werden, die in sich eine engere Einheit bilden, wurden unter anderem Reaktionszeitexperimente der folgenden Art vorgegeben. In einer Untersuchung von Wilkes und Kennedy (1969) wurde den Versuchsteilnehmern jeweils ein Satz vorgegeben wie dieser: *The poor girl stole a warm coat* („Das arme Mädchen stahl einen warmen Mantel"). Unmittelbar danach wurde ihnen ein bestimmtes einzelnes Wort aus dem eben gehörten Satz (eine „Probe") dargeboten, und sie sollten schnellstmöglich das darauf folgende Wort nennen.
Wie erwartet, konnten die Personen die Antwort dann schneller geben, wenn die Probe und das Reaktionswort sich in der gleichen Phrase befanden (zum Beispiel *poor* und *girl*), als wenn sie sich in unterschiedlichen Phrasen befanden (zum Beispiel *girl* und *stole*). Die Autoren schlossen daraus, dass die einzelnen Phrasen im Gedächtnis als selbstständige Einheiten fungieren und dass offenbar, wenn Probe und Antwort aus derselben Phrase kommen, nur eine Einheit im Gedächtnis reaktiviert werden muss (siehe auch *Zusatztexte online*).

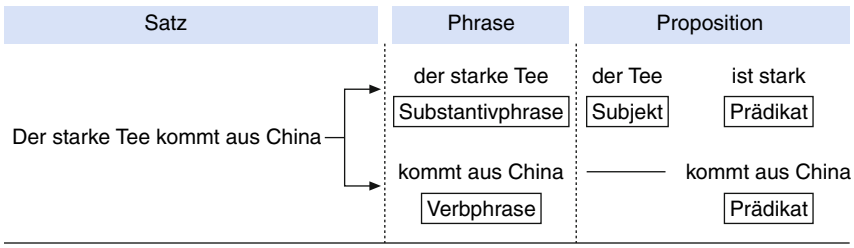


Abb. 9.2 Schematische Darstellung der Extraktion von Propositionen aus einem komplexen Satz

(*trinkt Tee*). In der Proposition *Der Tee kommt aus China* stellt *der Tee* das Subjekt der Proposition und *kommt aus China* das Prädikat der Proposition dar.

Der Weg, um aus einem komplexen Satz die zugrunde liegenden Propositionen zu extrahieren, führt gewöhnlich über die Bildung von Phrasen (= Satzteileinheiten), wie in Abb. 9.2 schematisch dargestellt.

Darüber hinaus zeigt dieses Beispiel, wie eng die einzelnen Phrasen mit den Propositionen, den eigentlichen Bedeutungsträgern, korrespondieren, worin sich zugleich die enge Verknüpfung zwischen Sprache und Gedanke zeigt. Wenn wir einen gesprochenen Satz hören, scheinen wir mental automatisch tatsächlich eine solche Aufteilung in die verschiedenen Phrasen vorzunehmen, die dann als gesonderte Einheiten im Gedächtnis behandelt werden, wie die in ▶ Exkurs 9.2 dargestellten Gedächtnisexperimente nahelegen. Im Gedächtnis scheinen die Bedeutungen in **semantischen** oder **propositionalen Netzwerken** repräsentiert zu sein, die aus Konzepten beziehungsweise Propositionen und Verbindungen zwischen diesen Konzepten oder Propositionsknoten bestehen.

9.2 Aspekte und Ebenen des Sprachsystems

Wir beginnen mit einem Überblick über die verschiedenen Aspekte und Ebenen der komplexen **Wortverarbeitung**. Bei der Verwendung unserer Sprache lassen sich zunächst zwei Aspekte unterscheiden: das *Sprachverstehen* einerseits und die *Sprachproduktion* andererseits. Diese unterteilen sich zusammen weiter in die vier Sprachfähigkeiten oder Sprachbereiche: Hören, Lesen, Sprechen, Schreiben (Abb. 9.3). Bei der Besprechung des Sprachverstehens werden unterschieden: die Wortverarbeitung (mit Worterkennen und Wortverstehen) und die Satzverarbeitung.

Hören Lesen	Sprachverstehen	A B	Wortverarbeitung (Worterkennen, Wortverstehen) Satzverarbeitung
Sprechen Schreiben	Sprachproduktion	A B C	Konzeptualisierung Formulierung Artikulation

Abb. 9.3 Aspekte und Ebenen der Wortverarbeitung

9.2.1 Sprachverstehen

Beim Sprachverstehen hören wir zunächst Laute oder sehen Folgen von graphischen Zeichen, deren Bedeutung wir verstehen wollen. Doch nur wenn sie uns bekannt sind, können wir ihren Sinn verstehen. Normalerweise geht das problemlos, und wir beachten dabei nicht, dass es nur Laute sind, die wir hören, oder Buchstaben, die wir sehen, sondern richten unsere Aufmerksamkeit nur auf den Inhalt (die Bedeutung) des Gesprochenen oder Geschriebenen, den unser Sprachsystem unbemerkt und fast gleichzeitig für uns bereitstellt.

Die dabei ablaufenden Prozesse sind uns derzeit nur in Teilen bekannt. Beim Hören von Sprache werden zunächst die gehörten Phoneme im Kurzzeitgedächtnis (Arbeitsgedächtnis, phonologische Schleife) gespeichert. Von hier aus aktivieren die Phoneme Wörter (Wortformen) im Langzeitgedächtnis, wo diese mithilfe der Sprachkenntnisse aus dem deklarativen Langzeitgedächtnis (siehe dieses) die zugehörigen bedeutungstragenden Morpheme mit ihrer Bedeutung und die Phrasen (Konstituenten) des Satzes aktivieren, was zum Verstehen des Satzes führt.

Offenbar geht der Sprachverarbeitungsprozess aber in der Regel noch weiter. Er führt zum schnellen Vergessen der aktuellen Wörter und Konstituenten der sprachlichen Formulierung (Oberflächenstruktur) durch Ersatz und Verknüpfung der Propositionen zu Makropropositionen und damit zur Überführung in bleibende Bedeutungseinheiten.

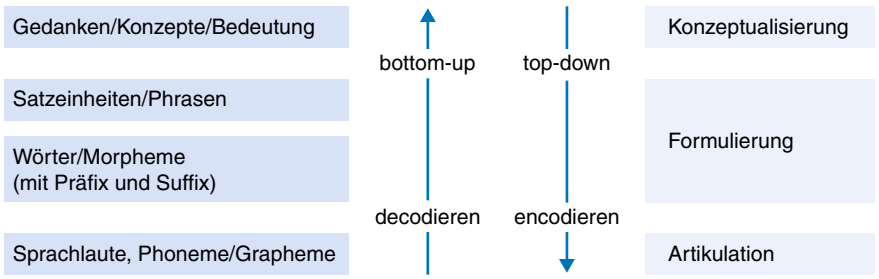


Abb. 9.4 Ebenen des Sprachverstehens und Sprachproduzierens

Dies wird deutlich, wenn wir Gehörtes (eine Rede oder einen Text) wiedergeben sollen. Wir formulieren den erinnerten Inhalt (die Wissenseinheiten) mit eigenen zusammenfassenden Worten neu.

Wie Slobin (1979) ausführt, würden sich die Versuchspersonen, die den Beispielsatz hörten: „The ball that Bruce threw went to Joanne" (Der Ball, den Bruce warf, ging an Joanne), besser an die Bedeutung erinnern, dass Bruce Joanne den Ball zugeworfen hat als an die gewählte grammatikalische Struktur und die Wortwahl.

Ein Satz besteht zumeist aus mehreren Phrasen, die eine oder mehrere Propositionen beinhalten können. Erinnert werden in der Regel die zugrunde liegenden Propositionen, nicht aber die genaue sprachliche Formulierung eines Satzes.

9.2.2 Sprachproduktion

Bei der Sprachproduktion gehen wir umgekehrt von dem Gedanken, der Vorstellung oder dem Konzept aus, das wir mitteilen wollen. Wir beginnen mit dem in Propositionen strukturierten Gedanken, den wir (in irgendeiner Weise) in Phrasen und Morpheme eines Satzes transferieren und dann mithilfe der Stimmmuskulatur in Phonemen artikulieren.

Die hierbei ablaufenden Prozesse des Sprachverstehens und Sprachproduzierens lassen sich verschiedenen **Ebenen** zuordnen (Abb. 9.4). Auf der obersten Ebene haben wir die Konzepte (Vorstellungen, Gedanken, Ideen), die wir ausdrücken möchten. Diesen sind auf der nächsten Ebene Sätze oder Satzteile (Phrasen) zugeordnet. Die nächsttiefere Ebene enthält die Wörter oder Wortformen und die bedeutungstragenden Wortteile, die Morpheme. Auf der untersten Ebene haben wir schließlich die Sprachlaute (Phoneme, Grapheme).

Wie wir bereits sahen, bestehen zwischen den Ebenen enge Verbindungen. Sätze und Phrasen eines Satzes werden aus Wörtern oder Morphemen (Präfixe, Suffixe) gebildet und diese werden ihrerseits wieder aus Sprachlauten (Phonemen) zusammengesetzt. Nach Chomsky (1965, 1973) ist Sprache somit ein „multi-level system", durch das Gedanken über Sätze, Wörter und Morpheme in verstehbare Sprachlaute transferiert werden. Betrachten wir nun die einzelnen Schritte genauer und beginnen mit der Wortverarbeitung.

9.3 Laut- und Wortverarbeitung

Wenn wir sprechen oder Sprache hören, verwenden wir Wörter, aus denen sich unsere Sprache zusammensetzt. Die Wortwahrnehmung und das Worterkennen sind Grundvoraussetzung für das Verstehen größerer sprachlicher Einheiten. In diesem Abschnitt befassen wir uns zunächst mit Grundfragen und verschiedenen Theorien der auditiven und visuellen Worterkennung und Wortverarbeitung.

9.3.1 Worterkennung – Was sind Wörter?

Die bedeutungstragenden Kernelemente unserer Sprache (oder Sprachen) sind Wörter. Einerseits bestehen sie aus einzelnen Buchstaben oder Lauten, aus denen sie zusammengesetzt sind, andererseits sind sie Bedeutungsträger und übermitteln bestimmte Bedeutungsinhalte oder Konzepte. Sie sind gleichsam Symbole für Konzepte.

Wort

Ein Wort ist die (freie, überlieferte) Zuordnung einer Abfolge von Sprachlauten oder einer Buchstabenfolge zu einer Bedeutung oder einem Konzept.

Aber Wörter sind nicht einfach einem Konzept gleichzusetzen, denn dieselbe Wortform kann auch mehreren Bedeutungen zugeordnet sein (z. B. *Schloss*), und umgekehrt kann eine Bedeutung durch mehrere verschiedene Wörter (oder Morpheme) versprachlicht sein: durch Synonyme (z. B. *Apfelsine* und *Orange*, *Krawatte* und *Schlips*) oder gleichbedeutende Wörter verschiedener Sprachen (z. B. *shop* und *Laden*, *key* und *Schlüssel*).

Das Erkennen von Wörtern ist die notwendige Fähigkeit für das Verstehen größerer sprachlicher Einheiten.

Wie erkennen wir nun eigentlich ein Wort? In einem geschriebenen Text, wie diesem, ist das offenbar recht einfach, denn die Wörter sind hier durch Leerzeichen getrennt, was erst seit der Zeit der Römer üblich ist (Chrystal 1987). In der gesprochenen Sprache ist es dagegen keineswegs einfach zu hören oder zu definieren, wo ein Wort aufhört und ein nächstes beginnt, denn das gesprochene Sprachsignal ist mehr oder weniger kontinuierlich. Bei der Erkennung gesprochener Wörter ergeben sich daher für den Zuhörer zwei grundlegende Probleme: das Segmentierungs- und das Variabilitätsproblem.

Das Segmentierungsproblem

Auch wenn es uns so scheint, wie schon erwähnt, als hörten wir beim Zuhören einzelne durch Pausen getrennte Wörter, so ist

Exkurs 9.3

Genauer betrachtet: Kategoriale Phonemwahrnehmung

Der immensen Variabilität des aufgenommenen Sprachsignals begegnet das auditive Sprachverarbeitungssystem mit der Einordnung von Sprachlauten in eine begrenzte Anzahl perzeptueller Kategorien, was als **kategoriale Wahrnehmung** bezeichnet wird. Kategoriale Wahrnehmung lässt sich zeigen, indem für zwei Sprachlaute, wie in den Silben *da* und *ta* eine Anzahl künstlicher Zwischenstufen geschaffen werden. Bei diesen beiden Lauten liegt der Unterschied in der sogenannten Vokaleinsatzzeit (dem Zeitintervall zwischen Lautbeginn und Beginn der Vibration der Stimmbänder), die bei *da* kürzer ist als bei *ta*. Werden Versuchspersonen aufgefordert, dargebotene Silben als *da* oder *ta* zu klassifizieren, deren Vokaleinsatzzeit graduell variiert wird, so ergibt sich nicht eine entsprechend graduell ansteigende Wahrscheinlichkeit der Klassifikation als *ta* bei länger werdender Vokaleinsatzzeit. Vielmehr werden bis zu einer bestimmten Intervalllänge fast ausschließlich *da*-Kategorisierungen und ab dem Überschreiten eines bestimmten (kritischen?) Werts nahezu ausschließlich *ta*-Klassifikationen vorgenommen. Bestimmte Variationen des Sprachsignals (Variationen innerhalb derselben Kategorie) werden also ignoriert, während andere Variationen desselben Ausmaßes (an den Kategoriegrenzen) zu einer abrupt veränderten Wahrnehmung führen (Liberman et al. 1957).

Exkurs 9.4

Experiment: McGurk-Effekt

Dieser Effekt demonstriert den Einfluss visueller Information auf akustische Sprachwahrnehmung. McGurk und MacDonald (1976) zeigten ein Videoband von einer Person, die wiederholt die Silbe *ba* aussprach. Die Tonspur dagegen wurde so manipuliert, dass die zu hörende Stimme zunächst *ba* sagte, der Laut dann jedoch in die Silbe *ga* überging. Diese Tonspur wurde synchron zu den Lippenbewegungen, die weiterhin dem *ba* entsprachen, abgespielt. Die Versuchspersonen erhielten nun die Aufgabe, jeweils die gehörte Silbe nachzusprechen. Das Ergebnis: Die meisten (98 %) der erwachsenen Versuchspersonen berichteten, die Silbe *da* zu hören, ein Verschnitt der visuellen und der akustischen Information. Wurden die Personen gebeten, bei dem Versuch die Augen zu schließen, berichteten sie korrekt die Silbe *ga*, die von der Tonspur zu hören war. Bei Kindern im Grundschulalter war der Effekt geringer. Hier berichteten nur etwa 64 % der Kinder, *da* zu hören.
Dass dieser McGurk-Effekt erstaunlich robust ist, konnte von Green et al. (1991) belegt werden. Sie konnten den Effekt auch mit einem weiblichen Gesicht und einer männlichen Stimme nachweisen. Die Untersuchungen belegen das Zusammenwirken von visueller und auditiver Information bei der Sprachwahrnehmung.

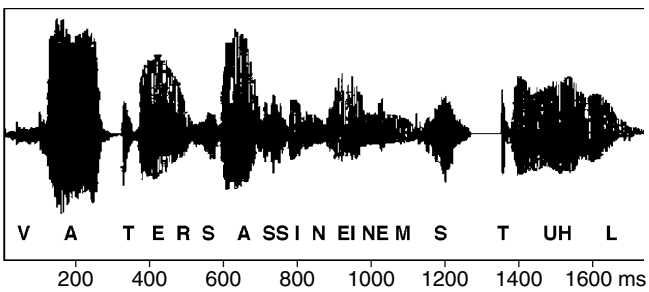


Abb. 9.5 Sonogramm. (Zwitserlood und Bölte 2008)

das, wie sich nachweisen lässt (Abb. 9.5), ein Trugschluss. Der gesprochene Sprachfluss ist kontinuierlich ohne systematische Pausen, die die Wortgrenzen anzeigen. Die Segmentierung in einzelne Wörter muss vom Hörer geleistet werden. Das gelingt zumeist automatisch und mit hoher Geschwindigkeit, denn wir hören durchschnittlich etwa sieben Wörter pro Sekunde. Nehmen Sie z. B. die Lautfolge: *dikurantebissifil* (Lautsprache), so werden Sie als Hörer, wenn Sie den gemeinten Satz nicht schon kennen, zunächst auch Verständnisschwierigkeiten haben, bis es Ihnen gelingt, einzelne Wörter zu differenzieren, und die Frage ist, wie Sie das machen (*Die Kuh rannte, bis sie fiel*). Auch wenn Sie eine Ihnen unbekannte Sprache hören, wird deutlich, dass die Wortgrenzen nicht einfach im Sprachsignal zu erkennen sind.

Das Variabilitätsproblem

Die Aussprache ein und desselben Wortes ist sehr unterschiedlich und variabel. Je nachdem, ob ein Wort von einer weiblichen oder einer männlichen Person gesprochen wird, ob das Wort laut geschrien oder geflüstert wird, ob es von einem Schwaben, einem Norddeutschen oder einem Bayer gesprochen wird, ist die phonetische Realisierung recht unterschiedlich und muss vom Sprachverarbeitungssystem als ein und dasselbe Wort erkannt und richtig kategorisiert werden (dazu Link zur Aussprache in *Zusatztexte online*).

Die Worterkennung wird weiterhin dadurch erschwert, dass in der gesprochenen Sprache Phoneme oft nicht klar voneinander abgegrenzt sind. Vielfach werden (abhängig vom Kontext) Wortteile, meist Phoneme, weglassen, „verschluckt“ (z. B. *habn* statt *haben*, *wolln* statt *wollen*), hinzugefügt (z. B. *du kommpst* statt *du kommst*), verändert (z. B. *Tella* statt *Teller*) oder aneinander angepasst (z. B. *lebm* statt *leben*); in dem sich die Aussprache an den Ort der Artikulation (alveolar-labial; Tab. 9.1) anpasst (Assimilation). Dazu ▶ Exkurs 9.3.

Die Tatsache, dass wir beim Sprechen Phoneme offenbar nicht einzeln nacheinander, sondern im Kontext überlappend produzieren, wird als *Koartikulation* bezeichnet. Wie nun trotzdem unterschiedliche Phoneme erkannt werden, ist Gegenstand verschiedener Theorien der Lautwahrnehmung. Es gibt jedoch bis heute noch keine Antwort darauf, wie so veränderliche Sprachinformation gespeicherten, invarianten Einheiten zugeordnet werden kann.

Für den Hörenden gibt es nun verschiedene Möglichkeiten, mit diesen Problemen umzugehen.

Zunächst stehen dem Hörer (zumindest beim direkten Gespräch oder bei vorhandener Ansicht der sprechenden Person, beim Fernsehen) noch andere Sprachinformationen zur Verfügung. Dazu gehören visuelle oder artikulatorische Gesten. Bekannt ist das Lippenlesen, das Beobachten der Mundbewegungen beim Sprecher, um zusätzliche Information zu erhalten. Die Wirksamkeit dieser Möglichkeit konnte durch Untersuchungen zum sogenannten McGurk-Effekt belegt werden (▶ Exkurs 9.4).

Der McGurk-Effekt besagt, dass visuelle und auditive Information bei der Lautwahrnehmung zusammenwirken und bei Diskrepanz zu einer veränderten Lautwahrnehmung führen können (Lippenlesen).

Generell wird angenommen dass der McGurk-Effekt vor allem auf Bottom-up-Prozessen beruht, ausgelöst durch die diskrepanten auditiven und visuellen Signale. Es konnte jedoch nachgewiesen werden (Windmann 2004), dass der Effekt auch von Top-down-Prozessen beeinflusst wird, die sich aus dem Kontext ergeben, durch den die Erwartungen des Hörers manipuliert werden. Wenn die kritische Silbe (wie in ▶ Exkurs 9.4 dargestellt) in einem semantisch übereinstimmenden Satzkontext dargeboten wird, kommt es bei den Hörern häufiger zu dem Effekt, als wenn die Silbe in einem inkongruenten Satz dargeboten wird.

So lieferten die Untersuchungen zum McGurk-Effekt wesentliche Hinweise für das theoretische Verständnis der Wort- oder Phonemwahrnehmung und zeigten, dass die Lautwahrnehmung nicht allein ein akustischer Prozess ist.

9.3.2 Theorien zur Worterkennung

Es gibt derzeit verschiedene Modelle zur Erklärung der Worterkennung, wobei wir unterscheiden können zwischen der *auditiven* Worterkennung, d. h. der Erkennung gesprochener Wörter, und der *visuellen* Worterkennung, die sich auf das Lesen von Wörtern bezieht, von denen wir die gängigsten in den nächsten beiden Abschnitten gesondert besprechen wollen.

Worterkennungstheorien gehen meist davon aus, dass ein ankommendes Sprachsignal zunächst in kleinere Einheiten, wie Silben und Phoneme, segmentiert wird und diese dann mit gespeicherten Repräsentationen von Wortteilen in einem mentalen Lexikon im Langzeitgedächtnis abgeglichen werden (Rummer und Engelkamp 2006). Dabei wird angenommen, dass nicht jede mögliche Form eines Wortes im Gedächtnis gespeichert ist, sondern nur seine Grundformen und unregelmäßigen Formen, und dass die nicht repräsentierten Wortformen regelbasiert gefunden werden (mentales Lexikon, siehe unten).

Der Worterkennungsprozess wird in der Psycholinguistik häufig in drei Teilprozesse unterteilt:

1. Lexikalischer Zugriff,
2. Lexikale Auswahl,
3. Integration der Wortbedeutung in den Kontext.

Darauf basierend wird unterschieden zwischen **modularen Modellen** und **interaktiven Modellen**. Als modular werden solche Worterkennungsmodelle bezeichnet, bei denen die Analyse des sprachlichen Inputs nicht vom lexikalischen Zugriff bzw. der lexikalischen Auswahl beeinflusst wird. Diese Annahme hat sich jedoch mehrfach als nicht haltbar erwiesen (Ganong 1980; Samuel 1996), sodass zumeist eine interaktive Verarbeitung zugrunde gelegt wird.

Mentales Lexikon und konzeptuelles Gedächtnis

Als mentales Lexikon wird von Psycholinguisten eine Art zentraler Speichereinheit im Langzeitgedächtnis bezeichnet, in der unser gesamtes Wissen und alle verfügbaren Informationen über die Wörter unserer Sprache gespeichert sind.

Dagegen finden sich die Informationen über die Phonologie (Regeln der Lautbildung), die Morphologie (Regeln der Wortbildung), die Syntax (Regeln der Satzbildung) sowie der Orthografie (Schreibweise) zwar ebenfalls im Langzeitgedächtnis, aber dort nicht im mentalen Lexikon (Zwitserlood 2013). Von Psycholinguisten wird weiterhin angenommen, dass auch für jedes Wort eine Art Beschreibung der lautlichen Zusammensetzung existiert. Diese Beschreibungen, die als Wortform bezeichnet werden, spezifizieren die lautlichen Einheiten (phonetischen Eigenschaften, Phoneme) eines jeden Wortes.

Die Gesamtheit des Wortwissens wird auch als **lexikalisches Wissen** bezeichnet. Erwachsene haben, je nach Sprache und Bildungsgrad, einen aktiven Wortschatz von 30.000 bis 50.000 Wörtern (Levelt 1989) und einen passiven Wortschatz (für Studenten geschätzt) von bis zu 200.000 Eintragungen im mentalen Lexikon repräsentiert (Aitchison1994).

Mentales Lexikon

Das mentale Lexikon ist eine Art zentraler Speicher im Langzeitgedächtnis, in dem alle verfügbaren Informationen über ein Wort (Phoneme, Grapheme, Morpheme) abgelegt sind.

Lexikalisches Wissen

Das lexikalische Wissen umfasst die Regeln der Phonologie, Morphologie Syntax sowie der Orthografie.

Unser Wissen über die **Bedeutung** von Wörtern wird dagegen nicht als Teil des sprachlichen mentalen Lexikons angesehen, sondern als **konzeptuelles Gedächtnis** verstanden, in welchem die Wortbedeutungen in Form von Konzepten und ihren Beziehungen untereinander im Langzeitgedächtnis gespeichert sind. Konzepte (Bedeutungen) sind im Prinzip unabhängig von der jeweiligen Sprache und werden als vorsprachliche Einheiten verstanden. Sie können aber in der Regel versprachlicht werden (Zwitserlood und Bölte 2008).

Das konzeptuelle Gedächtnis (im Langzeitgedächtnis) beinhaltet unser semantisches Wissen. Dies umfasst Konzepte und Propositionen.

9.3.3 Auditive Worterkennung

Bei den Theorien zur auditiven Worterkennung handelt es sich zumeist um **interaktive Modelle**. Sie unterscheiden sich nun in ihrer Annahme danach, ob der Abruf aus dem mentalen Gedächtnis **parallel** oder **seriell** erfolgt. Seriell bedeutet, dass immer nur ein Eintrag im mentalen Lexikon mit dem gehörten Signal verglichen würde. Bei der durchschnittlichen Sprachgeschwindigkeit von sieben Wörtern pro Sekunde ist die Annahme eines seriellen Abrufs nicht haltbar. Dagegen ist das Vorkommen eines parallelen Abrufs empirisch belegt (▶ Exkurs 9.5).

Exkurs 9.5

Experiment: Paralleler Abruf aus dem mentalen Lexikon

Empirische Belege zur parallelen Verarbeitung stammen aus Untersuchungen mit lexikalisch mehrdeutigen Wörtern. Wenn Versuchspersonen auditiv das Wort *Bank* vorgegeben wird, werden gleichzeitig die Einträge/Bedeutungen „Geldinstitut" und „Sitzgelegenheit" aktiviert (Swinney 1979). Welche Wortbedeutung dann wirklich ausgewählt wird, erfolgt erst im Nachherein und hängt vom Bedeutungskontext ab, in dem das mehrdeutige Wort im Satz gehört wird. Hier wird jeweils zuerst die zum Kontext passende Bedeutung gewählt. Ferner werden Wörter generell schneller erkannt, wenn sie in einem passenden semantischen Kontext vorkommen (Zwitserlood 1999; Zwitserlood und Bölte 2008, S. 483; ausführlicher in *Zusatztexte online*).

TRACE-Modell

Das interaktive Netzwerkmodell, das von McClelland und Elman (1986) sowie McClelland (1991) entwickelt wurde, ist ein konnektionistisches Aktivationsmodell. Es ähnelt dem von McClelland und Rummelhart (1981) vorgestellten interaktiven Aktivationsmodell zur visuellen Worterkennung (Abb. 9.6). Das Modell unterscheidet drei Ebenen (mit Knoten, Verarbeitungseinheiten) der Worterkennung. Von unten beginnend (A) die phonologische Merkmalsebene (*feature*, Eigenschaft, Aussprache), (B) die Phonem-Ebene, (C) die Wortebene.

Es wird angenommen, dass bei der Worterkennung des gesprochenen/gehörten Wortes Bottom-up- und Top-down-Prozesse gleichzeitig und flexibel interagieren, d. h., dass alle zugängigen Informationen gleichzeitig genutzt werden:

- Auf jeder Ebene bestehen lokale Repräsentationen als Aktivierung der jeweiligen Eigenschaft.
- Die einzelnen Ebenen (Knoten) sind untereinander verbunden. Die Merkmalsebene ist mit der Phonemebene und diese wiederum mit der Wortebene verbunden.
- Diese Verbindungen zwischen den Ebenen arbeiten in beiden Richtungen und sind immer aktivierend (*facilitatory*).
- Innerhalb der Ebenen existieren zwischen den Repräsentationen gegenseitig hemmende Verbindungen.
- Auf dieser Basis beeinflussen sich die einzelnen Elemente proportional zu ihrer eigenen Aktivierung und der Stärke ihrer Verbindung.

Ein ankommendes Sprachsignal wird also zunächst auf die erste Ebene abgebildet, die die phonologischen Merkmale (nasal, plosiv … s. ▶ Abschn. 9.6 Wortproduktion) enthält. Je besser eines dieser Merkmale zum Sprachsignal passt, desto stärker wird es aktiviert, andere dagegen werden gehemmt. Die erreichte Aktivierung wird weiter an die Phonemebene übertragen. Hier wird entsprechend die Phonemrepräsentation am stärksten aktiviert, für die die meisten Merkmale passen. Die am stärksten aktivierten Phonemeinheiten aktivieren dann weiter alle Worteinheiten, in denen sie enthalten sind. Auf diese Weise verteilen sich Aktivierung und Hemmung über das Elementenetz und bilden ein Aktivationsmuster oder *Trace* (Spur), und das, was der Hörer schließlich „erkennt" (hört), wird determiniert durch das höchste Aktivierungsniveau der möglichen Wortkandidaten (Eysenck und Keane 2010) Dazu ▶ Exkurs 9.6.

Das TRACE Modell ermöglicht es auch, dass Wörter oder Phoneme aktiviert werden, die nur teilweise zum Inhalt passen. Wird z. B. das Wort *lecken* in das Modell eingegeben, wird auch *decken* und *wecken* mit aktiviert. Diese Mitaktivierung ist jedoch relativ gering, was darauf zurückgeführt wird, dass der am besten

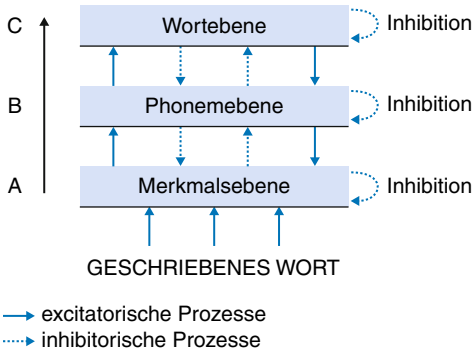


Abb. 9.6 Interaktives Aktivationsmodell der visuellen Worterkennung. (Nach McClelland und Rumelhart 1981, publisher: APA, reprinted with permission; APA is not responsible for the accuracy of this translation)

passende Eintrag alle weniger gut passenden (seitwärts) stärker hemmt, als er selbst durch diese gehemmt wird. – Sobald eine Wortrepräsentation aktiviert ist, aktiviert sie rückwirkend (top-down) alle in ihr enthaltenen Phoneme.

Aufgrund dieser wechselseitigen Hemmung innerhalb der jeweiligen Ebene und der rückwirkenden Aktivierung zwischen den Ebenen wird die Unterscheidungsgrenze nach dem Prinzip „Der Gewinner bekommt alles" geschärft, und das eine Phonem wird maximal aktiviert. Für die Effektivität des Modells spricht, dass McClelland and Rumelhart (1981). mit einer nach diesem Modell entwickelten Computersimulation erfolgreich eine kategoriale Spracherkennung erzielen konnten (nach Eysenck und Keane 2010).

Im Gegensatz zu den meisten Kohortenmodellen, die wir nachfolgend besprechen, wird beim TRACE-Modell angenommen, dass Bottom-up- und Top-down-Prozesse während des ganzen Erkennungsprozesses gleichzeitig und flexibel interagieren, d. h., dass alle zugängigen Informationen gleichzeitig genutzt werden, während bei den Kohortenmodellen das Mitwirken von Top-down-Prozessen erst in einer relativ späten Phase der Verarbeitung angenommen wird.

Kohortenmodell

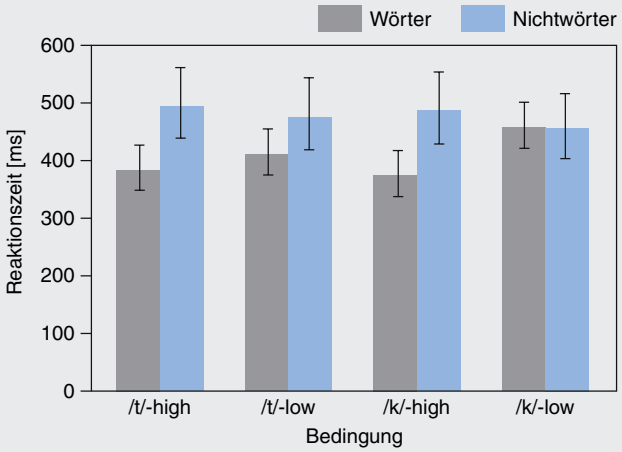
Das Kohortenmodell, in seiner ursprünglichen Form von Marslen-Wilson und Tyler (1980) vorgeschlagen, wurde inzwischen mehrfach revidiert. Im Gegensatz zum TRACE-Modell erfordert es eine genauere Übereinstimmung von Sprachsignal und lexikalischer Repräsentation (Marslen-Wilson 1993). Es baut auf folgenden Grundannahmen auf, durch die es auch charakterisiert ist:

- Zu Beginn, wenn wir die ersten Laute eines Wortes hören, werden alle Wortformen aktiviert, die mit der bis dahin gehörten Lautsequenz übereinstimmen. Diese Gruppe von

Exkurs 9.6

Experiment: zum TRACE-Modell

Um zu untersuchen, inwieweit Top-down-Prozesse bei der Spracherkennung von Bedeutung sind, wurden Zuhörer gebeten, die Zielphoneme [t] und [k] in gesprochenen Wörtern und Nichtwörtern zu entdecken. Gemessen wurden die Reaktionszeiten (in Millisekunden) für das Erkennen der beiden Phoneme in Versuchsdurchgängen, in denen (richtige) Wörter entweder zu 80 % (hoher Prozentsatz) oder nur zu 20 % (niedriger Prozentsatz) enthalten waren. Diesem Versuchsaufbau lag die Annahme zugrunde, dass in der Wortbedingung die Leistung besser sein würde, da es hier eine Aktivierung von der Wortebene top-down zur Phonemebene geben sollte, was die Phonemerkennung erleichtert. Wie ◘ Abb. 9.7 erkennen lässt, wurden die Phoneme, wie erwartet, in den Wörtern (fast immer) schneller erkannt als in den Nichtwörtern. Außerdem war der Effekt (zum Teil) auch größer, wenn der Prozentsatz der Wörter hoch (80 %) war. – Die Ergebnisse gelten als starke Evidenz dafür, dass Top-down-Prozesse bei der Spracherkennung wirksam sind (Mirman et al. 2008).



◘ **Abb. 9.7** Mittlere Reaktionszeiten zur Erkennung von /t/ und /k/ Phonemen in Wörtern und Nichtwörtern, wenn die Wörter in hohem (80 %) oder niedrigem (20 %) Anteil der Durchgänge präsentiert werden

Exkurs 9.7

Experiment: Worterkennung

Belege für das Vorhandensein und die Bedeutsamkeit eines *uniqueness point* bei der Sprach- und Worterkennung stammen unter anderem von O'Rourke und Holcomb (2002, nach Eysenck und Keane 2010). In ihrer Untersuchung wurden Versuchspersonen gesprochene Wörter und Pseudowörter vorgegeben, und die Hörer hatten so schnell wie möglich nach dem Wortbeginn zu entscheiden, ob der jeweilige Stimulus ein Wort ist. Die vorgegebenen Wörter waren so gewählt, dass manche einen frühen (im Mittel 427 ms) oder manche einen späten (im Mittel 533 ms) Eindeutigkeitspunkt hatten. Gemessen wurde der Zeitpunkt der Worterkennung mithilfe der sogenannten N400-Welle des von der Kopfhaut abgeleiteten elektrischen EKP (Ereigniskorreliertes Potenzial, ▶ Exkurs 9.11 und ▶ Abschn. 9.4.6). Die Ergebnisse zeigten zum einen, dass die N400 (wie erwartet) bei solchen Wörtern tatsächlich früher (etwa 100 ms) auftrat, die einen frühen Eindeutigkeitspunkt hatten, als bei solchen mit spätem *uniqueness point*. Zum anderen zeigte sich, dass die N400 jeweils kurz nach dem Erreichen des Eindeutigkeitspunktes auftrat, also dann, wenn das Wort erkannt war. Diese Ergebnisse werden als Bestätigung der Effektivität eines fortschreitenden Worterkennungsprozesses gewertet, wie er von dem Kohortenmodell angenommen wird.

Wörtern (die alle unterschiedliche Lautfortsetzungen haben können) wird als initiale *Wort-Kohorte* bezeichnet.

- Aus dieser Kohorte werden dann jeweils alle die Wörter ausgeschieden (eliminiert), die aufhören mit der weiteren Information des vorgegebenen Wortes überein zu stimmen, oder die nicht mehr zu dem semantischen Kontext passen. So könnten *Elefant*, *Element* und *elegant* zu der Initialkohorte gehören, doch sobald der Laut /f/ gehört wird, würden das zweite und dritte Wort aus der Kohorte ausscheiden.
- Dieser Prozess wird fortgesetzt, bis aufgrund weiter hinzukommender Information des weiter ausgesprochenen Wortes oder des Kontextes alle bis auf eines der Wörter der Initialkohorte ausgeschieden sind. Der Punkt, bei dem der gehörte Wortteil nur noch mit einem einzigen möglichen Wort übereinstimmt, wird als *Eindeutigkeitspunkt* (*uniqueness point*) bezeichnet. Dieser kann jedoch bisweilen aufgrund kontextueller Information auch früher erreicht werden.

Auch bei diesen Modellen wird angenommen, dass alle eingehenden Informationen (lexikalische, syntaktische, semantische) parallel verarbeitet werden und miteinander interagieren, aber dass top-down Prozesse erst auf einem späteren Stadium der Worterkennung erfolgen.

Diese Annahmen wurden in zahlreichen Experimenten untersucht (▶ Exkurs 9.7) und unterschiedlich weit bestätigt.

Die ursprüngliche Annahme, dass die Zugehörigkeit zu einer Wort-Kohorte ein Entweder-oder (*all or none*) ist, wurde inzwischen revidiert zu der Annahme, dass die Zugehörigkeit eher fließend ist gemäß dem jeweiligen Aktivationsgrad. Zutreffend scheint zu sein (siehe ▶ Exkurs 9.8), dass die genaue Worterkennung beim Hören einen fortschreitenden Prozess des Zurück-

Exkurs 9.8

Experiment: Erkennen von Wortteilen

Versuchspersonen hatten zu entscheiden, ob visuell dargebotene Reize existierende Wörter waren (*Schiff* vs. *Blunk*). Sie sahen diese Reize am Ende eines gesprochenen Satzes, der in einem inkompletten Wort endete (*Kap* …). Dies konnte der Anfangsteil verschiedener möglicher Wörter sein (*Kapitän*, *Kapital*, u. A.). Zunächst zeigte sich, dass die Entscheidung bei dieser lexikalischen Entscheidungsaufgabe dann schneller erfolgte, wenn das Wortfragment in seiner Wortbedeutung Bezug hatte zu einem von zwei möglichen Wörtern (z. B. *Schiff* für „Kapitän" und *Geld* für „Kapital"), was auf eine Aktivierung mehrerer Wortkandidaten hinweist.
Wurde aber dem Wortfragment ein Satzkontext (Prime-Kontext) vorausgeschickt, um zu sehen, ob schon hier oder wann Top-down-Information die Worterkennung beeinflusst, so zeigte sich, dass ein solcher Kontext (z. B. … sie *trauerten um den Tod ihres Kapitäns*) nur dann wirkt, wenn das Wortfragment mehr als nur die anfänglichen Phoneme (*Kap* …) enthält (etwa *Kapit* …), also wenn von dem Wort so viel vorgegeben war, dass der Hörer die richtige Identität schon vermuten konnte (crossmodales semantisches Priming). Diese Befunde belegen, dass die Beeinflussung durch einen Kontext erst auf einem späten Stadium der Worterkennung stattfindet (Zwitserlood 1989; Harley 2008).

weisens verschiedener Konkurrenzwörter beinhaltet und dass eine top-down Beeinflussung der Kohorte durch Information höherer Ebene (semantischer Kontext) erst auf einem späteren Stadium der Worterkennung erfolgt.

- **Bei mehrdeutigen Wörtern (z. B. *Wanzen*) werden zunächst beide Wortbedeutungen („Insekt", „Abhöranlage") aktiviert, der semantische Kontext führt erst mit Zeitverzögerung zur alleinigen Aktivation des aktuell passenden Konzepts.**

- **Experimente mit mehrdeutigen Wortfragmenten zeigen ebenfalls, dass zunächst mehrere Wortkandidaten aktiviert werden. Information einer höheren Ebene (semantische Passung mit dem Kontext) hilft nicht bei der anfänglichen Aktivierung der Wortkohorte.**

Mittlerweile gibt es viel Evidenz dafür, dass Wörter aktiviert werden, *bevor* eine Kohorte gebildet wird. Das geschieht aber nur dann, wenn der Kontext das Wort sehr vorhersagbar macht (van Berkum et al. 2005).

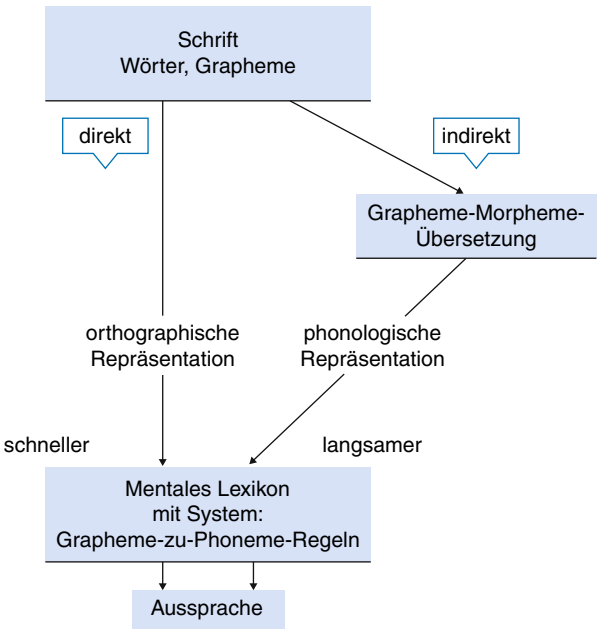


Abb. 9.8 Grundcharakteristik zum Dual-Route-Modell der visuellen Worterkennung. (Adaptiert nach Eysenck und Keane 2010)

9.3.4 Visuelle Worterkennung

Auch bei den Modellen zur visuellen Worterkennung findet sich die anfangs dargestellte Unterteilung in lexikalischen Zugriff, Selektion und Integration in den Kontext (vgl. ▶ Abschn. 9.3.2), ebenso die Frage der wechselseitigen Beeinflussung (vgl. Abb. 9.6) wie im Modell von McClelland und Rumelhart (1981) dargestellt.

Die auffälligsten Unterschiede zur auditiven Worterkennung liegen aber in der Informationseingabe. Beim Lesen eines geschriebenen Textes sind (zumindest in unserer Buchschrift) die Wort-, aber auch Buchstabengrenzen deutlich kenntlich, sodass die Segmentierungsarbeit entfällt. Zweitens ist die ganze Wortinformation gleichzeitig „auf einen Blick" ersichtlich und erstreckt sich nicht in der Zeit (außer bei sehr langen Wörtern, die mit mehreren Fixationen gelesen werden müssen). Aber auch hier gibt es unterschiedliche Überlegungen und Modellansätze, wie man vom gesehenen Buchstaben oder Wort zum Bedeutungsinhalt (Semantik) gelangt und inwieweit auch beim Lesen phonologische Repräsentationen beteiligt sind. Etliche Modelle gehen davon aus, dass es zwei Wege geben muss, wie man zur Wortbedeutung kommt.

Das Dual-route-Modell

Das Dual-route-Modell wurde über mehrere Vorstufen entwickelt (Coltheart 1978; Coltheart et al. 2001). Grundsätzlich werden nun zwei Wege, Pfade, angenommen, die vom gedruckten Wort zum mentalen Lexikon und auch weiter bis zum Aussprechen (Lautlesen) führen (Abb. 9.8).

1*Direkter Pfad. – Er führt über die orthographische Repräsentation des Gesamtwortes (so, wie es geschrieben ist) direkt zum semantischen Lexikon.

2*Indirekter Pfad. – Hier werden Grapheme zunächst in Phoneme übersetzt. Erst danach erfolgt der Zugriff auf das mentale Lexikon.

Anstoß und spätere Belege für die Annahme zweier Pfade stammen aus Untersuchungen mit Pseudowörtern bei dyslektischen (sprachgestörten) Patienten. Während gesunden Sprechern das Aussprechen eines Pseudowortes wie z. B. *Tümerdein*, problemlos gelingt (die indirekte Route übersetzt das Graphem in das zugehörige Phonem, das wir aussprechen können), können Patienten mit einer phonologischen Dyslexie zwar irreguläre Wör-

ter (wie *jeep*) und häufig vorkommende Wörter aussprechen, sie scheitern aber daran, solche Pseudowörter (die im mentalen Lexikon nicht vorkommen) auszusprechen. Ihre Graphem-zu-Phonem-Route (wo die automatischen Graphem-zu-Phonem-Regeln die Aussprache ermöglichen) scheint also unterbrochen zu sein (Zwitserlood und Bölte 2008). Diese Beobachtung spricht dafür, dass es neben dem direkten Pfad (über den sonst die Wortrepräsentation oder Wortform jedes gängigen Wortes im mentalen Lexikon gefunden werden kann) einen indirekten Pfad geben muss, auf dem Grapheme zuerst in Phoneme übersetzt werden, und erst dann der Zugriff auf das mentale Lexikon erfolgt (mehr dazu in *Zusatztexte online*).

Zusammengefasst: Die eigentliche Worterkennung scheint beim Hören und Lesen weitgehend gleichartig zu verlaufen. Unterschiedliche Auffassungen gibt es bei der visuellen Eingabe (Lesen), wo weiterhin unklar ist, inwieweit Grapheme zunächst in eine phonologische Repräsentation überführt werden. Angenommen wird derzeit, dass gesunde Personen beim lautlesen beide Pfade verwenden. Das Aussprechen visuell dargebotener Wörter erfolgt jedoch zumeist über den lexikalen (direkten) Pfad, dessen Verarbeitung zumeist auch schneller verläuft (Eysenck und Keane 2010).

9.4 Satzverarbeitung/Satzverstehen

Wenn wir Sätze verstehen oder produzieren wollen, ist es nötig, dass wir Wörter im Kontext mit anderen Wörtern erfassen und die Bedeutung von Satzstrukturen, also die Bedeutung der Anordnung von Wörtern in einem Satz verstehen, die in den Regeln einer Sprache festgelegt sind.

9.4.1 Strukturelles/syntaktisches Wissen

In Sätzen werden Wörter zu zusammenhängenden Einheiten gruppiert, die jeweils speziellen Abfolgeregeln genügen. Diese sind in der Syntax einer Sprache festgelegt, über die wir implizit zumindest mit unserer Muttersprache verfügen.

Ein Satz wie der folgende:

(3) *Der Vater schenkte seinem Sohn ein neues Buch.*

kann durchaus umgestellt werden und bleibt verständlich, solange bestimmte (implizite) Regeln eingehalten werden, wie z. B. in den Sätzen (4) und (5).

(4) *Seinem Sohn schenkte der Vater ein neues Buch.*

(5) *Ein neues Buch schenkte der Vater seinem Sohn.*

(6) *Buch seinem der schenkte Vater neues ein Sohn.*

Die Wortsequenz (6) mit den gleichen Wörtern lässt sich dagegen nur schwer enträtseln und bildet so keinen eigentlichen Satz.

Wie man sehen kann, bilden die Wörter *ein neues Buch* eine Einheit, deren innere Struktur feststeht. Ebenso bilden *der Vater* oder *seinem Sohn* strukturierte Einheiten. Diese syntaktisch relevanten Grundelemente eines Satzes werden, wie bereits dargelegt, als **Phrasen** bezeichnet.

Weiterhin gibt es Regeln, die die grammatikalisch richtige Abfolge von Phrasen und Wörtern im Satz festlegen. Sie werden (häufig) als *Phrasenstrukturregeln* bezeichnet. Sie müssen bei Sprecher und Hörer gleichermaßen verfügbar sein, wie z. B. im Deutschen die vorherrschende Wortstellung: *Subjekt – Verb – Objekt*.

Phrasenstrukturregeln

Sie bestimmen, aus welchen Elementen eine Phrase zusammengesetzt ist, und deren Abfolge im Satz. Unterschieden werden insbesondere: *Nominalphrase* (NP) und *Verbalphrase* (VP) sowie weitere Konstituenten. In unserem Beispiel ist *ein neues Buch* eine solche NP, aber auch *der Vater*. Das zentrale Element (*Vater*) wird als Kopf der Phrase bezeichnet, der die Kategorie der Phrase bestimmt. In beiden Beispielen ist der Kopf ein *Nomen,* daher handelt es sich hier um *Nominal*-Phrasen.

Sätze sind in der Regel hierarchisch organisiert. Daher wird die Phrasenstruktur eines Satzes in der Linguistik vielfach als hierarchischer **Phrasenstrukturbaum** dargestellt, was ◘ Abb. 9.9 für unser Beispiel zeigt. Diese lässt sich wie folgt lesen:

- Ein Satz (S) kann aus einer Nominalphrase (NP) und einer nachfolgenden Verbalphrase (VP) bestehen, gemäß der Regel: S → NP VP.
- Eine Nominalphrase (NP) kann aus einem Artikel (det = Determinierer) und einem nachfolgenden Nomen (N) bestehen, gemäß: NP → det N.
- Eine Verbalphrase (VP) kann aus einem Verb (V) allein oder hier aus Verb und einer oder mehrerer Nominalphrasen (NP) bestehen.

Gemäß diesem einfachen Beispiel lassen sich unter Hinzunahme weiterer Phrasenstrukturregeln die meisten Sätze einer Sprache strukturieren, wobei sich auch auftretende Mehrdeutigkeiten der Zuordnung im Phrasenstrukturbaum darstellen lassen. Nach welchen Prinzipien solche Mehrdeutigkeiten aufzulösen sind, ist weiterhin zentraler Forschungsgegenstand der Psycholinguistik (▶ Exkurs 9.9).

Exkurs 9.9

Genauer betrachtet: Weitere Forschungsfrage: Grad der Lexikalisierung

Bei der Formulierung moderner Grammatiktheorien wird weiter auch diskutiert, wie hoch der Grad der Lexikalisierung anzunehmen ist, d. h. der Verlagerung syntaktischer Information in das mentale Lexikon. Obwohl es schon zahlreiche Studien und theoretische Ansätze gibt (Hemforth und Konieczny 2008), ist bisher noch keinesfalls geklärt, wie syntaktische Information mental repräsentiert wird. Selbst bei Sätzen, die wir auch ohne syntaktische Analyse verstehen könnten, wie zum Beispiel:

(7) *Der Kater jagen die Maus*,

bei denen sich die Bedeutung unmittelbar aus den einzelnen Inhaltswörtern ergibt, zeigt sich, dass Versuchspersonen bei solchen syntaktischen Fehlern mehr Verarbeitungszeit benötigen, selbst wenn sie den Fehler nicht bewusst merken (Flores d'Arcais 1987). Weitere Belege erbrachten EKP-Studien, über die wir in ▶ Abschn. 9.4.6 berichten.

Exkurs 9.10

Genauer betrachtet: Wann erfolgt die semantische Interpretation von Sätzen?

Zentrale Fragen bei der semantischen Interpretation von Sätzen sind: Wann wird ein gegebener Input interpretiert, und wie detailliert erfolgt die Interpretation. Gibt es „voreilige" Entscheidungen, die eventuell zu einem späteren Zeitpunkt revidiert werden (ein semantischer Holzwegeffekt [vgl. Absatz 9.4.4])? Untersuchen lässt sich das an semantisch mehrdeutigen Sätzen. Bei einem Satz wie diesem:

(8) *Rita kauft immer beim Kaufmann ein.*

kann man fragen: Wann treffen wir die Entscheidung, was mit „*immer*" gemeint ist? Macht Rita das auch, wenn sie im Urlaub ist, oder wenn sie zu Bett gegangen ist? Frazier (1999) konnte hierzu in einer Untersuchung zeigen, dass in dem Satz (9):

(9) *Ich hasse dieses Buch. Es ist zu schwer.*
(9a) *Es deprimiert mich, es zu lesen.*
(9b) *Es bereitet mir Rückenschmerzen, es herum zu tragen.*

die Bedeutung von „*schwer*" beim Lesen zunächst nicht ausspezifiziert wird, nämlich, ob sich „*schwer*" auf die Verständlichkeit oder das Gewicht des Buches bezieht. Beide Folgesätze sind gleich leicht zu verstehen. Eine Festlegung erfolgt offenbar erst zu einem späteren Zeitpunkt nach Bedarf (des Folgesatzes).

Bei der semantischen Interpretation von Phrasen scheint es häufig sinnvoll, die Entscheidung partiell zu verzögern, bis der Kopf der Phrase rezipiert ist. So sind „starke xxx" oft nicht stark, wenn wir die Phrase zu Ende lesen: „starke Raucher". Ebenso sind „alte Freunde" oft nicht alt. Dies wird als: *Head-primacy-Prinzip* bezeichnet (Kamp und Partee 1995). Bei mehrdeutigen, aber geläufigen Phrasen macht die richtige Entscheidung jedoch keine Probleme, was dafür spricht, dass hier ihre Gesamtbedeutung mental abgespeichert ist und direkt abgerufen werden kann. Für die Interpretationsentscheidung spielt nicht zuletzt der Kontext eine wichtige Rolle.

Auch bei quantitativen Ausdrücken wie *alle*, *wenige*, *viel* ist die Interpretation von dem betreffenden Nomen (Kopf) abhängig. So konnte Hörman (1983) zeigen, dass für uns *ein paar Ameisen* deutlich mehr sind als *ein paar Elefanten*.

Weitgehend unumstritten ist heute, dass syntaktisches Wissen bei der Interpretation von Sätzen eine wichtige Rolle spielt.

9.4.2 Semantisches Wissen

Zusätzlich zum strukturellen Wissen müssen die semantischen Wortbedeutungen und Zusammenhänge mental im Gedächtnis repräsentiert sein Die hierfür angenommenen *propositionalen Netzwerke* haben wir ausführlich in ▶ Kap. 8 besprochen. Bei der semantischen Interpretation von Sätzen hat sich die Forschung mit der Frage befasst, zu welchem Zeitpunkt erfolgt diese Interpretation (▶ Exkurs 9.10).

Insgesamt spricht, wie im ▶ Exkurs dargestellt, also viel dafür, dass semantische Interpretationen zunächst unterspezifiziert bleiben und erst später bei Bedarf spezifiziert werden. Ferner scheinen bei der Verarbeitung und Zuordnung der Bedeutung Vorwissen und die Gebräuchlichkeit von Ausdrücken eine große Rolle zu spielen.

9.4.3 Pragmatisches Wissen

Als pragmatisches Wissen (*pragmatics*) wird der praktische Umgang mit Sprache und ihrem Verständnis bezeichnet. Es befasst sich mit den intendierten Bedeutungen im Sprachgebrauch und bezieht sich auf den umgangssprachlichen Gebrauch von Sprache, soweit dabei die verwendeten Bedeutungen über die sonst gemeinsam verwendete wörtliche Bedeutung hinausgeht und aktuelle soziale Kontexte aufgreift. Wie und auf welche Weise die Bedeutungsanalyse auch auf diese Inhalte zurückgreift, ist Gegenstand verschiedener theoretischer Erklärungsversuche, deren Evidenz jedoch offenbar noch sehr umstritten ist (Eysenck und Keane 2010). Derzeitige Ergebnisse finden Sie in ▶ Abschn. 9.6.4 (Hörerbezug).

Pragmatisches Wissen (*pragmatics*) bezeichnet Wissen über die Art, wie Sprache in der realen Welt gebraucht

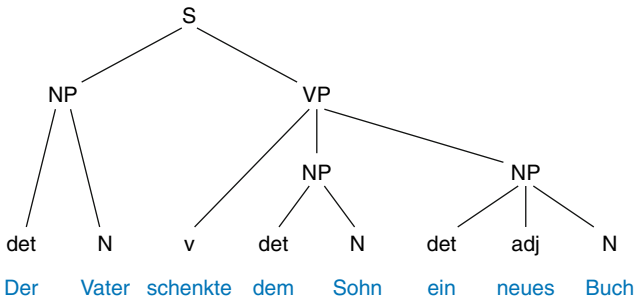


Abb. 9.9 Phasenstrukturbaum eines Satzes (*S*) mit Nominalphrase (*NP*) und Verbalphrase (*VP*). *det* = Determinierer, *adj* = Adjektiv, *N* = Nomen, *V* = Verb

und verstanden wird, auch unter Berücksichtigung der intendierten (nicht wörtlichen) Bedeutung (*meaning*), z. B. Metaphern.

9.4.4 Modelle der Satzverarbeitung

Das Verstehen von sprachlichen Äußerungen scheint auf den ersten Blick recht trivial. Erst bei genauerer Betrachtung zeigt sich, dass dem Verstehen bzw. dem Interpretieren eines gehörten oder gelesenen Satzes ein komplexer Prozess zugrunde liegt, bei dem sich verschiedene Ebenen unterscheiden lassen. Diesen Verarbeitungsprozess zu analysieren und zu verstehen, ist ein zentrales Anliegen der psycholinguistischen Erforschung des Satzverstehens (Hemforth und Konieczny 2008, S. 510).

Als wichtigste Ebenen der Satzverarbeitung werden unterschieden (Eysenck und Keane 2010):

- die Analyse der syntaktischen (grammatikalischen) Struktur eines Satzes (das **Parsing**) und
  die Analyse der Satzbedeutung (die **Semantik**).

Wie diese beiden Ebenen bei der Satzverarbeitung zusammenarbeiten ist noch immer Gegenstand der Forschung, und beide Aspekte werden bei den einzelnen Erklärungsansätzen in unterschiedlichem Maße berücksichtigt. Nachfolgend werden wir

hierzu die zwei geläufigsten Modellansätze vorstellen und besprechen. Befassen wir uns zunächst mit dem Parsing.

Parsing

Parsing bezeichnet die Analyse der syntaktischen (grammatikalischen) Struktur eines Satzes, das heißt den Prozess der Zergliederung eines Satzes oder einer Phrase in grammatische Konstituenten.

Betrachten wir zum Verständnis des Satzverarbeitungsvorgehens zunächst folgenden Satz:
(10) *Klaus traf den Kollegen mit dem Regenschirm.*

Normalerweise funktioniert die Entschlüsselung von Sätzen problemlos, und unsere (verinnerlichten) grammatikalischen Regeln erlauben eine eindeutige Zuordnung der verschiedenen Satzteile (Phrasen). In vielen Fällen allerdings, wie in unserem Beispielsatz (10), erlauben diese Regeln die Konstruktion alternativer Verstehensstrukturen des wahrgenommenen Satzes: Also, wer hatte den Schirm bei sich, Klaus oder der Kollege?

Diese Mehrdeutigkeit (Ambiguität) beruht darauf, dass die Präpositionalphrase (PP) *mit dem Regenschirm* sowohl als Konstituente der Verbalphrase (VP) *traf … mit …* oder als Konstituente der Nominalphrase (NP) *den Kollegen mit …* interpretiert werden kann. Ohne textliche Zusatzinformation bleibt der Satz ambig.

Meist treten derartige Ambiguitäten nicht isoliert auf, sondern stehen im Kontext mit anderen Sätzen. Aber auch hier können Mehrdeutigkeiten auftreten in Bezug der Sätze zueinander. Solche Ambiguitäten und die Frage, wie unser Satzverarbeitungssystem damit umgeht, stehen im Zentrum der modernen Psycholinguistik. Hier wurden in den letzten Jahren etliche recht unterschiedliche Modelle (Theorien) entwickelt, von denen wir nachfolgend zwei der bekanntesten besprechen werden. Dazu zunächst das gängige zu erklärende Phänomen:

Das Holzwegphänomen

Wie mehrdeutige Sätze auf den Holzweg (*garden-path*) führen können, wird in Lehrbüchern gern an folgendem, aus der englischsprachigen Psycholinguistik stammendem Satz erläutert:
(11) *The horse raced past the barn fell.*

Dieser Satz führt zumeist zu Verständnisschwierigkeiten, denn zunächst verstehen wir etwa: das Pferd rannte an der Scheune vorbei …, denn beim ersten Lesen nimmt man an, dass „*the horse*“ (das Pferd) die Nominalphase (NP) und „*raced past the barn*“ (rannte) die Verbalphrase (VP) darstellt. Doch damit sind wir „auf dem Holzweg“, denn dann bleibt in der Analyse kein Platz mehr für das letzte Wort des Satzes: „fell“ (stürzte). Um den Satz richtig zu verstehen, muss man nun in einer zweiten Phase den Satz so zerlegen, dass „raced“ nicht als „rannte“ sondern als „geritten wurde“ aufgefasst wird, dass also: „*the horse raced past the barn*“ (das Pferd, das an der Scheune vorbeigeritten wurde) die NP bildet und „fell“ (stürzte) die VP darstellt (Garrett 1990). Somit handelt es sich um die Aussage, die sich im Deutschen ohne Mehrdeutigkeit so formulieren lässt: „Das Pferd, das an der Scheune vorbeigeritten wurde, stürzte“.

Die Mehrdeutigkeit und anfängliche Fehlinterpretation kommen dadurch zustande, dass im Englischen (a) das Relativpronomen weggelassen werden kann, und (b) *raced* zugleich die Vergangenheitsform von *to race* („rennen“) und die Kurzform von *(that) was raced* („wurde geritten“) darstellt. Der vollständige Satz *The horse that was raced past the barn fell* hätte von Anfang an zur korrekten syntaktischen Analyse geführt.

Wenden wir uns nun den Erklärungsansätzen zu.

Garden-Path-Modell

Das von Frazier und Rayner (1982) vorgeschlagene und nach dem Phänomen benannte Holzweg-Modell (*garden-path model*) ist sowohl eines der einflussreichsten Erklärungsmodelle als auch die radikalste Formulierung einer seriellen und modularen Verarbeitungsstrategie. Beginnend mit dem Strukturaufbau wird jedes weitere Wort sofort in die schon bestehende Struktur integriert. Im Falle einer strukturellen Ambiguität wird zunächst die Alternative gewählt, die die Integration am schnellsten zulässt. Diese Entscheidung fällt innerhalb des Syntax-Moduls, das heißt ohne eine erst später erfolgende Bedeutungsanalyse. Hierfür gelten das Minimal-attachment-Prinzip sowie das Late-closure-Prinzip (Evidenzen bei Harley 2008).

Minimal attachment Prinzip

Das Vermeiden aller möglicherweise unnötigen Knoten.

Late closure-Prinzip

Das Anbinden an die zuletzt verarbeitete Phrase.

Im Falle mehrerer grammatikalischer Möglichkeiten wird also in einem ersten Schritt immer nur die einfachste Deutungsvariante gewählt, d. h. diejenige, die nach der syntaktischen Struktur die wenigsten Knoten benötigt (siehe Phrasenstrukturbaum) und somit die schnellste Integration ermöglicht (Minimal Attachment Prinzip). In unserem Beispielsatz (10) würde danach dem Akteur Klaus der Regenschirm zugeordnet werden.

Nach dieser ersten syntaktischen Analyse erfolgt ein zweiter Analyseschritt. Angestoßen durch weitere hinzukommende Wörter (im Beispielsatz (11) *fell*) oder durch Bewertung der Plausibilität, die sich aus dem Satzkontext ergibt, kann die syntaktische Struktur entsprechend zu einer passenden Bedeutungsalternative revidiert werden (Late-closure-Prinzip). In unserem Beispielsatz (10) sind, ohne Kontext betrachtet, beide Lesarten plausibel; im Beispielsatz (11) ist das nur die zweite Variante.

(1) Anfangs wird immer nur eine syntaktische Struktur als Bedeutungsalternative erwogen (d. h. serielle Verarbeitung), als gäbe es keine Alternative.
(2) In diese initiale Auswahl ist keine Bedeutungsanalyse involviert.
(3) Konstruiert wird zunächst immer die nach der syntaktischen Struktur einfachste Variante, wobei zwei Prinzipien verwendet werden:
   (a) Zunächst wird die Deutungsvariante gewählt, die nach der grammatikalischen Struktur die wenigsten Knoten benötigt (Minimal-attachment).

(b) Weiter hinzukommende Wörter werden an die gerade aktuelle Phrase angefügt (Late closure).

Der Analyseprozess wird aber ständig vom *thematischen Prozessor* nach seiner Plausibilität begutachtet. Er kann ggf. eine Reanalyse einleiten wie auch lenken.

Sowohl Late Closure (Cuetos und Mitchell 1988) als auch Minimal Attachment konnten in mehreren Experimenten nicht bestätigt werden (Konieczny et al. 1997). Außerdem häufen sich die Evidenzen, wie wir noch sehen werden, da vielfältige Informationsquellen schon sehr früh (Hagoort 2003) und zu jedem Zeitpunkt mit genutzt werden.

Constraint-based-Modelle

Im Gegensatz zu dem Garden-Path-Modell gehen Constraint-based-Modelle davon aus, dass Mehrdeutigkeiten von unserem Sprachsystem nicht allein aufgrund der syntaktischen Analyse aufgelöst werden können, sondern parallel auch andere (**semantische**) Informationen genutzt werden.

Das wohl einflussreichste Constraint-based Modell von McDonald et al. (1994) geht so von der Prämisse aus, dass beim Parsing, also der Entschlüsselung der syntaktischen Struktur eines Satzes, alle zugängigen Informationsquellen (syntaktische, semantische, allgemeines Weltwissen), als *constraints* bezeichnet, von Anfang an genutzt werden, um die syntaktische Struktur des Satzes zu bestimmen, d. h., den Satz zu verstehen.

Widerstreitende mögliche Strukturen werden bei der Satzanalyse gleichzeitig aktiviert und gemäß ihrer Aktivationsstärke in eine Rangreihe gebracht. Die syntaktische Struktur, die dabei die meiste Unterstützung von den verschiedenen Constraints erhält, wird dadurch am stärksten aktiviert und dominiert andere Strukturierungsmöglichkeiten. Wird nun bei der Analyse eines zweideutigen Satzes die eigentlich richtige syntaktische Struktur schwächer aktiviert als eine andere, nicht zutreffende, kommt es beim Leser zur bekannten Irritation.

In unserem Beispielsatz (11) geht die erste syntaktische Fehlinterpretation auf die Mehrdeutigkeit des Wortes *raced* zurück, das im Englischen sowohl die Vergangenheitsform von *to race* darstellen kann als auch die verkürzte Passivkonstruktion eines Relativsatzes. Die erste Alternative ist die geläufigere und führt daher zu stärkerer Aktivierung. Dieser sogenannte ***Verb Bias***, eine auf Erfahrung beruhende Constraint, führt zunächst zur Auswahl der geläufigeren, aber hier nicht zutreffenden syntaktischen Interpretation, was nach dem Garden-Path-Modell nicht erklärt werden kann.

Das Garden-Path-Modell baut bei der Satzanalyse (dem Parsing) zuerst ausschließlich auf syntaktischen Informationen auf (serielles Modell).

Die Constraint-based Modelle verarbeiten dagegen von Anfang an alle verfügbaren Informationsquellen zur Entschlüsselung der syntaktischen Satzstruktur (parallele Verarbeitung).

Somit unterscheiden sich diese beiden Modelle insbesondere darin, ein wie großer Einfluss anderen Faktoren (wie Semantik) gegenüber der syntaktischen Struktur beigemessen wird. Zu beiden Modellen wurden inzwischen zahlreiche Untersuchungen durchgeführt und Evidenzen aufgeführt (vgl. Überblick bei Irmen 2006; Harley 2008).

9.4.5 Serielle vs. parallele Verarbeitung

Parallele Verarbeitung wird in verschiedenen Ansätzen angenommen. Sie unterscheiden sich aber darin, wie viele Analysen innerhalb einer Ebene, insbesondere in der Syntaxverarbeitungsebene, angenommen werden. Die Extreme gehen von der erschöpfenden Parallelverarbeitung bis hin zur strikt seriellen Verarbeitung. In welchem Ausmaß, und ob überhaupt, mehrere Analysen gleichzeitig bearbeitet werden können, ist bis heute umstritten (Mitchell 1994; Hemforth und Konieczny 2008).

Diskutiert wird ferner, ob die Analyseprozesse auf einer oder mehreren Ebenen (z. B. Syntax und Semantik) ablaufen und ob und inwieweit sie sich dabei gegenseitig beeinflussen bzw. beeinträchtigen können, z. B. wenn parallele Analysen auf gemeinsam beschränkte Ressourcen (Arbeitsgedächtnis) zurückgreifen. Hierfür wurden verschiedene Konkurrenzmodelle entwickelt. Ihre Vorhersagen lassen sich aber empirisch bisher kaum bestätigen (Konieczny et al. 1997; Vosse und Kempen 2000). Diskutiert wird auch, ob es sich dabei um Konkurrenzprozesse (*competition*) handelt, bei denen der stärkere Aktivität absorbierende Wettbewerber sich durchsetzt, oder eher um einen Wettlauf (*race-based processing*) verschiedener Komponenten, bei dem derjenige gewinnt, der schneller in der Lage ist, eine Ambiguität zu lösen (z. B. *unrestricted race model* von Van Gompel et al. 2000).

Weitgehend unumstritten scheint aber zu sein, dass die Erfahrung des Individuums im Umgang mit bestimmten Verwendungsformen der Syntax eine entscheidende Rolle spielt bei der Verarbeitung und Auflösung von Ambiguitäten und irregulären Strukturen (MacDonald und Christiansen 2002; Hemforth und Konieczny 2008).

9.4.6 Neurokognitive Aspekte

Wesentliche Beiträge zum Verständnis der Satzverarbeitung und des Satzverstehens verdanken wir auch der Anwendung neurokognitiver Methoden, speziell der Anwendung ereigniskorrelierter Potenziale (EKPs, *event-related potentials*, ERPs) (▶ Exkurs 9.11).

Neurokognitives Stufenmodell zum Parsing

Wie wir gesehen haben, erfolgt die Satzverarbeitung auf unterschiedlichen Ebenen und – je nach Modell – in unterschiedlichen aufeinanderfolgenden Phasen. Beim Verstehen eines Satzes hören wir zunächst Phoneme und konstruieren daraus Morpheme und Phrasen eines Satzes. Auf Satzebene schließlich extrahieren wir mit Rückgriff auf gespeicherte semantische Inhalte des Langzeitgedächtnisses die Bedeutung der Aussage (Abb. 9.4).

Hierbei handelt es sich, wie eingangs schon erwähnt, grundsätzlich zunächst um einen *datengesteuerten* Prozess (Bottom-up-Prozess), ausgehend von den einzelnen Wörtern hin zur Satzbedeutung. Wie aber die Untersuchungen gezeigt haben, verläuft parallel auch eine Top-down-Verarbeitung, angestoßen durch

Exkurs 9.11

Genauer betrachtet: Neurokognitive Methoden

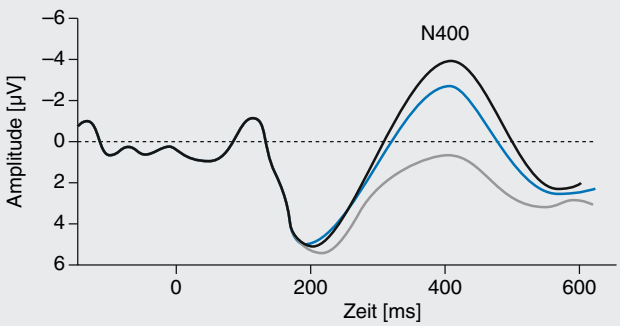
In den letzten Jahrzehnten haben sich mit der zunehmenden Verwendung neuropsychologischer Methoden und bildgebender Verfahren (▶ Exkurs 10.4) bei gesunden Probanden neue Möglichkeiten erschlossen, kognitive Prozesse mit den zugrunde liegenden neuronalen Strukturen und Hirnfunktionen zu verbinden. Insbesondere wurde hier auch ein neuer Zugang zur Psychologie des Wort- und Satzverstehens gesehen (Überblick bei Friederici 1999). Während die bildgebenden Verfahren (wie PET oder fMRT, s. Exkurs 10.4) zwar eine hohe räumliche Bildauflösung haben, mangelt es diesen Techniken jedoch an der zeitlichen Auflösung, an der die psycholinguistische Forschung interessiert ist. Gefragt sind hier Verfahren, die es ermöglichen, den genauen zeitlichen Verlauf sprachlicher Prozesse auf neurophysiologischer Ebene zu erfassen. Dazu gehören vor allem die folgenden Verfahren:

1. Das ereigniskorrelierte Potenzial (EKP) ist ein elektrocorticales Potenzial, das ebenfalls nicht invasiv auf der Schädeloberfläche durch spezielle Elektroden abgegriffen werden kann. Als EKP werden alle Potenziale bezeichnet, die ereignisbezogen vor, während und nach einem sensorischen oder motorischen sowie einem so ausgelösten psychischen Ereignis im Elektroencephalogramm (EEG) auftreten. Sie lassen sich erst durch (mathematische/elektronische) Mittelwertbildung über eine Vielzahl gleichartiger Reize/Ereignisse aus dem viel stärkeren Rauschen des EEG extrahieren. Einen charakteristischen Verlauf einer solchen Potenzialkurve zeigt ◘ Abb. 9.10.
2. Die Magnetencephalografie (MEG), ein ebenfalls nichtinvasive Gehirn-Scan-Verfahren, beruht auf der Aufzeichnung der durch die jeweilige elektrische Hirnaktivität erzeugten minimalen Magnetfeldveränderungen mittels hochempfindlicher Detektoren, sog. SQUIDs (superconducting quantum interference device). Auch dies Verfahren erlaubt, ereigniskorrelierte Aktivität zu messen.

Relevant für die kognitiven Prozesse der Sprachverarbeitung gelten beim EKP die N400, die LAN (oder ELAN) sowie die P600 (siehe dazu ◘ Abb. 9.10).

- Als **N400** wird eine Potenzial-Negativierung bezeichnet, die von einem definierten Reiz, z. B. einem Wort, ausgelöst wird und etwa 400 ms nach Beginn des Stimulus ihr Maximum erreicht. Sie spiegelt nach gängiger Ansicht semantische Integrationsprozesse wider.
- Die **ELAN** ist eine frühe, links-anteriore Negativierung (*early left anterior negativity*), die zu Wortklasseninformation in Beziehung steht. Sie tritt in der Nähe des Broca-Areals auf und hat ein Maximum etwa 200 ms nach dem kritischen Ereignis.
- Die **P600** (auch SPS, *syntactic positive shift*) ist eine Positivierung des EEG-Potenzials, die ca. 600 ms nach Anfang des Stimuluswortes auftritt und mit der syntaktischen Verarbeitung korreliert (Friederici 1999).

Die Methode des EKP eignet sich jedoch weniger für die Untersuchung der Sprachproduktion, da die Sprachmuskelbewegungen selbst starke elektrische Signale im EEG erzeugen, die als Artefakte die gesuchten Signale überlagern.



◘ **Abb. 9.10 N400-Antwort auf ein kritisches Wort:** in einem korrekten Satz (*graue Kurve*; z. B. Satz 15), in einem inkorrekten (Weltwissen) Satz (*blaue Kurve*; Satz 17), in einem inkorrekten (Wortbedeutung) Satz (*schwarze Kurve*; Satz 16). (Nach Eysenck und Keane 2010)

die durch den Satzbeginn hervorgerufene Erwartung über die nachfolgende Phrasenstruktur (Holzwegphänomen).

Aufbauend auf dem Garden-Path-Modell von Frazier und Rayner (1982) entwickelte Friederici (1995; 1999) ein **neurokognitives Stufenmodell** des Satzverstehens, das verschiedene Teilergebnisse der neueren neuropsychologischen Forschung zusammenfasst. Sie geht ebenfalls davon aus, dass die syntaktische Analyse der semantischen Analyse vorausgeht, dass also in einer frühen Phase zunächst allein die Wortkategorie (z. B. Nomen, Verb, Partizip, etc.) genutzt wird, um eine initiale Phasenstruktur zu entwerfen. Das sei an folgenden Beispielsätzen verdeutlicht:

(12) *Der Koch hat den Jungen mit genommen.*
(13) *Der Koch hat den Jungen mit getroffen.*

Passt ein nachfolgend aktuell wahrgenommenes Wort in seiner Wortkategorie (Partizip in Satz (13)) nicht in die zu erwartende Phrasenstruktur (*mismatch*), wird dies bei gleichzeitig abgeleiteten Hirnströmen im EKP als frühe (linksanteriore) Negativierung nach etwa 200 ms sichtbar (◘ Abb. 9.10).

In einer zweiten Stufe wird dann weitere semantische Information abgerufen (wie vor allem die Bedeutung der Wörter), wobei jedes einzelne Wort seiner Bedeutung nach in den Satz integriert wird. Kommt es hierbei zu semantischen Unstimmigkeiten, wie in dem (syntaktisch korrekten) Satz:

(14) *Die Sonne schneit.*

zeigt sich in der Hirnstromableitung im EKP etwa nach 400 ms eine starke Negativierung (N400).

Nach dem Modell kommt es bei fehlerhaften syntaktischen Prozessen, wenn die semantische Information nicht zur initialen strukturellen Analyse passt, zu einer **Reanalyse** und Korrektur des Verstehens. In solchen Fällen ist in der Hirnstromableitung im EKP zumeist eine späte Positivierung nach etwa 600 ms (P600) sichtbar.

Neben diesem Modell, das mit seinem eher modularen Charakter in Vielem dem Garden-Path-Modell entspricht, gibt es auch andere Ansätze, die aufgrund von fMRT-Daten die Sprachverarbeitung eher im Sinne eines interaktiven Modells verstehen, bei dem verschiedene Hirnregionen gleichzeitig unterschiedliche

Exkurs 9.12

Experiment: Weltwissen und Wortbedeutung

In einer bekannt gewordenen Untersuchung zum Satzverstehen (Hagoort et al. 2004) mussten die niederländischen Versuchsteilnehmer Sätze wie die folgenden lesen, während gleichzeitig ihre EKPs aufgezeichnet wurden:

(17) Die holländischen Züge sind *gelb* und sehr voll (Satz ist richtig).

(18) Die holländischen Züge sind *sauer* und sehr voll

(falsch wegen der Wortbedeutung: sauer).

(19) Die holländischen Züge sind *weiß* und sehr voll (falsch wegen des „Weltwissens", dass holländische Züge gelb sind).

Gemäß der früheren Ansicht, dass semantische Verletzungen sich früher auswirken als Weltwissen, wäre zu erwarten, dass das Erkennen der Unstimmigkeit (*mismatch* Weltwissen) in Satz (19) länger dauern würde, als das Erkennen der Unstimmigkeit (Wortbedeutung) in Satz (18). Die Ergebnisse aber zeigten, dass die unterschiedlichen semantischen Unstimmigkeiten zu recht gleichartigen N400 Ausschlägen führten (◘ Abb. 9.10). Aufgrund dieser Ergebnisse wird gefolgert, dass die Vorstellung falsch ist, dass die Wortbedeutung (Satz 18) früher verarbeitet wird als Weltwissen (Satz 19).

Offenbar werden demnach sowohl Bedeutung als auch Weltwissen unmittelbar in den ersten etwa 400 ms herangezogen und beim Satzverstehen integriert. Solche Ergebnisse sprechen dafür, dass der Satzverarbeitungsprozess unmittelbaren Gebrauch von allen relevanten Informationen macht, wie es von den Constraint-*based*-Modellen angenommen wird (Eysenck und Keane 2010).

Teilprozesse (lexikalische oder syntaktische) unterstützen (Keller et al. 2001). Auch nach Hagoort (2003) deutet vieles darauf hin, dass syntaktische und semantische Verarbeitung beide schon früh und gleichzeitig erfolgen.

Mit der Methode der EKPs lassen sich viele der aufgeworfenen Fragen untersuchen und einer Lösung näherbringen. Insbesondere wurde die Methode verwendet, um bei der Satzverarbeitung die Reaktion auf Pseudowörter oder die Verletzung semantischer oder syntaktischer Regeln zu untersuchen sowie genauere Informationen über den Verlauf der Satzverarbeitung, das *Parsing*, zu erhalten.

Nehmen wir zur Verdeutlichung folgende Beispielsätze:

(15) *Der Vogel singt* (syntaktisch und semantisch korrekt).

(16) *Der Vogel snigt* (Pseudowort).

Im Gegensatz zu Satz (13), der nur eine normale N400 hervorruft, würde die Satzvariante (16) wie auch (13) mit dem Pseudowort in der Regel zu einer deutlich erhöhten N400 führen. Das wird so interpretiert, dass hier möglicherweise ausführlicher im mentalen Lexikon nach dem Zielwort gesucht werden muss. Ein bekanntes Untersuchungsbeispiel ist in ▶ Exkurs 9.12 dargestellt.

Diese Untersuchung und ihre Ergebnisse werden andererseits auch so verstanden, dass sie das Friederici-Modell wiederlegen und dafür sprechen, dass syntaktische und semantische Verarbeitung beide schon früh und gleichzeitig ablaufen.

Von besonderem Interesse waren auch schon früh die Fragen nach der Lokalisation sprachlicher Prozesse in verschiedenen Hirnarealen. Hierzu haben vor allem Untersuchungen an Patienten mit sprachspezifischen Störungen infolge von begrenzten Hirnverletzungen beigetragen. Mehr hierzu finden Sie in ▶ Abschn. 2.3.3.

9.5 Textverarbeitung

Sprache kann zwar auch aus einzelnen Wörtern oder Sätzen bestehen, üblicherweise aber besteht sie zu allermeist aus längeren zusammenhängenden komplexen Texten oder Aussagen. Sie werden als *Diskurse* bezeichnet. Hier resultiert ein Großteil unseres Verstehens aus dem Gesamtkontext, in welchem wir uns gerade befinden. Der *Kontext* macht das, worüber gesprochen wird, bisweilen sogar vorhersagbar. Sobald wir ein paar Wörter verstanden haben, beginnen wir schon mit Schussfolgerungen, wie der Satz weitergehen oder was der ganze Satz bedeuten könnte (welche Propositionen ihm zugrunde liegen), und können ihn von uns aus sinngemäß zu Ende führen. Insofern ist das Verstehen von Texten durchaus ein *interaktiver Prozess*, bei dem, wie schon bei der Satzverarbeitung, zwei Verarbeitungsrichtungen unterschieden werden.

1. textgesteuert (*bottom-up*) von der untersten Sprachebene (Wort und Textmerkmale) aufwärts, und
2. rezipientengesteuert (*top-down*) von der obersten Ebene (Erwartungen und Wissen des Lesers/Hörers) abwärts.

Bei der rezipientengesteuerten Verarbeitung können sehr unterschiedliche Faktoren des Kontextes eine Rolle spielen. Wenn in einer Erzählung z. B. von einem *Schloss* die Rede ist, so ist in der Regel aus dem Kontext klar, welche Art von Schloss gemeint ist (ein Gebäude oder eine Sicherheitsvorkehrung). Oder, wenn Sie bei Tisch gefragt werden: „Können Sie die Kartoffeln rüberreichen?", nehmen Sie in der Regel nicht an, dass der Frager wissen will, ob Sie physisch dazu in der Lage sind, sondern Sie verstehen, dass Sie veranlasst werden sollen, behilflich zu sein. Dieselbe Frage könnte jedoch anders zu verstehen sein, wenn Sie Ihren Arm in einem Gipsverband tragen. Dann könnte durchaus die körperliche Fähigkeit gemeint sein. In beiden Fällen ist der Satz (und die propositionelle Aussage, die beides umfasst) identisch (Grice 1979). Es gibt zahlreiche Belege dafür, dass, wie hier, die Absicht des Sprechers als Teil des Verstehensprozesses mit einbezogen wird (Clark 1984).

Von Bedeutung beim Textverstehen sind ferner **mentale Modelle** und bildhafte Vorstellungen, die wir uns von der im Text beschriebenen Situation machen und aus denen wir Schlussfolgerungen ziehen, um das Gesagte zu verstehen, wie in folgendem Beispiel (Rumelhart und Ortony 1977; Eysenck und Keane 2010):

(20) *Silke hört den Eiscremewagen kommen.*

(21) *Sie erinnert sich an ihr Taschengeld.*

(22) *Sie eilt ins Haus.*

Wenn Sie diese Sätze lesen, ziehen Sie vermutlich etliche Schussfolgerungen, um den Zusammenhang zu verstehen. So vermuten Sie z. B., Silke möchte sich ein Eis kaufen. Eiscreme kostet Geld. Silke hat etwas Taschengeld im Haus, das sie holen will, und zwar schnell, bevor der Wagen weitergefahren ist. Erst dadurch, dass

Exkurs 9.13

Genauer betrachtet: Mentales Modell zum Textverstehen.

Ein klassisches Beispiel zum Aufbau eines mentalen Modells, das wir uns offenbar beim Rezipieren nur weniger Sätze machen und das uns in die Lage versetzt dann auch weitergehende Fragen beantworten zu können, stammt von Mani und Johnson-Laird (1982). Sie präsentierten ihren Versuchspersonen folgende Sätze:
(23) *Das Regal steht rechts von dem Stuhl.*
(24) *Der Stuhl steht vor dem Tisch.*
(25) *Das Bett steht hinter dem Tisch.*
Hieraus lässt sich leicht die Antwort auf die Frage ableiten bzw. durch Inspektion überprüfen, ob das Bett (von der gleichen Seite aus betrachtet) hinter dem Stuhl steht.

Exkurs 9.14

Experiment: Mentales Modell

Auch das folgende. Experiment bietet einen eindrucksvollen Beleg für die Relevanz mentaler Modelle für das Textverstehen. Die Autoren (Glenberg et al. 1987) präsentierten ihren Probanden im Experiment Texte wie die folgenden:
(26) John bereitete sich für eine Verabredung am Abend vor. Nachdem er sich angezogen hatte,
[a] *nahm er die Rose*, die er gekauft hatte, und ging los.
[b] *vergaß er die Rose*, die er gekauft hatte, und ging los.
Er nahm seinen Sportwagen, um zu seiner Verabredung zu fahren.
Er kam etwas zu spät an.
Die Rose …
Die Versuchspersonen bekamen entweder Variante [a], bei der John die Rose mit sich nahm, oder Variante [b] zu lesen, bei der John die Rose vergaß. Obwohl sich die Texte nur in einem einzigen Wort unterschieden, zeigte sich, dass der Verweis und Bezug auf die früher genannte Rose leichter war, wenn die Hauptfigur (John) die Rose mitgebracht hatte (Variante [a]), wenn sie also noch Bestandteil des aktuell vorgestellten Modells war. Bei der Variante [b] war dagegen bei der späteren Erwähnung der Rose, nach Glenberg et al., zum Verständnis erst ein mentaler Szenenwechsel erforderlich.

wir solche Inferenzen (die im Text nicht explizit enthalten sind) ziehen, was wir zumeist gar nicht merken, werden die Sätze verständlich.

Unterschieden werden drei Arten von Inferenzen:

1. Logische Inferenzen: Sie beruhen auf Wortbedeutungen. (Wir können schließen, wer eine Witwe ist, ist auch weiblich.)
2. Überbrückende Inferenzen (*bridging inferences*): Sie ermöglichen den Zusammenhang zwischen dem gegenwärtigen und dem vorangegangenen Text.
3. Elaborative Inferenzen: Details (beim Verstehen) werden zum gelesenen Text hinzugefügt, die aus unserem Allgemeinwissen stammen (▶ Kap. 8 Gedächtnis).

Ein in der psychologischen Literatur zum Textverstehen bekanntes Beispiel eines (bildhaften) mentalen Modells, in dem die räumlichen Beziehungen zwischen den erwähnten Objekten repräsentiert sind, ist in ▶ Exkurs 9.13 dargestellt, und ein Experiment dazu in ▶ Exkurs 9.14.

Textverarbeitung erfolgt also sowohl textgesteuert als auch rezipientengesteuert. Dabei hängt die Verarbeitung, das Textverstehen, nicht nur von der formalen und inhaltlichen Struktur des Textes ab, sondern vor allem auch vom Leser bzw. Hörer selbst und seinem Hintergrundwissen wie auch von der Güte seines mentalen Modells.

9.6 Wortproduktion und Sprachproduktion.

Die Verarbeitungsschritte, die der Produktion von Sprache zugrunde liegen, ähneln denen des Sprachverstehens. Sie verlaufen jedoch in umgekehrter Richtung, vom gedanklichen Konzept zur Wortform und der sprachlichen Äußerung (◘ Abb. 9.4). Wir beginnen bei der Sprachproduktion mit den in Propositionen strukturierten Gedanken (Konzepten), die wir in verschiedenen Schritten in Phrasen und Morpheme transformieren und die dann mithilfe der Sprachmuskulatur artikuliert werden (zur neurologischen Lokalisation der Sprachprozesse siehe ◘ Abb. 2.24).

In der Sprachproduktionsforschung (▶ Exkurs 9.15) hat es etliche verschiedenen Ansätze und langjährige Debatten gegeben. Die derzeit in Lehrbüchern dargestellten Sprachproduktionsmodellvorstellungen gehen vor allem auf die Annahmen von Levelt et al. (1999) und sein theoretisches Konzept zurück, das als **WEAVER++** (Word-form Encoding by Activation and VERification) auch computerimplementiert wurde. Sie gehen davon aus, dass sich drei globale Funktionsstufen bzw. Ebenen unterscheiden lassen:

1. **Konzeptualisierung**: Zunächst muss überlegt werden, was wir sagen wollen. Das ist ein nichtsprachlicher Prozess, in welchem Konzepte aus dem Langzeitgedächtnis in das Arbeits-/Kurzzeitgedächtnis überführt und bearbeitet werden. – Die Botschaft wird konzeptualisiert.
2. **Formulierung**: Es muss geklärt werden, wie wir es sagen wollen, und die Wörter und Wortbestandteile müssen in die richtige Reihenfolge gebracht, werden. Sie werden sprachlich ausformuliert.
3. **Artikulierung**: Die vorbereiteten und phonologisch codierten Wörter und Sätze müssen vom Sprechapparat (dem Artikulator) hörbar ausgesprochen werden. – Der Artikulationsplan für die motorischen Prozesse wird erstellt.

9.6.1 Konzeptualisierung

Zunächst müssen wir überlegen, was wir sagen wollen. Das ist ein nichtsprachlicher Prozess, der am Anfang unserer Sprachproduktion steht. In diesem werden Konzepte aus dem Langzeitgedächtnis in das Arbeits-/Kurzzeitgedächtnis überführt und bearbeitet, das heißt, die Botschaft wird konzeptualisiert, zum Beispiel in Form von Propositionen. Dabei vollbringt das Gehirn eine erstaunliche Leistung, von der wir bewusst kaum etwas merken.

Exkurs 9.15

Genauer betrachtet: Forschungsmethoden

Ausgangspunkt und Grundlage für die Aufteilung der Sprachproduktionsprozesse in mehrere (meist drei, s. oben) funktionale Stufen waren vor allem die bisweilen beim Sprechen zu beobachtenden Versprecher. Sie sind auch heute noch ein beliebter Gegenstand der Sprachproduktionsforschung und haben schon Freud (1956) zur Interpretation angeregt (Freudsche Versprecher). Solche Versprecher wurden von Forschern gesammelt und ausführlich analysiert (Fromkin 1971; Leuninger 1993). Dabei wurde deutlich, dass Versprecher auf Fehler in unterschiedlichen Verarbeitungsschritten hinweisen. Versprecher wie „Das ist das Gelbe in Grün" oder „Die Sonne schneit" werden als konzeptuell bedingt verstanden. Andere wie z. B. „In der Fische stank es nach Küche" lassen sich als Vertauschungen von Positionen in der syntaktischen Satzstruktur verstehen. Versprecher wie „Langarbeitszeitlose" dagegen entsprechen einem einfachen Austausch von Morphemen und deuten somit auf einen späteren Verarbeitungsschritt (alle Beispiele aus Leuninger 1993).
Erst etwa seit den 1990er Jahren werden als Evidenz für die vorgeschlagenen Sprachproduktionsmodelle auch Daten aus Sprachexperimenten verwendet. Hier hat die psycholinguistische Forschung inzwischen eine Reihe von Paradigmen entwickelt, mit denen sich Fragestellungen gezielt angehen lassen. Die Paradigmen und Aufgaben sind zumeist so gestaltet, dass die Versuchsteilnehmer eine einfache Aufgabe ausführen sollen. Bei der **Benennungsaufgabe** z. B. sollen sie ein Bild benennen oder ein vorgegebenes Wort aussprechen.
Zusätzlich können elektrische Hirnpotenziale wie EKPs (▶ Exkurs 9.11.) abgeleitet und zeitliche Zuordnungen bestimmt werden. Als besonders vielversprechend hat sich das Bild-Wort-Interferenz-Paradigma sowie Varianten des Priming erwiesen, auf denen zahlreiche Befunde der Sprachforschung beruhen (Zwitserlood und Bölte 2008). (Weitere Ausführungen zu aktuellen Forschungsparadigmen in *Zusatztexte online*.)

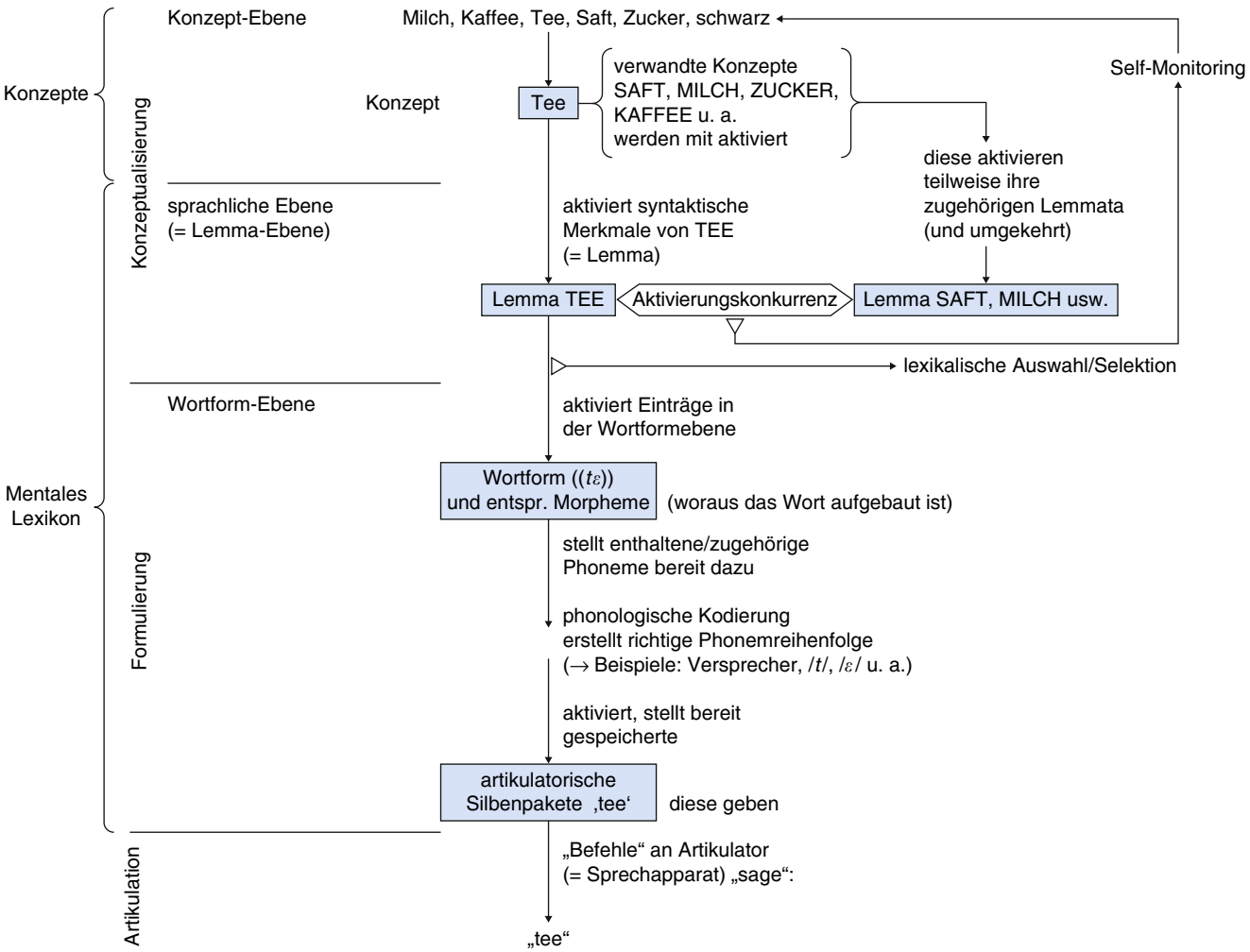


Abb. 9.11 Zusammenstellung der wichtigsten Elemente im Prozess der Sprachproduktion

Wenn wir die Frage beantworten sollen, ob wir lieber Tee oder Kaffee trinken möchten, müssen wir (natürlich) zuerst die Entscheidung treffen, was von beidem wir jetzt lieber möchten. Wenn wir uns dann entschieden haben (z. B. für Tee), muss als Antwort das Konzept TEE aktiviert werden, das dann versprachlicht werden kann (Vergleiche zur Übersicht das Schema Abb. 9.11). Da im Gedächtnisspeicher verwandte lexikalische Konzepte miteinander verbunden sind und sich auch gegenseitig aktivieren (vgl. Versprecher), werden durch das lexikalische Konzept TEE verwandte Konzepte wie MILCH, KAFFE, SAFT, ZUCKER, SCHWARZ gleichzeitig mit aktiviert (vgl. ▶ Exkurs 8.16 und 8.17 kognitive Netzwerke).

Exkurs 9.16

Genauer betrachtet: Zum Konzeptualisierungsprozess

Es wird angenommen, dass bei der Konzeptualisierung auf sprachlicher Ebene zuerst das sog. **Lemma** von TEE aktiviert wird. Lemmata repräsentieren syntaktische Information (z. B. Nomen, Maskulinum) eines Wortes, aber nicht die Phonologie eines Wortes (Harley 2008). (Sie enthalten nach Harley S. 412, auch semantische Information, was nach Levelt et al.1999 nicht der Fall ist). Sie sind im mentalen Lexikon (lexikales Gedächtnis) gespeichert. Da bei der Auswahl/Bereitstellung des Konzeptes TEE auch die verwandten lexikalischen Konzepte mit aktiviert sind, werden automatisch auch deren zugehörige Lemmata aktiviert. Das führt zu einer Konkurrenz zwischen den aktivierten Lemmata. Dadurch kann es passieren, dass ein Lemma ausgewählt wird, welches nicht dem intendierten lexikalischen Konzept entspricht, was zu einem Versprecher führt. Nach Harley (2008) ist die Annahme von Lemmata aber nicht datengesichert, sondern nur die Notwendigkeit einer Unterscheidung zwischen semantischem und phonologischem Level ist erforderlich. **Lemma**: Abstrakte Wortrepräsentation im mentalen Lexikon, die nur die syntaktischen Eigenschaften, nicht aber die phonologischen enthält.

Exkurs 9.17

Genauer betrachtet: Unterschiedliche Hirnareale für Lemma und Wortform

Es gibt verschiedene Hinweise darauf, dass **Lemmainformationen** (entsprechend Konzeptinformationen) früher zur Verfügung stehen als die Information der Wortform. Mithilfe der Magnetencephalografie, mit der sich laufende Ereignisse im Gehirn lokalisieren lassen, konnte während einer Bildbenennungsaufgabe (▶ Exkurs 9.15.) gezeigt werden, dass diese tatsächlich zeitlich und räumlich für Lemma- und Wortformverarbeitung unterschiedlich sind (Levelt et al. 1998). Danach sind Prozesse des Lemmazugriffs mit Aktivität im Okzipital-Parietalbereich verbunden, dagegen tritt die Aktivität während der phonologischen Encodierung vor allem im Broca-Areal auf (◘ Abb. 2.24).

Die Folge davon, dass sich verwandte lexikalische Konzepte (bzw. deren Lemmata, siehe ▶ Exkurs 9.16) gegenseitig aktivieren, ist aus der Forschung zu Versprechern bekannt. Nicht selten kommt es vor, dass wir nicht die geplante Antwort aussprechen, sondern es „rutscht" uns ein mitaktiviertes Konzept heraus. Wir sagen z. B. vielleicht „Saft" statt „Tee". Oder ein mitaktiviertes Konzept führt zu einem Versprecher derart, dass wir sagen, „die Sonne schneit", statt des intendierten „die Sonne scheint". Hier wird die Ursache in der gleichzeitigen Aktivierung des Konzeptes SONNE und des Konzeptes SCHNEE gesehen.

Oft wird man sich auch während des Aussprechens des Fehlers bewusst und korrigiert sich manchmal sogar mitten im Wort: „Sa – eh – Tee", oder wir stoppen sogar, ehe wir den bemerkten Fehler aussprechen, was bisweilen zu einer Pause im Redefluss führt. Offenbar also können wir die Vorbereitung einer Aussage innerlich „mithören". Dies wird nach Levelt (1989) als **Monitoring** (*self-monitoring, v*gl. ◘ Abb. 9.11) bezeichnet.

Alle bekannten Modelle gehen von einer gleichzeitigen Aktivierung mehrerer Lemmata bzw. Konzepte aus. Wie der Wettbewerb zwischen den Konkurrenten aufgelöst wird und wann er abgeschlossen sein muss (bevor oder nachdem die Wortform zur Verfügung steht), ist bisher noch unklar und umstritten (Dell et al. 1999; Levelt et al. 1999; vgl. *Zusatztexte online*).

9.6.2 Formulierung

Wenn schließlich das richtige semantische Konzept (bzw. das Lemma) ausgewählt ist, werden für dieses schrittweise auf der *Wortformebene* eine Wortform bzw. die entsprechenden Morpheme, aus denen das Wort aufgebaut ist, zusammengebaut. So aktiviert das Lemma für TEE die Wortform /tee/, und z. B. das Lemma für SAFTIG aktiviert zwei Wortformen: saft /saft/ und ig /ig/. (dazu ▶ Exkurs 9.17). Dabei werden auch die in der jeweiligen Wortform enthaltenen Phoneme (hier: [s], [a], [f], [t], [i], [g]) bereitgestellt (entsprechend beim Schreiben die Buchstaben S, A, F, T, I, G). Aufgrund von untersuchten Versprechern, bei denen einzelne Silben (*die H-Mess-Molle* statt: die H-Moll-Messe) oder einzelne Laute vertauscht werden (*Taffekasse*, *spektukalär*, alle Beispiele aus Leuninger 1993), wird angenommen, dass abschließend separat nochmals eine **phonologische Encodierung** erfolgt, die die richtige Phonemreihenfolge in Silbenform festlegt. Durch diese werden schließlich gespeicherte *artikulatorische Silbenpakete* abgerufen und an das Artikulationssystem zur Aussprache weitergegeben. Teil des phonologischen Encodierungsprozesses ist auch die prosodische Struktur, d. h. die Satzmelodie mit Betonungen, Pausen etc., die hier festgelegt wird.

Zusammengefasst besteht die Aufgabe dieser auch als *Formulator* bezeichneten Funktion darin, die syntaktische Struktur zu erstellen, die Einheiten dieser Struktur (Wörter) in eine lautliche Form zu bringen und diese zur Erstellung eines artikulatorischen Plans an den *Artikulator* weiterzugeben, der dann vom Sprechapparat motorisch ausgeführt wird.

9.6.3 Artikulation

Sprachlaute, also Phoneme, werden durch die Bewegung von Luftströmen, zumeist durch den Ausstoß von Luft aus der Lunge und die Veränderung des Luftstroms in Mund-, Rachen- und Nasenraum, erzeugt. Sie können durch die Beteiligung der Stimmbänder, die den Luftstrom (bei bestimmten Lauten) in gezielte Schwingung versetzen, weiter modifiziert werden.

Die Sprachlaute jeder Sprache werden von der *Phonetik*, die sich vor allem mit der Art und Erzeugung der Laute befasst, verschiedenen Klassen oder Kategorien zugeordnet, je nachdem wie die Sprachlaute produziert werden. Die *Phonologie* beschreibt die Phoneme als Bündel eindeutiger Merkmale wie „nasal", „plosiv" (◘ Tab. 9.1), die zugleich bedeutungsunterscheidende Teilkomponenten eines Phonems sind. So lassen sich Konsonanten nach *Stimmhaftigkeit*, *Artikulationsort* und *Artikulationsart* (◘ Tab. 9.1) unterscheiden. Stimmlose Laute, z. B. [p] oder [k], entstehen ohne die Beteiligung der Stimmbänder, während bei stimmhaften Lauten wie [m] die Stimmbänder mitschwingen. *Labiale Laute* wie [p] und [b] werden mit den Lippen gebildet,

Tab. 9.1 Konsonanteneinteilung nach Art der Artikulation, Ort der Artikulation und Stimmhaftigkeit

Artikulationsart	Artikulationsort					
	Labiale		Alveolare		Velare	
	Stimmlos	Stimmhaft	Stimmlos	Stimmhaft	Stimmlos	Stimmhaft
Plosive	p	b	t	d	k	g
Nasale		m		n		ng
Frikative	f	v	Scharfes s	Weiches s		
Liquide				l		r

[p] und [b] beide durch plötzliches Öffnen der Lippen, wodurch der Luftstrom „explodiert" (daher auch als *Plosive* bezeichnet), wobei nur beim stimmhaften [b] die Stimmbänder kurz mitschwingen. *Alveolare Laute*, wie [s] oder [t] werden durch Annäherung der Zunge an den knöchernen Gaumenwulst gebildet, *velare Laute*, wie [k], durch Zungenannäherung an den hinteren weichen Gaumen. Weitere Artikulationsorte sind *labiodental* (Unterlippe, Zähne), *interdental* (Zunge zwischen den Zähnen), *palatal* (Zunge am harten Gaumen hinter der Zahnwulst). Während bei den *Plosiven* (z. B. [p], [k]) die Blockade des Luftstroms plötzlich aufgehoben wird, kommt es bei den *Frikativen* [s] und [f] nur zu einer teilweisen Blockade, die jedoch so stark ist, dass hörbare Turbulenzen entstehen. Bei den sog. *Liquiden* (z. B. [l], [r]) erfolgt nur eine schwache teilweise Blockade des Luftstroms.

Laute, bei denen der Luftstrom nicht wie bei den besprochenen Konsonanten moduliert wird, sondern ungehindert fließt, werden als *Vokale* bezeichnet. Ihre Unterschiede werden durch typische Stellungen des Sprachapparats (Mund) konfiguriert. Zudem können sie lang sein, wie in *Wahl* oder kurz, wie in *Wall*.

Diese Darstellung ist keineswegs erschöpfend, da die phonetischen Eigenschaften von Konsonanten und Vokalen je nach Dialekt oder Sprachkontext abgewandelt werden können. Hinzu kommt, dass andere Sprachgruppen über Phoneme verfügen, die wir nicht einmal voneinander unterscheiden können, was das Erlernen dieser Sprachen für uns natürlich erschwert oder fast unmöglich macht.

9.6.4 Hörerbezug

Bei einer sprachlichen Äußerung ist darauf zu achten, an wen und unter welchen Kontextbedingungen die Nachricht gerichtet ist und welches Wissen wir beim Hörer voraussetzen können. Wenn Sie z. B. sagen: „*Die Jacke hängt am Haken*", so nützt dies dem Hörer nur dann etwas, wenn er weiß, wo sich der Haken befindet und welcher Haken gemeint ist, wenn es davon, wie z. B. in einer Schule, mehrere gibt. Wenn Sie wissen, dass der Hörer sich in Ihrem Haus nicht auskennt, werden Sie vielleicht hinzufügen, dass sich die Jacke z. B. am Haken im Keller befindet.

In einem anderen Kontext könnte derselbe Satz aber bedeuten, dass Franz, der die Jacke gewöhnlich trägt, wenn er nach draußen geht, im Hause sein müsste, weil seine Jacke am Haken hängt. Diese Berücksichtigung des Hörerbezugs wurde von dem Sprachphilosophen Grice (1979) als **Kooperationsprinzip** bezeichnet. Kooperatives Sprechen erfolgt immer dann, wenn wir hinreichend genaue Erwartungen darüber haben, was der jeweilige Hörer wissen müsste und versteht. Formaler gesagt, wir erwarten aus den jeweiligen Gegebenheiten einen gewissen *gemeinsamen Wissenshintergrund*, auf den wir beim Sprechen mehr oder weniger automatisch zurückgreifen. Als Hinweise auf einen solchen gemeinsamen Wissenshintergrund lassen sich nach Clark (1996) unterscheiden:

- Gruppenmitgliedschaft: Hier gehen wir beim Sprechen von der Annahme aus, dass dem Hörer (den Hörern) als Mitglied unserer Gruppe, wie Familie, Freundeskreis, Hausgemeinschaft, Kulturkreis, bestimmte Dinge bekannt sind, dass er also mit uns einen gemeinsamen Wissenshintergrund hat.
- Sprachliche Kopräsenz: Im fortlaufenden Gespräch gehen wir davon aus, dass Informationen über Handlungen, Ereignisse und Sachzusammenhänge, die in früheren Gesprächsabschnitten oder früheren gemeinsamen Gesprächen präsent waren, nun zum gemeinsamen Wissenshintergrund gehören.
- Physische Kopräsenz: Sie besteht, wenn Sprecher und Hörer sich in unmittelbarer Gegenwart von Objekten, Personen oder Situationen befinden, über die gesprochen, wird.

So kann z. B. die Aussage „Ich gehe mit Franz ins Kino" nur dann vollständig und richtig verstanden werden,

(1) wenn Sprecher und Hörer Teil einer kleinen Gemeinschaft sind (z. B. Freundeskreis) und es da nur einen Franz gibt, den beide kennen. Oder:
(2) Wenn die Existenz von Franz im Verlauf des (vorherigen) Gesprächs bereits eingeführt war (Sprachliche Kopräsenz), oder:
(3) wenn Franz bereits leiblich im gleichen Raum anwesend und mit Namen bekannt ist (physische Kopräsenz).

Deutlich wird das Einbeziehen eines gemeinsamen Wissenshintergrundes auch, wenn Sie sich mit einem Kommilitonen oder einem ortsunkundigen Freund z. B. „an der Mensa" treffen wollen. Im zweiten Fall ist eine gewisse Weg- oder Gebäudebeschreibung notwendig.

Kooperationsprinzip. Wir formulieren unsere Gesprächsaussagen (zumeist) unter dem erwarteten Kenntnishorizont unseres Zuhörers.

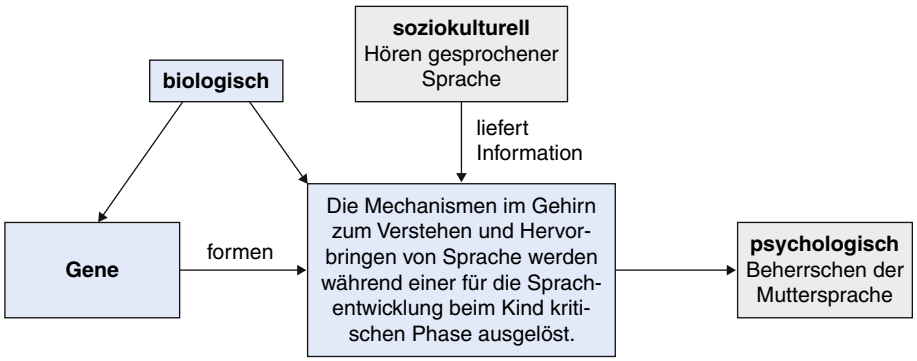


Abb. 9.12 Faktoren der Sprachentwicklung. Genetisch vorgegeben sind die Sprachmechanismen (biologisch). Durch Erfahrung und Interaktion mit der Umwelt (Mitmenschen) werden sie aktiviert. (Myers 2008)

Wenn wir sprechen, versprachlichen wir gedachte Konzepte und den Zusammenhang zwischen ihnen. Der Informationsfluss geht von den Konzepten zu den Lauten. Zunächst wird die im Langzeitgedächtnis gespeicherte konzeptionelle Information ausgewählt. Sie aktiviert zugehörige und naheliegende Lemmata (mit semantischen und syntaktischen Merkmalen). Das aus dieser Konkurrenz ausgewählte Lemma aktiviert die Wortformen der zugehörigen Morpheme. Dann werden die in ihnen enthaltenen Phoneme bereitgestellt und im Prozess der phonologischen Encodierung (erneut) geordnet und zu Silben verbunden. Diese aktivieren die zugehörigen artikulatorischen Silbenpakete, die als motorische Ausführungs-„Befehle" an die Artikulatoren gehen, zur Erzeugung der hörbaren Laute. Differenziert wird dieser Prozess noch durch den jeweiligen Hörerbezug.

9.7 Sprachentwicklung

Säuglinge haben zunächst noch keine Sprache, wohl aber eine genetische Prädisposition. Die erste sprachliche Entwicklung beginnt bei Kindern schon vor der Geburt, wo sie bereits in der Gebärmutter die Prosodie (Satzmelodie) der Umgebungssprache abspeichern. Die Entwicklung schreitet dann nach der Geburt erstaunlich schnell voran. Sie beginnt auf der Ebene der Phoneme, geht dann über auf die Ebene der Wörter und Morpheme und mündet in die Ebene der Syntax und Satzeinheiten. Säuglinge kommen offenbar bereits mit der Fähigkeit auf die Welt, zwischen allen Lauten zu unterscheiden, die in irgendwelchen Sprachen verschiedenen Phonemen und Phonemkategorien entsprechen können, und das nicht nur in der Sprache, in deren Umfeld sie aufwachsen, d. h., Babys können in dieser ersten Phase auch Phoneme unterscheiden, die in ihrer Muttersprache gar nicht vorkommen.

Das ändert sich aber bereits nach den ersten sechs Monaten, in denen sie wahrnehmen (lernen), welche Phoneme in ihrer eigenen Sprache nicht relevant sind. Sie verlieren (verlernen) damit die Fähigkeit, Laute zu unterscheiden, die hier in die gleiche Phonemklasse gehören (Grimm und Weinert 2002). Oder anders gesagt, sie verlieren die Unterscheidungsfähigkeit für Unterschiede, die ihnen beim Verstehen und Produzieren der aktuellen Sprache nichts nützen (► Exkurs 9.18).

In dieser entwicklungsmäßig vorgesehenen frühen phonologischen Organisation (in Form einer sensiblen Phase), mit der schon Säuglinge eine ausgeprägte Präferenz für die Sprache entwickeln, in der sie aufwachsen, wird eine wichtige Voraussetzung für den weiteren Spracherwerb gesehen (Überblick bei Clark 2003).

Nach jahrelangen Diskussionen, angefangen bei Skinner (1938; 1971), ob und inwieweit Sprache angeboren oder erlernt sei, ist heute recht klar, dass die Fähigkeit zum Spracherwerb genetisch veranlagt ist, dann aber durch den jeweiligen Sprachkontakt in spezifischer Weise ausgebildet (gelernt) wird (Abb. 9.12).

Schwer zu belegen ist, wie einige Sprachforscher annehmen (Chomsky 1959), dass Säuglinge schon mit einer Art „Universalgrammatik" ausgestattet sind. Dagegen wird von anderen Sprachforschern der Einfluss der sozialen und sprachlichen Umwelt betont. Dies wird besonders deutlich beim gleichzeitigen Erwerb zweier Sprachen (Bilingualismus; ► Abschn. 9.7.2).

Während Kinder ihre Sprachfähigkeit bereits im ersten Lebensjahr dahingehend modulieren, zu lernen, welche Phoneme für sie relevant sind, benötigen sie danach mehrere Jahre, um zu lernen, wie Phoneme beim Sprechen richtig zu Wörtern und dann zu Sätzen zusammengefügt werden.

9.7.1 Stufen des Spracherwerbs

In der Regel beginnen Kinder mit etwa einem Jahr zu sprechen, heißt es, doch die Variabilität ist hoch. Kinder entwickeln sich auch sprachlich sehr unterschiedlich früh und unterschiedlich schnell. Diese Unterschiede sind auch bei normaler Sprachentwicklung enorm (Überblick z. B. bei Curtin und Werker 2007). Insofern sind auch die folgenden (in der Literatur auch unterschiedlichen) Zeitangaben nur mit großen Streuungen behaftet zu verstehen.

Erstes Lallstadium

Das erste Lallstadium (*babbling stage*) beginnt im Alter von drei bis vier Monaten. Säuglinge bringen spontan verschiedene Laute hervor, wie /a/, /gu/, die weder Nachahmungen unserer Erwachsenensprache darstellen, noch einer bestimmten Sprache zuzuordnen sind. So kann ein Zuhörer danach nicht herausfinden, ob es sich vielleicht um ein englisches, französisches oder äthiopisches Kind handelt.

Zweites Lallstadium

Das zweite Lallstadium beginnt ab etwa dem sechsten Monat. Hier werden nach und nach erste Silben gebildet wie *da-da*, *na-na* oder auch *ma-ma*, die z. B. durch einfaches Öffnen und Schließen der Lippen oder durch Zungenanstöße (*ta-ta*) gebildet werden (reduplizierendes Lallen). In Rhythmus und Tonfall

Exkurs 9.18

Genauer betrachtet: Unterscheidbarkeit von Phonemen wird verlernt

Die genannten Feststellungen beruhen auf Experimenten, in denen Säuglingen nacheinander Laute wie *ba*, *ba*, *ba*, *pa*, *ba* dargeboten wurden, während sie an einem Schnuller saugten. Infolge der angeborenen Orientierungsreaktion (s. ▶ Abschn. 5.1.7 und Exkurs 5.15) saugen die Babys auf einen neuartigen Reiz (z. B. *pa*) hin mehr und intensiver als nach einem vertrauten Reiz. Man kann daher an der Saugfrequenz unterscheiden, ob zwei aufeinanderfolgende Reize als gleich oder verschieden wahrgenommen werden. So erhöhen bis etwa sechs Monate alte Kinder ihre Saugrate, wenn die aufeinanderfolgenden Laute in beliebigen Sprachen zu verschiedenen Phonemen gehören. Diese Fähigkeit zur Diskrimination von auch nicht muttersprachlichen Phonemen verschwindet aber bis etwa zum achten bis zehnten Monat. Bei Untersuchungen zu diesem Zeitpunkt, reagierten die Säuglinge nur dann, wenn die aufeinanderfolgenden Laute Phonemen der eigenen Muttersprache angehören (Werker und Tees 1984). Nach Untersuchungen von Eimas (1985) kann ein japanisches Kind mit sechs Monaten noch /l/ und /r/ unterscheiden. Es verliert diese Fähigkeit aber bis gegen Ende des ersten Lebensjahres. So können erwachsene Japaner (wenn sie nicht darauf geschult sind) diese Unterschiede beim Sprechen von /l/ und /r/ nicht wahrnehmen. – Eine Herausforderung für den japanischen Touristen, wenn ihm gesagt wird: Das Museum liegt „just behind the next light". – Was denn nun? Nach der nächsten Abbiegung rechts oder kurz hinter der nächsten Ampel? (Myers 2008) (mehr zum Lallstadium international mit Link in *Zusatztexte online*).

ähneln diese Lautbildungen zunehmend der Umgebungssprache. Und etwa im Alter von zehn Monaten kann ein geübtes Ohr die Umgebungssprache (Muttersprache) heraushören (de Boysson-Bardies et al. 1989). Nicht muttersprachliche Phoneme verschwinden allmählich, ebenso wie die Fähigkeit, diese Laute zu unterscheiden (▶ Exkurs 9.18).

Wenn Kinder andere Sprachen nicht zu hören bekommen, werden sie funktionstaub gegenüber den Lauten, die in ihrer Muttersprache nicht vorkommen (Pallier et al. 2001).

Gleichzeitig können Mundbewegungen nun zunehmend bewusst gesteuert und z. B. sinnvolle Doppelsilben wie *ma-ma* formuliert werden. In dieser Phase lernen Kinder auch unterschiedlich schnell, sinnvolle von sinnlosen Silbenkombinationen zu unterscheiden. Damit erwerben sie zu dieser Zeit, im Alter von acht bis zehn Monaten, auch ihr erstes kontextgebundenes Wortverständnis, was auch als Beginn des *Erwerbs lexikalischen Wissens* verstanden wird. Sie lernen, wie oben dargelegt, (1) welche Laute zur Muttersprache gehören und (2) die Bedeutung muttersprachlicher Wörter.

Damit lernen sie auch, bedeutungstragende von für sie nicht bedeutungstragenden Wörtern fremder Sprachen zu unterscheiden. (Sie lernen, welche Laute in ihrer Sprache bedeutungsunterscheidend sind.)

Einwortstadium

Etwa mit einem Jahr beginnen Kinder einzelne Wörter zu sprechen. Dieses Einwortstadium (*one-word stage*) umfasst etwa das zweite Lebensjahr. Unterschiedlich ab etwa dem zehnten Monat können Kinder damit beginnen, selbst Wörter und Laute zu produzieren, die mit Bedeutung verbunden sind. Sie verfügen in diesem Alter bereits über Konzepte vieler Dinge des näheren Familienlebens (Vater, Mutter, Haustiere, Spielzeug). Ihre ersten Wörter sind zumeist einsilbig und vielleicht kaum zu erkennen (wie: *ma*, *pa*, *da*). Einzelne Wörter wie: *wauwau* können dabei auch einen ganzen Satz bedeuten: „Sieh mal den Hund da drüben" oder „Der Hund ist gefährlich", was von der Gebärdensprache unterstützt werden kann. Der rezeptive Wortschatz beträgt jetzt schätzungsweise um die 60 Wörter.

Weiter kann es vorkommen, dass Kinder durchaus schon über mehr Konzepte verfügen, als ihnen Wörter zur Verfügung stehen, was sich darin äußert, dass sie gleiche Wörter auch auf benachbarte Konzepte anwenden (sog. Überdehnung). So kann das Wort *Wauwau* zwischenzeitlich auch zur Bezeichnung für Katzen oder Kühe verwendet werden, bis sich diese Lücken zwischen Konzepten und Wörtern schließen (Clark 1983). Bewiesen ist diese Annahme jedoch nicht.

Zweiwortstadium

Dies Stadium (*two-word stage*) beginnt etwa im Alter von zwei Jahren, nachdem etwa mit eineinhalb Jahren eine regelrechte Wortschatzexplosion stattgefunden hat. Nach Schätzungen verfügen Kinder in diesem Alter über einen rezeptiven Wortschatz von 200 Wörtern und einen produktiven Wortschatz von etwa 50 Wörtern. Sie bilden nun zumeist Sätze aus zwei Wörtern. Die Sprache hat nun einen typischen Telegrammstil (*will Saft*, *habe Hunger*, *da Kuh*), wobei bereits die syntaktischen Regeln (Reihenfolge von Subjekt, Verb, Adjektiv) der jeweiligen Sprache eingehalten werden. Das Kind sagt normalerweise z. B. „groß Wauwau" und nicht „Wauwau groß".

Ein klares Dreiwortstadium scheint es nicht zugeben. Kinder gehen von Zweiwortäußerungen schnell zu komplexeren Sätzen über, die zunächst noch Telegrammstil tragen, aber stets den Regeln der Syntaktik genügen. Aus „Papa Ball" wird „Papa Ball holen" und schließlich „Papa soll den Ball holen". Erst in einem weiteren Schritt kommen Konjunktionen wie „und" oder „mit" hinzu. Auch Verben werden nun gebeugt, und der regelmäßige Plural wird gebildet.

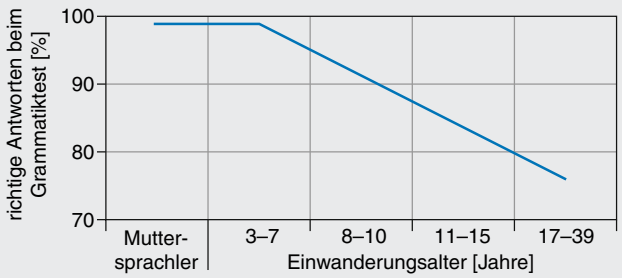
9.7.2 Der Erwerb grammatikalischen Wissens

Der Erwerb grammatikalischen Wissens beginnt mit der Bildung syntaktisch richtiger Zweiwortsätze. Die Verwendung von Funktionswörtern (wie Artikeln, Hilfsverben, Präpositionen) kommt nach und nach hinzu, und mit etwa vier Jahren beherrschen die meisten Kinder die grammatikalischen Grundlagen ihrer Sprache. Es werden komplexere Satzkonstruktionen wie Relativ- und Temporalsätze gebildet, und der Wortschatz wächst parallel dazu ständig. Mit Eintritt in das Grundschulalter können Kinder Wörter in Silben zerlegen, Reime bilden und längere Geschichten (nach-)erzählen. Damit sind sie in der Lage, das Lesen und Schreiben zu erlernen.

Exkurs 9.19

Genauer betrachtet: Das Erlernen neuer Sprachen

Wenn während der Entwicklung die sensible Phase für den Spracherwerb abgeschlossen ist und sich die grammatische Weichenstellung der Erstsprache vollzogen hat, scheint das perfekte Beherrschen einer anderen Grammatik schwieriger zu werden. In einer umfassenden Studie wurden Einwanderer aus asiatischen Ländern zehn Jahre nach Ihrer Einwanderung in die USA einem Grammatiktest unterzogen. Wie ◘ Abb. 9.13 zeigt, beherrschen Kinder, die in einem Alter von weniger als sieben Jahren eingewandert waren, die Grammatik des amerikanischen Englisch ebenso gut wie die Muttersprachler. Bei den in höherem Alter Eingewanderten nahm der Prozentsatz der richtigen Antworten mit dem Einwanderungsalter beträchtlich ab (Johnson und Newport 1991).



◘ **Abb. 9.13** Das Erlernen einer neuen Sprache wird in zunehmendem Alter immer schwieriger

9

Bereits der produktive Erwerb von Wortbedeutung und Grammatik kann durch das sprachliche Umfeld begünstigt werden oder nicht (kritische Perioden; s. unten) durch den verbalen Austausch mit erwachsenen Bezugspersonen (stützende Sprache). Das gilt entsprechend auch für die weitere Sprachentwicklung wie das Erlernen komplexerer Satzstrukturen und die Wortschatzentwicklung (Grimm und Weinert 2002).

Zum Erlernen einer neuen Sprache bei Einwanderern siehe ► Exkurs 9.19.

Kritische Perioden im Spracherwerb

In ► Kap. 3 (Wahrnehmung) haben wir die Existenz und Bedeutung von kritischen Perioden bzw. sensiblen Phasen für die Entwicklung des Sehvermögens kennengelernt, wie sie auch insbesondere für die Prägung von Jungtieren auf ihre jeweilige „Bezugsperson" von Bedeutung sind. Es handelt sich hierbei um eine (zumeist relativ kurze und frühe) Lebensphase innerhalb derer bestimmte Außenreize (eine bestimmte Stimulation) erforderlich sind, um eine artgerechte bzw. normale Weiterentwicklung zu ermöglichen. Dies trifft auch beim Spracherwerb zu.

Kritische Perioden

Kritische Perioden (*critical periods*) sind Zeitabschnitte im Leben eines Individuums, in denen für einen normalen Entwicklungsverlauf bestimmte Ereignisse, zumeist eine bestimmte Stimulation, eintreten müssen.

Beim Erlernen einer Sprache gibt es wie bei anderen genetisch mehr oder weniger weit vorprogrammierten Verhaltensweisen, kritische Phasen:

1. Kinder haben, wie dargelegt, schon bald nach der Geburt die Fähigkeit, Phoneme beliebiger Sprachen gut unterscheiden zu können. Diese Fähigkeit erlischt gegen Ende des ersten Lebensjahres und reduziert sich auf nur die Sprache, mit der sie in dieser Zeit in Kontakt kamen, eben die Muttersprache.

Exkurs 9.20

Genauer betrachtet: Der Fall des Mädchens Genie

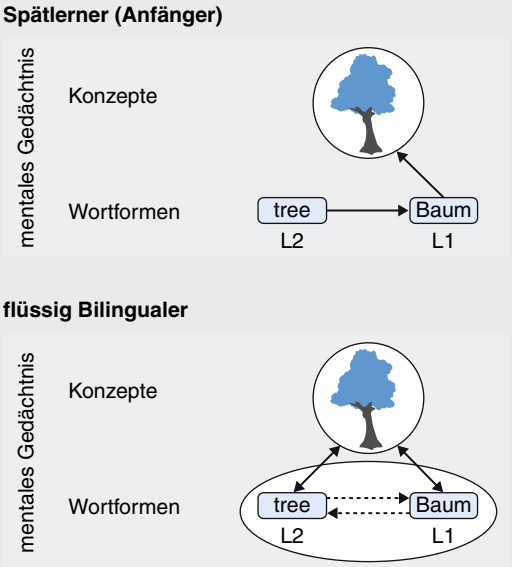
Genie war von ihrer Geburt an bis zu ihrer Entdeckung 1970 im Alter von zwölf Jahren in einem dunklen Raum ohne Kontakt zur Außenwelt gehalten und auf einem Stuhl festgebunden worden. Sie konnte kaum laufen, vor allem aber nicht sprechen, lernte dann aber doch relativ schnell ein recht großes Vokabular und einfachste Syntaxregeln, doch die Prosodie (Satzmelodie, Aussprache) blieb verkümmert. Trotz intensiven Trainings stagnierte der Spracherwerb auf dem Niveau nahezu grammatikfreier Wortreihen. Dagegen erwiesen Tests ihre hohe Intelligenz und Fähigkeit im logischen Denken. Problemlösen und die Kategorisierung von Begriffen waren normal ausgebildet (Curtiss 1977; Rymer 1992a, 1992b).

2. Weiter scheint es eine kritische Periode oder sensible Phase für den Erwerb des Lautsystems einer zweiten Sprache zu geben. So sprechen Kinder, die in jungen Jahren eine Zweitsprache erlernt haben, diese akzentfreier und besser als Personen, die die Zweitsprache erst im Erwachsenenalter gelernt haben (Lenneberg 1972; Snow 1987). Wer erst im Alter eine Zweitsprache lernt, spricht sie in der Regel mit dem Akzent der Muttersprache (vgl. ► Abschn. 9.7.2. und Bilingualismus).
3. Bei Untersuchungen zum Lernen der amerikanischen Gehörlosen-Zeichensprache (ASL) wurde festgestellt, dass Gehörlose, die ASL von Geburt an erlernt hatten, bestimmte syntaktische Aspekte auch nach 30 Jahren noch besser beherrschten als Vergleichsprobanden, deren Spracherwerb mit dem Schuleintritt begann. Und diese wiederum wiesen bessere Leistungen auf als solche Versuchspersonen, die den ASL-Erwerb erst nach dem zwölften Lebensjahr begannen (Meier 1991; Newport 1990). Hierbei spricht man in der Regel allerdings nicht mehr von einer echten kritischen Periode, vielmehr spiegeln diese Ergebnisse die allgemeine Beobachtung wieder, dass sich generell mit zunehmendem Alter in der Jugendzeit die Lernfähigkeit und Plastizität unseres Organismus reduzieren.
4. Um unzureichende adäquate Stimulation handelt es sich auch bei den aus der Literatur bekannten Fällen, in denen Kinder

Exkurs 9.21

Genauer betrachtet: Entwicklung des mentalen Lexikons bei Bilingualen

Es ist bekannt, dass es Unterschiede gibt, in welchem Alter man eine Zweitsprache lernt. Wenn eine Zweitsprache erst spät gelernt wird, werden die neuen Wortformen beim „Vokabellernen" mit den Wortformen der Muttersprache (*first language*, L1) verbunden und treten erst über diese mit den zugehörigen Konzepten in Kontakt. Erst mit zunehmender Beherrschung der Zweitsprache (L2) bilden sich direkte Verbindungen zwischen den neuen Wortformen und den Konzepten (◘ Abb. 9.14). Bei gelungener Zweisprachigkeit erfolgt ein direkter Zugriff auf die Konzepte und von den Konzepten zu den Wortformen der Zweitsprache und nicht über eine Übersetzung von L1 nach L2. Da Bilinguale beide Sprachen gleichzeitig (und zumeist von unterschiedlichen Sprechern) lernen, ist davon auszugehen, dass die Verbindungen zu den Konzepten von beiden Wortformen direkt und parallel zu den Konzepten ausgebildet werden. Dafür spricht auch, dass bei Bilingualen im Gegensatz zu Späterlernenden, beide Sprachen in den gleichen Hirnarealen verarbeitet werden.



◘ **Abb. 9.14 Entwicklung des mentalen Lexikons bei Bilingualen.** *L1* = Erstsprache, Muttersprache, *L2* = Zweitsprache

früh extreme Isolation erfahren haben, wie im bekannten Fall des Mädchens Genie (▶ Exkurs 9.20).

Solche und ähnliche Befunde an Kindern, die ohne Sprache aufwuchsen, lassen erkennen, dass es offenbar auch eine kritische Periode (etwa zwischen 1,5 und zwölf Jahren) für den Grammatikerwerb gibt, der danach auch bei sonst guten kognitiven Voraussetzungen nicht wieder aufgeholt werden kann.

Menschen, die während ihrer ersten Lebensjahre weder mit einer Laut- noch mit einer Gebärdensprache Erfahrung machen, verlieren ihre Fähigkeit, irgendeine Sprache zu beherrschen.

Bilingualismus

Von Bilingualismus spricht man, wenn Kinder in den ersten beiden Lebensjahren in einer Umgebung aufwachsen, in der zwei verschiedene Sprachen gleichberechtigt gesprochen werden (z. B. unterschiedliche Muttersprachen beider Elternteile). Beim sog. Zweitspracherwerb erfolgt das Erlernen einer zweiten Sprache dagegen erst später. Kinder die zweisprachig (bilingual) aufwachsen, zeigen bisweilen zunächst eine gewisse Verzögerung im Spracherwerb, die jedoch bald aufgeholt wird. Diese bilingualen Kinder sind dann ihren monolingualen Altersgenossen hinsichtlich ihrer sprachlichen und kognitiven Fähigkeiten sogar überlegen (Weinert 2006), auch im Erlernen weiterer Fremdsprachen.

Es ist anzunehmen, dass beim gleichzeitigen Erwerb zweier Sprachen das mentale Lexikon in Teilen zweifach angelegt wird. Wenngleich auch Bilinguale nur *ein* konzeptuelles Gedächtnis besitzen, in welchem ihr Wissen gespeichert ist, das versprachlicht werden kann, werden jedoch offenbar separate *Wortformspeicher* für jede Sprache angelegt (Gollan und Kroll 2001). So haben unterschiedliche Sprachen ganz verschiedene Wortformen für das gleiche Konzept: *Baum*, *tree* (engl.), *arbre* (franz.), *albero* (ital.), wofür offenbar zwei getrennte mentale Lexika (teilweise überlappende Hirnareale) angelegt werden (▶ Exkurs 9.21).

Neurowissenschaftlich ist hier bemerkenswert, wie Untersuchungen mit sog. bildgebenden Verfahren (▶ Exkurs 10.4) gezeigt haben, dass bei Bilingualen beide Sprachen in den gleichen Hirnarealen verarbeitet werden. Bei Probanden dagegen, die eine Zweitsprache erst später erlernt haben (und entsprechend nicht vollständig beherrschen) zeigen sich unterschiedliche Aktivitätsmuster beim Hören (Sprachwahrnehmung) der Muttersprache und der Zweitsprache, nicht aber bei der Sprachproduktion (Herrmann und Fiebach 2005). Vermutlich konkurrieren Wortformen beider Sprachen miteinander, wenn die Zweitsprache nur unvollständig beherrscht wird.

Die Sprachentwicklung beginnt auf der Ebene der Sprachmelodie und der Phoneme. Säuglinge kommen bereits mit der Fähigkeit, Phoneme zu unterscheiden, auf die Welt. Nach diesem ersten Schritt, dem Erwerb phonologischen Wissens der Muttersprache, werden anschließend lexikalisches und grammatikalisches Wissen

erworben. Kontrovers diskutiert wird die Annahme von Sprachforschern wie Chomsky, dass Säuglinge bereits mit einer grundlegenden Universalgrammatik ausgestattet seien, die dann hinsichtlich einiger syntaktischer Merkmale nur an die jeweilige spezifische Muttersprache angepasst werden müsse. In der Sprachentwicklung werden zwei verschiedene Lallphasen unterschieden, ferner das Einwort- und das Zweiwortstadium. Eine erste kritische Periode, in der die Unterscheidung von Phonemen festgelegt wird, fällt in die erste Lallphase. Wie Untersuchungen unter Sprachdeprivation zeigten, gibt es weitere kritische Phasen für den Erwerb bestimmter Elemente der Sprache, insbesondere der Syntax. Die Entwicklung der Sprachwahrnehmung geht der Sprachproduktion voraus. Die Fähigkeit, Phoneme zu unterscheiden, wird auf die Muttersprache eingegrenzt. Kleinkinder verstehen viele Wörter, bevor sie diese sprechen können. Dies gilt auch für morphologisches und syntaktisches Wissen. Bilingual aufwachsende Kinder können zwischenzeitlich Verzögerungen im Spracherwerb aufweisen, sind dann aber ihren Altersgenossen sowohl in sprachlichen und kognitiven Fähigkeiten als auch im Lernen einer weiteren Fremdsprache überlegen. Bei Bilingualen können beide Sprachen in gleichen Hirnarealen verarbeitet werden, was offenbar beim späteren und unvollständigen Erlernen einer Zweitsprache nicht der Fall ist.

Kritisch hinterfragt

Die Sprachpsychologie oder Psycholinguistik ist noch ein relativ junges Forschungsfeld der Allgemeinen Psychologie. Es hat seine Wurzeln in der reinen Linguistik sowie in den klassischen Informationsverarbeitungsansätzen der Psychologie und befasst sich mit Fragen, die weit in die neueren Kognitionswissenschaften hinein reichen. Wenngleich sich unser Wissen über das Sprachproduzieren, Sprachverstehen oder die Sprachentwicklung seither wesentlich erweitert hat, bleibt vieles noch im Unklaren. So ist es nicht verwunderlich, dass es auch zu vielen der Grundfragestellungen, wie dem Worterkennen oder der Satz- und Textverarbeitung, jeweils mehrere unterschiedliche Modelle oder Erklärungstheorien gibt, deren Erklärungswert jedoch noch immer unklar oder umstritten ist. Oder: „Wie wir welche Informationen aus dem kontinuierlichen Sprachfluss aufnehmen, um auf gespeicherte Repräsentationen zurückgreifen und gesprochene Wörter voneinander trennen und erkennen zu können, bleibt rätselhaft“ (Zwitserlood und Bölte 2008). Unzweifelhaft ist, dass Sprache in enger Weise mit unserem Denken und unseren weiteren kognitiven Fähigkeiten verbunden ist, doch ungeklärt ist weiterhin auch hier, ob es sich dabei um eine eigenständige Fähigkeit handelt, die sich von anderen nichtsprachlichen Fähigkeiten unterscheidet.

Zusammenfassung

Sprache ist eng verknüpft mit unserer Fähigkeit, komplexe Gedanken, Ideen und Vorstellungen auszubilden, zu kommunizieren und zu reflektieren oder auch Emotionen auszudrücken.

Sprache kann aus gesprochenen Lauten oder geschriebenen Schriftzeichen bestehen oder auch durch Mimik und Gestik übermittelt werden.

Sowohl beim *Sprachverstehen* als auch bei der *Sprachproduktion* lassen sich in gleicher Weise drei *verschiedene Ebenen* unterscheiden: Gedanken-, Satz- und Wörterebene.

Als *Grundeinheiten der Sprache* gelten: Phoneme, Morpheme, Phrasen und Propositionen. Ihr Aufbau und Zusammenhang ist durch Regeln der Grammatik festgelegt. Dazu gehören: Phonologie, Morphologie und Syntax. Die *Semantik* bezeichnet die Gesamtheit aller Regeln.

Bei der *Erkennung von Wörtern* gibt es das Segmentierungs- und das Variabilitätsproblem; dazu den McGurk-Effekt.

Der Worterkennungsprozess wird in der Psycholinguistik häufig in drei Teilprozesse unterteilt: (1) Lexikalischer Zugriff, (2) Lexikale Auswahl (3) Integration der Wortbedeutung in den Kontext. Zum Verlauf der Worterkennung werden drei theoretische Modelle vorgestellt.

Bei den Theorien zur *auditiven Worterkennung* handelt es sich zumeist um interaktive Modelle. Sie unterscheiden sich nun in ihrer Annahme danach, ob der Abruf aus dem mentalen Gedächtnis parallel oder seriell erfolgt. Letztere Annahme war aber nicht haltbar.

Beim *TRACE-Modell,* einem interaktiven Aktivations- und Netzwerkmodell der Worterkennung wird angenommen, dass bei der Worterkennung des gesprochenen/gehörten Wortes Bottom-up- und Top-down-Prozesse gleichzeitig und flexibel interagieren, d. h., dass alle zugängigen Informationen gleichzeitig genutzt werden.

Die *Kohortenmodelle* erfordern im Gegensatz zum TRACE-odell eine genauere Übereinstimmung von Sprachsignal und lexikalischer Repräsentation, wofür bestimmte Grundannahmen gemacht werden, u. A., dass beim Hören initiale Wort-Kohorten gebildet werden, durch die alle anders beginnenden Wörter schon ausgeschieden werden. Dazu wird auch bei diesen Modellen angenommen, dass alle eingehenden Informationen (lexikalische, syntaktische, semantische) parallel verarbeitet werden, aber dass eine top-down Beeinflussung der Kohorte durch Information höherer Ebene (semantischer Kontext) erst auf einem späteren Stadium der Worterkennung erfolgt.

Mittlerweile gibt es viel Evidenz dafür, dass Wörter aktiviert werden, *bevor* eine Kohorte gebildet wird. Das geschieht aber nur dann, wenn der Kontext das Wort sehr vorhersagbar macht.

Auch bei den Modellen zur *visuellen Worterkennung* findet sich die Unterteilung in lexikalischen Zugriff, Selektion und Integration in den Kontext.

Die auffälligsten Unterschiede liegen aber in der Informationseingabe, bei der u. A. die ganze Wortinformation gleichzeitig „auf einen Blick“ ersichtlich ist.

Bei dem *Dual-route-Modell* werden grundsätzlich zwei Wege, Pfade, angenommen, die vom gedruckten Wort zum mentalen Lexikon und auch weiter bis zum Aussprechen (Lautlesen) führen: ein direkter und ein indirekter Pfad, bei welchem die Grapheme zunächst in Phoneme übersetzt werden.

Bei der *Satzverarbeitung* und dem *Satzverstehen* werden strukturell-syntaktisches Wissen (mit Phrasenstrukturregeln), semantisches Wissen und pragmatisches Wissen benötigt. Zur Erklärung werden zwei Modelle der Satzverarbeitung besprochen.

Nach dem *Garden-Path-Modell* (einem der einflussreichsten Erklärungsmodelle) verläuft sie Satzverarbeitung nach einer seriellen und modularen Verarbeitungsstrategie. Beginnend mit dem Strukturaufbau wird jedes weitere Wort sofort in die schon bestehende Struktur integriert, ohne eine erst später erfolgende Bedeutungsanalyse.

Die *Constraint-based Modelle* verarbeiten dagegen von Anfang an alle verfügbaren Informationsquellen zur Entschlüsselung der syntaktischen Satzstruktur (parallele Verarbeitung).

In welchem Ausmaß, und ob überhaupt, mehrere Analysen gleichzeitig bearbeitet werden können, ist bis heute umstritten, ebenso, ob die Analyseprozesse auf einer oder mehreren Ebenen (z. B. Syntax und Semantik) ablaufen und ob und inwieweit sie sich dabei gegenseitig beeinflussen.

Aufbauend auf dem Garden-Path-Modell wurde ein *neurokognitives Stufenmodell* des Satzverstehens entwickelt, das verschiedene Teilergebnisse der neueren neuropsychologischen Forschung zusammenfasst. Die bei den Untersuchungen zum Satzverstehen gleichzeitig abgeleiteten Hirnströme im EKP und fMRT-Aufzeichnungen sprechen u. A. dafür, dass der Satzverarbeitungsprozess unmittelbaren Gebrauch von allen relevanten Informationen macht, wie es von den Constraint-*based*-Modellen angenommen wird.

Bei der *Textverarbeitung* wird unterschieden zwischen der (1) textgesteuerten (bottom-up), und der (2) rezipientengesteuerten (top-down) Verarbeitung. Bedeutsam sind ferner *mentale Modelle* und bildhafte Vorstellungen.

Die der *Wortproduktion und Sprachproduktion* zugrunde liegenden Prozesse ähneln denen des Sprachverstehens. Sie verlaufen jedoch in umgekehrter Richtung, vom gedanklichen Konzept zur Wortform und der sprachlichen Äußerung. Die gängigen, auf das WEAVER++-Konzept zurückgreifenden Modelle gehen davon aus, dass sich drei globale Funktionsstufen bzw. Ebenen unterscheiden lassen: Konzeptualisierung, Formulierung, Artikulierung. Hinzu kommt der Hörerbezug.

Bei der *Sprachentwicklung*, werden vier Stufen des Spracherwerbs unterschieden: erstes und zweites Lallstadium, Einwort- und Zweiwortstadium. Wichtig beim Erwerb grammatikalischen Wissens sind die kritischen Perioden, die auch beim Bilingualismus von Bedeutung sind, bei dem offenbar parallel zwei Wortformspeicher angelegt werden.

Antworten auf die Einführungsfragen

1. Werden Versuchspersonen im Anschluss an die Wahrnehmung einer sprachlichen Aussage aufgefordert, auf die Vorgabe eines in dieser Aussage enthaltenen Wortes mit der Nennung des direkt darauffolgenden Wortes zu reagieren, so fällt dies leichter, wenn beide Wörter Teil derselben Phrase sind, als wenn sie verschiedenen Phrasen angehören.
2. Es kommt zur kategorialen Wahrnehmung: Sprachlaute eines Phonems werden trotz vergleichsweise starker Variation ihrer physikalischen Merkmale (z. B. Vokaleinsatzzeit) als Angehörige desselben Phonems wahrgenommen; bei Reizen, die auf verschiedenen Seiten einer Phonemgrenze liegen, kommt es dagegen auch bei geringem physikalischen Unterschied zu klaren Zuordnungen zu den unterschiedlichen Phonemen.
3. Untersuchungen, in denen simultan zum Hören sprachlicher Aussagen eine lexikalische Entscheidungsaufgabe durchzuführen war, deuten darauf hin, dass auch die Repräsentationen kontextinadäquater Bedeutungen kurzzeitig aktiviert werden: Direkt nach der Darbietung des ambigen Wortes finden sich in der lexikalischen Entscheidungsaufgabe semantische Primingeffekte für Wörter, die mit den verschiedenen Bedeutungen im Zusammenhang stehen. Nach einem kurzen Zeitintervall erfolgt dies nur noch für die dem aktuellen Kontext entsprechende Bedeutung.
4. Nach Zwei-Prozesspfad-Ansätzen (*dual-route models*) ergeben sich die unterschiedlichen Störungsbilder aus dem Vorhandensein zweier weitgehend getrennter Verarbeitungsrouten. Während eine Route eine Übersetzung von Graphemen zu Phonemen anhand der jeweiligen Zuordnungsregeln der Sprache ermöglicht – und somit das Lesen von regulär geschriebenen Wörter sowie von aus regelkonformen Buchstabenfolgen bestehenden Nichtwörtern –, erfolgt über die andere Route ein direkter Zugriff auf die im Langzeitgedächtnis gespeicherten Repräsentationen bekannter Wörter (auch mit unregelmäßiger Schreibweise) anhand des wahrgenommenen Schriftbildes.
5. Diverse Befunde – z. B. das Holzwegphänomen – deuten darauf hin, dass das Satzverständnis in inkrementeller und antizipatorischer Weise erfolgt. Das heißt, dass die Interpretation hinsichtlich einer bestimmten Bedeutung nicht bis zu dem Zeitpunkt, an dem eine eindeutige Entscheidung möglich ist, aufgeschoben wird, sondern, dass bereits im Laufe der Verarbeitung eine Interpretation anhand der bis dato aufgenommenen Informationen vorgenommen wird.

Fragen zur Wiederholung und Denkanstöße

1. Welches sind die gegensätzlichen Standpunkte bei der Erklärung des Zusammenhanges zwischen Sprache und Denken?
2. Erklären Sie den Unterschied zwischen Phonem und Morphem.
3. Was wird unter einem Konzept, was unter einer Proposition verstanden und wie stehen sie miteinander in Verbindung?
4. Was versteht man unter Oberflächenstruktur und Tiefenstrukturen eines Satzes?
5. Welche Untersuchungsergebnisse sprechen dafür, dass Phrasen als selbständige Einheiten im Gedächtnis fungieren?
6. Was besagen die Phrasenstrukturregeln einer Sprache?
7. Was besagt die Garden-Path-Theorie?
8. Was versteht man unter dem Segmentierungsproblem?
9. Was wird im mentalen Lexikon gespeichert?
10. Wie unterscheiden sich bei der auditiven Worterkennung die Vorgehensweisen interaktiver Netzwerkmodelle von sog. Kohortenmodellen?
11. Welche Erklärungsmodelle zur Satzverarbeitung kennen Sie und worin unterscheiden sie sich?
12. Was versteht man unter lexikalischem Wissen, und was unter konzeptuellem Gedächtnis?
13. Welche Rolle spielen mentale Modelle beim Textverstehen?
14. Erklären Sie den Prozess der Sprachproduktion beginnend von der Konzeptualisierung zur Artikulierung.
15. Schildern Sie die verschiedenen Stufen des Spracherwerbs.

Literatur

Aitchison, J. (1994). *Words in the mind. An introduction to the mental lexicon*. Oxford, UK: Blackwell.

Anderson, J. R. (1996). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Atkinson, R. L., Atkinson, R. C., Hilgard, E. R. et al. (1953[1]/ 1983,8 /2000[13]). *(Hilgard's) Introduction to Psychology.* New York, San Diego, Chicago, San Francisco, Atlanta: Harcourt Brace Jovanovich, Inc. (deutsch 2001, *Hilgards Einführung in die Psychologie.* Spektrum: Akademischer Verlag).

Atkinson, & Hilgard's, & , Nolen-Hoeksema, S., Fredrickson, B.L., Loftus, G.R., & Lutz, C. (Hrsg.). (2014). *Introduction to Psychology*. Hampshire: Cengage Learning EMEA.

Atkinson, R. L., Atkinson, R. C., Smith, E. E., Bern, D. J., & Nolen-Hoeksema, S. (2001). *Hilgards Einführung in die Psychologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

van Berkum, J. J. A., Brown, C. M., Zwitserlood, P., Kooijman, V., & Hagoort, P. (2005). Anticipating upcoming words in discourse: Evidence from ERPs and reading times. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *32*, 443–467.

de Boysson-Bardies, B., Halle, P., Sagart, L., & Durand, C. (1989). A cross linguistic investigation of vowel formats in babbling. *Journal of Child Language*, *16*, 1–17.

Chomsky, N. (1959). A review of B. F. Skinner's verbal behavior. *Language*, *35*, 26–58.

Chomsky, N. (1965). Aspects of the theory of syntax. Cambridge, MA: MIT Press

Chomsky, N. (1972). *Aspekte der Syntax-Theorie*. Frankfurt/M.: Suhrkamp. Original: 1965. Aspects of the theory of syntax. Cambridge, MA: MIT Press

Chrystal, D. (1987). *The Cambridge Encyclopaedia of Language*. Cambridge, UK: University Press.

Clark, E. V. (1983). Meanings and concepts. In P. H. Mussen (Hrsg.), *Handbook of child Psychology* Bd. 3 New York: Wiley.

Clark, E. V. (2003). *First language acquisition*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Clark, H. H. (1984). Language use and language users. In G. Lindzey & E. Aronson (Hrsg.), *The handbook of social Psychology* Bd. 2 New York: Harper & Row.

Clark, H. H. (1996). *Using language*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Coltheart, M. (1978). Lexical access in simple reading tasks. In G. Underwood (Hrsg.), *Strategies of information processing* (S. 151–216). London: Academic Press.

Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). The DRC Model: A model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, *108*, 204–258.

Cuetos, F., & Mitchell, D. (1988). Cross linguistic differences in parsing. Restrictions of the issue of the late closure strategy in Spanish. *Cognition*, *30*, 73–105.

Curtin, S., & Werker, J. F. (2007). The perceptual foundations of phonological development. In G. Gaskel (Hrsg.), *The Oxford Handbook of Psycholinguistics* (S. 579–600). Oxford, UK: Oxford University Press.

Curtiss, S. (1977). *Genie: A psycholinguistic study of a modern-day "wild child"*. New York: Academic Press.

Dell, G. S., Chang, F., & Griffin, Z. (1999). Connectionist models of language production: lexical access and grammatical encoding. *Cognitive Science*, *23*, 517–542.

Eimas, P. D. (1985). The perception of speech in early infancy. *Scientific American*, *252*, 46–52.

Eysenck, M. W., & Keane, M. T. (2010). *Cognitive Psychology* (6. Aufl.). Hove: Psychology Press.

Flores d'Arcais, G. B. (1987). Syntactic processing, during reading for comprehension. In M. Coltheart (Hrsg.), *Attention and performance XII: The psychology of reading* (S. 619–633). Hove: Erlbaum.

Frazier, L., & Rayner, K. (1982). Making and correcting errors during sentence comprehension: Eye movements in the analysis of structurally ambiguous sentences. *Cognitive Psychology*, *14*, 178–129.

Frazier, L. (1999). *On sentence interpretation*. Dordrecht: Kluwer.

Freud, S. (1956). *Zur Psychopathologie des Alltagslebens*. Frankfurt/M.: Fischer.

Freud, S. (1901/1960). The psychopathology of everyday life. In the standard edition of the complete psychological works of Sigmund Freud. Vol. 6. London: Hogard.

Friederici, A. D. (1995). The time course of syntactic activation during language processing: A model based on neuropsychological and neurophysiological data. *Brain and language*, *50*, 259–281.

Friederici, A. D. (1999). The neurobiology of language processing. In A. D. Friderici (Hrsg.), *Language comprehension: A biological perspective* (S. 265–304). Berlin: Springer.

Fromkin, V. A. (1971). The non anomalous nature of anomalous utterances. *Language*, *47*, 27–52.

Fromkin, V., & Rodman, R. (1983). *An Introduction to Language* (3. Aufl.). New York: Holt, Rinehard & Winston.

Ganong, W. F. (1980). Phonetic kategorization in auditory word perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *6*, 19–115.

Garrett, M. F. (1990). Sentence processing. In D. N. Osherson & H. Lasnik (Hrsg.), *An invitation to cognitive science. Language* Bd. 1 Cambridge, MA: MIT Press.

Glenberg, A. M., Mayer, M., & Lindem, K. (1987). Mental models contribute to forgrounding during textcomprehension. *Journal of Memory and Language*, *26*, 69–83.

Gollan, T. H., & Kroll, J. F. (2001). Bilingual lexical access. In B. Rap (Hrsg.), *The handbook of cognitive neuropsychology. What deficits reveal about the human mind* (S. 321–345). Philadelphia: Psychology press.

Green, K. P., Kuhl, P. K., Meltzoff, A. N., & Stevens, E. B. (1991). Integrating speech information across talkers, gender and sensory modality: Female faces and male voices in the McGurk effect. *Perception & Psychophysics*, *50*, 524–536.

Grice, H. P. (1979). Logik und Konversation. In G. Meggle (Hrsg.), *Handlung, Kommunikation, Bedeutung* (S. 243–265). Frankfurt/M.: Suhrkamp.

Grimm, H., & Weinert, S. (2002). Sprachentwicklung. In R. Oerter & L. Montada (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie ein Lehrbuch* (5. Aufl. S. 517–559). Weinheim: Beltz. PVU.

Hagoort, P. (2003). Interplay between Syntax and Semantics during Sentence Comprehension: ERP Effects of Combining Syntactic and Semantic Violations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *15*(6), 883–899.

Hagoort, P., Hald, H., Bastiaansen, M., & Peterson, K. M. (2004). Integration of word meaning and world knowledge in language comprehension. *Science*, *304*, 438–441.

Hagoort, P., Hald, I., Bastiaansen, M., & Peterson, K. M. (2004). Integration of word meaning and word knowledge in language comprehension. *Science*, *104*, 438–441.

Harley, T. A. (2008). *The psychology of language. From data to theory* (3. Aufl.). Hove: Psychology Press.

Hemforth, B., & Konieczny, L. (2008). Sätze und Texte verstehen und produzieren. In J. Müsseler (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie*. Heidelberg: Spektrum / Springer.

Herrmann, C., & Fiebach, C. (2005). *Gehirn und Sprache*. Frankfurt/M.: Fischer.

Hörman, H. (1983). *Was tun die Wörter miteinander im Satz*. Göttingen: Verlag für Psychologie.

Irmen, L. (2006). Satzverstehen. In J. Funke & P. Frensch (Hrsg.), *Handbuch der Allgemeinen Psychologie, Kognition* (S. 601–611). Göttingen: Hogrefe.

Johnson, J. S., & Newport, E. L. (1991). Critical period effects on universal properties of language. The status of subjacency in the acquisition of second language. *Cognition*, *39*, 215–258.

Kamp, H., & Partee, B. H. (1995). Prototype theory and compositionality. *Cognition*, *57*, 129–191.

Keller, T. A., Carpenter, P. A., & Just, M. A. (2001). The natural basis of sentence comprehension: A fRMI examination of syntactic and lexical processing. *Cerebral Cortex*, *11*, 223–237.

Konieczny, L., Hemforth, B., Scheepers, C., & Stube, G. (1997). The role of lexical heads in parsing: Evidence from German. *Language and Cognitive Processes*, *12*, 307–348.

Lenneberg, E. H. (1972). *Biologische Grundlagen der Sprache*. Frankfurt/M.: Suhrkamp. Original: 1967, Biological foundations of language. New York: Wiley

Leuninger, H. (1993). *Reden ist Schweigen, Silber ist Gold. Gesammelte Versprecher*. Zürich: Ammann.

Levelt, W. J. M. (1989). *Speaking. From intention to articulation*. Cambridge, MA: MIT Press.

Levelt, W. J. M., Praamstra, P., Meyer, A. S., Helenius, P., & Salmelin, R. (1998). A MEG Study of picture naming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *10*, 553–567.

Levelt, W. J. M., Roelofs, A., & Meyer, A. S. (1999). A theory of lexical access in speech production. *Behavioral and Brain Sciences*, *22*, 1–75.

Liberman, A. M., Harris, K. S., Hoffman, H. S., & Griffith, B. C. (1957). The discrimination of speech sounds within and across phoneme boundaries. *Journal of Experimental Psychology*, *54*, 358–368.

MacDonald, M. C., & Christiansen, M. H. (2002). Reassessing working memory. A comment on Just & Carpenter (1992) and Waters & Caplan (1996).*Psyhological Review*, *109*, 35–54.

MacDonald, M. C., Pearlmutter, N. J., & Seidenberg, M. S. (1994). Lexical natur of syntactic ambiguity resolution. *Psyhological Review*, *101*, 676–703.

Mani, K., & Johnson-Laird, P. N. (1982). The mental representation of spatial descriptions. *Memory and Cognition*, *10*, 181–187.

Marslen-Wilson, W. D. (1993). Issues of process and presentation in lexical access. In G. Altmann & R. Shillcock (Hrsg.), *Cognitive models of speech processing. The second Sperlonga meating* (S. 187–210). Hove: Erlbaum.

Marslen-Wilson, W. D., & Tyler, L. K. (1980). The temporal structure of spoken language comprehension. *Cognition*, *6*, 1–71.

McClelland, J. L. (1991). Stochastic interactive processes and the effect of context on perception. *Cognitive Psychology*, *23*, 1–44.

McClelland, J. L., & Elman, J. L. (1986). The TRACE model of speech perception. *Cognitive Psychology*, *18*, 1–86.

McClelland, J. L., & Rummelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects on letter perception. Part 1. An account of basic findings. *Psychological Review*, *88*, 375–407.

McGurk, H., & MacDonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature*, *264*, 746–748.

Meier, R. P. (1991). Language acquisition by deaf children. *American Scientist*, *79*, 60–76.

Mirman, D., McClelland, J. L., Holt, L. L., & Magnuson, J. S. (2008). Effects of attention on the strength of lexical influence on speech perception. *Cognitive Science*, *32*, 398–417.

Mitchell, D. (1994). Sentence parsing. In M. A. Gernsbacher (Hrsg.), *Handbook of Psycholinguistics* (S. 375–409). New York: Academic Press.

Müller, O., & Hagoort, P. (2006). Access to Lexical Information in Language Comprehension: Semantics before Syntax. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *18*(1), 84–96.

Myers, D. G. (2008). *Psychologie*. Heidelberg: Springer.

Newport, E. L. (1990). Maturational constraints on language learning. *Cognitive Science*, *14*, 11–28.

Nolen-Hoeksema, B., Fredrickson, L., Loftus, G. R., & Wagenaar, W. A. (2009). *Introduktion to Psychology* (15. Aufl.). Cheriton House: Cengage Learning EMEA.

O'Rourke, T. B., & Holcomb, P. J. (2002). Electrophysiologocal evidence for the efficiency of spoken word processing. *Biological Psychology*, *60*, 121–150.

Pallier, C., Colomè, A., & Sebastiàn-Gallès, N. (2001). The influence of native-language phonology on lexical access: Exemplar-based versus abstract lexical entries. *Psychological Science*, *12*, 445–448.

Rumelhart, D. E., & Ortony, A. (1977). The presentation of knowledge in memory. In R. C. Anderson, R. J. Spiro & W. E. Montague (Hrsg.), *Schooling in the acquisition of knowledge*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Rummer, R., & Engelkamp, H. (2006). Wortwissen und mentales lexicon. In J. Funke & P. Frensch (Hrsg.), *Handbuch der Allgemeinen Psychologie, Kognition* (S. 592–600). Göttingen: Hogrefe.

Rymer, R. (1992a). A silent childhood. New Yorker, 13. April, 41–53.

Rymer, R. (1992b). A silent childhood, part II. New Yorker, 20 April 43–47.

Samuel, A. (1996). Does lexical information influence the perceptual restoration of phonemes? *Journal of Experimental Psychology General*, *125*, 28–51.

Skinner, B. F. (1938). *The behavior of Organisms*. New York: Appleton-Century-Crofts.

Skinner, B. F. (1971). *Erziehung als Verhaltensformung*. München-Neubiberg: Keimer.

Slobin, D. (1979). *Psycholinguistics* (2. Aufl.). Glenview: Scott, Foresman.

Snow, C. (1987). Relevance of the notion of a critical period to language acquisition. In M. Bornstein (Hrsg.), *Sensitive periods in development. Interdisciplinary perspectives*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Spering, M., & Schmidt, T. (2008). *Allgemeine Psychologie*. Weinheim: Beltz.

Swinney, D. A. (1979). Lexical access during sentence comprehension: (Re)consideration of context effects. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *18*, 645–659.

Van Gompel, R. P. G., Pickering, M. J. & Traxler, M. J. (2000). Unrestricted race: A new model of syntactic ambiguity resolution. In Kenedy, A., Radach, D. Heller & J. Pynte (Eds). *Reading as a perceptual process*. Oxford: Elsevier.

Vosse, T., & Kempen, G. (2000). Syntactic structure assembly in human parsing. A computational model based on competitive inhibition and a lexical grammar. *Cognition*, *75*, 105–143.

Weinert, S. (2006). Sprachentwicklung einschließlich Bilingualismus. In J. Funke & P. Frensch (Hrsg.), *Handbuch der Allgemeinen Psychologie, Kognition* (S. 556–564). Göttingen: Hogrefe.

Werker, J. F., & Tees, R. C. (1984). Cross-language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life. *Infant Behavior and Development*, *7*, 49–63.

Wilkes, A. L., & Kennedy, R. A. (1969). Relationship between pausing and retrieval latency in sentences of varying grammatical form. *Journal of Experimental Psychology*, *79*, 241–245.

Windmann, S. (2004). Effects of sentence context and expectation on the McGurk illusion. *Journal of Memory and Language*, *50*, 212–230.

Zwitserlood, P. (1989). The locus of the effects of sentential-semantic context in spoken word processing. *Cognition*, *32*, 25–64.

Zwitserlood, P. (1994). Access to phonological form representations in language comprehension and production. In C. Clifton, L. Frazier & K. Rayner (Hrsg.), *Perspectives on sentence processing* (S. 83–106). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Zwitserlood, P. (1999). Gesprochene Wörter im Satzkontext. In A. D. Friederici (Hrsg.), *Sprachrezeption* Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C, Serie 3, Bd. 2 Göttingen: Hogrefe.

Zwitserlood, P. (2013) persönliche Mitteilung.

Zwitserlood, P., & Bölte, J. (2008). Worterkennung und -produktion. In J. Müsseler (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie*. Heidelberg: Spektrum /Springer.

Denken, Problemlösen, Entscheiden

Christian Becker-Carus, Mike Wendt

10.1 Propositionales Denken und Wissensrepräsentation – 452
10.1.1 Unterschiede der Kategorisierung – 454
10.1.2 Konzepterwerb – 455

10.2 Bildhaftes Denken – 455
10.2.1 Mentale Rotation – 457
10.2.2 Visuelles Abtasten – 458
10.2.3 Kognitive Landkarten – 458

10.3 Neuronale Basis des propositionalen und des bildhaften Denkens – 458
10.3.1 Neuropsychologie bildhaften Denkens – 458
10.3.2 Neuropsychologie des propositionalen Denkens – 460

10.4 Schlussfolgerndes Denken (induktiv – deduktiv) – 462
10.4.1 Deduktives Denken – 462
10.4.2 Induktives Denken – 464

10.5 Problemlösen: Grundbegriffe und Strategien – 466
10.5.1 Auswahl von Operatoren – 467
10.5.2 Problemrepräsentation – 473

10.6 Entscheiden, Grundbegriffe und Strategien – 475
10.6.1 Strukturen von Entscheidungssituationen – 475
10.6.2 Typen von Entscheidungstheorien – 475
10.6.3 Risikobereitschaft – 476
10.6.4 Prospekt Theorie – 476
10.6.5 Rahmungseffekte, Framing – 477
10.6.6 Phasen der Entscheidungsprozesse – 478
10.6.7 Komplexe Entscheidungsfindung – 478
10.6.8 Emotionale Faktoren – 479

Literatur – 483

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Becker-Carus, M. Wendt, *Allgemeine Psychologie,* DOI 10.1007/978-3-662-53006-1_10

Cogito ergo sum. („Ich denke, also bin ich.") (Descartes)

Der Bruch zwischen Subjekt und Objekt liegt nicht in der Natur, sondern in unserem Denken. (C. F. von Weizsäcker)

Wenige Menschen denken, doch wollen alle entscheiden. (Friedrich der Große)

1. Auf welche Weise gelangen wir zu Kategorisierungen?
2. Welche Befunde sprechen dafür, dass beim Übergang einer mentalen Vorstellung in eine andere, z. B. der Vorstellung eines Objekts in eine Vorstellung desselben Objekts in einer anderen Orientierung, Zwischenstufen durchlaufen werden, die den verschiedenen Stadien einer realen Transformation entsprechen?
3. Warum kann die Aussage „Krümelmonster isst zwei Kuchen, drei Torten und einen Sack voll Kekse" nicht wahrscheinlicher sein als die Aussage „Krümelmonster isst zwei Kuchen"? Warum kann die Aussage „Schneewittchens Tochter hat dunkles Haar" nicht weniger wahrscheinlich sein als die Aussage „Schneewittchens Tochter hat dunkles Haar und dunkle Augen"?
4. Wie lassen sich Probleme und ihre Lösungen formalisiert darstellen?
5. Welche Faktoren erschweren das Finden einer möglichen Problemlösung?
6. Hat die Höhe eines möglichen Gewinns den gleichen Einfluss auf die Entscheidung, an einem Glücksspiel teilzunehmen, wie die Höhe eines möglichen Verlustes?

Es gibt (derzeit) verschiedene Ansätze, sich mit den Prozessen des Denkens zu befassen. *Denken* umfasst die Erkenntnisakte des Begreifens, Meinens, Schlussfolgerns, Urteilens, genauer: eine bewusste, in einzelnen Abläufen auch unbewusste geistige Tätigkeit, die sich auf das Herstellen und Erfassen von Bedeutungsgehalten und Sinnbeziehungen richtet (Wörterbuch der Psychologie, Hehlmann1959). *Entscheiden* bezeichnet den Prozess des Wählens zwischen zumindest zwei Optionen, mit dem Ziel, erwünschte Konsequenzen zu erreichen und unerwünschte zu meiden (Lexikon der Psychologie, Dorsch 2013; weitere Definitionen in *Zusatztext online*).

Ein häufig verwendeter Einstieg ist, das Denken als „Sprache unseres Geistes" (*mind*) zu verstehen. Doch dabei zeigt sich sogleich, dass es offenbar mehr als eine solche Gedankensprache gibt.

Einerseits erleben wir in uns einen Gedankenstrom, den wir gewissermaßen im Geiste „hören" können und der sprachliche Ähnlichkeit zeigt. Dieses Denken wird als **propositionales** (bedeutungsbezogenes) **Denken** bezeichnet. Andererseits erleben wir einen eher bildhaft ablaufenden Gedankenstrom, der mit Vorstellungen verbunden ist, die wir im Geiste „sehen" können. Er wird als **bildhaftes Denken** bezeichnet. Daneben lässt sich eine weitere Gedankenart festmachen, die eher mit mentalen Bewegungsabläufen korrespondiert. Dies wird als **motorisches Denken** (*motoric thought*) bezeichnet. Weiter unterschieden werden kann zwischen **diskursivem** (zergliederndem, logisch schließendem) und **intuitivem** (gefühlsartigem, einfallsproduzierendem) **Denken**. **Produktives Denken** bezeichnet das Denken, das völlig neue Ergebnisse hervorbringt, wie es bei schöpferischen Menschen zu beobachten ist.

In der neueren kognitiven Psychologie werden die oben angesprochenen Funktionen des Denkens dagegen unter dem Label der Wissensrepräsentation abgehandelt. Hier wird unterschieden zwischen *bedeutungsbezogener* **Wissensrepräsentation**, zu der das propositionale Denken zählt, und der *wahrnehmungsbezogenen* Wissensrepräsentation, zu der das bildhafte Denken zählt.

Man geht hier im Wesentlichen von zwei Arten der **mentalen Repräsentation** aus, wie dies von den Vertretern der Theorie der dualen Codierung, insbesondere von Paivio (1971, 1986), postuliert wurde, und unterscheidet:

1. **Verbales Denken** oder **propositionales** (bedeutungshaftes) **Denken.** Diese Repräsentationsart entspricht dem, was wir in unserem Innern gewissermaßen gesprochen „hören" können.
2. **Bildhaftes Denken:** oder **analoges Denken**. Diese Repräsentationsart erleben wir eher als bildhafte, meistens visuelle, innerliche, sichtbare Vorstellungen.

Bemerkenswerterweise gibt es inzwischen auch verschiedene experimentelle Belege dafür, dass propositionale und bildhafte Informationen in unterschiedlichen Arealen des Cortex verarbeitet werden (Posner et al. 1988; dazu ▶ Abschn. 3.3.8 konnektionistische Netzwerke und 8.5.3). Da sich die neuere kognitive Forschung vorrangig und fast ausschließlich zunächst mit der verbal-sprachlichen oder propositionalen Wissensrepräsentation, -verarbeitung und -organisation befasst hat, stehen auch hier diese Aspekte im Vordergrund.

Einen Überblick über verschiedene, mögliche Repräsentationen gibt ◘ Abb. 10.1 wobei unter **Repräsentation** allgemein zunächst jedwede Notation verstanden wird, die ein Objekt, eine Eigenschaft oder eine Beziehung repräsentiert, auch wenn diese nicht selbst anwesend ist, so wie zum Beispiel das gesprochene, geschriebene oder gedruckte Wort *Buch* das reale Buch repräsentiert. Ersteres könnte seinerseits wiederum durch eine Zahl oder einen (elektronischen) Digitalcode, ein Piktogramm oder eine neuronale Impulsfolge repräsentiert werden. In der externalen Welt kann – wie ◘ Abb. 10.1 verdeutlicht – das eigentliche Objekt sowohl durch Worte sprachlich (*verbal*, *linguistisch*), aber auch durch Abbildungen bildlich (*pictoral*) repräsentiert werden. Auf der internal-mentalen Seite unterscheiden Eysenck und Keane (2001) schließlich bei der *symbolischen* Repräsentation zwischen analoger (bildhafter) und propositionaler Repräsentation, die sich ihrerseits auf Objekte, Relationen (zum Beispiel größer, kleiner) oder Schemata beziehen kann. Mit dem Aufkommen der konnektionistischen Netzwerktheorien wurde auch eine „sub-symbolische" Repräsentation im Netzwerk angenommen, die als „distributet" Repräsentation bezeichnet wid (Link zu einen einführenden Videofilm „Denken und Problemlösen" in *Zusatztext online*).

10.1 Propositionales Denken und Wissensrepräsentation

Die bedeutungsbezogene Wissensrepräsentation ist charakterisiert durch einen hohen Grad der Abstraktion, die von den

(sensorischen) Erfahrungen, die ursprünglich zum Aufbau des Wissens geführt haben, wegführt. Die Abstraktion umfasst die Löschung vieler wahrnehmungsbezogener Details und das Extrahieren der wichtigsten Beziehungen zwischen den Inhaltselementen, die zum Beispiel durch Propositionen und ihre Verbindungen repräsentiert sind. Statt mit der ursprünglichen Wahrnehmung agieren wir im Denken vornehmlich mit **Konzepten**. Nehmen wir unsere bereits bekannten Beispiele für eine Proposition, „Bäume haben Blätter", „Der Tee kommt aus China", so können wir erkennen, dass diese Gedankeneinheiten aus Konzepten bestehen, wie „Bäume", „Blätter", die miteinander in bestimmter Weise verbunden sind. Konzepte sind, wie Oberbegriffe, gedankliche Abstraktionen. Ein Konzept repräsentiert dabei eine ganze Klasse von zum Beispiel Objekten oder Merkmalen. Unser Konzept von „Bäumen" umfasst unter anderem, dass ein solches Objekt einen Stamm, Wurzeln und eine Krone hat, dass der Stamm aus Holz ist und dass er von Jahr zu Jahr wächst und Jahresringe bildet. Wenngleich wir bei dieser Aufzählung von Eigenschaften (die ebenfalls Konzepte sein können) merken, dass es ganz unterschiedliche Bäume gibt – solche, die für unser Konzept typisch sind, und solche, die weniger typisch sind, wie zum Beispiel eine junge Tanne, die noch keine Krone hat –, so erfüllen Konzepte dennoch eine wesentliche Funktion des Denkens: Sie unterteilen die Welt in kognitiv handhabbare Einheiten; sie sorgen für **kognitive Ökonomie**.

Müssten wir jedes einzelne Objekt mit einem besonderen Namen benennen, würde unser Vokabular gigantisch sein müssen und eine Kommunikation möglicherweise unmöglich werden. Dadurch, dass wir die verschiedenen Objekte als Exemplare oder Beispiele ein und desselben Konzeptes behandeln, reduzieren wir die Komplexität der Welt, die wir mental repräsentieren müssen. Das hat zur Folge, dass wir Objekte, die wir als Angehörige eines Konzeptes betrachten, auch gleichartig behandeln und verallgemeinernd davon ausgehen, dass sie alle wesentlichen Merkmale gemeinsam haben (Generalisation). So umfasst unser Konzept „Apfel" unter anderem die Eigenschaften, dass er an Bäumen wächst, einen Stiel und ein Kernhaus hat, dass er bestimmte Farben hat und dass er essbar ist. – Sehen wir nun ein Objekt, das bestimmte sichtbare Eigenschaften hat (rund, rot, an einem Baum), die wir unserem Konzept „Apfel" zuordnen, erkennen wir das Objekt als Apfel und können daraus Eigenschaften des Objektes ableiten, die zunächst nicht sichtbar sind. Zum Beispiel, dass er ein Kernhaus hat und dass er essbar ist.

Dieser Prozess des Zuordnens eines Objektes zu einem bestimmten Konzept wird als **Kategorisierung** bezeichnet. Wenn wir ein Objekt kategorisieren (als Apfel oder als Ball), behandeln wir es so, als besitze es auch die wesentlichen (oder gar alle) Eigenschaften, die unser Konzept umfasst, auch solche, die wir nicht direkt wahrgenommen haben. Somit haben Konzepte eine zweite wichtige Funktion. Sie ermöglichen uns, Informationen vorherzusagen, die wir nicht direkt an dem Objekt wahrgenommen haben. Konzepte haben **Vorhersagekraft** (*predictive power*; Barsalou 1985). Wenn wir das rote, runde Objekt unter dem Apfelbaum als „Ball" identifiziert haben, werden wir es nicht essen wollen.

Wenngleich wir den Begriff und die Funktionen des Konzepts an konkreten Objekten erläutert haben, sind natürlich Konzepte

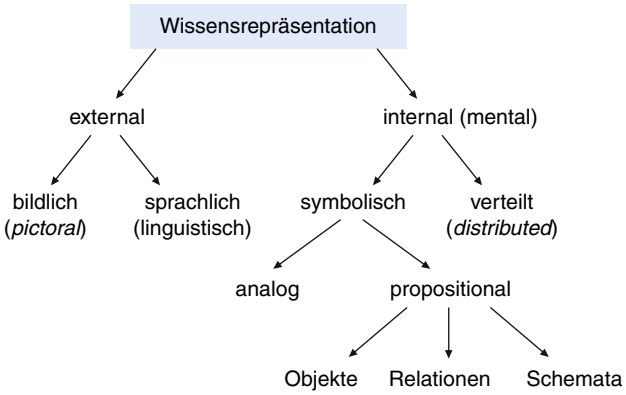


Abb. 10.1 Überblick über die verschiedenen Typen möglicher Repräsentationen von Denken beziehungsweise Wissen. (Nach Eysenck und Keane 2001)

nicht allein auf diese beschränkt. So haben wir auch Konzepte für Immaterielles oder Abstraktes, zum Beispiel für Frieden, Gerechtigkeit, Wahrheit. Auch die Begriffe „gleich", „ungleich", „stark", „jung sein", eine Farbe oder eine Zahl bezeichnen Konzepte.

Konzepte

Konzepte – oder auch Begriffe – sind kognitive Repräsentationen von Arten von Dingen. Sie umfassen die Eigenheiten oder Relationen, die einer Klasse von Objekten oder Ideen gemeinsam sind.

Konzepte resultieren aus unserer Fähigkeit, individuelle Erfahrungen zu kategorisieren, ihnen ein gemeinsames Etikett zu geben und sie gleichartig zu behandeln. Die so gebildeten Kategorien werden Konzepte oder auch Begriffe genannt, wenngleich es gewisse Unterschiede gibt:

Ein Begriff wird, im Unterschied zu einem Konzept, auch als ein Zeichen oder symbolhaftes Wort verstanden, welches eine Kategorie von Ereignissen oder Objekten mit gemeinsamen Beziehungen oder Merkmalen *kennzeichnet*.

Konzeptbildung wurde bei verschiedenen höheren Säugern nachgewiesen (Hille 1988) und wird als grundlegende Fähigkeit der meisten höheren Organismen betrachtet (Mervis und Roch 1981).

Wie aber unterscheiden wir nun im Einzelfall, ob etwas Gesehenes oder Gehörtes ein zugehöriges Beispiel eines Konzeptes ist? Wonach entscheiden wir, ob das, was wir über die Straße laufen sehen, ein Hund oder ein Reh ist? Ob das, was da rollt, ein Tennisball oder eine Bocciakugel ist? Vergleichen wir dabei im Gedächtnis verschiedene einzelne Merkmale, die laut einer Definition vorhanden oder nicht vorhanden sein müssen? Entscheiden wir also aufgrund kritischer Merkmale, im Sinne der **kritischen Merkmalstheorie**? Oder haben wir ein Cluster von Merkmalen, die typischerweise, also mit hoher Wahrscheinlichkeit, vorhanden sein sollten, wobei prototypische Beispiele des Konzeptes eine größere Menge dieser Merkmale aufweisen als vielleicht weniger typische, also im Sinne der **Prototypentheo-**

rie? Oder aber haben wir eine Liste aller bisher erlebten Beispiele oder Exemplare eines Konzeptes im Kopf und entscheiden danach im Sinne einer **exemplarbasierten Theorie**?

Für alle drei Erklärungsansätze gibt es sowohl Vertreter und Evidenzen als auch Gegenevidenzen.

Nach der kritischen Merkmalstheorie (*definite-attribute view*) wird ein Konzept charakterisiert durch das Vorhandensein von einer genügend großen Anzahl notwendiger Merkmale.

Das hierzu gängige Beispiel ist das Konzept „Junggeselle", der dadurch charakterisiert ist, dass er männlich, allein stehend und erwachsen ist. Um als Junggeselle zu gelten, muss Herr X jedes dieser Merkmale (männlich und allein stehend und erwachsen) aufweisen, nicht mehr und nicht weniger. Hier ist also jedes einzelne Merkmal notwendig, und alle zusammen reichen aus oder sind *hinreichend*, um zu entscheiden, dass Herr X ein Beispiel des Konzeptes „Junggeselle" ist. Dieser Ansatz wird auch als *regelbasierte Kategorisierung* bezeichnet, da die drei Merkmale eine Regel implizieren, nach der X als Junggeselle zu kategorisieren ist.

Diese Theorie beinhaltet, wie zu sehen ist, dass Konzepte (1) *klare Grenzen* haben und individuelle Objekte klar bestimmten Klassen zuweisen, und dass (2) *untergeordnete Konzepte* alle Attribute ihres übergeordneten Konzepts enthalten müssen. Betrachten wir hierzu das Konzept „Spatz" (definiert als gefedert, kann fliegen, ist zweibeinig, klein und braun) und das übergeordnete Konzept „Vogel" (definiert als gefedert, kann fliegen, ist belebt, zweibeinig). Hier hat das untergeordnete Konzept „Spatz" alle Merkmale des übergeordneten, dazu aber auch noch einige andere Merkmale (wie braun), die es von anderen untergeordneten Konzepten (zum Beispiel „Kanarienvogel") unterscheiden. Dies beinhaltet, dass ein spezifisches Konzept in der Regel mehr Merkmale gemeinsam hat mit seinem unmittelbar übergeordneten Konzept als mit einem weiter entfernten übergeordneten Konzept. Das Konzept „Spatz" sollte also mehr Merkmale gemeinsam haben mit dem direkt übergeordneten Konzept „Vogel" als mit dem weiter entfernten Konzept „Tier". Eines der hierzu entwickelten und experimentell überprüften Modelle (Collins und Quillan 1969) wird in ► Exkurs 8.17 erörtert.

Nach der Prototypentheorie (Abstraktionstheorie) wird ein Konzept durch ein prototypisches, repräsentatives Beispiel charakterisiert, das in etwa der zentralen Tendenz der Attribute aller Mitglieder des Konzeptes entspricht.

Das repräsentativste Beispiel einer Kategorie beziehungsweise des Konzeptes wird dann als Prototyp bezeichnet (Rosch 1973). Hierfür wird meistens ebenfalls das Vogelbeispiel verwendet. Unser *Konzeptprototyp* „Vogel" könnte unter anderem die Merkmale gefiedert, belebt, zweibeinig, kann fliegen und singen enthalten, was sehr gut für einen typischen Vogel, wie einen Buchfink, eine Blaumeise oder ein Rotkehlchen, passt, aber nicht für Strauß oder Pinguin, die jedoch ebenfalls Vögel sind. Offenbar ist hier zu unterscheiden zwischen einem Kern von Merkmalen, die erforderlich sind, und weiteren Merkmalen, die von uns als üblicherweise charakteristisch mit abgespeichert werden. So nehmen Prototypentheorien (von denen es verschiedene gibt) an, ein Prototyp werde zusammen mit einigen erlaubten Varianten gespeichert, und ein Element wird als zugehörig zum Konzept angesehen, solange seine Abweichung innerhalb des Erlaubten liegt.

Im Gegensatz zu Konzepten, die auf eine Definition zurückgehen und klare Grenzen haben, wie das Konzept „Junggeselle", sind Konzepte, die auf einen Prototyp zurückgehen, wie das Konzept „Vogel", eher **unscharf** (*fuzzy*). Um hier zu entscheiden, ob ein Element ein Beispiel eines unscharfen Konzeptes ist, muss oft erst über die Ähnlichkeit mit dem Konzeptprototyp entschieden werden (Smith 1989). – Wie es scheint, sind die meisten natürlichen Konzepte unscharf. Für sie gibt es keine klare Definition.

Der exemplarbasierte Ansatz (Exemplartheorien) charakterisiert Kategorien als eine Sammlung von Beispielen, die den Prototypeffekt ausmachen.

Danach gehen wir nicht von einer Abstraktion, der zentralen Tendenz aller Beispiele einer Kategorie, aus (Roschs Prototyp), sondern benutzen einzelne Beispiele einer Kategorie, die uns in einer gegebenen Situation gerade in den Sinn kommen. Nach diesem exemplarbasierten Ansatz entscheiden wir nicht anhand eines gespeicherten abstrakten, idealen Prototyps (hat Federn, kann fliegen …), sondern anhand der im Gedächtnis gespeicherten, real wahrgenommenen Beispiele von Vögeln, die wir in der Vergangenheit kennengelernt haben (zum Beispiel den Buchfink, den wir jeden Morgen sehen, die Krähen, die Meisen). Auch dieser Ansatz erklärt die häufig unscharfen Grenzen, denn Exemplare, die wir häufiger sehen, erscheinen uns „typischer" als selten beobachtete Fälle, die vielleicht für andere Personen häufiger und somit „typischer" erscheinen.

Experimentelle Untersuchungen, die zunächst spezifische Evidenz für die Prototypentheorie lieferten, lassen sich ebenso durch den exemplarbasierten Ansatz erklären. So lässt sich zeigen, dass typische Beispiele schneller als Mitglieder eines Konzeptes erkannt werden, als ungewöhnliche. Gefragt, ob ein Rotkehlchen ein Vogel sei, antworten Versuchspersonen wesentlich schneller mit Ja, als wenn sie gefragt werden, ob ein Pinguin ein Vogel sei (Murphy und Ross 1994).

10.1.1 Unterschiede der Kategorisierung

Sowohl beim Prototypenansatz als auch beim exemplarbasierten Ansatz entscheiden wir aufgrund der Kategorisierung nach **Ähnlichkeit**. Bei Ersterem ist es die Ähnlichkeit mit dem Prototyp, beim zweiten die Ähnlichkeit mit spezifischen, in unserem Langzeitgedächtnis gespeicherten Exemplaren des Konzeptes. Bei der kritischen Merkmalstheorie entscheiden wir nach Vorhandensein beziehungsweise Nichtvorhandensein der kritischen Anzahl notwendiger Merkmale (scharfe Grenzen).

Konzepte dienen uns zur Kategorisierung (Strukturierung und Diagnostizierung) der Vielfalt unserer Welt. Sobald wir ein Objekt, einen Prozess oder einen Zusammenhang erkennen („dies ist ein Pilz", „dies ist ein Tippfehler"), treffen wir eine kategoriale Zuordnung zu einem Konzept, zumeist aufgrund von

Ähnlichkeiten oder kritischen Merkmalen. Dies beinhaltet, dass unscharfe (*fuzzy*) Grenzen nicht ausgeschlossen sind. Nur bei der Zuordnung nach kritischen Merkmalen erhalten wir eindeutige Grenzen.

Es lassen sich zwei Arten der Kategorisierung aufgrund von Ähnlichkeit unterscheiden: Ähnlichkeit zu einem ideellen Prototyp und Ähnlichkeit zu abgespeicherten Exemplaren, die dem Konzept entsprechen.

10.1.2 Konzepterwerb

Es gibt offenbar verschiedene Wege, die zum Erlernen von Konzepten führen. Konzepte werden, soweit sie nicht angeboren sind, in der Regel durch Erfahrung erworben, wobei verschiedene Strategien unterschieden werden, die im Folgenden kurz angeführt werden sollen – wenngleich die grundlegenden Lernprinzipien im ▶ Kap. 7 (Lernen) besprochen werden.

1. Die **Exemplarstrategie** ist vornehmlich bei Kindern anzutreffen. Sie wird aber auch von Erwachsenen beibehalten (Estes 1994). Bei dieser Strategie gehen wir von einzelnen Exemplaren aus, die wir im Gedächtnis speichern und mit dem dazugelernten Begriff (dem Konzept) verbinden. Wir erfahren zum Beispiel zunächst, dass ein Stuhl ein Möbel (Oberbegriff) ist, und werden damit auch weitere, recht unterschiedliche Stühle, je nach ihrer Ähnlichkeit, als Möbel einordnen. Natürlich geht dem zumeist voraus, dass wir das Konzept „Stuhl" bereits gebildet haben. Wenn wir dann aber einen neuen, nicht stuhlähnlichen Gegenstand, zum Beispiel einen Tisch, beurteilen sollen, werden wir ihn – nach dieser Strategie – ebenfalls mit dem gespeicherten Exemplar vergleichen und ihn nur dann dazunehmen, wenn wir erfahren, dass auch dies ein Möbelstück ist, womit sich unser Konzept erweitert, und so weiter. Die Exemplarstrategie ist verständlicherweise dann am effektivsten, wenn mit typischen Beispielen begonnen wird und nicht mit atypischen, denn wir verwenden dabei das oder die ersten gelernten Exemplare als typische Beispiele, auch wenn sie es nicht sind, etwa eine Lampe oder ein Radio (Mervis und Pani 1981).
2. Die **Strategie des Hypothesentestens** wird dagegen erst mit zunehmendem Alter verwendet. Hierbei gehen wir von den uns bereits bekannten Beispielen eines Konzepts aus und abstrahieren hieraus die allgemeinen, für möglichst viele Beispiele zutreffenden Merkmale (zum Beispiel Möbel befinden sich in Wohnräumen), die wir als charakteristisch für das Konzept halten. Neue Objekte werden dann darauf hin analysiert (getestet), ob sie unserer Hypothese entsprechen (das heißt diese Merkmale enthalten). Wenn ja, ist unsere Hypothese gestärkt, wenn nein, müssen wir sie verwerfen oder ändern. Bei diesem Ansatz liegt das Gewicht also wesentlich auf den *abstrahierten, generellen Merkmalen* und nicht auf dem Vergleich mit einzelnen Exemplaren.

Wie das in ▶ Exkurs 10.1 dargestellte Experiment zum Begriffserwerb deutlich macht, dürfte die eigentliche Konzeptbildung doch wesentlich auf unsere Fähigkeit der Abstraktion und der Generalisation als grundlegende Denkvorgänge angewiesen sein. Unter **Abstraktion** versteht man das Erkennen wesentlicher Gemeinsamkeiten bei einer bestimmten Gruppe von Objekten oder Elementen. Die schließlich bei beiden Strategien einsetzende Abstraktion ist die Voraussetzung dafür, dass ein Objekt als zu einer Klasse (konzeptzugehörig) wiedererkannt wird. Die Einordnung auch neuer Objekte in bestehende Kategorien bezeichnet man auch als **Generalisation** (Verallgemeinerung) (Schönflug 1977).

Neben diesen wesentlich auf Erfahrung zurückgreifenden Strategien wird auch die Möglichkeit diskutiert, dass wir aufgrund von vorhandenem Wissen Kategorien oder Erwartungen (zum Beispiel das Konzept „begabtes Kind") und danach beobachtbare Phänomene (zum Beispiel die verschiedenen Leistungen von Kindern) beurteilen und zuordnen. So kann vorhandenes Vorwissen auch jeden anderen Aspekt des Konzepterwerbs mit beeinflussen (Wisniewsky und Medin 1991).

Abschließend zu diesen Ausführungen sei darauf hingewiesen, dass unsere Wissensstrukturen und das Denken in ihnen nicht mit der Bildung von Objekt- und relationalen Konzepten erschöpft ist. Vielmehr ist der größte Teil unseres Wissens in durchaus komplexerer Weise strukturiert und vernetzt. Die einzelnen Konzepte sind untereinander in der Weise inhaltlich bezogen, dass sie auch die zeitlichen und räumlichen Strukturen der Welt repräsentieren. So haben wir zum Beispiel eine *Wissensrepräsentation* von einer Hochzeit mit all ihren räumlichen und zeitlichen Aspekten, dem Zeremoniell der Eheschließung und vielleicht unserer Rolle als Trauzeuge.

Diese Wissensstrukturen, die über die eines einfachen Konzeptes hinausgehen – sie werden heute als **Schemata**, **Skripte** oder **Frames** bezeichnet –, wurden in ▶ Kap. 8 im Zusammenhang mit den Strukturen des Langzeitgedächtnisses besprochen.

10.2 Bildhaftes Denken

Wie wir bereits zu Anfang dieses Kapitels erwähnt haben, verfügen wir neben dem propositionalen Denken und der bedeutungsbezogenen Wissensrepräsentation auch über eine **wahrnehmungsbezogene Wissensrepräsentation**, bei der das bildhafte Vorstellen beziehungsweise das bildhafte Denken im Vordergrund steht.

Bereits vor über 2000 Jahren betrachtete Aristoteles das bildhafte Vorstellen (Imagination) als das wichtigste Medium des Denkens überhaupt. Und auch heute noch gelten die von den alten griechischen Rednern verwendeten mnemonischen Techniken des Erinnerns (▶ Kap. 8), die auf bildhaften Vorstellungen basieren, als empfehlenswerte Strategien, das eigene Gedächtnis zu verbessern. Wenngleich die bildhafte Denkungsart bis gegen das Ende des 19. Jahrhunderts sowohl unter Philosophen als auch Theologen weithin Bedeutung hatte, hat die frühe psychologische Forschung, insbesondere in der Ära des Behaviorismus, den introspektiven Zugang und damit die mental-bildhaften Vorstellungen aus dem wissenschaftlichen Ansatz als zu subjektiv verbannt. Erst mit dem Aufkommen der Kognitionswissenschaften wurden dann auch mentale Repräsentationen Gegenstand der wissenschaftlichen Forschung. Aber auch heute noch weisen manche Lehrbücher der Psychologie einigen Vorbehalt gegenüber der

Exkurs 10.1

Experiment: Begriffsbildung und Abstraktionsgrad

Eine der ersten experimentellen Untersuchungen zur Begriffsbildung geht auf die amerikanische Psychologin Heidbreder (1947) zurück. In einem der bekanntesten Experimente untersuchte sie die Bildung von neuen Begriffen und der dahinterliegenden Konzepte bei erwachsenen Versuchspersonen in Abhängigkeit vom Abstraktionsgrad des Reizmaterials. Die hierzu verwendete Technik, derer sich auch andere Autoren häufig bedienen, bestand darin, den Probanden bekannte Reizmuster (Bilder von Objekten) darzubieten (◘ Abb. 10.2a), welche sich nach Oberbegriffen unterschiedlichen Abstraktionsgrades klassifizieren ließen als:

- konkrete Begriffe (zum Beispiel „Haus"),
- räumliche Begriffe (zum Beispiel „rund"),
- numerische Begriffe (zum Beispiel „drei").

Den einzelnen Bildern war jeweils eine sinnfreie Silbe (zum Beispiel RELK) zugeordnet, die einem Begriff entsprach (zum Beispiel „Kopf"). In jedem der einzelnen Versuchsdurchgänge wurde den Versuchspersonen nun je ein Bild als Beispiel der verschiedenen (zunächst sinnlosen) Begriffe gezeigt (in ◘ Abb. 10.2a demonstriert durch die Bilder der ersten Spalte), wobei jedem Bild eine entsprechende sinnlose Silbe beigegeben war. Die Versuchspersonen erfuhren also bei jeder Darbietung (wie Kinder, wenn sie Gegenstände mit Namen nennen): Dies ist ein DILT, dies ist ein RELK und so weiter. Es zeigt sich nun nach einigen Durchgängen, dass die Versuchspersonen auf einmal „wissen", was ein DILT oder was ein RELK ist. So wird RELK zu einem neuen Namen beziehungsweise Begriff für das Konzept „Kopf" beziehungsweise „Gesicht", DILT zum Begriff „fünf", wobei sich der neu gebildete Begriff (RELK) je nach den gewählten Beispielen durchaus von dem alten Begriff „Kopf" unterscheiden kann, so wie es bei vielen „gleichen" Begriffen in verschiedenen Sprachen auch der Fall ist, zum Beispiel das französische *parfum* für „Wohlgeruch", „Duft" oder der amerikanische Begriff *porch* für „überdachter Vorbau", „Portal", „Veranda", der im Deutschen nicht nachzuvollziehen ist, weil unsere Veranda oder ein Portal eben kein *porch* ist.

Darüber hinaus zeigte sich, wie von Heidbreder vermutet, dass der Abstraktionsgrad einen Einfluss auf die Dauer beziehungsweise die Anzahl der Darbietungen bis zum vollständigen Konzepterwerb ausübt. Wie ◘ Abb. 10.2b zeigt, werden konkrete Begriffe am schnellsten gelernt, abstrakte (numerische) dagegen deutlich langsamer (Becker-Carus und Herbring 1997). Nach dem gleichen experimentellen Paradigma lässt sich auch die averbale Begriffsbildung (zum Beispiel bei Kindern oder Tieren) untersuchen. Das Paradebeispiel hierfür ist das **Oddity Learning**, das Lernen des abstrakten Begriffs „ungleich" (*odd*) beziehungsweise „gleich" (*non-odd*). Hierzu erhalten die Versuchstiere Mustervorgaben (◘ Abb. 10.2c) mit jeweils drei Zeichen (beziehungsweise drei realen Objekten), von denen jeweils zwei identisch sind und sich von dem dritten durch ein Merkmal (zum Beispiel Form, Größe, Farbe) unterscheiden. Ausgewählt werden soll nun jeweils das ungleiche Element. In unseren ersten zwei Beispielen wäre das der Kreis, im dritten Beispiel das Dreieck. Die richtige Reaktion (Wahl des ungleichen Reizes) wird jeweils belohnt, ohne dass das Prinzip mitgeteilt wird. Da es sich auch hier um einen abstrakten Begriff handelt, bedarf es meist vieler Lerndurchgänge, ehe die Versuchstiere von der gängigen Strategie des Wählens eines bestimmten Zeichens (immer Kreis) oder einer bestimmten Seite (immer rechts) zum abstrakten „*odd*" übergehen (Hille 1988; Hupertz und Rode 1992).

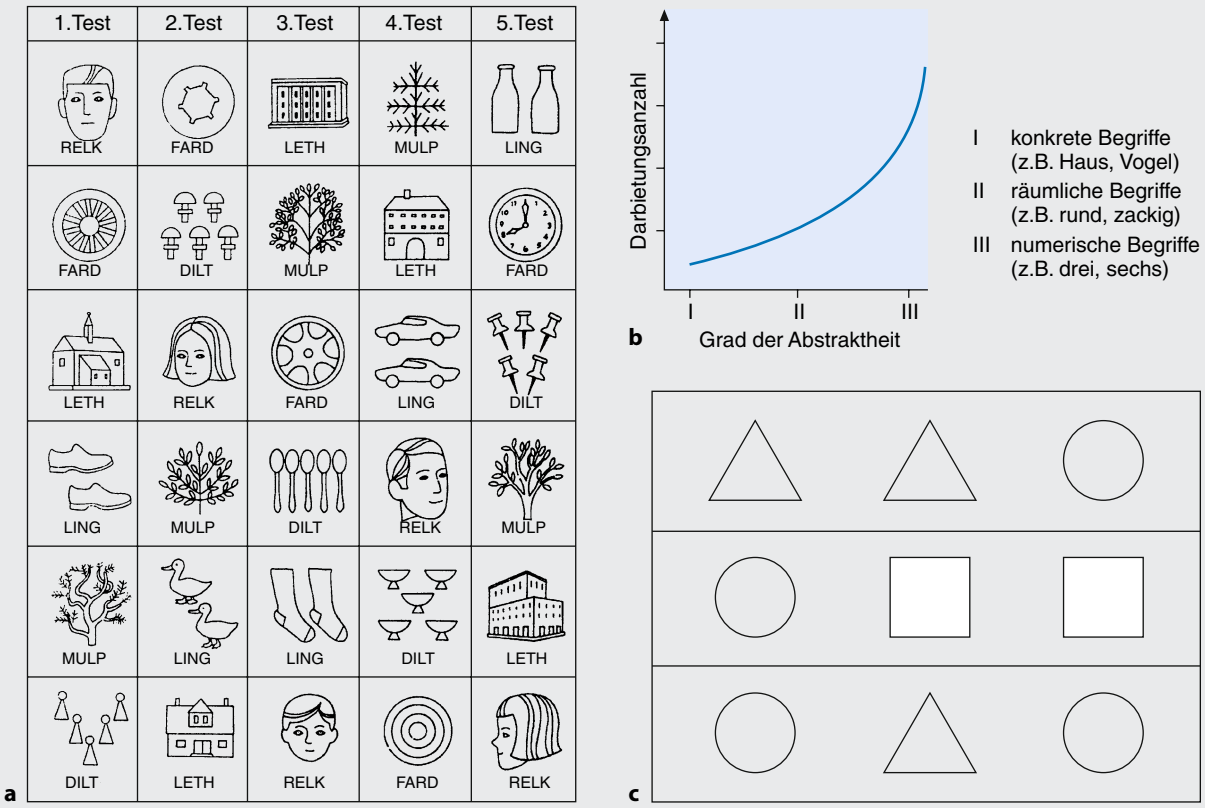


Abb. 10.2 **a** Reizmustervorlagen unterschiedlichen Abstraktionsgrades. **b** Lernleistung bei unterschiedlichem Abstraktionsgrad. **c** Mustervorlagen zum Oddity-Learning. (**a** aus Heidbreder 1947, p. 95)

Exkurs 10.2

Experiment: Bildhaftes Denken im Selbstversuch

Prüfen Sie sich selbst und reden Sie mit anderen darüber. Versuchen Sie folgende drei Fragen zu beantworten:

1. Welche Gestalt hat der Schiefe Turm von Pisa, hat er Fenster?
2. Welcher andere Buchstabe ergibt sich, wenn Sie den Großbuchstaben N um 90° drehen?
3. Wie viele Fenster hat das Wohnzimmer Ihrer Eltern?

Um die erste Frage zu beantworten, holen sich die meisten Menschen zuerst einmal ein visuelles Bild des Schiefen Turmes zu Pisa ins Bewusstsein und betrachten sich die Gestalt der schneckenförmig aufsteigenden Etagen und sehen dann die vielen Säulen, die den Turm charakterisieren. – Beim Beantworten der zweiten Frage berichten die meisten Menschen, dass sie sich zuerst den Großbuchstaben N vorstellen und versuchen, ihn um 90° zu rotieren, um dann zu sehen, welcher andere Buchstabe sich ergibt. – Und zur Beantwortung der dritten Frage berichten sie, das sich in der Vorstellung wachgerufene Bild des Zimmers regelrecht mit dem Blick abzutasten und die vorhandenen Fenster zu zählen (Shepard und Cooper 1982; Kosslyn 1983).

Leistungsfähigkeit bildhaften Denkens auf, das ihnen (vielleicht aus eigener Erfahrung) dem propositionalen Denken unterlegen scheint. Bereits Galton (1883), der unter seinen herausragenden wissenschaftlichen Kollegen einen Fragebogen verteilte, worin er unter anderem die Aufgabe stellte, sich ihren Frühstückstisch vom heutigen Morgen vorzustellen, musste feststellen, dass einige der Befragten tatsächlich keine bewusste mentale Bildvorstellung geben konnten. Siehe dazu folgenden Selbstversuch (▶ Exkurs 10.2).

Bildhaftes Denken

Unter bildhaftem Denken versteht man das Denken in bildhaften, meist visuellen Bildern, die wir „im Geiste" sehen (aber auch hören oder tasten) können.

Obgleich es sich bei diesen Beispielen um subjektive Eindrücke handelt, bieten sie bereits eine gute Evidenz (die sich auch experimentell bestätigen ließ, wie wir noch sehen werden), dass dieses bildhafte Vorstellen auf die gleichen Prozesse und die gleichen Repräsentationen zurückgreift, wie sie bei der normalen Wahrnehmung ablaufen. Wir drehen das mentale Bild des Buchstaben N in der gleichen Weise, wie wir das reale N auf (und mit) der Buchseite rotieren würden. Wie wir im Zusammenhang mit der neuronalen Basis des bildhaften Denkens noch besprechen werden, sind für beide, die reale und mentale Bildwahrnehmung, die gleichen Hirnstrukturen verantwortlich. Dass auch die mentalen Operationen den realen analog sind, zeigen zum Beispiel die Untersuchungen zur mentalen Rotation.

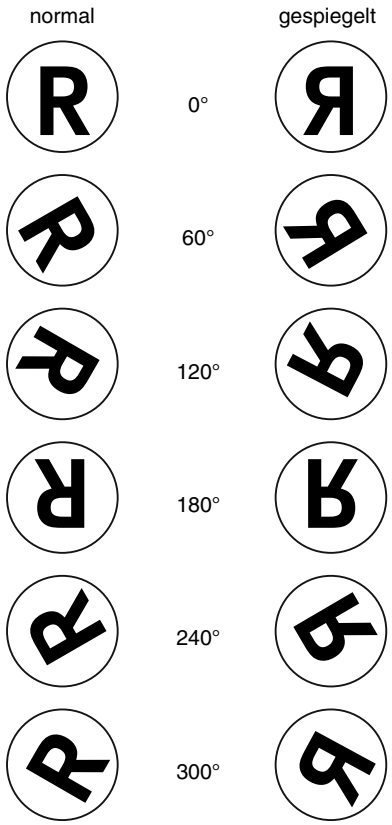


Abb. 10.3 Mentale Rotation. Normaler und seitenverdrehter Buchstabe in verschiedener Rotation. Den Versuchspersonen wird der Buchstabe normal oder seitenverkehrt, aber auch in verschieden starker Rotation in der Bildebene (0–360°) dargeboten. Bei jeder Darbietung haben die Versuchspersonen schnellstmöglich zu entscheiden, ob es sich um eine normale oder seitenverkehrte Darstellung handelt. (Atkinson et al. 2003, p. 340 Fig. 9.8)

10.2.1 Mentale Rotation

Die bereits klassische Untersuchung zum mentalen Umgang mit visuellen Vorstellungen ist eine Studie von Cooper und Shepard (1973) zur mentalen Rotation. Sie wurde seither in einer Reihe von Experimenten mit verschiedenen bildlich vorgestellten Objekten wiederholt und bestätigt (Shepard und Cooper 1982). In diesem klassischen Experiment wurde den Versuchsteilnehmern bei jedem Versuchsdurchgang der Großbuchstabe R gezeigt, und zwar entweder in seiner normalen Ansicht oder als Spiegelbild. In den einzelnen Versuchsdurchgängen wurden die Testfiguren sodann in der normalen senkrechten Orientierung oder um unterschiedliche Winkelgerade rotiert gezeigt (Abb. 10.3). Nun mussten die Versuchsteilnehmer schnellstmöglich durch Knopfdruck entscheiden, ob die Testfigur in der normalen oder der spiegelbildlichen Version gezeigt wurde. Dabei zeigte sich: Je weiter der Buchstabe von seiner normalen Orientierung in die eine oder andere Richtung rotiert worden war, desto länger dauerte es, bis die Versuchsteilnehmer ihre Entscheidung fällten (Abb. 10.4). Dieses Ergebnis ließ vermuten (was die Versuchsteilnehmer auch bestätigten), dass die Versuchsteilnehmer das mentale Bild der Figur in der Vorstellung erst so weit rotierten, bis es seine normale senkrechte, vertikale Lage erreichte, und dann erst beurteilten, ob es sich um ein R oder dessen Spiegelbild handelte. Die dazu benötigte Zeit ist eindeutig bei 180°-Drehung,

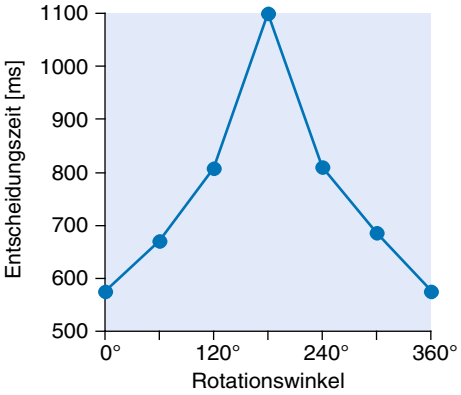


Abb. 10.4 Die charakteristischen Entscheidungszeiten beim Erkennen des rotierten Buchstabens. Die Entscheidungszeit zum Erkennen, ob es sich um einen normalen oder spiegelbildlichen Buchstaben handelt, ist bei einer Rotation um 180°, also wenn der Buchstabe genau auf dem Kopf steht, am größten

wenn das R auf dem Kopf steht, am größten. Ein ähnliches Experiment zur Selbstbeobachtung des bildlichen Denkens ist in ▶ Exkurs 10.3 dargestellt.

10

10.2.2 Visuelles Abtasten

Einen weiteren Einblick in die Natur des bildhaften Denkens geben die Untersuchungen zum Abtasten eines inneren mentalen Bildes (*image scanning*). Hierbei wird den Versuchspersonen zunächst eine Abbildung eines räumlichen Gegenstandes (zum Beispiel eines Motorbootes) oder eine Landkarte (zum Beispiel einer fiktiven Insel) vorgegeben, die sie sich einprägen sollen. Nachdem die Vorlage wieder entfernt ist, werden sie gebeten, sich an das visuelle Bild der Vorlage, wie zum Beispiel in Abb. 10.6 zu erinnern und auf eine bestimmte Stelle, zum Beispiel den Außenbordmotor des Bootes, zu blicken. Wenn sie nun gefragt wurden, ob das Boot (1) eine Windschutzscheibe oder (2) einen Anker habe, brauchten sie länger, um die Frage nach dem Anker zu beantworten, der sich am anderen Ende des Bootes befand, als zur Beantwortung der Frage nach der Windschutzscheibe, die gewissermaßen auf halbem Wege lag. Offenbar suchten sie das visuelle Vorstellungsbild tatsächlich mit dem inneren Sehen ab. Dieses von Kosslyn (1975, 1980) entwickelte Verfahren wird auch als ***Image Tracing Task*** bezeichnet (nach Kosslyn 1980).

10.2.3 Kognitive Landkarten

E. C. Tolman entwickelte bereits 1948 die Hypothese, dass Ratten beim Durchlaufen eines Labyrinths sich so etwas wie eine **kognitive Landkarte** (*cognitive map*), eine **bildliche Repräsentation** der räumlichen (geografischen) Beziehungen des physikalischen Raumes, einprägen (▶ Kap. 7). Insofern war er wohl der Erste, der auf die Fähigkeit des bildhaften Denkens hingewiesen hat, und dies zudem noch im Tierexperiment bei Nagetieren. Ähnliches dürfte bei uns ablaufen, wenn wir uns zum Beispiel in einer Stadt zurechtfinden. Wir wissen, welche Straße wohin führt und wie man zu einem bestimmten Ort gelangt (Ortslernen). So können Sie sicher ohne Schwierigkeiten beschreiben, wie Sie von Ihrer Wohnung am schnellsten zur nächsten Bushaltestelle oder zum Bäcker gelangen. Sie denken in **mentalen Bildern**.

10.3 Neuronale Basis des propositionalen und des bildhaften Denkens

Parallel zu den kognitiv-psychologischen Untersuchungen zu unseren Denkfunktionen bei gesunden Menschen hat sich in den letzten etwa 25 Jahren die medizinisch-neurologische Forschung mit den Wissens- und Verstehensausfällen bei durch Unfällen unter anderem verursachten Hirnschädigungen befasst. Dieser Forschungsrichtung verdanken wir wesentliche Erkenntnisse über die Lokalisation psychischer Hirnfunktionen. So zeigten sich zunächst bei verschiedenen neurologischen Schädigungen recht spezifische Störungen sowohl des **bildhaften** als auch des **semantischen** Gedächtnisses.

10.3.1 Neuropsychologie bildhaften Denkens

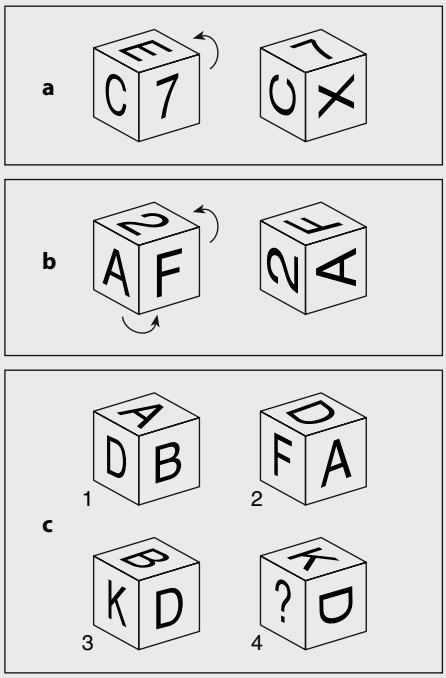
Wie bereits aus unseren Darlegungen zum bildhaften Denken zu vermuten war, handelt es sich offenbar im Gehirn um dieselben Strukturen (Areale), die sowohl für das bildhafte Vorstellen als auch für die bildliche Wahrnehmung verantwortlich sind. So wiesen Patienten mit bestimmten Hirnschäden die gleichen Probleme beim Wahrnehmen wie auch beim Vorstellen auf. Ein besonders eindrückliches Beispiel hierfür sind Patienten mit einem **visuellen Neglect** (von lateinisch *neglegere* für „vernachlässigen", vgl. ▶ Exkurs 5.18), das infolge einer Schädigung des Temporallappens der *rechten* Hemisphäre auftritt und darin besteht, dass Objekte in der linken Gesichtsfeldhälfte vernachlässigt werden. Obwohl diese Patienten hier nicht erblindet sind, ignorieren sie alles, was sich in der linken Hälfte ihres Gesichtsfeldes befindet. So kann ein Neglect-Patient zum Beispiel beim Rasieren nur die rechte Hälfte seines Gesichtes bedenken und die linke einfach übersehen (ignorieren). Der italienische Neurologe Edoardo Bisiach fand bei seinen Patienten, dass sich das visuelle Neglect auch auf das bildliche Vorstellen erstreckte. Er bat seine Patienten, sich einen bekannten Marktplatz ihres Heimatortes Mailand vorzustellen, wie er aussieht, wenn sie ihren Blick auf die dort befindliche Kirche richten. Dabei schilderten die Patienten im Wesentlichen nur die Gebäude ihrer rechten, nicht aber der linken Seite. Wurden sie jedoch gebeten, sich den Platz von der entgegengesetzten Seite aus vorzustellen (mit der Kirche im Rücken), so vernachlässigten die Patienten nun die Dinge, die sie vorher erwähnt hatten, die sich nun aber auf der linken Seite ihres Vorstellungsbildes befanden. Diese Patienten zeigen also das gleiche Neglect beim realen Wahrnehmen wie beim bildlichen Vorstellen, was dafür spricht, dass die gleichen geschädigten Hirnareale normalerweise für beide Funktionen zuständig sind (Bisiach und Luzzatti 1978).

Noch eindeutiger ließen sich diese Zusammenhänge mit modernen bildgebenden Verfahren wie der Positronen-Emissions-Tomografie (PET) nachweisen. Die in der biopsychologischen Forschung eingesetzten **PET-Scans** haben ihre Bedeutung darin,

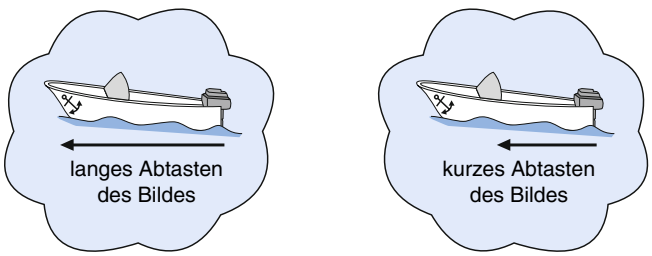
Exkurs 10.3

Experiment: Mentale Rotation

Dass es, ähnlich wie bei der Intelligenz, beträchtliche individuelle Unterschiede in der Fähigkeit des bildlichen Denkens und **räumlichen Vorstellens** gibt, konnten Just und Carpenter (1980) in ihren Untersuchungen zum gedanklichen Drehen eines einfachen Würfels nachweisen, dessen Seiten durch verschiedene Schriftzeichen gekennzeichnet waren. ◘ Abb. 10.5a und b zeigen zwei ihrer Würfel. In beiden Aufgaben musste die Versuchsperson angeben, ob der Würfel auf der linken Seite so gedreht werden kann, dass er den Würfel der rechten Seite ergibt (jede Zahl beziehungsweise jeder Buchstabe kommt pro Würfel nur einmal vor). In ◘ Abb. 10.5a ist recht leicht erkennbar, dass es sich rechts und links um den gleichen Würfel handelt. Es bedarf, wie angegeben, nur einer Drehung um 90°, um die Identität zu zeigen. In ◘ Abb. 10.5b sind die beiden Würfel ebenfalls identisch, hier aber bedarf es zweier Drehungen um 90°. Gelingt es Ihnen? Es ist ersichtlich, dass die Reaktionszeit mit jeder weiteren 90°-Drehung um einen bestimmten Zeitbetrag zunimmt. Dies trifft aber, wie Just und Carpenter zeigen konnten, nur für Personen mit niedriger räumlicher Begabung zu. Für Personen mit hoher räumlicher Begabung erwies sich in etlichen komplexen Transformationssituationen, dass sie die Aufgabe in kürzerer Zeit lösten, als nach der Anzahl benötigter 90°-Drehungen zu erwarten war. Solche Personen verwenden offenbar effizientere Prüfstrategien und müssen nicht jede einzelne Drehung im Geiste nachvollziehen. Zur Illustration Ihres eigenen Vorstellungsvermögens hier noch ein kleines Selbstexperiment. In ◘ Abb. 10.5c sind vier verschiedene Ansichten desselben Würfels abgebildet, auf dessen sechs Seiten verschiedene Buchstaben stehen. Welcher Buchstabe erscheint an Würfel 4 auf der Seite mit dem Fragezeichen und in welcher Richtung? – Achtung: Ein Buchstabe kommt zweimal vor. (Um die Lösung zu finden, blättern Sie eine Seite weiter.)



◘ **Abb. 10.5 Vorgaben zum räumliche Vorstellen. a** und **b** – je ein Würfel in zwei Ausrichtungen. **c** vier Ansichten desselben Würfels zum Selbstexperiment



◘ **Abb. 10.6** Visuelles Abtasten von bildlichen Vorstellungen. Beispiel einer zur Einprägung gezeigten Vorlage (Boot). Nach der Einprägung wurden die Teilnehmer gebeten, auf ein bestimmtes Teil in der Vorstellung, zum Beispiel den Motor, zu blicken, und dann gefragt, ob beispielsweise das Boot einen Anker besitzt. Die Dauer bis zur Antwort wurde gemessen. Sie gibt Aufschluss über den stattfindenden Suchprozess, dessen Dauer mit der Entfernung vom vorgestellten Ausgangspunkt korreliert

dass sie Informationen über die Aktivität statt über die bloßen Strukturen des Gehirns liefern (▶ Exkurs 10.4).

Kosslyn et al. (1993) führten unter Kontrolle dieses Verfahrens eine Untersuchung durch, bei der sie die Hirntätigkeit während der visuellen Vorstellung und der visuellen Wahrnehmung einer gleichen Bildvorgabe verglichen. Hierzu erhielten die Versuchspersonen bei der **Wahrnehmungsaufgabe** zunächst einen Großbuchstaben auf einem als Hintergrund sichtbaren Gitterraster präsentiert (◘ Abb. 10.8). Dann wurde in einer der Gitterzellen zusätzlich eine Markierung (x) eingeblendet, und die Versuchsperson musste schnellstmöglichst entscheiden, ob das x neben oder auf das Bild des Buchstabens projiziert wurde. Bei der **Vorstellungsaufgabe** mussten die Versuchspersonen das Bild eines Großbuchstabens selbst in der Vorstellung auf dem Gitterraster erzeugen. Welchen Großbuchstaben sie sich vorstellen sollten, erfuhren sie jeweils durch die Darbietung des jeweiligen Kleinbuchstabens unterhalb des Gittermusters. Auch bei dieser Auf-

Exkurs 10.4

Genauer betrachtet: Bildgebende Verfahren

Die Untersuchung des lebenden menschlichen Gehirns hat durch die Einführung der Computertomografie (CT) als erste *Brain-Imaging-Technik* zu Beginn der 1970er-Jahre einen revolutionierenden Fortschritt erfahren (Abb. 10.7a und b). Alle bis dahin gewonnenen Erkenntnisse über die Funktion neuronaler Aktivitäten im lebenden Gehirn basierten im Wesentlichen auf den folgenden drei Techniken:

1. Elektrische Stimulation (Reizung) bestimmter Hirnareale,
2. Untersuchung von Gehirnläsionsfolgen,
3. Aufzeichnung und Analyse der elektrischen Hirnaktivität (EEG).

Zu den neuen bildgebenden Verfahren gehören zunächst die craniale Computertomografie (CT) oder auch Röntgencomputertomografie CAT (*Computed Axial Tomography*) sowie die Positronen-Emissions-Tomografie (PET), die auf dem radioaktiven Zerfall von Positronen in (zuvor injizierten) Radioisotopen beruht und die Messung verschiedener Stoffwechselprodukte im lebenden Gehirn des Menschen erlaubt (Farbtafel 3.VIII), ferner die Kernspinresonanz- oder auch Magnetresonanztomografie (MRT, englisch MRI, *magnetic resonance imaging*; Abb. 10.7c) sowie deren Weiterentwicklungen, die Magnetresonanzspektroskopie (MRS) oder das *Echo Planar Imaging* (EPI).

Positronen-Emissions-Tomografie, PET

Diese Technik beruht auf dem raschen radioaktiven Zerfall von Positronen (Atombausteinen) in bestimmte Radioisotope, der durch rings um den Kopf des Probanden angeordnete und untereinander verschachtelte Strahlendetektoren erfasst wird, wodurch eine hohe Genauigkeit der Auflösung und Lokalisation ermöglicht wird. Es gibt eine ganze Reihe verschiedener PET-Techniken zur Messung von Hirnaktivitäten, die mit unterschiedlichen methodischen und interpretativen Einschränkungen behaftet sind.

Die Messung der regionalen cerebralen Metabolismusrate (rCMR) oder des regionalen cerebralen Blutflusses (rCBF) erfasste Areale mit schneller Mitbestimmungsrate, die mit synaptischer Aktivität verbunden sind. Lernen und Wiedererkennen von komplexen visuellen Mustern aktivieren stets nahezu identisch die gleichen Funktionsfelder im visuellen Cortex.

Um die gemessenen Blutflussänderungen bestimmten durchgeführten mentalen Vorgängen zuordnen zu können, bedient man sich der Subtraktionsanalyse. Dabei werden die anatomisch lokal standardisierten Bilder (Pixel des Detektorzählers), die während der mentalen Tätigkeit (Erinnern, Kopfrechnen) aufgezeichnet werden, von den während einer Kontrolltätigkeit gemessenen Referenzwerten abgezogen.

Das örtliche Auflösungsvermögen solcher PET-Scans liegt bei 4–8 mm, die zeitliche Auflösung bei etwa 1 s, bedingt durch die Halbwertzeit der verwendeten Isotope (Roland et al. 1993).

Die **Magnet-Resonanz-Tomografie (MRT, auch Kernspin-Tomografie oder MRI** für *magnetic resonance imaging*) ist ein modernes, besonders gut auflösendes bildgebendes Verfahren zur topologischen Diagnose in den Neurowissenschaften. Ursprünglich diente es als Standardverfahren in der Physik und Chemie zur Aufklärung der chemischen Struktur biologisch interessanter Moleküle. Auch in den Neurowissenschaften liegt der Vorteil dieses Verfahrens gegenüber anderen bildgebenden Techniken in der exzellenten räumlichen und gewebemäßigen Auflösung. Es erlaubt die detaillierte morphologische Erfassung kritischer Gehirnstrukturen auch hinsichtlich gerade ablaufender mentaler Vorstellungs- oder Gedächtnistätigkeiten im intakten lebenden Gehirn. Auch mögliche schnelle Veränderungen der Gehirntätigkeit können durch **die funktionale MRT (fMRT)** sichtbar gemacht werden.

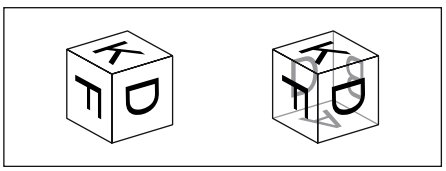
Die MRT basiert auf der aus der Atomphysik bekannten Erscheinung der kernmagnetischen Resonanz, die durch den Drehimpuls (Spin) geladener Teilchen hervorgerufen wird, wobei Wasserstoff-Ionen (H^+) das größte magnetische Moment aufweisen, die besonders reichlich in gut durchbluteten Geweben vorhanden sind, was dazu führt, dass sich diese aktiven Areale besonders herausheben.

Die Kerne der H^+-Atome (Protonen) sind im Ruhezustand in alle möglichen Richtungen ausgerichtet. Durch Anlegen eines starken magnetischen Feldes werden sie dagegen in parallele Richtung gebracht. Das geschieht in der praktischen Anwendung durch ringförmig um das zu untersuchende Gewebe – hier also den Kopf beziehungsweise das Gehirn – angeordnete Elektromagneten, die starke kurzzeitige magnetische Feldimpulse erzeugen. Gleichzeitig werden die Kerne starken Hochfrequenzradioimpulsen ausgesetzt, deren Frequenz mit derjenigen der Präzession (Auslenkung) übereinstimmt. Die ausgelenkten Protonen kehren danach in wenigen Sekunden in ihre Ausgangslage zurück, wobei sie schwache hochfrequente Radiowellen abgeben, die von einem empfindlichen Hochfrequenzempfänger aufgenommen und registriert werden. Dichte und Relaxationszeiten der magnetisch erregten Wasserstoffteilchen (Protonen) können dann als Funktion des Ortes über bildgebende Systeme dargestellt werden. Da die Wasserstoffionendichte in stärker durchblutetem, aktivem Gewebe besonders hoch ist, heben sich diese Aktivierungsregionen von den weniger aktiven Bereichen ab (Farbtafel 3.VIII; Thatcher et al. 1994).

10

gabe mussten sie schnellstmöglichst entscheiden, ob das eingeblendete x neben oder auf dem vorgestellten Buchstaben lag. – Bei dem gleichzeitig durchgeführten PET-Scan zeigte sich sowohl bei der Wahrnehmungs- als auch bei der Vorstellungstätigkeit (hier sogar verstärkt) eine erhöhte neuronale Aktivität in denselben Arealen des primären visuellen Cortex. Das bedeutet, dass auch das Bildvorstellen auf die gleichen frühen Stadien der corticalen Bildverarbeitung zurückgeht, die hier offenbar von gespeicherten Bildinformationen aus dem Langzeitgedächtnis aktiviert werden.

Lösung zu ▶ Exkurs 10.3



10.3.2 Neuropsychologie des propositionalen Denkens

Auch hier gibt es bereits einige interessante Ergebnisse, die auf die lokal unterschiedliche Verarbeitung kognitiv unterschiedener Inhalte hinweisen. So werden offenbar Konzepte von Tieren und Konzepte von handwerklichen Gegenständen wie Werkzeugen in unterschiedlichen Hirnregionen gespeichert. Viele Patienten, die aufgrund eines Hirnschadens nicht in der Lage sind, Bilder von Tieren zu erkennen (wohl aber von Werkzeugen), sind zugleich oft ebenfalls nicht in der Lage anzugeben, was das korrespondierende Wort bedeutet. Zum Beispiel ist ein Patient, der eine gezeichnete Giraffe nicht als Giraffe benennen kann, auch nicht in der Lage zu sagen, was das Wort „Giraffe" bedeutet, wenn er danach gefragt wird. Andere geschädigte Patienten können dagegen ein Werkzeug weder erkennen, wenn es ihnen als Bild gezeigt wird, noch sagen, was das Wort bedeutet. Offenbar, so lässt sich

Exkurs 10.4 (*Fortsetzung*)

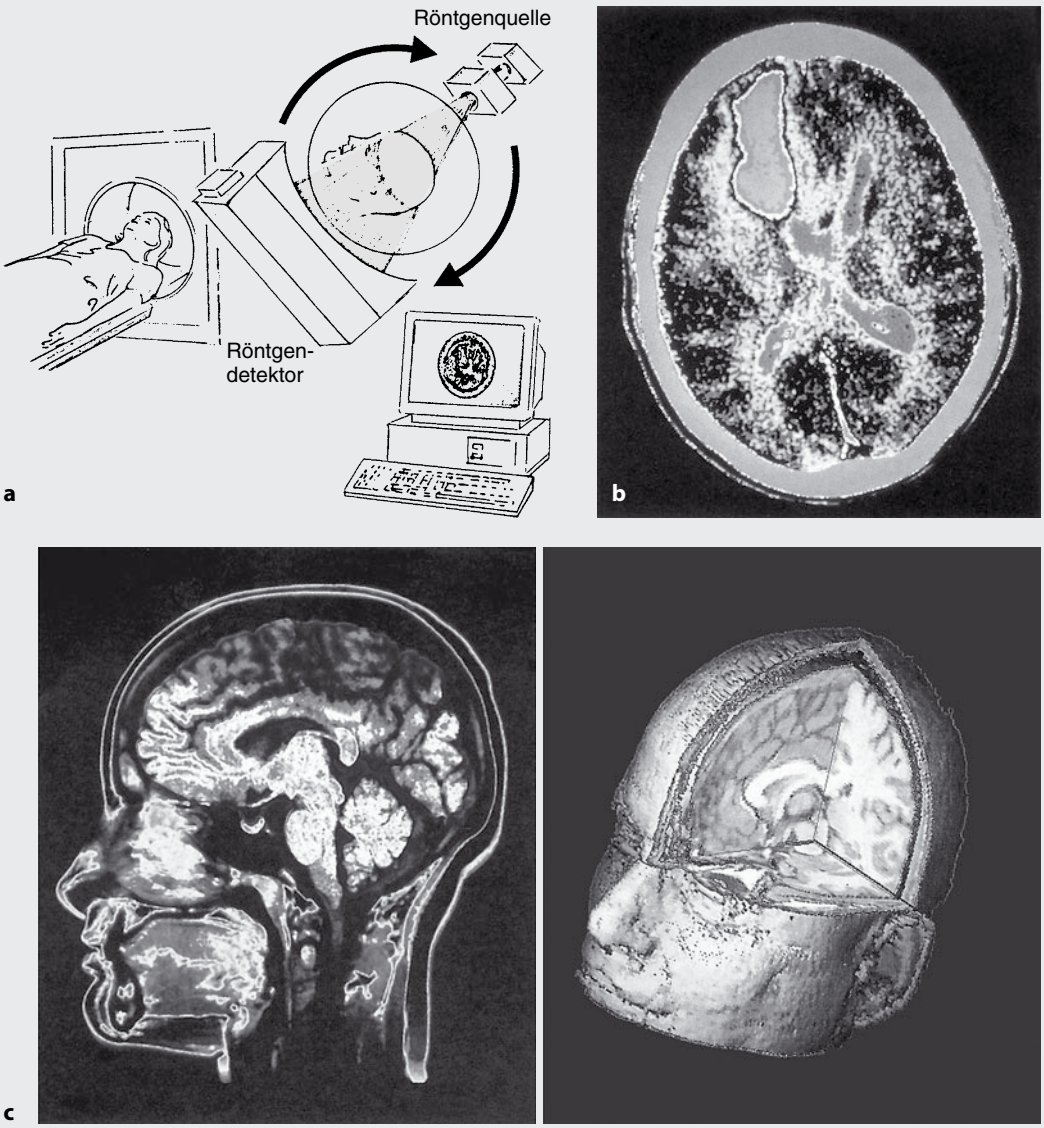


Abb. 10.7 Bildgebende Verfahren, zur Untersuchung des lebenden menschlichen Gehirns. **a** und **b** Röntgen-Computer-Tomografie, **c** Positronen-Emissions-Tomografie. (Pinel 1997, S. 112, Abb. 5.2, 5.3, 5.4, S113, Abb. 5.6)

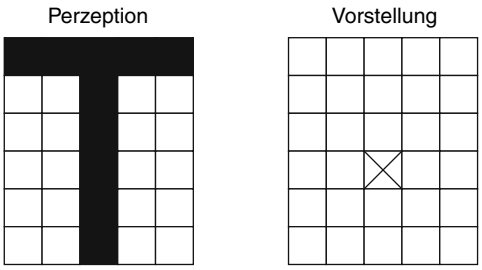


Abb. 10.8 Wahrnehmungs- und Vorstellungsaufgabe zur Untersuchung, ob für Wahrnehmung und bildliches Vorstellen dieselben Hirnareale verantwortlich sind. Bei der Wahrnehmungsaufgabe haben die Teilnehmer zu entscheiden, ob das x, das erst nach der Präsentation des Buchstabens in einem gleichen Gitterraster gezeigt wird, auf oder neben den Buchstaben fällt. In der Vorstellungsaufgabe erzeugen die Teilnehmer selbst ein Vorstellungsbild des Buchstabens und haben dann die gleiche Entscheidungsaufgabe zu lösen. Welchen Großbuchstaben sie sich jeweils vorstellen sollen, wird durch den entsprechenden Kleinbuchstaben unterhalb des vorgegebenen Rasters angezeigt

folgern, hat die Schädigung zum Verlust des jeweils zugrunde liegenden Konzeptes geführt (Farah und McClelland 1991).

Mithilfe des PET-Scans konnten in den letzten Jahren auch Evidenzen dafür erbracht werden, dass es im Gehirn auch *unterschiedliche Verarbeitungsareale* dafür gibt, ob wir das konzeptuelle Kategorisieren aufgrund von Prototypen (Prototypentheorie) oder aufgrund von im Gedächtnis gespeicherten Exemplaren (Exemplartheorie) durchführen. Die Versuchspersonen, die gelernt hatten, ihre Zuordnungsentscheidung aufgrund der Passung mit erinnerten Exemplaren zu treffen, zeigten im PET-Scan eine verstärkte neuronale Aktivität im primären visuellen Zentrum im Okzipitallappen. Die Versuchspersonen, die ihre Zuordnungen nach den Prototypenregeln zu treffen hatten, zeigten dagegen zusätzlich auch verstärkte Aktivität in bestimmten frontalen Arealen, die, wenn sie bei hirngeschädigten Patienten geschädigt sind, auch zu Minderleistungen bei regelbasierten Aufgaben führen.

Auch hier konnten somit Verarbeitungsunterschiede, die zunächst auf der psychologisch-kognitiven Ebene gefunden wurden, nachträglich auch auf neuronaler Ebene aufgezeigt werden.

10.4 Schlussfolgerndes Denken (induktiv – deduktiv)

Schlussfolgerndes oder logisches Denken (***reasoning***) bezeichnet die kognitiven Vorgänge, durch deren Verlauf aus vorhandener Erfahrung oder vorhandenem Wissen neue oder weitere Erkenntnisse gewonnen werden. Wenn ich weiß, dass um 9.15 Uhr die Vorlesung beginnt, und ich sehe, dass es 9.30 Uhr ist, kann ich daraus (logisch) folgern, dass die Vorlesung bereits begonnen hat, auch wenn das aus vielerlei Gründen (z. B. Krankheit) nicht unbedingt stimmen muss.

Schlussfolgerndes Denken ist eines der frühesten Forschungsfelder der Psychologie wie auch der Philosophie (Descartes Gottesbeweise), und eine ihrer frühen Kernfragen war, ob der Mensch ein rationales (nach logischen Einsichten handelndes) Wesen ist. Sie wurde zunächst im 19. Jahrhundert mit Ja beantwortet, mit der Begründung, dass die Gesetze der Logik die Gesetze unseres Denkens sind (Mill 1843; Boole 1854). Doch wie wir sehen werden, ist diese Beziehung zwischen der reinen Logik und dem menschlichen Denken erstens weit komplexer (nicht alles Denken ist logisch), und zweitens werden menschliches Denken und Entscheiden häufig weit weniger von reiner Logik als vielmehr auch von emotionalen und motivationalen Komponenten beeinflusst.

Denkpsychologie und **Logik** wurden bis ins 20. Jahrhundert oft als identisch angesehen. So nannte der irische Mathematiker Boole (1854) sein Buch über das logische Kalkül *Eine Untersuchung der Gesetze des Denkens*. Auch wenn wir heute wissen, dass ein Großteil des menschlichen Denkens nicht sinnvoll unter dem Gesichtspunkt des logischen Schlussfolgerns betrachtet werden kann (Anderson 1996), gibt es doch weite Bereiche, in denen wir sinnvollerweise (wie im obigen Beispiel) deduktives oder induktives schlussfolgerndes Denken anwenden. So hat die psychologische Forschung das schlussfolgernde Denken und die Entscheidungsfindung mit verschiedenen Modellen, vor allem mit den Modellen der Logik, verglichen und ihre Gesetzmäßigkeiten zu übernehmen versucht. Unsere Darstellungen werden sich hier jedoch auf eine kleine Auswahl aus der Vielfalt der vorfindbaren Denkprozesse beschränken müssen.

Die Psychologie des **schlussfolgernden Denkens** unterscheidet gemäß den Gesetzen der Logik zwischen **deduktivem** und **induktivem** Denken (vergleiche hierzu die Ausführungen zur Hypothesenbildung in ► Abschn. 1.3.2).

10.4.1 Deduktives Denken

Deduktives Denken

bezeichnet die Ableitung von Sätzen und Erkenntnissen aus anderen, allgemeineren Sätzen, im Gegensatz zur Induktion.

Deduktives Schließen findet statt, wenn wir mit Gewissheit aus den bekannten Prämissen eine Folgerung ableiten. Beim induktiven Schließen dagegen ziehen wir aus Prämissen, die einen besonderen Fall beschreiben, einen verallgemeinernden (generalisierenden) Schluss.

Die einfachste Form des deduktiven Schlusses ist der bereits von Aristoteles in der klassischen Logik eingeführte Syllogismus (Deduktionsschluss), bei dem aus zwei Voraussetzungen eine neue Aussage abgeleitet wird. In der Logik und in den axiomatischen (deduktiven) Wissenschaften (Geometrie, theoretische Physik) gilt die Deduktion noch heute als das klassische Beweisverfahren. Die aus der Deduktion folgende Schlussfolgerung gilt als wahr oder bewiesen, wenn sie von „wahren Aussagen" (zum Beispiel Axiomen) ausgeht.

Deduktion (von lateinisch *deducere* für ab-, herleiten) bezeichnet eine zwingende Form der Ableitung neuer Aussagen aus vorgegebenen Aussagen. Letztere werden als Voraussetzungen, Prämissen (von lateinisch *praemittere* für vorausschicken) oder Antecedens (von lateinisch *antecedere* für vorausgehen) bezeichnet, der daraus abgeleitete Schluss als Konklusion (von lateinisch *conclusio* für „Folgerung").

Ein bekannter, bereits aus der Philosophie des griechischen Altertums stammender Deduktionsschluss ist das Paradoxon des Epimedes: „Epimedes der Kreter sagte:

1. Alle Kreter sind Lügner" (Prämisse).
2. Epimenides ist ein Kreter (Prämisse).
3. Also ist (auch) Epimenides ein Lügner (Konklusion).

Diesem **Syllogismus** liegt die formale inhaltsfreie Schlussfolgerung zugrunde:

Alle A sind B	Oder:	Für alle A gilt:	A = B
C ist ein A			C = A
Also ist C ein B		Also:	C = B

Die ersten beiden Sätze dienen als Prämissen, die dem Urteil vorausgegeben sind. Aus ihnen wird der Satz 3 als Schlussfolgerung hergeleitet. Sie wird als **Konklusion** oder auch als die **Konsequenz** (von lateinisch *consequi* für folgen) bezeichnet. Prämissen und Konklusion bilden zusammen einen **Syllogismus** (ein Kunstwort aus dem griechischen *syn* für „zusammen mit" und *logos* für „Wort", „Behauptung").

Bekannt ist auch der folgende Syllogismus:

- Alle Menschen sind sterblich.
- Sokrates ist ein Mensch.
- Also ist Sokrates sterblich.

Kategoriale Syllogismen vom Typ „alle Kreter …" oder „alle Menschen …" können **positiv** (**affirmativ**) (von Lateinisch *affirmare* für zustimmen) oder **negativ** formuliert sein. In unserem Beispiel war der erste Satz ein positiv formulierter All-Satz. Negativ würde er lauten: „Alle Kreter lügen nicht" oder „(Die) Kreter

lügen nicht“. Solchen All-Aussagen werden häufig Teilaussagen gegenübergestellt, die sich nicht auf alle Mitglieder einer Klasse (Kreter), sondern nur partikular auf einige Mitglieder beziehen („Nicht alle Kreter …“, „einige Kreter …“). Solche Prämissen lassen zumeist keine schlüssigen Folgerungen mehr zu. (Bereits Plato hat in seinen weiteren Ausführungen auf ein heute berühmtes Paradoxon hingewiesen: Wenn der Kreter Epimenides als Prämisse behauptet, dass alle Kreter lügen, dann folgt als Konklusion, dass insbesondere auch Epimenides lügt. Also ist auch seine Prämisse, dass alle Kreter lügen, gelogen. Wenn aber alle Kreter keine Lügner sind, also kein Kreter lügt, dann lügt auch der Kreter Epimenides nicht. Dieses Paradoxon ist unauflösbar, wenn man als Negation von „Alle Kreter lügen“ nur „Kein Kreter lügt“ zulässt.)

In der **formalen Logik** wird nun eine detaillierte Aufgliederung der zu den Schlussfolgerungen führenden gedanklichen Schritte vorgenommen. Dazu gehören:

1. Die Analyse der **Struktur von Aussagen**: Beim kategorialen Syllogismus ist das vor allem die Analyse von Sätzen mit Identitätsfeststellungen, wofür wir ein Beispiel aus Kindertagen nehmen:

„Ein Hamburger Junge weint nicht“ (kategorial formuliert: Ein Hamburger Junge ist ein Nicht-Weiner).

2. **Regeln der Verknüpfung** von mehreren Aussagen durch Operatoren, zum Beispiel „und“, „oder“ sowie „wenn – dann“, „wenn und nur wenn“, zu einer Schlussfolgerung:

Wenn gilt: Ein Hamburger Junge weint nicht	Wenn-Teil = Prämisse der Aussage
Und wenn gilt: Uwe ist ein Hamburger Junge	
Dann gilt also: Uwe weint nicht	Dann-Teil = Konklusion

Daraus resultiert also die **bedingte Aussage** (Behauptung): Wenn Uwe ein Hamburger Junge ist (1. Prämisse), und das ist er (2. Prämisse), dann weint er nicht (Konklusion).

Nach den **Regeln der bedingten Logik** lassen sich also aus solchen bedingten Aussagen bestimmte Konklusionen ableiten. Die hier verwendete Schlussregel wird als **Modus ponens** (von lateinisch *ponere* für „setzen“) bezeichnet. Sie erlaubt das Schließen einer Konsequenz aus den gegebenen Prämissen. Wenn also die Proposition wenn A, dann B (1. Prämisse) und die Proposition A (2. Prämisse) gegeben sind, können wir auf B schließen (Konklusion): „Uwe weint nicht.“

3. **Zuordnung von Wahrheitswerten** zu den Aussagen: Grundsätzlich kann jeder Satz, jede Proposition den Wert „wahr“ oder „falsch“ annehmen, denn der Wahrheitswert einer Aussage ist nicht von vornherein gegeben. Dies hat dann auch Konsequenzen für den Wahrheitswert der Deduktion. – Die Deduktion kann „gültig“ oder „ungültig“ sein. Würden wir den Satz „Ein Hamburger Junge weint nicht“ als falsch einstufen und die 2. Prämisse „Uwe ist ein Hamburger Junge“ als wahr, wäre damit der logisch gezogene Schluss „Uwe weint nicht“ ebenfalls gültig.

Das Beispiel illustriert zugleich, dass die Anwendung der bedingten Logik auf die Alltagswelt nicht immer stimmig ist, wenn die Prämissen nicht sicher belegt sind. Wie sicher ist es denn, dass Hamburger Jungs nicht weinen? Wir können einem solchen Sachverhalt lediglich eine bestimmte **Wahrscheinlichkeit** zuweisen. Anders wäre es bei dem Satz „Der Pelikan ist ein Vogel“. Hier ist der Wahrheitswert gegeben. Wir können also, genau genommen, nur dann logisch schlussfolgern, was mit Sicherheit folgt, wenn die gegebenen Prämissen mit Sicherheit wahr sind.

Neben dem Modus ponens betrachten wir als weitere Schlussregel noch den **Modus tollens** (von lateinisch *tolere* für erdulden, aufheben). Er erlaubt eine Schlussfolgerung, wenn die Proposition: „A impliziert B“ gegeben ist und die Feststellung: „B ist falsch“. Hier kann geschlossen werden, dass auch A falsch ist, da es das falsche B impliziert. Dazu unser Beispiel mit den zwei Prämissen:

- Wenn Uwe ein Hamburger Junge ist, dann weint er nicht.
- Uwe weint aber.
- Also: Uwe ist kein Hamburger Junge.

Nach dem Modus tollens folgt aus den Prämissen 1 und 2, dass Uwe kein Hamburger Junge ist, was wiederum nur dann wirklich Gültigkeit haben kann, wenn tatsächlich erwiesen wäre, dass kein Hamburger Junge weint. Zum Vergleich: Es gibt keinen Vogel, der nicht Flügel hätte. Weil diese Definition gilt, ist jedes Tier, das keine Flügel hat, auch kein Vogel.

Dem widerspricht nicht, dass es auch (andere) Tiere gibt, die Flügel haben, aber keine Vögel sind (zum Beispiel Fledermäuse, Insekten) (auch ► Exkurs 10.5).

Schlussfolgernde Deduktion erfolgt wesentlich über Konditionalaussagen (wenn … dann). Beim Modus ponens wird aus den Prämissen (Antecedens) auf die Konklusion (Konsequenz) geschlossen. Beim Modus tollens wird aus der Negation der Konklusion auf die Verneinung der Prämisse geschlossen.

Wie die Beispiele schon zeigen, gehen wir beim logischen Entscheiden beziehungsweise Schließen in der Alltagswelt nicht immer von ein-eindeutig wahren Prämissen aus, sondern eher von Wahrscheinlichkeiten. Aber auch hier ist die Konklusion in den meisten Fällen zulässig. Es wird angenommen, dass die Fehlschlüsse, die wir im landläufigen Umgang mit kategorialen Syllogismen machen, zwar nicht notwendigerweise wahr, aber doch in den realen Situationen meist zutreffend sind.

Deduktives Denken gilt in den axiomatischen (deduktiven) Wissenschaften dann als das wissenschaftliche Beweisverfahren, wenn von wahren Prämissen (Axiomen) ausgegangen wird. Im alltäglichen Denken dagegen führt die Deduktion mittels Syllogismen vielfach zu Fehlbeurteilungen, weil die Beurteiler von unterschiedlichen spezifischen oder gar probabilistischen (Wahrscheinlichkeits-)Interpretationen der Prämissen ausgehen.

Exkurs 10.5

Genauer betrachtet: Venn-Diagramme

Die den Syllogismen zugrunde liegenden Beziehungsstrukturen lassen sich auch nach dem Prinzip der **Mengentheorie** (einer mathematischen Disziplin) analysieren und in den dort üblichen **Venn-Diagrammen** darstellen (nach dem englischen Logiker und Philosophen John Venn, 1834–1923).

Zur Verdeutlichung nehmen wir zunächst das Beispiel „Alle Menschen sind sterblich", was sich als Venn-Diagramm in Form einer Ellipse darstellen lässt, die die Menge aller Menschen beinhaltet. Wie in ◘ Abb. 10.9a dargestellt, ist in dieser Menge auch die Person Sokrates als Teilmenge enthalten. Für sie gilt dieselbe Aussage: Auch er ist sterblich.

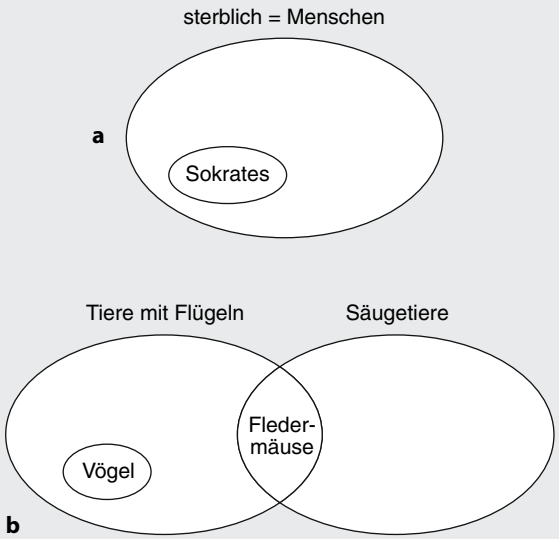
Mehr Information bringt die mengentheoretische Darstellung aber bei einem Syllogismus wie dem folgenden mit zwei **All-Aussagen**:

- Alle Fledermäuse sind Säugetiere.
- Alle Fledermäuse haben Flügel.

Dass aus diesen Prämissen nicht der (nach den Regeln der Logik) falsche Schluss gezogen werden kann, „alle Säugetiere haben Flügel", zeigt das zugehörige Venn-Diagramm (◘ Abb. 10.9b) mit aller Deutlichkeit. Die Teilmenge der Fledermäuse bildet hier die **Schnittmenge** von „Tieren mit Flügeln" und „Säugetieren". Dies entspricht auch der logisch als richtig zu bewertenden Konklusion:

- Einige Säugetiere haben Flügel. Oder auch:
- Einige Tiere mit Flügeln sind Säugetiere.

Wie ersichtlich, betrachten die Konklusionen jeweils nur die Gemeinsamkeiten beider Prämissen. Der Anteil, in dem beide Prämissen nicht überlappen, geht bei der einzelnen Konklusion dagegen verloren (Johnson-Laird 1977).



◘ **Abb. 10.9 Venn-Diagramme. a** Teilmenge einer Gesamtmenge, **b** Schnittmenge zweier unterschiedlicher Mengen

10.4.2 Induktives Denken

Induktives Denken

Als Induktion (von lateinisch *inducere* für „hinführen") wird in der Logik der Schluss bezeichnet, der von einem oder wenigen Fällen (dem Besonderen) auf alle Fälle einer Gesamtheit (das Allgemeine) schließt.

Die **vollständige Induktion** ist ein wichtiges Definitions- (vergleiche Begriffsbildung) und Beweismittel der Mathematik und lässt sich in dieser Form nur hier verwirklichen. In den Erfahrungswissenschaften ist dagegen nur **unvollständige Induktion** möglich, wo den damit begründeten Aussagen lediglich **Wahrscheinlichkeitswert** zukommt. Praktisch sieht ein solcher Schluss auch so aus, dass wir von einzelnen, beobachtbaren Gegebenheiten auf die (meist potenziell unendliche) Menge nicht beobachtbarer gleichartiger Gegebenheiten schließen, was auch als „Erweiterungsschluss" bezeichnet wird. So schließen wir vom Besonderen auf das Allgemeingültige beziehungsweise von mehreren einzelnen Beobachtungen auf (zugrunde liegende) Gesetzmäßigkeiten (Stegmüller 1977). Dabei lassen sich drei Arten der Induktion unterscheiden:

1. Von wenigen Teilelementen (oder einem Teilelement) auf die gesamte Klasse.
   Beispiel: Mein Nachbar zur Rechten, mein Nachbar gegenüber ist nett, also: Nachbarn sind nett.
2. Von einer Teilklasse (oder mehreren Teilklassen) auf die Gesamtklasse.
   Beispiel: Unsere Nachbarn und die unserer Freunde sind nett, also: Nachbarn sind nett.
3. Innerhalb derselben Gesamtklasse von einer Teilklasse A auf eine andere Teilklasse B.
   Beispiel: Meine Nachbarn sind nett, also: Auch deine Nachbarn werden nett sein.

Wie die oben gewählten Beispiele sicher zeigen, müssen die verallgemeinernden (induktiven) Schlussfolgerungen nicht immer zutreffend sein, da die kritische Eigenschaft nicht unbedingt für die ganze Klasse zutreffen muss, vielmehr trifft dies generell nur mit einer bestimmten, von Fall zu Fall unterschiedlich großen Wahrscheinlichkeit zu. Diese kann sehr groß sein, zum Beispiel: „Unser Hund hat Zähne, euer Hund und … hat Zähne, also ha-

Exkurs 10.6

Genauer betrachtet: Bayes-Theorem

Nach dem von Bayes (1958): entwickelten und nach ihm benannten mathematischen Theorem (Lehrsatz) ist zwischen folgenden Wahrscheinlichkeiten zu unterscheiden:

1. *A-priori-Wahrscheinlichkeit*, mit der eine Hypothese zutrifft, bevor irgendein Anhaltspunkt (für oder gegen die Richtigkeit) berücksichtigt wurde;
2. *Bedingte Wahrscheinlichkeit*, dass ein bestimmtes Ereignis eintritt, wenn eine bestimmte Hypothese zutrifft;
3. *A-posteriori-Wahrscheinlichkeit*, dass eine Konklusion (Hypothese) nach Berücksichtigung eines eingetretenen Ereignisses tatsächlich zutrifft.

Das Theorem besagt nun im Prinzip, wie die interessierende A-posteriori-Wahrscheinlichkeit des Zutreffens der Konklusion zu bestimmen ist, indem sie vorschreibt, wie die A-priori-Wahrscheinlichkeit einer Hypothese mit der bedingten Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen eines Ereignisses bei Zugrundelegung einer bestimmten Hypothese zu kombinieren ist. Das Bayes-Theorem liefert so auch einen Weg, um den Grad der Plausibilität zu bestimmen, mit der bei *konditionalen Syllogismen* Fehlschlüsse auf das Eintreten der Konklusion auftreten (Kahneman und Tversky 1973; Tversky und Kahneman 1980).

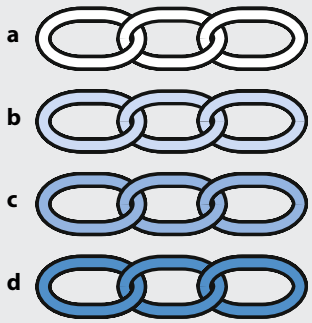
Exkurs 10.7

Experiment: Das Kettenproblem

Ein anschauliches Beispiel zum Vorgang des Problemlösens gibt das Kettenproblem, wie es von Wickelgren (1974) dargestellt wurde (■ Abb. 10.11). Die Aufgabe besteht darin, vier kurze, je dreigliedrige Ketten zu einer einzigen zwölfgliedrigen Kette zu verbinden. Als Ausgangszustand sind also gegeben: Vier dreigliedrige Ketten a–d. Zielzustand ist eine große zwölfgliedrige Halskette. Als Lösungsoperationen sind nur folgende Möglichkeiten zugelassen:

1. Jedes Glied der Ketten darf geöffnet und geschlossen werden.
2. Es dürfen jedoch nicht mehr als drei Glieder geöffnet werden.

Das Problem ist im Grunde recht leicht zu lösen. Beobachten Sie dabei, wie Sie vorgehen, welche Lösungsschritte Sie versuchen, welche Sie verwerfen und was schließlich zum Ziel führt. (Um die Lösung zu finden, blättern Sie eine Seite weiter.)



■ **Abb. 10.11 Aufgabenvorgabe:** vier kurze, je dreigliedrige Ketten. (Anderson 1996)

ben alle Hunde Zähne." Oder sie kann sehr gering sein, wenn wir zunächst gerade auf ein Ausnahmeexemplar einer Klasse, zum Beispiel einen schwarzen Schwan, treffen (den es tatsächlich gibt, nur bei uns sehr selten) und daraus schließen, dass Schwäne schwarz sind. In unserer Region treffen wir weit eher auf weiße Schwäne, und der Schluss, dass Schwäne weiß sind, trifft daher auch mit einer höheren Wahrscheinlichkeit zu.

Damit haben wir zugleich zu der heute gültigen Erkenntnis übergeleitet, dass **induktive Schlüsse als Wahrscheinlichkeitsaussagen** zu verstehen sind.

Basis-Raten-Regel

Über die Schwäne können wir also nur aussagen, dass sie mit hoher Wahrscheinlichkeit – wenn auch nicht immer – weiß sind. Diese Höhe der Wahrscheinlichkeit, dass auch weitere Tiere, denen wir begegnen, weiß beziehungsweise schwarz sind, hängt, wie das Beispiel ebenfalls einsichtig werden lässt, von der jeweiligen Verteilung in der Grundgesamtheit ab. Dies ist der Inhalt der *Basis-Raten-Regel.*

Basis-Raten-Regel

Die Basis-Raten-Regel (*base-rate rule*) der Wahrscheinlichkeitstheorie besagt: Die Wahrscheinlichkeit, Mitglied einer bestimmten Klasse zu sein, ist umso größer, je größer der Anteil dieser Mitglieder (*base-rate*) an der Gesamtheit ist.

Also: Je höher der Prozentsatz weißer Schwäne an der Gesamtheit ist, desto wahrscheinlicher ist die Richtigkeit des induktiven Schlusses. Man bezeichnet dies auch im Rahmen des mathematischen **Bayes-Theorems** als die A-priori-Wahrscheinlichkeit, mit der die Hypothese (der Schluss) zutrifft, bevor irgendwelche Anhaltspunkte für das Zutreffen der Hypothese vorliegen (▶ Exkurs 10.6).

Versicherungen schätzen nach einem solchen Verfahren zum Beispiel die Wahrscheinlichkeit von Unfällen für einen bestimmten Wagentyp ein, aufgrund der bereits bekannten Anzahl (Prozentsatz) von erfolgten Unfällen dieses Typs.

Nach der zweiten wichtigen Regel, der **Konjunktionsregel** (*conjunction rule*), kann die Wahrscheinlichkeit einer Aussage durch die Kombination mit einer weiteren gleichsinnigen Aussage erhöht werden. Dies wäre in unserem letzten Beispiel dann der Fall, wenn bekannt ist, dass der Halter des besagten Wagentyps in einer Ortschaft wohnt, in der dieser Wagentyp in besonders viele Unfälle verwickelt ist. Zumindest kann, wie die Verbindungsregel aussagt, die Wahrscheinlichkeit der Aussage nicht geringer sein als die beiden Aussagen zusammengenommen.

Die Konjunktionsregel der Wahrscheinlichkeitstheorie besagt, dass die Wahrscheinlichkeit einer Aussage (Proposition) nicht geringer sein kann als die Wahrscheinlichkeit, die sie in Verbindung mit einer anderen Aussage hat.

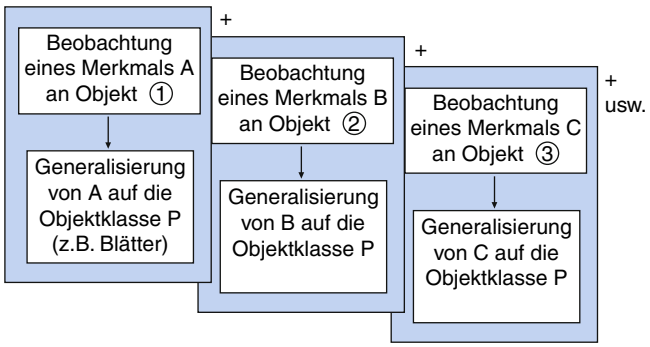


Abb. 10.10 Prinzip der fortschreitenden Induktion. Aus einzelnen, zunächst unabhängigen Beobachtungen an Einzelexemplaren der Objektklassen (eines Begriffs) werden sich ergänzende Schlüsse auf die Eigenschaft (Gesetzmäßigkeit) der Objektklasse gezogen. Die aufeinanderfolgenden Beobachtungen können auch gesteuert durch deduktives Schlussfolgern systematisch und experimentell aufeinander aufgebaut beziehungsweise vorhergesagt werden

Wie sich immer wieder gezeigt hat, sind solche normativen Modelle, mit denen sich die Forschungen zum schlussfolgernden Denken des Menschen zumeist befasst haben, recht weit davon entfernt, das tatsächliche Verhalten des Menschen zu beschreiben. Das logische Denken in unserem Alltag lässt sich, wie auch Anderson (2013) konstatiert, besser anhand der schemabasierten Schlussfolgerungsprozesse verstehen, wie wir sie in ▶ Kap. 8 besprochen haben.

Fortschreitende Induktion

Induktionsschlüsse stehen in der Regel nicht allein da. Wenn wir die Welt oder Teile von ihr als Kinder oder als Wissenschaftler erkunden, gehen wir für gewöhnlich von einzelnen Beobachtungen aus, aus denen wir eine erste Folgerung ziehen. Wir sehen zum Beispiel, dass ein Blatt auf dem Wasser schwimmt, und folgern vielleicht, Blätter können schwimmen. Dann werfen wir weitere Blätter (die zum Teil vielleicht schon modrig sind) hinein und machen eine zweite Beobachtung: Nicht alle Blätter bleiben an der Oberfläche. Daraus ließe sich eine weitere Folgerung ziehen, dass nur trockene Blätter schwimmen. Vielleicht zeigt uns nun jemand, dass auch nicht alle trockenen Blätter auf der Oberfläche bleiben, wenn man dem Wasser ein Entspannungsmittel (zum Beispiel Spülmittel) zugibt. Nun versuchen wir eine weitere Induktion und so weiter (■ Abb. 10.10).

So kann sich bei unserer denkenden Erkundung der Welt eine Induktion an die andere reihen und letztlich zu einem Verstehen der Zusammenhänge oder der Bedeutung eines Wortes oder eines Zeichens führen. Auch das Erlernen von Begriffen, wie wir es in ▶ Exkurs 10.1 dargestellt haben, lässt sich als Beispiel für eine (implizite) **fortschreitende Induktion** verstehen. Am eindrucksvollsten aber dürfte die naturwissenschaftliche Forschung gezeigt haben, wie aus einfachen Beobachtungen und fortschreitender denkerischer Induktion Naturgesetzmäßigkeiten entdeckt werden konnten und aus ihnen durch deduktives Folgern weitere Einzelphänomene verständlich wurden (vergleiche hierzu die Ausführungen zur Hypothesenbildung und zum induktiven Schluss in ▶ Abschn. 1.3.2).

10.5 Problemlösen: Grundbegriffe und Strategien

Probleme stellen sich uns in vielfältiger Weise: Wie komme ich trockenen Fußes über einen Fluss? Wie bekomme ich den Faden ins Nadelöhr, wenn ich schlecht sehen kann? Wie schaffen es Affen – zum Beispiel Köhlers Affe Sultan (dessen einsichtiges Handeln wir in ▶ Abschn. 7.5.1 besprochen haben) –, an die Bananen zu kommen, die an der Decke befestigt waren? Viele Probleme ließen sich lösen, wenn man die Diskrepanz zwischen dem, was man weiß, und dem, was man wissen müsste, um ans Ziel zu gelangen, überbrücken oder reduzieren könnte.

Problemlösen ist zielgerichtet und besteht in der Reduktion der Diskrepanz zwischen (1) einem Ausgangszustand (Beginn des Problemlöseprozesses) und (2) einem Zielzustand, der durch die Lösung erreicht werden soll, und (3) den Operatoren (Regeln, Hilfsmitteln, Schritten), mit deren Hilfe die Diskrepanz überwunden werden kann (Newell und Simon 1972).

Die Repräsentation der verschiedenen Sequenzen von Problemlöseoperatoren, die vom Ausgangszustand zum Zielzustand führen, wird häufig als **Problemraum** bezeichnet und Problemlösen als ein Absuchen dieses Problemraumes beschrieben. Diese Konzeption des Absuchens eines Problemraumes wurde von Newell und Simon (1972) entwickelt und beherrscht heute sowohl in der Kognitionspsychologie als auch im Bereich der künstlichen Intelligenz die Analyse des Problemlösens (Anderson 2013; siehe dazu auch *Zusatztext online*).

Reine **Versuch-Irrtums-Strategien**, wie sie bei Tieren vielfach zu beobachten sind, werden von Menschen nur selten verwendet. So probierte Edison (1879) Tausende von Glühfadenelementen, bis er eines fand, das für seine Glühlampenerfindung brauchbar war. Zumeist gehen wir jedoch je nach Problemstellung systematischer vor.

Aber bereits bei dem Schimpansen Sultan, dessen Problemlöseverhalten von Köhler (1917) untersucht wurde, zeigten sich die drei wesentlichen Merkmale **zielgerichteten Problemlösens**. Seine Aufgabe bestand zum Beispiel darin, an Bananen heranzukommen, die außerhalb des Käfigs lagen. Dies bereitete ihm kein Problem, wenn er einen genügend langen Stock zur Verfügung hatte, sich die Bananen heranzuangeln. Das Problem entstand, wenn man ihm stattdessen nur zwei kürzere Stangen gab, die nicht an das Futter heranreichten. Nach einer Reihe vergeblicher Versuche mit jeder der zu kurzen Stangen blieb Sultan frustriert in einer Ecke seines Käfigs sitzen, bis er plötzlich erneut die beiden Stangen ergriff und sie nun aber so ineinandersteckte, dass sie zusammen eine genügend lange Stange bildeten, um das Futter zu erreichen. Die hier erkennbaren drei wesentlichen Merkmale des Problemlöseverhaltens sind:

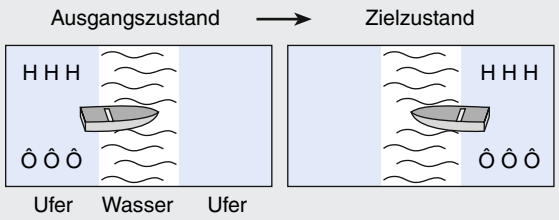
1. **Zielgerichtetheit** auf ein bestimmtes Ziel – hier, die Bananen zu bekommen.
2. **Zerlegung in Teilziele:** Das Ziel war nicht direkt zu erreichen, sondern es musste und wurde in Teilziele zerlegt: eine genügend lange Stange herstellen, Zusammenstecken der beiden zu kurzen Stangen.

Exkurs 10.8

Experiment: Hobbits- und Orcs-Problem

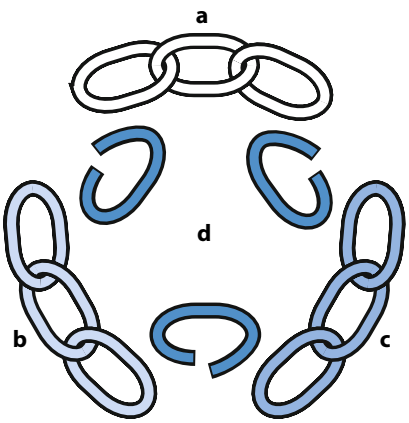
Am Ufer eines Flusses stehen drei Hobbits und drei Orcs, und alle wollen auf die andere Seite des Flusses kommen (Abb. 10.12). Zur Verfügung haben sie ein Boot, das aber ärgerlicherweise jeweils nur zwei Passagiere auf einmal befördern kann. Ein weiteres Problem besteht darin, dass die Orcs gewalttätig sind, und, wenn mehr Orcs als Hobbits auf einer Seite des Flusses sind, dann würden die Orcs sofort die Hobbits auffressen.
Das zu lösende Problem besteht nun darin, alle Hobbits und Orcs über den Fluss zu bringen, wobei zu keinem Zeitpunkt mehr Orcs als Hobbits auf einer Seite des Flusses sein dürfen. – Zu ergänzen ist, dass die Orcs, obgleich sie gewalttätig sind, das Boot immer wieder zurückbringen (Maltin 1983). (Um die Lösung zu finden, blättern Sie eine Seite weiter.)

Abb. 10.12 Die Problemsituation. *H* = Hobbit, *Ô* = Orc



3. **Anwendung von Operatoren**, die bereits bekannt sind. Als Operatoren werden hier umfassende Handlungen bezeichnet, die einen vorliegenden Problemzustand in einen anderen transformieren, zum Beispiel das Zusammenstecken der Stöcke. Damit stellt sich die Lösung des Problems letztlich als eine zu findende Sequenz aus derlei bekannten Operatoren dar. Ein einfaches Problemlösebeispiel zeigt der Selbstversuch in ▶ Exkurs 10.7.

Lösung zu ▶ Exkurs 10.7



Was wir über die verwendeten Strategien wissen, die Menschen bei der Lösung von Problemen anwenden, stammt großteils aus den Untersuchungen von Newell und Simon (1972), in denen die Teilnehmer aufgefordert wurden, „laut zu denken", während sie versuchten, ein ihnen vorgegebenes schwieriges Problem zu lösen. Anschließend wurden die verbalen Aussagen analysiert, um die zugrunde liegenden Strategien zu erfassen. Aufgrund solcher Untersuchungen stellten Newell und Simon drei generell verwendete **Suchstrategien** heraus:

1. Strategie der Unterschiedsreduktion,
2. Mittel-Ziel-Analyse,
3. Strategie der Rückwärts-Analyse.

In allen drei Fällen handelt es sich um einen Weg zur Auswahl von Operatoren.

10.5.1 Auswahl von Operatoren

Grundsätzlich gibt es viele Methoden, wie wir beim Problemlösen geeignete Operatoren auswählen könnten, wie im Rahmen der Forschungen zur künstlichen Intelligenz belegt werden konnte, doch scheinen die meisten nicht den von Menschen bevorzugten zu entsprechen. Menschen scheinen sich im Wesentlichen auf drei Auswahlverfahren zu beschränken. Dabei ist das einfachste Kriterium die *Vermeidung einer Zustandswiederholung*, das heißt die Vermeidung von Operatoren, die den Effekt des vorangegangenen Operators wieder aufheben. Ferner neigen Menschen dazu, den Operator auszuwählen, der die größte **Unterschiedsreduktion** bewirkt (zum Beispiel Wahl des kürzesten Weges). Erst bei planvollerem Vorgehen bedienen wir uns der **Mittel-Ziel-Analyse** oder gar der **Rückwärts-Analyse**.

Gute und schlechte Problemdefinitionen

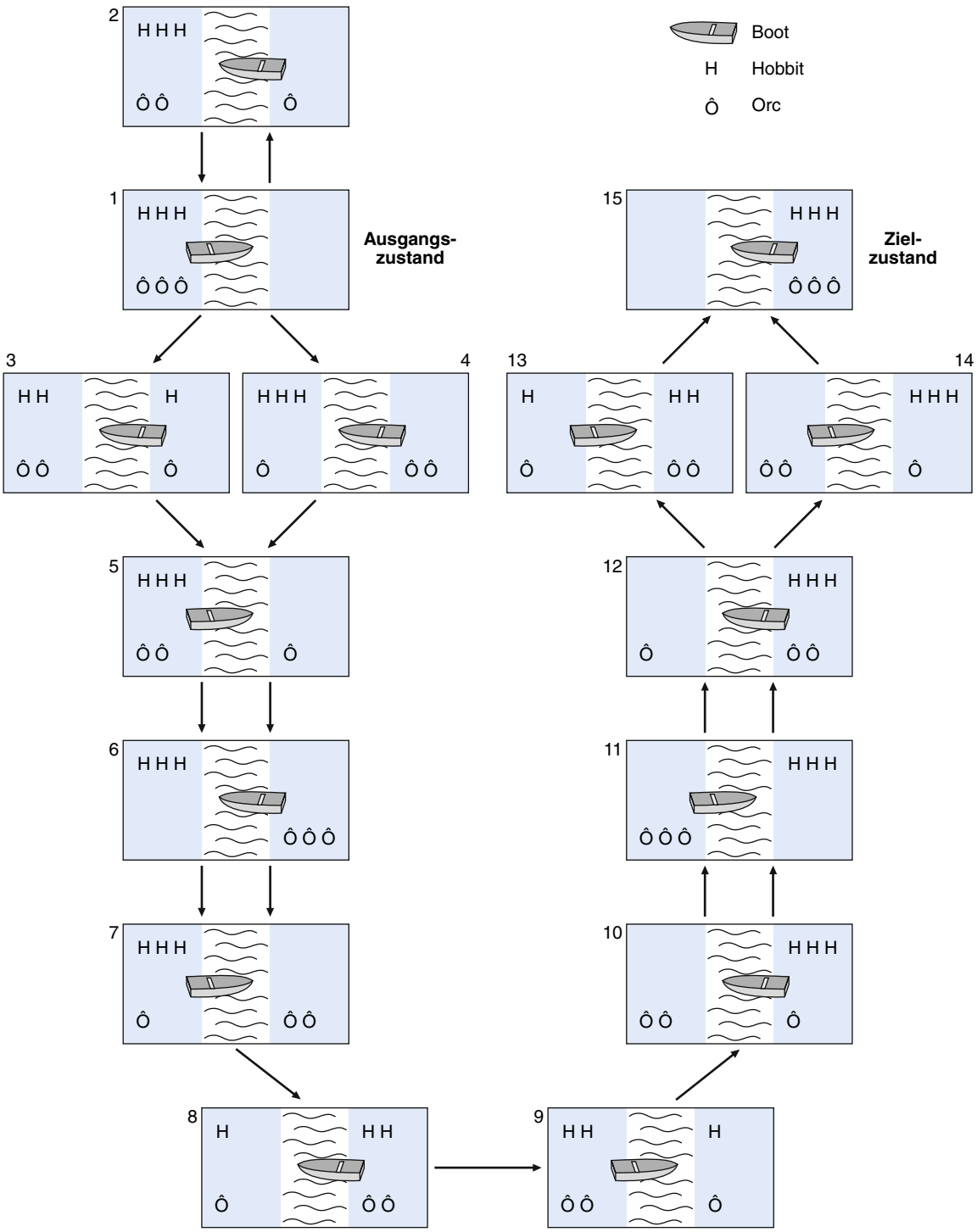
Bei der Auswahl passender Operatoren und ihrer Anwendbarkeit spielt schließlich die Güte der Problemdefinition eine entscheidende Rolle, denn nur wenn das Ziel einigermaßen klar umrissen (definiert) ist, kann man nach passenden Operatoren suchen. **Gut definierte Probleme** sind solche, bei denen Ausgangs- und Zielzustand sowie die erlaubten Operationen klar spezifiziert sind, wie in dem Kettenproblem oder bei geometrischen und algebraischen Problemen. **Schlecht definierte Probleme** entbehren dagegen solcher klaren Definitionen und lassen sich daher schlecht fassen. Vielfach gibt es hier auch nicht nur eine Lösung, die dem erwünschten Ziel nahe kommt. Als Beispiele für schlecht definierte Probleme lassen sich anführen: der Bau eines Hauses, die Heilung einer Krankheit, die Planung eines Kraftwerks. In diesen Fällen liegt der erste Schritt der Problemlösung darin, den Zielzustand, aber auch die Ausgangsbasis genauer zu bestimmen: Wie soll das Haus aussehen, aus welchen Materialien soll es gebaut werden? Welche speziellen Zwecke soll es erfüllen?

Und so weiter. Es muss also versucht werden, die Problemaufgabe zunächst in ein gut definiertes Problem mit klaren Zielvorgaben zu überführen.

Methode der Unterschiedsreduktion

Die Methode der Unterschiedsreduktion (*difference reduction*) ist für uns in vielen Fällen das naheliegendste Verfahren. Wenn wir zum Beispiel zur Arbeitsstelle kommen wollen, nehmen wir ein Fahrzeug (Rad, Bahn, Auto) oder laufen direkt dorthin. Wir suchen Schritt für Schritt die Operatoren aus (Bahn, Fußweg), die den Unterschied zwischen dem aktuellen und dem Zielzustand direkt reduzieren – was bisweilen leicht auf Abwege führen kann, wenn das Ziel nicht direkt, sondern nur auf Umwegen erreichbar ist, wie in dem Fall des Missionaren-Kannibalen-Problems, das heute, in Anlehnung an Tolkiens Buch *Herr der Ringe* (Tolkien 2012), Hobbits- und Orcs-Problem genannt wird (► Exkurs 10.8).

Lösung zu ► Exkurs 10.8



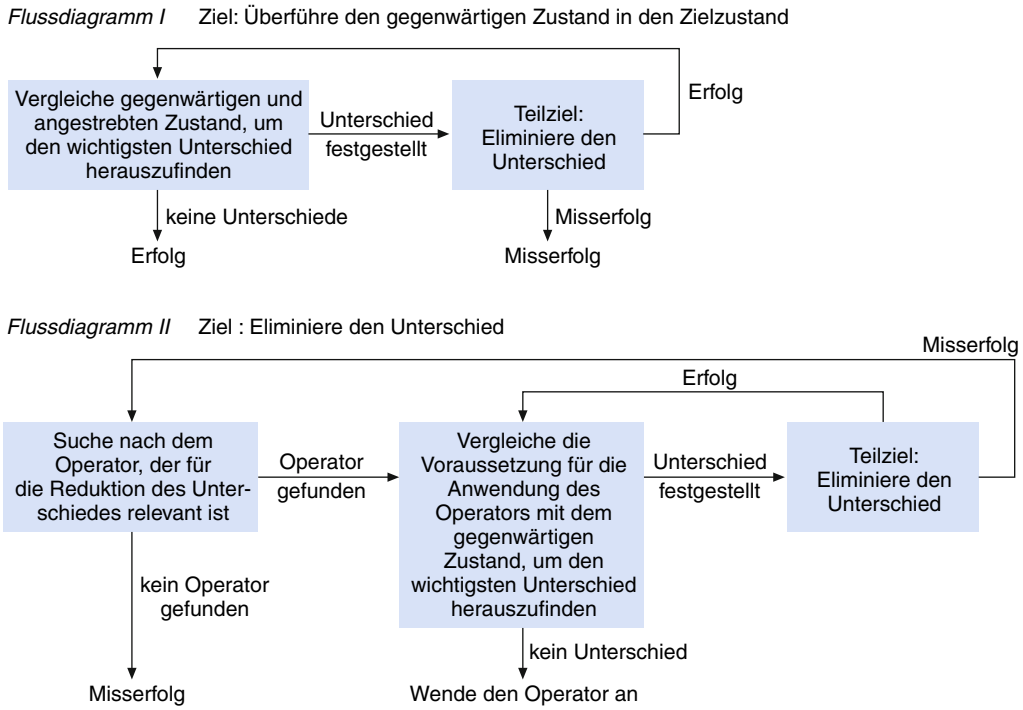


Abb. 10.13 Flussdiagramme zur Mittel-Ziel-Analyse nach dem Prinzip des General Problem Solvers (*GPS*) von Newell und Simon (1972). Nach Flussdiagramm I wird das Problem in eine Reihe von Unterschieden aufgeteilt, die es zu eliminieren gilt. Flussdiagramm II zeigt, wie nach einem Operator gesucht wird, der zum Eliminieren eines Unterschieds von Bedeutung ist

Lösung zum Hobbits- und Orcs-Problem

Bei dieser Aufgabe können wir nicht bei jeder Bootsfahrt einfach zwei Passagiere über den Fluss bringen, da schon beim ersten Schritt die zurückbleibenden Hobbits in der Minderheit gegenüber den gefräßigen Orcs wären. Die Hobbits müssen zunächst zwei Orcs übersetzen, um nicht in die Minderheit zu geraten, und am Ende besorgen die letzten beiden Orcs das Übersetzen selbst.

Obwohl die Methode der direkten Unterschiedsreduktion, wie das Beispiel zeigt, in die Irre führen kann, funktioniert sie doch häufiger, als dass sie scheitert. Man hat sie auch manchmal als **Bergsteigen** bezeichnet, da das Erlebnis hier ähnlich sein kann. Um den höchsten Zielpunkt zu erreichen, ist eine Möglichkeit, bei jedem Schritt „bergauf“ zu gehen, um die Höhendifferenz zu verringern. Doch dies bringt das potenzielle Problem, dass wir vielleicht nur einen vorgelagerten, niederen Gipfel erreichen und nicht den Gipfel des Berges selbst, den wir im Auge hatten. Somit ist diese Methode, die nur in Betracht zieht, dass jeder direkt folgende Schritt eine Verbesserung (Unterschiedsreduktion) darstellt, kurzsichtig und kann den Erfolg nicht garantieren.

Methode der Mittel-Ziel-Analyse

Ein ähnliches, aber differenzierteres Vorgehen zur Auswahl und Anwendung der geeigneten Operatoren ist die Strategie der **Mittel-Ziel-Analyse** (*means-end analysis*). Zunächst vergleichen wir auch hier unseren gegenwärtigen Ausgangszustand mit dem Zielzustand, um den wichtigsten Unterschied zu erfassen (zum Beispiel die Entfernungsstrecke zwischen Wohnung und Kindergarten, oder das gekaufte Bild soll an der Wand befestigt werden). In beiden Fällen gilt es, den Unterschied zwischen Ausgangs- und Endzustand zu eliminieren. Wir suchen nun nach einem Mittel oder einer Prozedur, um dieses Ziel zu erreichen. Dabei stoßen wir bisweilen auf Unterziele. Haben wir ein solches Mittel gefunden, zum Beispiel ein Fahrrad, und bemerken, dass uns im gegenwärtigen Zustand etwas darin hindert, dies anzuwenden beziehungsweise zu benutzen (zum Beispiel keine Luft im Reifen), führen wir ein neues Unterziel ein (Luftpumpe beschaffen), um das Hindernis zu beseitigen. – Viele unserer Alltagsproblemlösesituationen beinhalten derartige Strukturen und lassen sich nach diesem Strategieschema lösen.

Das grundsätzliche Vorgehen der Mittel-Ziel-Analyse haben Newell und Simon (1972) selbst mit folgendem bekannten Beispiel charakterisiert: Ich möchte meinen Sohn zum Kindergarten bringen. Worin besteht der wichtigste Unterschied zwischen dem, was ich habe, und dem, was ich anstrebe? In der räumlichen Entfernung. Wodurch lässt sich diese überwinden? Mit dem Auto. Mein Auto ist defekt. Was brauche ich, damit es wieder läuft? Eine Batterie. Woher bekomme ich eine Batterie? In einer Autowerkstatt. Wie finde ich diese? Und so weiter.

Newell und Simon haben diese Strategie der Mittel-Ziel-Analyse eingehend mithilfe von Computersimulationsprogrammen untersucht und das menschliche Problemlöseverhalten modellhaft nachgebildet. Das daraus hervorgegangene fertige Computersimulationsprogramm ist inzwischen unter dem Namen **General Problem Solver** (**GPS**) bekannt geworden. Die zum Verständnis des GPS wichtigsten Analyseschritte zur Mittel-Ziel-Analyse zeigen die beiden Flussdiagramme in Abb. 10.13.

Wie zu ersehen ist, werden hier charakteristischerweise größere Ziele zunächst in kleinere Teilziele zerlegt. Dabei generiert das GPS die *Teilziele* auf zwei Ebenen. Flussdiagramm I vergleicht den jeweils erreichten Ist-Zustand mit dem erstrebten Soll-Zustand. Werden dabei Unterschiede festgestellt, so wird deren Eliminierung zum Teilziel erklärt und (mit oder ohne Erfolg) abgearbeitet.

Flussdiagramm II zeigt, wie der GPS jeweils einen geeigneten Operator sucht und dann (mit oder ohne Erfolg) anwendet. Falls die Anwendung direkt nicht möglich ist (Unterschied zwischen

Exkurs 10.9

Experiment: Das Turm-von-Hanoi-Problem

Abb. 10.14 zeigt Ausgangs- und Zielzustand des klassischen Problems mit drei Scheiben. Die Problemaufgabe besteht darin, die drei Lochscheiben A, B und C von Stift 1 auf Stift 3 zu bringen, wobei folgende Regeln gelten:

1. Es darf nur eine Scheibe zur gleichen Zeit bewegt werden.
2. Jede Scheibe darf beliebig auf jeden der Stifte abgelegt werden, aber:
3. Es darf nie eine kleinere Scheibe unter einer größeren liegen.

Zur eigenen Durchführung der Problemlöseaufgabe können Sie sich das (auch käufliche) Modell in ◘ Abb. 10.14a einfach aus drei Pappscheiben mit Loch und einem Brettchen mit drei geköpften Nägeln leicht selbst herstellen. Beobachten Sie dann beim Problemlösen, wie Sie beginnen und welche Schritte Sie vornehmen, ehe Sie die nachfolgend dargestellte GPS-Strategie (und ◘ Abb. 10.14b) betrachten. Schon der vereinfachte Fall des Problems mit nur zwei Scheiben birgt in den drei Zügen bis zur Lösung 16 Handlungsmöglichkeiten mit neun unterschiedlichen Ergebnissen, von denen nur eines der Lösung (Zielzustand) entspricht. Die Darstellungen solcher Zusammenhänge und Lösungsoperationen, die sich baumförmig auffächern, werden als **Aktionsbäume** bezeichnet.

Nach der Strategie der Mittel-Ziel-Analyse, wie sie das GPS-Programm verwendet, beginnt die **Zerlegung in Teilziele** wie folgt:

1. Ziel: Bringe A, B und C auf Stift 3
2. : Bestehender Unterschied: C befindet sich nicht auf 3
3. : Teilziel 1: Bringe C nach 3
4. : Der Operator besteht darin, C nach 3 zu bringen (*geht nicht*)
5. : Bestehender Unterschied: A und B liegen auf C
6. : Teilziel 2: Entferne B von C
7. : Der Operator besteht darin, B nach 2 zu bringen *(geht nicht)*
9. : Der Unterschied besteht darin, dass A auf B liegt
9. : Teilziel 3: Entferne A von B
10. : Der Operator besteht darin, A nach 3 (oder 2) zu bringen
11. : Es besteht kein Unterschied zur Voraussetzung für die Anwendung des Operators
12. : Wende den Operator an (bringe A nach 3) *(= 1. Handlungsschritt)*
13. : Teilziel 3 erreicht
14. : Es bestehen keine Unterschiede zur Voraussetzung für die Anwendung des Operators
15. : Wende den Operator an (bringe B nach 2*) (das heißt, entferne B von C, das geht nur nach 2, = 2. Handlungsschritt)*
16. : Teilziel 2 erreicht
17. : Der Unterschied besteht darin, dass A auf 3 liegt
18. : Teilziel : Entferne A von Stift 3 *usw.*

Das Problem kann aber auch, bei der relativ geringen Zahl möglicher Entscheidungen, durch ein vollständiges Ausprobieren aller möglichen Operationen gelöst werden, das heißt durch **systematische Variation**.

Da nun, wie ersichtlich, bei komplexeren Problemen die Menge der zu bewältigenden Information die menschlichen Fähigkeiten bald übersteigt, hat man versucht, „den Aktionsbaum zu beschneiden" (Wickelgren 1974), das heißt, statt der systematischen Variation planvolle Verfahren zu verwenden, zum Beispiel sogenannte **Algorithmen** (feststehende Lösungsprozeduren) oder **Heuristiken** (von griechisch *heureskein* für „finden"), Such- und Findeverfahren, für die es keine festen Regeln gibt (Daumenverfahren). Nach Klix (1971, S. 227) führt folgender Satz von Anweisungen (= Algorithmus) zur garantierten Lösung des Turm-von Hanoi-Problems:

- Bei ungeraden Zügen bewege die kleinste Scheibe.
- Bei geraden Zügen bewege die nächstkleinste freie Scheibe.
- Ist die Zahl der Scheiben ungerade, wandert die kleinste Scheibe in Richtung A → C → B → A und so weiter über die Felder.
- Ist die Zahl der Scheiben gerade, wandert die bewegte Scheibe von A → B → C → A und so weiter.

Der letzte Satz gilt nicht für unser Beispiel mit drei Scheiben! Probieren Sie es mit bis zu sechs Scheiben aus (zu Methoden des heuristischen Denkens siehe *Zusatztext online*).

Ist-Zustand und Anwendbarkeitszustand des Operators), muss dieser Unterschied (als weiteres Teilziel) zuerst eliminiert werden und so weiter.

Die knappe Darstellung des Prinzips der Mittel-Ziel-Analyse mag den Gewinn dieser Strategie deutlich gemacht haben, der vor allem darin besteht, dass ein Operator, wenn er nicht unmittelbar angewendet werden kann (Auto ist defekt), nicht verworfen wird (stattdessen zu Fuß gehen), sondern über ein Zwischenziel dafür gesorgt wird, dass der blockierte Operator (der ja als optimal befunden wurde) doch angewendet werden kann. So wird jetzt vorübergehend das Mittel zum Ziel, ehe der blockierte Operator wieder eingesetzt werden kann.

Im Vergleich zu unserer Darstellung der Unterschiedsreduktionsstrategie bedeutet das, dass auch Operatoren (Handlungen) zur Anwendung kommen können, die nicht geradlinig zu einer Differenzreduktion beitragen, sondern im Gegenteil zeitweilig die (Entfernungs-)Differenz sogar vergrößern (die Reparaturwerkstatt mag in der entgegengesetzten Richtung zum Kindergarten liegen). Dennoch verspricht dieser Schritt die schnellstmögliche Problemlösung.

Die Mittel-Ziel-Analyse bildet, im Gegensatz zum einfachen Unterschiedsreduktionsansatz, neue Unter- oder Teilziele („Operator-Teilziele"), um die Anwendung eines

Exkurs 10.9 (*Fortsetzung*)

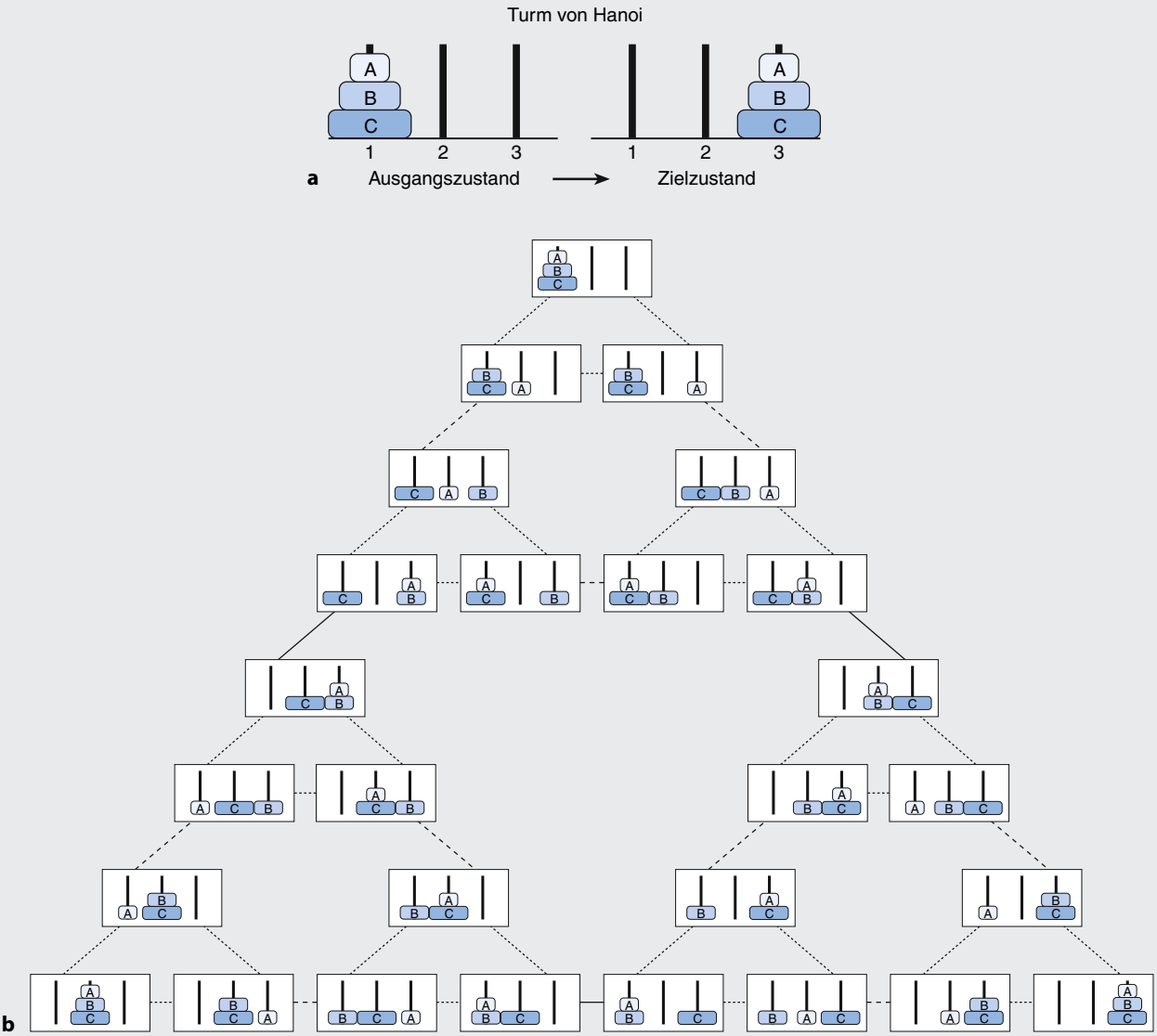


Abb. 10.14 Das Das Turm-von-Hanoi-Problem. **a** – Aufgabestellung, **b** – Strategieschritte

vorgesehenen (aber blockierten) Problemlöseoperators zu ermöglichen.

Das Vorgehen nach dem Modell der Mittel-Ziel-Analyse des GPS lässt sich sehr schön an dem Paradebeispiel des Problemlösens, dem **„Turm-von-Hanoi-Problem"**, nachvollziehen, das in ▶ Exkurs 10.9 dargestellt ist.

Methode der Rückwärts-Analyse

Dieser methodische Problemlösungsansatz, „das Pferd vom Schwanze her aufzuzäumen", also vom Zielzustand aus zu beginnen, hat sich in manchen Fällen als sehr fruchtbar erwiesen, insbesondere beim Lösen mathematischer Probleme. Aber auch bei der Suche nach möglichst schnellen oder kurzen Verbindungen zwischen zwei Orten, bei denen der Weg leichter vom einen als vom anderen Ort her zu ersehen ist, kann man mit dieser Wendung der Suchstrategie erfolgreicher sein (verblüffend manchmal beim Lösen von Labyrinthaufgaben). Zur Illustration des Vorgehens verwenden wir ein einfaches geometrisches Problem anhand von ◘ Abb. 10.15 in ▶ Exkurs 10.10.

Auch bei dieser Methode der Rückwärts-Analyse können wir, wie in diesem Beispiel, wieder die Mittel-Ziel-Analyse verwenden. Auch hier beginnen wir mit einem Ziel, bilden zugleich ein Teilziel (Kongruenz der Dreiecke prüfen) und von dort ein weiteres Teilziel (Winkel und Seiten prüfen), um zur Lösung zu gelangen.

Bisweilen werden die bisher besprochenen Problemlösemethoden auch als **schwache Methoden** bezeichnet, die allgemein verwendbar sind und nicht auf einem speziellen Wissen basieren,

Exkurs 10.10

Experiment: Geometrisches Problem

Das Problem besteht darin nachzuweisen, dass im Rechteck (Abb. 10.15) die beiden sich kreuzenden diagonalen Linien AD und BC die gleiche Länge haben (Ziel), wenn das Viereck ABCD ein Rechteck ist.
Der einfachste, wenn auch der nicht exakte Weg besteht natürlich darin, die beiden Strecken nachzumessen. Dies aber ist kein Beweis. – Die beiden Strecken sind aber auch Teile (Hypotenusen) von den Dreiecken ACD und BDC. Die beiden Strecken AD und BC müssen also gleich sein, wenn wir nachweisen können, dass die beiden Dreiecke gleich (kongruent) sind. Dass die beiden Dreiecke kongruent sind, ergibt sich, wenn wir nachweisen können, dass zwei Seiten und der von ihnen eingeschlossene Winkel gleich groß sind. Dass dies so ist, war mit dem Ausgangszustand (Rechteck) bereits gegeben.

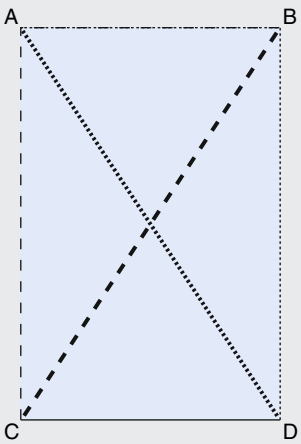


Abb. 10.15 Vorlage eines geometrischen Problems. Gegeben ist das dargestellte Rechteck *A*, *B*, *C*, *D*. Es gilt zu beweisen, dass die Strecken *AD* und *BC* die gleiche Länge haben. Welche Schritte könnten zum Ziel führen?

Exkurs 10.11

Experiment: Problemrepräsentationsaufgaben

In Abb. 10.16a sehen Sie neun gleichmäßig verteilte Punkte. Die Aufgabe besteht darin, dass Sie alle Punkte dieses Musters miteinander verbinden sollen, indem Sie vier gerade miteinander verbundene Linien ziehen, ohne den Stift vom Papier abzuheben. Wie immer stellen solche Aufgaben nur dann wirklich ein „Problem" dar, das zu lösen ist, wenn die Lösung nicht schon bekannt ist.
Als zweite Demonstration der Bedeutsamkeit korrekter Repräsentation wählen wir das bekannte Beispiel des unvollständigen Schachbretts (Kaplan und Simon 1990). Abb. 10.16b zeigt das Schachbrett, dem zwei Eckfelder fehlen. Es hat also nur noch 62 Felder. Nehmen Sie an, Sie haben 31 Dominosteine, von denen jeder genau zwei Quadrate des Schachbretts abdeckt. Ihre Aufgabe: Können Sie die 31 Dominosteine so anordnen, dass alle 62 Felder abgedeckt werden? – Auch hier hängt das Ergebnis Ihres Lösungsversuchs wesentlich von der Art der kognitiven Repräsentation ab, die Sie sich von dem Problem machen. Die vorgegebene Abbildung reicht allein nicht aus, wenn Sie sie nicht unter einem ganz bestimmten Gesichtspunkt betrachten.
Bevor Sie weiterlesen, sollten Sie sich genügend Zeit zur Problemlösung genommen haben. Die Lösung wird selten, und wenn, dann nicht schnell, gefunden, außer man löst das Problem praktisch mit Pappstücken, die man auf die Felder verteilt.
Und im Grunde brauchen Sie auch in der kognitiven Vorstellung nichts anderes zu machen, als sich zu vergegenwärtigen, dass jeder Dominostein zwangsläufig jeweils ein schwarzes und ein weißes Feld abdeckt und nicht, wie rechnerisch unterstellt, zwei beliebige Felder. Aus dem Schachbrett sind aber zwei schwarze Felder herausgeschnitten, sodass folglich nur 30 schwarze Felder zur Verfügung stehen. Daraus ergibt sich, dass das unvollständige Schachbrett nicht mit 31 Steinen abgedeckt werden kann.
Auch bei dem Neun-Punkte-Muster-Problem (Abb. 10.16a) kommt es darauf an, dass Sie die augenscheinlich zunächst induzierte Repräsentation überdenken und ihre Beschränkungen auflösen: Die Aufgabenstellung beinhaltet nämlich keinen Hinweis darauf, dass sich Ihre ausgezogenen Linien auf das von den Punkten eingenommene Feld beschränken müssten. So gesehen, ergibt sich die Möglichkeit die Linien über den Bereich der Punkte hinauszuziehen und in spitzen Winkeln zurück weitere Punkte zu treffen, ohne den Stift absetzen zu müssen. Nun kommt es nur noch darauf an, die richtige Linienführung zu finden. (Um die Lösung zu finden, blättern Sie eine Seite weiter.)

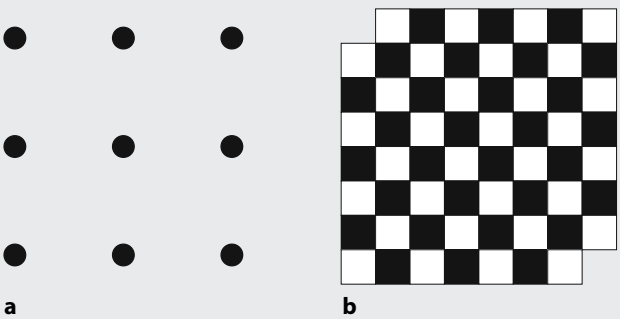


Abb. 10.16 Problemrepräsentationsaufgaben. a Punktemuster, dessen Punkte in einem Zuge mit dem Stift ohne abzusetzen mit vier geraden Linien verbunden werden sollen. **b** Unvollständiges Schachbrett (nach Wickelgren 1974) mit 62 Feldern, die mit 31 Dominosteinen (von denen jeder zwei Felder abdeckt) abgedeckt werden sollen

Exkurs 10.12

Experiment: Denkaufgaben zur Problemrepräsentation

Drei Freunde haben in einem kleinen Restaurant (Imbiss) gegessen und zahlen dafür jeder 10 Euro. Das sind zusammen 30 Euro. Die Bedienung nimmt das Geld und bringt es der Geschäftsleitung. Diese meint, dass die Bedienung zu viel verlangt habe für den kleinen Imbiss und gibt ihr 5 Euro zurück, die sie an die Kunden zurückzahlen soll. Auf dem Weg dorthin meint die Bedienung, dass sich 5 schlecht durch 3 teilen lasse und gibt den drei Freunden je nur 1 Euro zurück und behält 2 Euro für sich. – Nun haben also die drei Freunde zusammen nur $3 \times 9 = 27$ Euro bezahlt und 2 Euro hat die Bedienung behalten. Das macht zusammen 29 Euro. Wo bleibt der eine Euro, denn zusammen waren es doch 30 Euro?

Vier Bauernsöhne erben von ihrem Vater ein Grundstück, das den in ◘ Abb. 10.17a gezeigten Grundriss hat. Wie gelingt es ihnen, das Grundstück so aufzuteilen, dass jeder von ihnen ein gleich großes Grundstück erhält?

Wenn Sie die vorherige Aufgabe gelöst haben, wird es Ihnen nicht schwerfallen, ein weiteres, diesmal quadratisches Grundstück (◘ Abb. 10.17b) auf fünf Erben wiederum so aufzuteilen, dass jeder ein gleich großes Grundstück erhält. (Um die Lösungen zu finden, blättern Sie eine Seite weiter.)

Auch einfache Denkprobleme lassen sich besser lösen, wenn sie entweder propositional oder bildlich repräsentiert werden. – Finden Sie heraus, wer der langsamste von drei Sprintern ist, wenn Sie von diesen wissen: Karl läuft schneller als Erwin, aber langsamer als Hans.

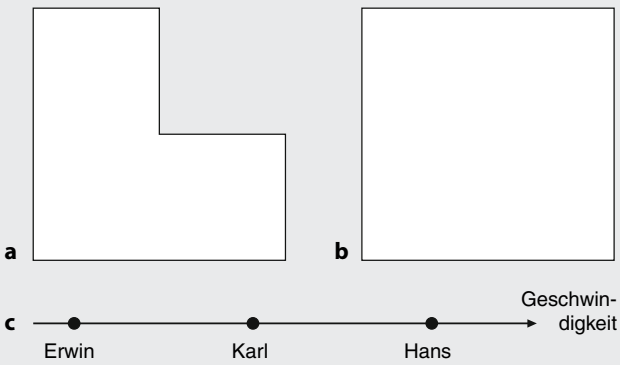
In propositionaler Repräsentation erhalten wir für den ersten Teil die Proposition:

Subjekt	Prädikat
Erwin ist	langsamer als Karl
Karl ist	langsamer als Hans

Daraus lässt sich ableiten, dass Erwin auch langsamer ist als Hans und somit offenbar der Langsamste.

Aber auch eine bildliche Vorstellung führt zur Lösung des Problems, wenn wir uns die Geschwindigkeiten als Punkte entlang einer Linie zunehmender Geschwindigkeit vorstellen, wie ◘ Abb. 10.17c zeigt. Nun können wir die Antwort eigentlich direkt von dem Bild ablesen. Es hat sich gezeigt, dass beide Wege praktiziert werden und dass manche Menschen eher zur propositionalen, andere eher zur bildlichen Repräsentation neigen (Johnson-Laird 1985).

◘ **Abb. 10.17** Vorlagen für die letzteren drei Denkaufgaben (s. Text)



denen die fach- oder **bereichsspezifischen Verfahren** gegenübergestellt werden, die auf Vorerfahrungen beziehungsweise Expertenwissen und entsprechende kognitive Repräsentationen zurückgreifen (Anderson 1987). Doch dürfte es sich hierbei nicht so sehr um einen abgrenzenden Unterschied handeln, denn auch bei den bereits beschriebenen Methoden spielen Lernerfahrungen und kognitive Repräsentation (Problemvorstellung) eine wichtige Rolle.

10.5.2 Problemrepräsentation

Bisher haben wir bei der Behandlung des Problemlösens unser Augenmerk wesentlich auf die verwendbaren Strategien und die Auswahl und Aneignung geeigneter Operatoren gerichtet. Aber auch die Art und Weise, wie wir uns das Problem vorstellen, das heißt, wie es sich uns **kognitiv repräsentiert**, ist von entscheidender Bedeutung für die Lösungsfindung. Implizit haben wir dies bei unseren vorausgegangenen Beispielen, so bei dem geometrischen Problem (◘ Abb. 10.15), bereits getan. Durch die Vorgabe der Abbildung war es leichter als ohne diese zu entscheiden, dass es sich um zwei kongruente Rechtecke handelt. Betrachten Sie nun die Beispiele in ▶ Exkurs 10.11.

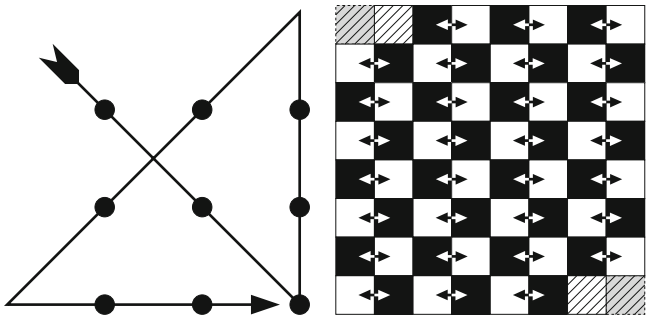
Diese **gedankliche Umstellung**, die bei vielen Problemlöseaufgaben, wie den in ▶ Exkurs 10.11 dargestellten, notwendig ist, wurde bereits von Wertheimer (1943) thematisiert und als **kognitive Umstrukturierung** bezeichnet (vergleiche hierzu ▶ Exkurs 7.32 zum Aha-Effekt). Dieser Begriff hat heute außer beim Problemlösen auch Anwendungsbedeutung bei verschiedenen kognitiv-psychologischen Therapieansätzen erlangt.

Weitere Beispiele, die die Bedeutung der exakten und zutreffenden Repräsentation des Problems für dessen Lösung verdeutlichen, finden sich in ▶ Exkurs 10.12.

Erfolgreiches Problemlösen gelingt am besten, wenn

1. **das Problem so repräsentiert wird (propositional oder bildlich), dass angemessene Operatoren gefunden werden können;**
2. **das Ziel klar definiert werden kann;**
3. **das Ziel in Unter- oder Teilziele zerlegt wird und**
4. **die passenden Problemlösestrategien schrittweise auf die Lösung der Teilziele angewandt werden.**

Lösung zu ▶ Exkurs 10.11



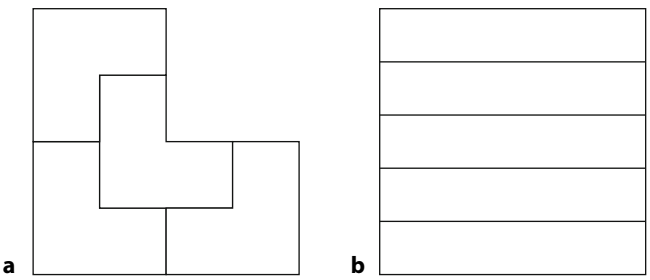
a b

Die **Verfügbarkeit von Operatoren** ist eine weitere wichtige Voraussetzung für das effektive Lösen von Problemen. Auch dies wird an den Denkaufgaben in ▶ Exkurs 10.12 deutlich. Zur Erhöhung der Verfügbarkeit von Operatoren bietet sich oft die **Analogiebildung** an. Darunter wird der Prozess verstanden, die bereits bekannte Lösung eines vielleicht völlig anderen Problems auf das zu lösende Problem zu übertragen. Als klassisches Beispiel wird hierfür zumeist die bekannte Problemlösung von Ernest Rutherford (1871–1937) angeführt, der die bekannte Struktur des Sonnensystems als Modell für die Struktur von Atomen heranzog; oder die Problemlösung von August Kekulé (1829–1896), der die ringförmige Molekularstruktur des Benzols (Benzolring) entdeckte aufgrund der Analogie zu einem Traumbild, in welchem sich eine rätselhafte Schlange in ihren eigenen Schwanz verbissen hatte (bis dahin waren chemische Formeln nur linear gedacht worden).

Lösungen zu ▶ Exkurs 10.12

Lösung zum fehlenden Euro: Es gibt den fehlenden Euro nicht. Gezahlt werden 30 − 5 + 2 = 27 = 3 × 9 Euro, weil die anfangs gezahlten 30 Euro um 5 Euro auf 25 Euro ermäßigt und 2 Euro von der Bedienung einbehalten werden – macht zusammen 25 + 2 = 27 (und eben nicht 27 + 2 = 29) Euro.

Lösung zum Grundstücksproblem



a b

Schwierigkeiten bei der Verwendung von Analogien bestehen jedoch darin, zum einen ein angemessenes Beispiel oder Modell zu finden, und zum anderen muss sorgfältig überlegt werden, wie die Analogie richtig angewendet werden kann. Oft werden von Probanden spontan frühere Beispiele zur Lösung von Problemen herangezogen, da sie sich durch die zeitliche Nähe oder durch äußerliche Ähnlichkeiten leiten lassen.

Funktionale Fixierung

Ob Lösungen gefunden werden, hängt in manchen Fällen, insbesondere im täglichen Leben, davon ab, ob wir wahrgenommene Objekte kognitiv aus ihrer **funktionalen Gebundenheit** lösen und in einen anderen Funktionsbereich einordnen können.

Bereits die Wahrnehmung einer Funktion bewirkt, dass weitere Funktionen verzögert oder nicht mehr erkannt werden. Dies konnte in verschiedenen Untersuchungen nachgewiesen werden. Am bekanntesten ist hierzu das Zwei-Seile-Problem von Maier (1931). Dabei befindet sich die Versuchsperson in der in Abb. 10.18 dargestellten Situation und hat die Aufgabe, die beiden von der Decke hängenden Seile miteinander zu verbinden. Wenn die Versuchsperson das eine Seilende festhält, ist das andere jedoch außerhalb ihrer Reichweite. In dem Raum befinden sich unter anderem auch ein Stuhl und verschiedene Werkzeuge. Aber auch mit dem Stuhl, den die meisten zu Hilfe nehmen, ist das andere Seilende nicht gleichzeitig zu erreichen. Würden Sie die Lösung finden, wenn Sie sich in die Situation der Versuchsperson versetzen?

Erst wenn es Ihnen gelingt, die vorhandenen Gegenstände aus ihrer funktionalen Gebundenheit zu lösen, zeigt sich die einzig mögliche Lösung. Betrachten Sie das Werkzeug nicht als Instrument, sondern als Gewicht, das Sie an das eine Seilende anbinden können. Wenn Sie dieses wie ein Pendel zum Schwingen bringen, können Sie nun das andere Seil ergreifen und das schwingende Werkzeug auffangen, wenn es auf Sie zukommt.

Nur 39 % von Maiers Versuchspersonen waren in der Lage, innerhalb von 10 min diese Lösung finden.

Besonders aufschlussreich ist ein Experiment von Scheerer (1963), der seinen Probanden die Aufgabe stellte, Ringe auf einen Pflock zu lancieren, von dem sie selbst so weit entfernt waren, dass sie die Aufgabe nur dann bewältigen konnten, wenn sie zwei ebenfalls vorhandene kurze Stöcke zu einem längeren zusammenbanden. Wenn in der einen Versuchssituation die Probanden eine Schnur sahen, die über einem Nagel an der Wand herunterhing, ergriffen sie diese sofort, um die Stöcke zu verbinden. Anders war es jedoch, wenn an derselben Stelle an der Schnur ein Bild hing. In diesem Falle wurde die Schnur als Hilfsmittel einfach nicht gesehen. 50 % der Probanden hatten auch nach 20 min die Lösung noch nicht gefunden. Auch hier verhindert die **funktionale Fixierung** „Bildaufhängung“ ihre Verwendung als „Schnur“ zum Zusammenbinden.

Ein weiteres bekanntes Beispiel funktionaler Fixiertheit zeigt Abb. 10.19.

Die Versuchsperson erhält die abgebildeten Gegenstände: Kerzen, Reißzwecken, Streichholzschachtel mit Streichhölzern, Faden. Ihre Aufgabe besteht darin, eine senkrecht stehende, brennende Kerze an der Tür zu befestigen. Wir wird das gemacht? – Solange die Schachtel als Behälter wahrgenommen wird und nicht als Stütze für die Kerze, die sich mit Reißzwecken an der Holztür befestigen lässt, bleibt sie den vorgestellten Operatoren, die nach einer Stütze suchen, verborgen.

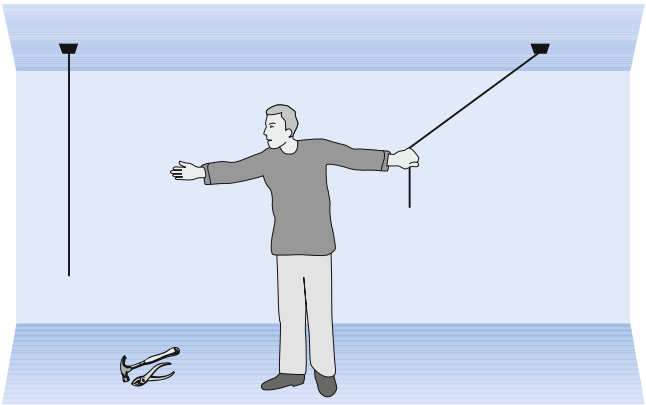


Abb. 10.18 Das Zwei-Seile-Problem. Von der Decke hängen zwei Seile, deren Enden Sie zusammenbringen sollen. Wenn Sie das Ende des einen Seiles festhalten, ist das andere Seil außer Ihrer Reichweite. Wie geht es?

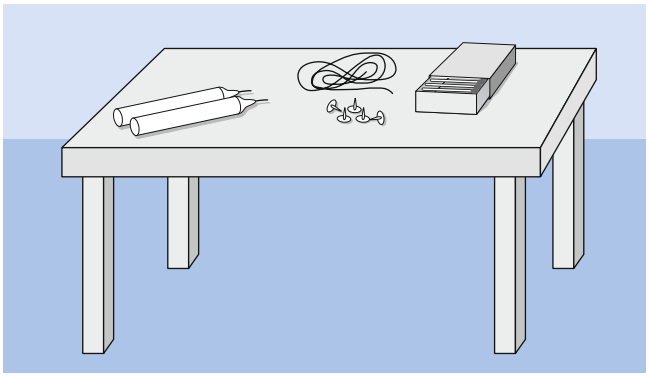


Abb. 10.19 Beispiel zur funktionalen Fixiertheit. Sie erhalten die abgebildeten Gegenstände. Können Sie damit eine brennende Kerze an der Fläche einer senkrechten Tür befestigen?

Funktionale Fixierung

Die Tendenz, wahrgenommene Objekte in ihrer üblichen Problemlösefunktion kognitiv zu repräsentieren, wodurch das Erfassen auch anderer möglicher Funktion erschwert oder gar verhindert wird, wird als funktionale Fixierung bezeichnet.

10.6 Entscheiden, Grundbegriffe und Strategien

Bei der Entscheidungsfindung geht es um die Frage, wie Menschen zu ihren Entscheidungen kommen – und unser Leben ist voll von Entscheidungen: Welches Menü will ich wählen? Was kaufe ich zuerst ein? Welchen Beruf, welches Studium will ich ergreifen? – Bisweilen ist es recht leicht, eine Wahl zu treffen. Wenn man uns anbietet, zwischen 300 Euro und 600 Euro zu wählen, dürfte wohl niemandem die Entscheidung schwerfallen. Aber für welches Angebot würden wir uns entscheiden, wenn wir zu wählen hätten zwischen sicheren 300 Euro und einer Chance auf 600 Euro? Dies ist eine Entscheidung, wie sie sich bei Geldanlagen in Aktien durchaus stellen kann.

10.6.1 Strukturen von Entscheidungssituationen

Ein Großteil der Forschungen zur Entscheidungsfindung befasst sich mit solchen *Entscheidungen unter Unsicherheit*, bei denen die Umfeldeinflüsse nicht bekannt sind. In Abhängigkeit davon, ob Konsequenzen von Handlungen sicher eintreten oder nicht, wird zwischen folgenden Entscheidungssituationen unterschieden:

- **Entscheidung unter Sicherheit** (deterministische Entscheidung, unser erstes Beispiel). Hier wird angenommen, dass die erwarteten Konsequenzen tatsächlich eintreffen (ich erhalte das Geld).
- **Entscheidung unter Unsicherheit** (*uncertainty*, zweites Beispiel): Die Konsequenzen treffen nur mit einer nicht bestimmbaren Wahrscheinlichkeit ein.
  Wenn hierbei die *Wahrscheinlichkeiten* des Eintretens der Konsequenzen angegeben werden können oder bekannt ist, spricht man von
- **Entscheidung unter Risiko**: Bei diesen Entscheidungen können über alle möglichen Konsequenzen jeder einzelnen Entscheidung *Erwartungswerte* errechnet werden, was bei Ungewissheit so nicht möglich ist. Hier kommt jeder Option die gleiche Wahrscheinlichkeit zu (Indifferenzprinzip).

Die Strukturen von Entscheidungssituationen lassen sich mithilfe von Entscheidungsbäumen grafisch veranschaulichen (Abb. 10.20).

10.6.2 Typen von Entscheidungstheorien

Entscheidungstheorien lassen sich nach ihrem Ansatz und Vorgehen unterscheiden. Zunächst beschreiben sie, wie rationale Entscheidungen getroffen werden sollten. Weitere Theorien beschreiben dann, wie Menschen tatsächlich entscheiden.

Normativer Ansatz

Wie die Eingangsbeispiele (Absatz 10.6) schon zeigen, haben Entscheidungen sehr unterschiedliche Komplexität. Zunächst ging man in der Forschung davon aus, das Entscheidungsverhalten wie das Verhalten bei Glücksspielen zu betrachten, bei denen wir bekanntlich jeweils versuchen, den größten Gewinn oder Nutzen (*utility*) für uns zu erreichen (von Neumann und Morgenstern 1947). So scheint es auf den ersten Blick sinnvoll anzunehmen, dass wir bei unseren Entscheidungen stets versuchen, die Gewinnchancen zu maximieren und die Verlustchancen zu minimieren. Dies wird als normativer Ansatz bezeichnet. Er beschreibt, wie Menschen sich verhalten sollten, und nimmt an, dass sie über genügend verlässliche Information und ein Verständnis von Wahrscheinlichkeiten verfügen. Hierbei spielen u. a. folgende Prinzipien eine Rolle:

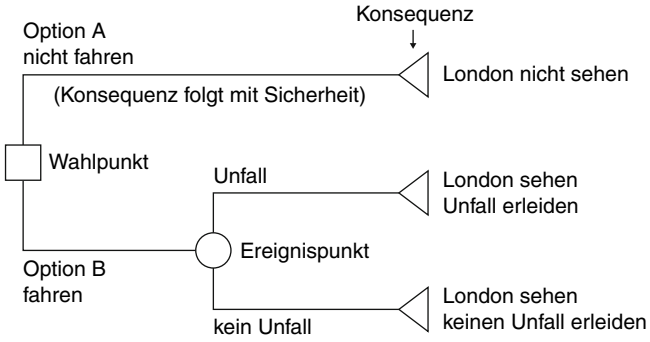


Abb. 10.20 Entscheidungsbaum einer einfachen Urlaubsentscheidung. Das Erreichen von London wird als sichere Konsequenz der positiven Wahl dargestellt. Unfall oder kein Unfall sind in diesem Beispiel unsichere Konsequenzen der Entscheidung des Zufalls. Treffen die Konsequenzen mit einer nicht bestimmbaren Wahrscheinlichkeit ein, spricht man von Entscheidung unter Unsicherheit. Lassen sich die Wahrscheinlichkeiten bestimmen, sprechen wir von Entscheidung unter Risiko. Quadrat = Wahlpunkt, Kreis = Ereignis, Dreieck = Konsequenz

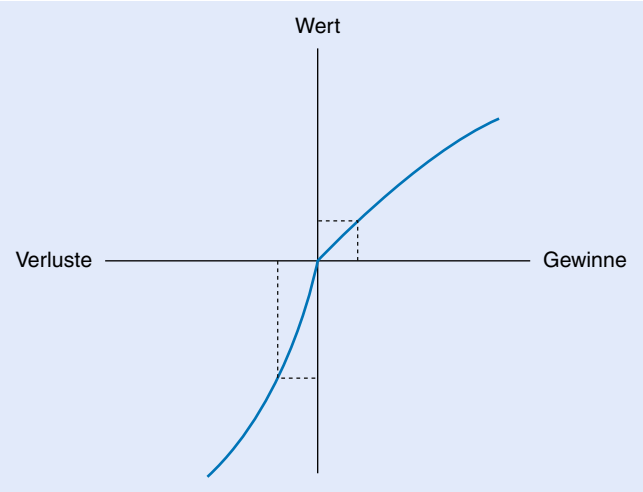


Abb. 10.21 Hypothetische typische Nutzenfunktion. (Nach Kahneman und Tversky, 1984, © 1984 American Psychological Association)

- **Prinzip der Dominanz:** Eine Option A, die mindestens so gut wie oder besser ist als B, also einen höheren erwarteten Nutzen hat, sollte stets der Option B vorgezogen werden.
- **Prinzip der Invarianz:** Die Präferenz sollte nicht durch die Art der Darstellung von Optionen und Konsequenzen beeinflusst werden.

Normative Theorien stellen ideale Regeln für rationale Entscheidungen auf.

Deskriptiver Ansatz

Dies führte zur Entwicklung des *ökonomischen Ansatzes* des subjektiv zu erwartenden Nutzens (SEU-Theorie), die ihren Ursprung in der Wahrscheinlichkeitstheorie und den Annahmen der *Erwartungs-Wert-Theorien* (▶ Kap. 11) haben. Hiernach soll nicht die Option mit dem höchsten objektiv zu erwartenden Nutzen gewählt werden, sondern die mit dem **höchsten subjektiv zu erwartenden** Nutzen.

Doch es zeigte sich bald, dass in der realen Welt sehr unterschiedliche weitere Faktoren mit im Spiel sind, z. B. unterschiedliche *Risikobereitschaft*, emotionale und soziale Faktoren, und dass die Annahmen der ökonomischen Ansätze nicht zutreffend sind (Tversky und Kahnemann 1986), was zu Weiterentwicklungen des deskriptiven Ansatzes führte (mehr zu Entscheidungsmodellen und psychologischen Faktoren in *Zusatztext online*).

Deskriptive Theorien erklären und wollen vorhersagen, wie Menschen tatsächlich Entscheidungen treffen.

10.6.3 Risikobereitschaft

Betrachten Sie dazu folgende Beispiele:

(a) Sie gewinnen mit Sicherheit $ 800.

(b) Sie können $ 1000 gewinnen mit einer Chance von 85 % (Ihre Chance, nichts zu gewinnen, beträgt 15 %; erwarteter Wert: 1000 × 85 % = $ 850).

Hier werden Sie vermutlich die Alternative (b) wählen.

(c) Sie verlieren mit Sicherheit $ 800.

(d) Sie können $ 1000 verlieren mit einer Chance von 85 % (Ihre Chance, nichts zu verlieren, beträgt 15 %; erwarteter Verlustwert: $ 850).

Hier werden Sie vermutlich die Alternative (c) wählen.

Wie die Untersuchungen von Tversky und Kahnemann (1986) zeigten, entschieden sich die meisten Teilnehmer aber nicht für die bestmögliche Wahl. Die Mehrheit bevorzugte vielmehr die Wahl (a) mit dem kleineren erwarteten Gewinn und wählte eher (d) mit dem größeren erwarteten Verlust. Wir haben offenbar eine risikovermeidende Präferenz für einen sicheren Gewinn gegenüber einem nur wahrscheinlich größeren Gewinn. Wir haben andererseits eine risikofreudige Präferenz, ein Wagnis einem sicheren Verlust vorzuziehen (Tversky und Kahnemann 1986).

Menschen haben offenbar Einstellungen zu Risiken. Diese beeinflussen ihre Entscheidungen, ob sie Optionen wählen, bei denen sie ein Risiko meiden oder aufsuchen, unabhängig vom tatsächlichen erwartbaren Nutzen ihrer Entscheidung.

10.6.4 Prospekt Theorie

Um diese scheinbar paradoxen Ergebnisse zu erklären, entwarfen Kahneman und Tversky (1979, 1984) ihre **Prospekt Theorie** (*prospect theory*), die wohl prominenteste der deskriptiven Nutzentheorien. Sie basiert auf der Annahme: Personen sind in stärkerem Maße sensibel für mögliche Verluste als für mögliche Gewinne, was sie als **Verlustaversion** (*lost aversion*) bezeichneten (Kahneman 2003). Oder: Der Wert, den die Personen dem Geld beimessen, der **subjektive Nutzen** (*utility*), hängt nicht linear mit dem Nennwert des Geldes zusammen (Abb. 10.21) zeigt eine solche hypothetische typische Nutzenfunktion. Die

Exkurs 10.13

Genauer betrachtet: Framing

Zum Nachweis des Framings konstruierten Tversky und Kahnemann das „Asian-Disease"-Problem, bei dem die Untersuchungsteilnehmer zwischen zwei alternativen Bekämpfungsprogrammen wählen sollten. Dabei wurde zwei Probandengruppen die gleiche Aufgabe, aber mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen vorgegeben. Allen Teilnehmern wurde gesagt, stellen Sie sich vor, die USA bereiten sich auf den möglichen Ausbruch einer ungewöhnlichen Asian-Disease vor, welche voraussichtlich 600 Menschen töten würde. Dann wurde den Teilnehmern der ersten Versuchsgruppe gesagt: Zur Bekämpfung der Krankheit sind zwei unterschiedliche Programme vorbereitet worden, für die folgende Konsequenzen berechnet wurden:

- Bei Anwendung von Programm A können 200 Menschen gerettet werden (Option A).
- Bei Anwendung von Programm B besteht eine 1/3 Wahrscheinlichkeit, dass 600 Menschen gerettet werden, und eine 2/3 Wahrscheinlichkeit, dass kein Mensch gerettet werden kann (Option B).

Welchem Programm würden Sie den Vorzug geben?

Wenn die Entscheidungsaufgabe in dieser Weise vorgegeben wurde, entschieden sich 72 % der Teilnehmer für Programm A und nur 28 % für Programm B, obgleich beide Programme die gleichen Erwartungswerte haben und in beiden Fällen im Mittel 200 Personen gerettet werden können.

Die Teilnehmer der zweiten Versuchsgruppe erhielten die gleiche Aufgabe, aber die gleichen Konsequenzen wurden anders formuliert:

- Bei Anwendung von Programm C können 400 Menschen getötet werden (Option C).
- Bei Anwendung von Programm D besteht eine 1/3 Wahrscheinlichkeit, dass kein Mensch sterben wird, und eine 2/3 Wahrscheinlichkeit, dass 600 Menschen sterben (Option D) (d. h., auch hier können im Mittel 200 Personen gerettet werden).

Obgleich unter beiden Rahmenbedingungen (Framing) tatsächlich die Zahl der Menschen, die am Leben blieben, und die Zahl der Menschen, die sterben würden, identisch ist, entschieden sich unter diesen Rahmenbedingungen 78 % der Probanden für Programm D und nur 22 % für Programm C.

Verankerung der S-förmigen Kurve befindet sich im Gegensatz zu Vorläufermodellen nicht im absoluten Nullpunkt (Gewinn-Verlust), sondern an einem subjektiven Referenzpunkt. Die Wertfunktion verläuft im Bereich der Verluste steiler als im Bereich der Gewinne. Sie zeigt also, dass der positive Wert, der mit Gewinnen assoziiert wird, nur langsam ansteigt, während der negative, mit Verlust assoziierte Wert (steilere Kurve) relativ schnell anwächst, wenn die Verluste größer werden. Dies entspricht der Verlustaversion.

Der steilere Verlauf der Nutzenfunktion im Verlustbereich würde auch das folgende Entscheidungsergebnis verständlich machen: Bietet man Probanden folgende zwei Spieloptionen zur Auswahl an:

(a) Gewinne $ 10 mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,5 und verliere $ 10 mit der gleichen Wahrscheinlichkeit.
(b) Gewinne und verliere nichts mit der Wahrscheinlichkeit von 1.

dann bevorzugen sie die Variante (b), weil sie den Verlust von $ 10 stärker gewichten (und befürchten) als den Gewinn von $ 10 (Anderson 2013).

Weiter ergibt sich aus dem S-förmigen Verlauf die Vorhersage, dass bei Entscheidungen zwischen Gewinnen (konkaver Kurvenverlauf im Gewinnbereich) Risikoaversion zu erwarten ist. Andererseits ist Risikosuche zu erwarten bei Personen, die Entscheidungen zwischen Verlusten treffen (konvexer Kurvenverlauf im Verlustbereich).

Wenngleich die Prospekttheorie unsere Entscheidungsfindung schon wesentlich adäquater erfasst als die vorausgehenden normativen Ansätze, so hat sie doch recht enge Grenzen und steht nur für recht einfache Entscheidungsprobleme. Unberücksichtigt bleiben soziale oder emotionale Faktoren, individuelle Differenzen der Risikobereitschaft wie auch allgemeine positive oder negative Rahmenbedingungen der Botschaft (Moorman und van den Putte 2008).

10.6.5 Rahmungseffekte, Framing

Hierunter versteht man den Einfluss irrelevanter Aspekte der Darstellung oder Formulierung der Situation auf das Fällen der Entscheidung. Diesen (eigentlich unzulässigen) Einfluss konnten Tversky und Kahnemann (1981, 1987) in einer klassischen Studie nachweisen, wie in ▶ Exkurs 10.13 dargestellt.

Nach dem Invarianzprinzip der subjektiven Nutzentheorie sollten die Probanden indifferent zwischen den jeweils beiden Optionen sein, wie sie im Framingexperiment (▶ Exkurs 10.13) dargestellt wurden, und Rahmenbedingungen, wie die sprachliche Formulierung, sollten keine Rolle spielen. Tatsächlich ergeben sich aber eindeutige Präferenzen, unter unterschiedlichem Framing. Unter positivem Framing (Leben retten) wird mehrheitlich die sichere Option (A) gewählt, gegenüber unsicherem Lotterieausgang. Unter negativem Framing (durch Krankheit getötet werden) wird dagegen mehrheitlich die unsichere Option (D, Lotterie) gewählt, gegenüber der sicheren Option (C). Diese Ergebnisse lassen sich auch als Ausdruck von Risikovermeidung (unter Gewinn-Framing) und Risikosuche (unter Verlust-Framing) interpretieren.

Framing bezeichnet die (unterschiedliche) Darstellung einer Umfeldsituation, Hier bezeichnet es das unterschiedliche Darstellen der Konsequenzen der Optionen.

Framing-Effekt

bezeichnet den Einfluss irrelevanter Situationsaspekte (wie sprachliche Problemdarstellung) auf das Entscheidungsergebnis.

In der Praxis bietet sich damit eine vielfach genutzte Möglichkeit, durch eigentlich irrelevante verbale oder auch bildliche Ausgestaltung der Problemdarstellung die Entscheidungsfindung (unbemerkt) zu beeinflussen.

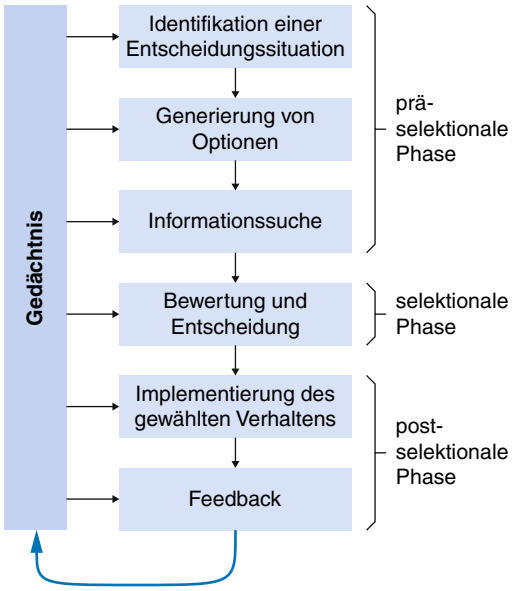


Abb. 10.22 Rahmenmodell. (Betsch et al. 2011)

10

10.6.6 Phasen der Entscheidungsprozesse

Entscheidungsfindung im täglichen Leben ist jedoch vielfach weitaus komplexer als unter Experimentalbedingungen. Zudem erfassen die meisten theoretischen Ansätze (die wir hier nicht weiter behandeln) nur die Entscheidung einer einzelnen Aktion zu einem bestimmten Zeitpunkt, wie an einer Astgabelung. Aber Entscheidungsverhalten verläuft nach Hastie (2001, S. 665) eher wie eine Sequenz von vielen eingekleideten (*embedded*) Wahlen und Urteilen, um den schwankenden Kurs wie bei einem Schiff in rauer See zum erstrebten Ziel zu navigieren. Einen strukturierenden Überblick über die fortlaufenden Entscheidungsprozesse gibt uns ein von Betsch et al. (2011) dargelegtes Rahmenmodell der Entscheidungsphasen.

Beim Entscheiden handelt es sich meist um einen längeren Prozess, bei dem wir die verschiedenen Möglichkeiten abwägen. Die tatsächliche Wahl ist nur ein Teil dieses Prozesses, der sich auf die Selektion einer der möglichen Optionen bezieht. Unterscheiden lässt sich von dieser **selektionalen Phase** eine **präselektionale** und eine **postselektionale Phase** (Abb. 10.22).

Präselektionale Phase

Sie bezieht sich auf das aktive Suchen der entscheidungsrelevanten Informationen, sei es im Gedächtnis oder in der Umwelt. Bei einer Kaufentscheidung können wir uns beispielsweise bei einer Verbraucherzentrale, der Stiftung Warentest oder im Internet kundig machen. Dort können wir relevante Merkmale oder auch Optionen selbst finden. Häufig gibt es dabei viel mehr Alternativen (die Menge der Optionen ist bei alltäglichen Entscheidungen nicht festgeschrieben), als wir sie bei der nachfolgenden Entscheidung berücksichtigen. Dies bezeichnet man als **begrenzte Rationalität**. Ihr zufolge sind wir offenbar nicht in der Lage, der Maxime der Nutzenmaximierung zu folgen, wie sie die Nutzentheorie vorgibt.

Selektionale Phase

Sie umfasst den Kern des Entscheidens, das Bewerten der möglichen Konsequenzen der betrachteten Optionen und das tatsächliche Fällen einer Entscheidung, wie wir es oben erörtert haben und womit sich die Entscheidungsforschung, ausgehend vom Lotterieparadigma und der Werterwartung, lange Zeit fast ausschließlich befasste.

Postselektionale Phase

Viele Entscheidungssituationen kehren so oder in ähnlicher Form wieder. Hier können uns die Erfahrungen, die wir bei früheren Entscheidungen gemacht haben, hilfreich sein. Doch wurden diese in der kognitiven Psychologie bisher nur selten betrachtet (Betsch et al. 2011).

So haben die Folgen unserer Entscheidungen große **Bedeutung für spätere Entscheidungen**, sofern wir die Zusammenhänge und Konsequenzen in unserem Langzeitgedächtnis gespeichert haben (Abb. 10.22). Erst im Nachherein erfahren wir, ob die erwarteten Konsequenzen, die die Grundlage unserer Entscheidung waren, dann auch tatsächlich eintreffen. Diese direkten Erfahrungen sowie das (verbale) Feedback (die Rückmeldung), das wir aus unserer Umwelt erhalten, beeinflussen unsere späteren Entscheidungen, sofern es sich um „freundliche", d. h. zuverlässige und eindeutige Feedbackumwelten handelt (Harvey und Fischer 2005). Darüber hinaus ist der Lerneffekt in hohem Maße auch davon abhängig, wie die Person mit dem erhaltenen Feedback umgeht.

10.6.7 Komplexe Entscheidungsfindung

Diesen Überlegungen zu einem umfassenderen Entscheidungsprozess kommt ein Ansatz von Wright (1984) nahe. Nach seiner *multi-attribute utility theory* sollte das Entscheiden folgende Stadien durchlaufen:

1. Identifizieren der entscheidungsrelevanten Attribute.
2. Die Gewichtung diese Attribute festlegen.
3. Die Gesamtnützlichkeit feststellen (d. h. die subjektive Wünschbarkeit für jede Option durch Summierung der Attributsgewichtungen).
4. Die Option mit der höchsten Gesamtgewichtung auswählen.

Wenngleich dieses Vorgehen oft die besten Entscheidungen erbringt, gibt es viele Gründe, warum diese Entscheidungsfindungsprozedur in der Praxis nur selten eingehalten wird, schon weil oft die relevanten Dimensionen nicht ausgearbeitet werden können oder unklar sind (siehe hierzu *Zusatztext online* Psychologie der Entscheidung).

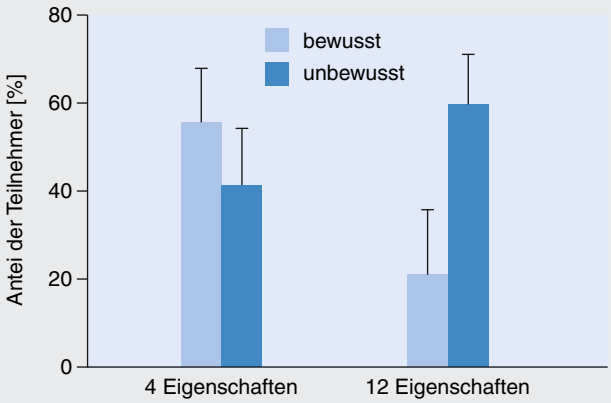
Hinzu kommt, dass wir uns bei komplexen Entscheidungsfindungen typischerweise – infolge unserer begrenzten Gedächtnis- und Verarbeitungskapazität – nur auf einige der vorhandenen Informationen fokussieren können, oder fokussieren.

Demgegenüber konnten Betsch et al. (2001) sowie Dijksterhuis (2004) zeigen, dass unbewusst offenbar große Mengen von Information erfolgreich integriert werden und bessere Entscheidungen erzielt werden können. In einer neueren Untersuchung konnte darüber hinaus gezeigt werden, dass bewusstes Denken

Exkurs 10.14

Genauer betrachtet: Unbewusstes Denken

In dieser Untersuchung zum unbewussten Denken ging es um die Entscheidung für das beste und wünschenswerteste Auto. Alle Teilnehmer bekamen Informationen über vier hypothetische Autos zu lesen. In der einfachen Bedingung war jedes Auto durch vier, in der komplexen Bedingung durch zwölf Eigenschaften beschrieben. Die Teilnehmer hatten dann 5 min Zeit, um entweder über die Autos nachzudenken (bewusstes Denken) oder hatten für fünf Minuten Annagramme zu lösen, bevor sie sich für ein Auto entscheiden mussten (unbewusstes Denken) Wie ◘ Abb. 10.23 zeigt, wählte ein größerer Prozentsatz der Teilnehmer in der Unbewusst-Situation als in der Bewusst-Situation das wünschenswerteste Modell, wenn die Entscheidung komplex war. Bei der einfachen Entscheidung war es umgekehrt (Dijksterhuis et al. 2006).



◘ **Abb. 10.23** Prozentsatz von Teilnehmern, die das wünschenswerteste Auto wählten als Funktion der Entscheidungskomplexität (4 oder 12 Aspekte) und der Denkungsweise (bewusst oder unbewusst). (Dijksterhuis et al. 2006)

zwar bei einfachen Entscheidungen effektiv ist, jedoch bei komplexen Entscheidungen unbewusstes Denken die besseren Ergebnisse liefert (► Exkurs 10.14).

Eine andere Art von unbewusstem Entscheiden geht auf den Einfluss eigentlich nicht relevanter Reize bei der Entscheidungsfindung zurück, der durchaus beachtlich sein kann. Er lässt sich offenbar recht leicht in der Beeinflussbarkeit unseres Kaufverhaltens beobachten. Nach einem Bericht der Zeitschrift Focus (2015) treffen wir unsere bewusst erlebte Kaufentscheidung zu 70 % unbewusst. Werden beim Einkaufen in einem Einkaufsmarkt Chansons abgespielt, kaufen wir danach vorwiegend französische Weine, bei Volksmusikbeschallung dagegen mehr deutsche Weine.

Derartige Ergebnisse sprechen dafür, dass bewusstes Entscheidungsdenken durch die Limitation von Aufmerksamkeit und Bewusstsein eingeschränkt ist. In der Praxis können diese Einschränkungen jedoch überwunden werden dadurch, dass die entscheidungsrelevanten Informationen ständig bereitgehalten werden und genügend Zeit zur Verfügung steht, diese systematisch zu bewerten. Ohnehin werden sehr komplexe Problementscheidungen nur bewusst und unter Zuhilfenahme kapazitätserweiternder Hilfen wie Schreiben, Berechnen oder Computerunterstützung zu treffen sein (Kruglanski und Orehek 2007).

10.6.8 Emotionale Faktoren

In der Entscheidungsforschung fanden Gefühle zunächst kaum Beachtung, da man hier von einem rationalistisch ökonomischen Menschenbild ausging. Inzwischen aber gibt es deutliche Anzeichen, vor allem aus den kognitiven Neurowissenschaften, dass auch Gefühle unsere Entscheidungen beeinflussen können, insbesondere hinsichtlich der Verlustaversion. Zunächst aber ein Überblick.

Nach Betsch et al. (2011) lassen sich die Arbeiten zur Bedeutung von Gefühlen in der Entscheidungsforschung vier Ansätzen zuordnen (◘ Abb. 10.24).

1. **Gefühle als Epiphänomen des Entscheidens**: Im klassisch rationalistischen Ansatz werden Gefühle als Nebenprodukt der kognitiven Bewertung betrachtet, die selbst keinen Einfluss auf den Entscheidungsprozess haben.
2. **Gefühle als Prozessdeterminanten**: Es wird untersucht, ob momentane Gefühlslagen oder Stimmungen die Entscheidungsfindung beeinflussen. Es konnte nachgewiesen werden, dass bei guter Stimmung Verluste schwerer wiegen (höhere Risikovermeidung) als in neutraler Stimmung (Isen et al. 1988).
3. **Gefühle als Entscheidungskriterium, vermittelter Einfluss**: Nach dieser Sichtweise gehen die kognitiv antizipierten Gefühlskonsequenzen (*anticipated emotions*) in die Entscheidung ein und nicht das erlebte Gefühl selbst (kognitiv vermittelter Einfluss). Diese Antizipationen können aus früher gemachten Erfahrungen resultieren, die zum Gefühl der Enttäuschung oder des Bedauerns oder aber auch der Freude führten. Die Stärke zukünftiger Emotionen kann dabei sowohl über- als auch unterschätzt werden (Loewenstein 1996).

4 **Gefühle als Entscheidungskriterium, direkter Einfluss**: Dieser Ansatz sucht zu belegen, dass Gefühle einen direkten Einfluss auf Entscheidungen haben. Er wird erst seit wenigen Jahren in der Entscheidungsforschung diskutiert. Er wurde eingeleitet durch Ergebnisse aus der Hirnforschung, insbesondere durch die Arbeiten von Damasio (1995). Er beobachtete bei seinen Patienten mit bestimmten Hirnschädigungen (orbitofrontaler Cortex), dass bei ihnen Defizite im emotionalen Erleben mit Defiziten in der Entscheidungsfähigkeit einhergingen. Das führte zu zahlreichen weiteren

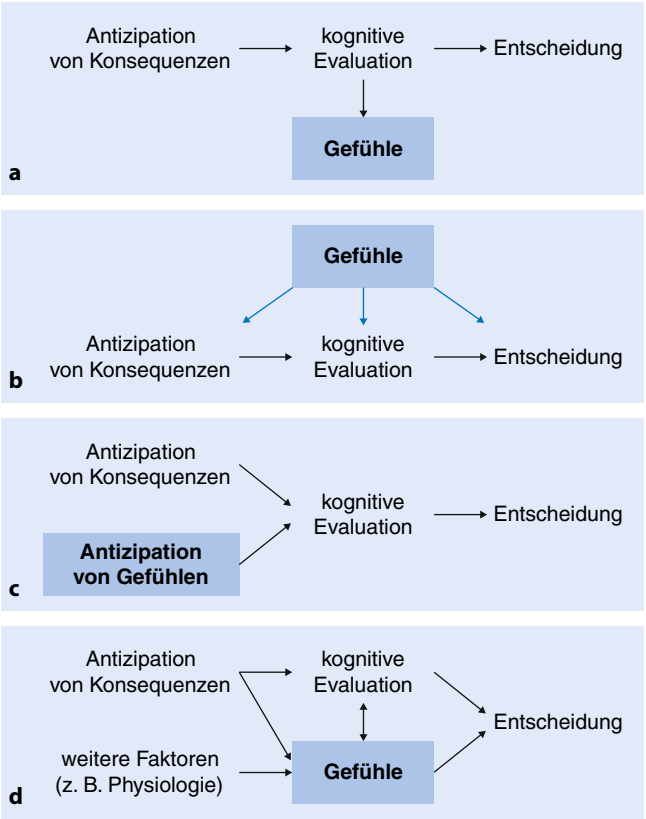


Abb. 10.24 Aspekte der Entscheidungsforschung. a Gefühle als Epiphänomen des Entscheidens, **b** Gefühle als Prozessdeterminanten, **c** Gefühle als vermitteltes Entscheidungskriterium, **d** Gefühle als direktes Entscheidungskriterium. (Betsch et al. 2011)

Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Emotionszentren im Gehirn und dem Entscheidungsverhalten, deren Ergebnisse die psychologische Entscheidungsforschung nachhaltig beeinflussten. Eine neuere Beispieluntersuchung findet sich in ► Exkurs 10.15.

Aufgrund solcher und ähnlicher Studien wird mit großer Sicherheit angenommen, dass emotionale Faktoren eine starke Rolle bei Wahlentscheidungen spielen und zu Risiko- oder Verlustvermeidungsverhalten führen (Verlustaversion, *loss aversion*).

Auch weitere Studien, belegen, dass Gefühle einen direkten und starken Einfluss auf Wahlentscheidungen ausüben können. Auch lassen sich Entscheidungen durch „affektreiche Präsentation" der Entscheidungsaufgabe oder durch vorangehendes Priming (siehe ► Kap. 9, Abschn. 9.1 und *Zusatztext online*) erfolgreich manipulieren (Hsee und Rottenstreich 2004; siehe *Zusatztext online*). Hinzu kommen weitere Faktoren, die in ► Kap. 3 und 5 besprochen werden. Daneben gibt es im praktischen Leben natürlich etliche Situationen, in denen wir – je nach Veranlagung – Entscheidungen treffen, die mehr oder weniger nicht rational, sondern eher emotional begründet oder veranlasst sind.

(Einen weiteren Link zu Vorlesungsfolien zu: Kognitionspsychologie: Denken, Problemlösen, Sprache von Thomas Goschke finden Sie in *Zusatztext online*.)

Kritisch hinterfragt

Wie entscheiden wir wirklich?
Wir haben verschiedene Entscheidungstheorien kennen gelernt (► Abschn. 10.6) und haben angemerkt, dass die Entscheidungsfindung im täglichen Leben jedoch vielfach weitaus komplexer ist als unter Experimentalbedingungen, und dass es sich beim Entscheiden zu allermeist um einen längeren Prozess handelt, bei dem wir die verschiedenen Möglichkeiten abwägen, wobei verschiedene Phasen durchlaufen werden. – Hier können *wir kritisch fragen*, wie weit decken sich diese Ausführungen mit unserer praktischen Erfahrung im täglichen Leben, wo wir viele schnelle Entscheidungen treffen? Wie bereits angedeutet (► Abschn. 10.6.7) gibt es viele Gründe, warum diese Entscheidungsfindungsprozedur in der Praxis nur selten eingehalten wird, schon weil oft die relevanten Dimensionen nicht ausgearbeitet werden können oder diese unklar sind.
Wieweit sind wir dabei wirklich – wie wir selbst vermuten – Herr darüber, welchen Weg wir einschlagen? Wer (oder was) bestimmt und steuert unser Schicksal tatsächlich?
Dazu gibt es Forschungsergebnisse (die natürlich ebenfalls kritisch zu betrachten sind), die zeigen: Auch wenn wir glauben, souverän zu entscheiden, lassen wir uns von vielen Faktoren beeinflussen, die wir nicht einmal bemerken. So entscheiden auch die Hormone bisweilen heimlich mit – und andere körperliche und psychische Faktoren, wie Gewohnheiten, die mit der Sache wenig zu tun haben (Genaueres dazu in *Zusatztexte online*, Psychologie der Entscheidung).

Zusammenfassung

Denken umfasst die Erkenntnisakte des Begreifens, Meinens, Schlussfolgerns und Urteilens.

Es werden verschiedene Formen des Denkens unterschieden: verbales oder propositionales Denken. Es ist bedeutungsbezogen, gedanklich. Bildhaftes Denken. Es ist mit Vorstellungen verbunden, die wir im Geiste „sehen" können. Als motorisches Denken wird ein Denken bezeichnet. das eher mit mentalen Bewegungsabläufen korrespondiert. Weiter wird unterschieden zwischen diskursivem (zergliederndem logisch schließendem) und intuitivem (gefühlsartigem, einfallsproduzierendem) Denken. Produktives Denken bezeichnet das Denken, das völlig neue Ergebnisse hervorbringt, wie es bei schöpferischen Menschen zu beobachten ist.

Bei der Propositionalen Wissensrepräsentation agieren wir vornehmlich mit Konzepten. Sie repräsentieren jeweils eine ganze Klasse von zum Beispiel Objekten oder Merkmalen, die ihnen durch Kategorisierung zugewiesen sind.

Konzepte werden, soweit sie nicht angeboren sind, in der Regel durch Erfahrung erworben.

Nach der kritischen Merkmalstheorie wird ein Konzept charakterisiert durch das Vorhandensein von einer genügend großen Anzahl notwendiger Merkmale.

Nach der Prototypentheorie wird ein Konzept durch ein prototypisches, repräsentatives Beispiel charakterisiert, das in etwa der zentralen Tendenz der Attribute aller Mitglieder des Konzeptes entspricht.

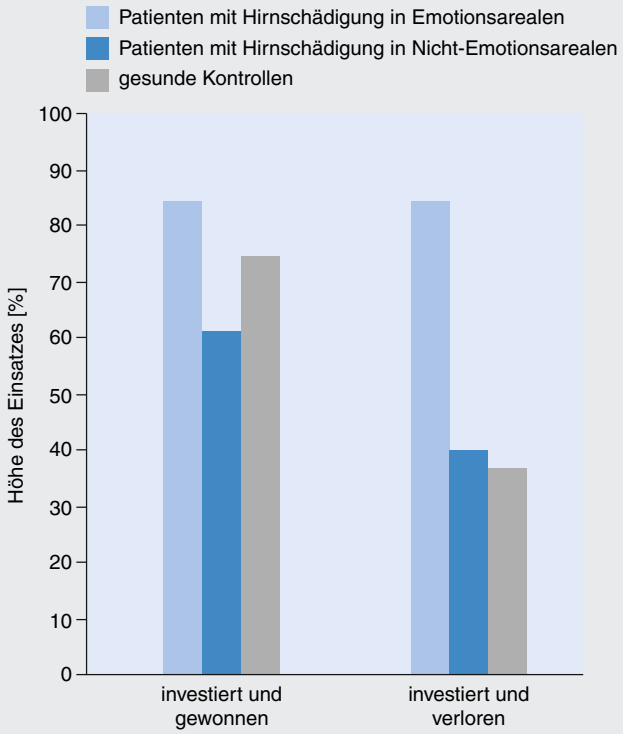
Exkurs 10.15

Genauer betrachtet: Wie Emotionen das Entscheiden beeinflussen

Ausgangspunkt für diese Untersuchung war die Überlegung, dass die Verlust- oder Risikoaversion durch Emotionen verstärkt wird. Shiv et al. (2005) zogen daraus den Umkehrschluss und folgerten, dass Patienten mit einer Hirnschädigung, die ihr Emotionalverhalten mindert, bei Entscheidungsspielen besser abschneiden sollten als gesunde Probanden, und führten folgende Untersuchung durch: Die Experimentalgruppe bestand aus Patienten mit Hirnschädigungen in emotionsbezogenen Hirnarealen (Amygdala, orbitofrontaler Cortex, Insel). Als Kontrollen dienten eine Gruppe von Patienten mit Hirnschädigungen in anderen, nicht relevanten Arealen, und eine Gruppe von gesunden Probanden. Vor dem einfachen Glücksspiel (einem Münzenwurf) erhielt jeder Teilnehmer $ 20. Vor jedem der 20 Münzenwürfe hatte jeder Spieler zu entscheiden, ob er $ 1 einsetzen wolle oder nicht. Wenn er einsetzte, konnte er $ 1,50 gewinnen, wenn beim Münzenwurf die Zahl oben lag. Er verlor den Einsatz ($ 1), wenn der Kopf oben lag. Im Durchschnitt konnten die Teilnehmer also $ 0,25 je Durchgang dazugewinnen, wenn sie einsetzten, statt nur $ 1 zurückzuhalten. Die optimale Strategie war also, bei jeder Runde einzusetzen.

Die Ergebnisse sind in ◘ Abb. 10.25 dargestellt. Die Patienten der der Experimentalgruppe (emotionsreduziert) investierten in 84 % der Runden im Vergleich zu 61 % der anderen Patienten und 58 % der gesunden Kontrollen. Das bedeutet, dass die emotionsreduzierten Patienten am besten abschnitten. Sie ließen sich nicht durch die Ausgänge der jeweils vorangehenden Runde beeinflussen, während die Teilnehmer der anderen beiden Gruppen nach einem Verlust im vorangehenden Spiel viel weniger geneigt waren, im nächsten erneut einzusetzen.

◘ **Abb. 10.25 Experimentalergebnisse.** Prozentsatz der Durchgänge (Runden) in denen die Teilnehmer sich entschieden, 1 $ einzusetzen, nachdem sie in der vorangehenden Runde gewonnen oder verloren hatten. (Eysenck und Keane 2010, S. 521)



Der exemplarbasierte Ansatz charakterisiert Kategorien als eine Sammlung von Beispielen, die den Prototypeffekt ausmachen.

Auch beim Bildhaften Denken und räumlichen Vorstellen gibt es beträchtliche individuelle Unterschiede. Dazu gehören die mentale Rotation, das visuelle Abtasten sowie das Bilden mental-kognitiver Landkarten.

Neuronale Basis. wesentliche Erkenntnisse über die Lokalisation psychischer Hirnfunktionen verdanken wir den Untersuchungen an Patienten mit verschiedenen neurologischen Schädigungen, bei denen recht spezifische Störungen sowohl des bildhaften als auch des semantischen Gedächtnisses zu beobachten waren. So zeigt sich das gleiche Neglect beim realen Wahrnehmen wie beim bildlichen Vorstellen, was dafür spricht, dass die gleichen geschädigten Hirnareale normalerweise für beide Funktionen zuständig sind.

Mit modernen bildgebenden Verfahren, wie der Positronen-Emissions-Tomografie (PET), der Magnet-Resonanz-Tomografie (MRT), auch Kernspin-Tomografie oder MRI sowie der funktionalen MRT (fMRT), die dargestellt werden, ließ sich nachweisen, dass sowohl die Wahrnehmungs- als auch die Vorstellungstätigkeit in denselben Arealen des primären visuellen Cortex ablaufen und das Bildvorstellen auf die gleichen frühen Stadien der corticalen Bildverarbeitung zurückgeht, die hier von gespeicherten Bildinformationen aus dem Langzeitgedächtnis aktiviert werden.

Schlussfolgerndes, deduktives Denken bezeichnet die Ableitung von Sätzen und Erkenntnissen aus anderen, allgemeineren Sätzen oder vorgegebenen Aussagen (Prämissen, Antecedens) Sie führt zum abgeleiteten Schluss, der Konklusion. Es werden Syllogismen und Venn-Diagramme, die Analyse der Struktur, Regeln der Verknüpfung und die Zuordnung von Wahrheitswerten besprochen.

Induktives Denken bezeichnet in der Logik der Schluss, der von einem oder wenigen Fällen (dem Besonderen) auf alle Fälle einer Gesamtheit (das Allgemeine) schließt.

Dazu werden die Basis-Raten-Regel (Bayes-Theorem), die Konjunktionsregel der Wahrscheinlichkeitstheorie und die fortschreitende Induktion erörtert.

Problemlösen besteht in der Reduktion der Diskrepanz zwischen (1) einem Ausgangszustand und (2) einem Zielzustand, der durch die Lösung erreicht werden soll, und (3) den Operatoren (Regeln, Hilfsmitteln, Schritten), mit deren Hilfe die Diskrepanz überwunden werden kann. Dies kann mittels Versuch-Irrtums-Strategien, zumeist aber durch zielgerichtetes Problemlösen erreicht werden. Zur Auswahl der Operatoren gibt es verschiedene Strategien: Die Methode der Unterschiedsreduktion, die Mittel-Ziel-Analyse und die Rückwärts-Analyse, die besprochen werden. Wichtig dabei ist die passende kognitive Repräsentation und die Verfügbarkeit der Operatoren. Für ihre Anwendbarkeit spielt die Güte der Problemdefinition eine entscheidende Rolle,

Entscheiden. Die Struktur von Entscheidungssituationen (unter Sicherheit, unter Unsicherheit oder unter Risiko) wird mithilfe von Entscheidungsbäumen verdeutlicht.

Entscheidungstheorien beschreiben, wie rationale Entscheidungen getroffen werden sollten, oder wie Menschen tatsächlich entscheiden.

Normative Theorien stellen ideale Regeln für rationale Entscheidungen auf und versuchen, die Gewinnchancen (Nutzen) zu maximieren.

Deskriptive Theorien erklären und wollen vorhersagen, wie Menschen tatsächlich Entscheidungen treffen. Hierzu gehören die SEU-Theorien und die Beachtung der unterschiedlichen Risikobereitschaft.

Prospekt Theorie berücksichtigt die subjektive Verlustaversion, den subjektiven Nutzen wie auch den Framing-Effekt, der den Einfluss irrelevanter Situationsaspekte bezeichnet.

Als Phasen des Entscheidungsprozesses werden unterschieden: präselektionale, selektionale und postselektionale Phase.

Bei komplexer Entscheidungsfindung kann unbewusstes Denken zu besseren Ergebnissen führen.

Emotionale Faktoren (Gefühle) spielen eine starke Rolle bei Wahlentscheidungen insbesondere hinsichtlich Risiko- und Verlustaversion.

Antworten auf die Einführungsfragen

1. Es gibt verschiedene Ansätze zur Kategorienbildung. Diskutiert werden: die kritische Merkmalstheorie sowie die exemplarbasierte Theorie: (Definition kritischer Merkmale), die Prototypentheorie (Erstellung von Prototypen), der exemplarbasierte Ansatz (Sammlungen von Exemplaren).
2. Dies ist eine Frage zur mentalen Rotation. Hier werden Objekte, z. B. Buchstaben, in ungewöhnlicher Orientierung dargeboten. Versuchspersonen beurteilen, ob es sich um den jeweiligen Buchstaben in seiner korrekten Form oder in einer Spiegelbildversion handelt. Diese Urteile dauern umso länger, je weiter die Orientierung von der kanonisch-aufrechten Darstellung abweicht. Diese Abhängigkeit lässt sich dadurch erklären, dass der Buchstabe zunächst in der Vorstellung in eine vertikale Orientierung rotiert wird, d. h. sukzessive Repräsentationen des Buchstabens realisiert werden, die den Zwischenstufen einer realen Rotationsbewegung entsprechen. Je länger die Sequenz derartiger Zwischenzustände ist, desto länger dauert es bis zum Erreichen der aufrechten Orientierung. In einer weiteren Version der Aufgabe werden zwei Objekte in zueinander verdrehter Orientierung dargeboten, und es gilt zu entscheiden, ob sie der Form nach identisch oder Spiegelbilder voneinander sind. In dieser Aufgabenversion können auch unbekannte Objekte verwendet werden. Auch hier stellen die Reaktionszeiten eine monotone Funktion des Drehwinkels zwischen den Orientierungen der Objekte dar.
3. Beides folgt aus der Konjunktionsregel der Wahrscheinlichkeit, der zufolge die Wahrscheinlichkeit, dass ein gegebenes Ereignis eintritt, niemals geringer sein kann als die Wahrscheinlichkeit, dass das besagte Ereignis UND ein weiteres Ereignis eintritt. Zur Veranschaulichung betrachte man die Wahrscheinlichkeit, dass es sich bei einer blind aus einem Skatblatt gezogenen Karte um eine rote Karte handelt. Diese beträgt – da die Hälfte der Karten rot ist – 0,5. Die Wahrscheinlichkeit, dass es sich bei der gezogenen Karte um eine Karte handelt, die rot ist und zusätzlich noch ein anderes Merkmal aufweist, z. B. eine Zahl kleiner als 9 oder eine Figur, weist, wie sich für diese Beispiele schnell nachprüfen lässt, jeweils einen geringeren Wert auf (0,125; 0,1875). Für den Grenzfall, dass es sich bei dem zusätzlichen Merkmal um ein Merkmal handelt, dass allen roten Karten zu eigen ist, ist die Wahrscheinlichkeit des Auftretens ebenfalls 0,5. Für alle anderen Fälle ist sie geringer. Wenn es Krümelmonster also niemals bei zwei Kuchen belässt, sondern sich immer zusätzlich (mindestens) drei Torten und einen Sack voll Kekse einverleibt, dann ist die Wahrscheinlichkeit für „isst zwei Kuchen“ und „isst zwei Kuchen, drei Torten und einen Sack voll Kekse“ gleich groß. Anderenfalls ist die Wahrscheinlichkeit für „isst zwei Kuchen“ die größere.
4. Die formalisierte Darstellung eines Problems beinhaltet die Aufstellung eines „Problemraumes“, der die Gesamtheit der möglichen Zustände zwischen dem tatsächlichen und dem gewünschten Zustand sowie die Prozesse, die zum Übergang von einem Zustand zu einem anderen Zustand führen (Operatoren), enthält. Die möglichen Wege durch diesen Problemraum, die vom Ausgangszustand zum Zielzustand führen, stellen die Lösungen des Problems dar.
5. Hierzu zählen: unvollständige Repräsentation des Problemraumes, Set-Effekte wie funktionale Fixierung.
6. Im Allgemeinen gehen mögliche Verluste mit größerem Gewicht als mögliche Gewinne in das Entscheidungsverhalten ein (Verlustaversion).

Fragen zur Wiederholung und Denkanstöße

1. Welche Wege der Konzeptbildung kennen Sie?
2. Erklären Sie den wesentlichen Unterschied zwischen der Prototypentheorie und der kritischen Merkmalstheorie.
3. Was besagt die Strategie des Hypothesentestens in der Denkpsychologie?
4. In welchem anderen Bereich der Psychologie gibt es auch eine Strategie des Hypothesentestens?
5. Wie lässt sich das Prinzip der Begriffsbildung (nach Heidbreder) experimentell demonstrieren?
6. Was versteht man unter mentaler Rotation und wie lässt sie sich nachweisen?
7. Wie lässt sich nachweisen, dass für das Wahrnehmen sowie für das Vorstellen eines Objektes die gleichen Hirnareale tätig werden? Welche sind dies?
8. Wie lässt sich deduktives Denken definieren und was ist eine Deduktion (mit Beispiel)?
9. Was ist ein Syllogismus?
10. Worin besteht der Unterschied zwischen Modus ponens und Modus tollens?
11. Wozu dienen Venn-Diagramme?
12. Was besagt die Basis-Raten-Regel?
13. Diskutieren Sie ein Beispiel für fortschreitende Induktion.
14. Was bezeichnet man als Problemraum?
15. Wie lassen sich geeignete Operatoren beim Problemlösen finden beziehungsweise verfügbar machen?
16. Beschreiben Sie Probleme und Vorzüge der Mittel-Ziel-Analyse.
17. Wann ist eine gute Problemrepräsentation hilfreich?
18. Wo tritt funktionale Fixierung auf?

Literatur

Anderson, J. R. (1987). Skill acquisition: Compilation of weak-method problem solutions. *Psychological Review*, *94*, 192–210.

Anderson, J. R. (1996). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Spektrum.

Anderson, J. R. (2013). *Kognitive Psychologie* (7. Aufl.). Berlin: Springer.

Atkinson, R. L., Atkinson, R. C., & Hilgard, E. R. et al. (2003). *(Hilgard's) Introduction to Psychology* (14. Aufl.). New York, San Diego, Chicago, San Francisco, Atlanta: Harcourt Brace Jovanovich.

Barsalou, L. W. (1985). Ideals, central tendency, and frequency of instantiation as determinants of graded structure in categories. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, *11*, 629–654.

Bayes, T. (1958). An Assay Towards Solving a Problem in the Doctrine of Chance. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, *53*, 370–418. (1763). Neu aufgelegt mit Biografie von Bayes in: G. A. Banard: Studies in the History of Probabilities and Statistics: IX. Biometrica, 45, 293–315.

Becker-Carus, C., & Herbring, H. (1997). *Allgemeine Psychologie: Das psychologische Experimentalpraktikum I*. Münsteraner Einführungen, Psychologie, Bd. 4. Münster: Lit. 1, 8

Betsch, T., Plessner, H., Schwieren, C., & Gütig, R. (2001). I like it but I don't know why: A value-account approach to implicit attitude Formation. *Personality and Social Psychology Bulletin*, *27*, 242–253.

Betsch, T., Funke, J., & Plessner, H. (2011). *Denken – Urteilen, Entscheiden, Problemlösen. Allgemeine Psychologie für Bachelor*. Berlin Heidelberg: Springer.

Bisiach, E., & Luzzatti, C. (1978). Unilateral neglect of representational space. *Cortex*, *14*, 129–133.

Boole, G. (1854). *An investigation of the laws of thought on which are founded the mathematical theories of logic and probabilities*. London.

Collins, A. M., & Quillian, M. R. (1969). Retrieval time from semantic memory and language comprehension. In L. W. Gregg (Hrsg.), *Cognition and learning*. New York: Wiley.

Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1973). Chronometric studies of the rotation of mental images. In W. G. Chase (Hrsg.), *Visual information processing*. New York: Academic Press.

Damasio, A. R. (1995). *Descarte's Irrtum: Fühlen, Denken und das menschliche Gehirn*. München: List.

Dijksterhuis, A. (2004). Think different: The merits of unconscious thought in preference development and decision making. *Journal of Personality and Social Psychology*, *87*, 586–598.

Dijksterhuis, A., Bos, M. W., Nordgren, L. F., & van Baaren, R. B. (2006). On making the right choice: The deliberation-whithout-attention effect. *Science*, *311*, 1005–1007.

Dorsch, F. (1976, 2013). Psychologisches Wörterbuch. (2013) Lexikon der Psychologie. Bern: Huber.

Estes, W. K. (1994). *Classification and cognition*. New York: Oxford University Press.

Eysenck, M. W. & Keane, M. T. (2001, 2010). *Cognitive Psychology: A student's handbook*. Hove, U.K.: Psychology Press.

Farah, M. J., & McClelland, J. L. (1991). A computational model of semantic memory impairment. *Journal of Experimental Psychology: General*, *120*, 339–357.

Focus (2015). Psychofalle der Märkte. Focus, N. 3C/ 15 vom 22.08. S. 71.

Galton, F. (1883). *Inquiries into human development and its development*. London: Macmillan.

Harvey, N., & Fischer, I. (2005). Development of erperience-based judgement and decision making: The role of outcome feedback. In T. Betsch & S. Haberstroh (Hrsg.), *The routines of decision making* (S. 119–137). Mahvah: Erlbaum.

Hastie, R. (2001). Problems for judgement and decision making. *Annual Review of Psychology*, *52*, 653–683.

Hehlmann, W. (1959). *Wörterbuch der Psychologie*. Stuttgart: Kröner.

Heidbreder, E. (1947). The attainment of concepts, III: The Problem. *Journal of Psychology*, *24*, 93–138.

Hille, P. (1988). *Versuche zur Ungleicherkennung beim kalifornischen Seelöwen (Zalophus californianus) unter besonderer Berücksichtigung der Begriffsbildung.* Münster: Diplomarbeit.

Hsee, C. K., & Rottenstreich (2004). Music, pandas and muggers. On the affective psychology of value. *Journal of Experimental Psychology: General*, *133*, 23–30.

Hupertz, B. & Rode, B. (1992). *Oddity-Lernen bei Kindern im Alter von 4–6 Jahren unter Berücksichtigung der Begriffsbildung.* Münster: Diplomarbeit FB Psychologie.

Isen, A. M., Nygren, T. E., & Ashby, F. G. (1988). Influence of positive effect on the subjective utility of gains and losses. It is just not worth the risk. *Journal of Personality and Social Psychology*, *55*, 710–717.

Johnson-Laird, P. N. (1977). Reasoning with qualifiers. In P. N. Johnson-Laird & P. C. Watson (Hrsg.), *Thinking and reasoning* (S. 129–142). Cambridge: Cambridge University Press.

Johnson-Laird, P. N. (1985). The deductive reasoning ability. In R. J. Sternberg (Hrsg.), *Human abilities: An informational processing approach*. New York: Freeman.

Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, *87*, 329–354.

Kahneman, D. (2003). A perspective on judgement and choice: Mapping bounded rationality. *American Psychologist*, *58*, 697–720.

Kahneman, D., & Tversky, A. (1973). On the psychology of prediction. *Psychological Review*, *80*, 237–351.

Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect Theory. An analysis of decision under risk. *Econometrica*, *47*, 263–291.

Kahneman, D., & Tversky, A. (1984). Choices values and frames. *American Psycholigist*, *39*, 341–350.

Kaplan, C. A., & Simon, H. A. (1990). In search of insight. *Cognitive Psychology*, *22*, 374–419.

Klix, F. (1971). *Information und Verhalten*. Bern: Huber.

Köhler, W. (1917/1973[3]). *Intelligenzprüfung an Menschenaffen.* Berlin: Springer (engl. 1927, *The mentality of apes.* New York: Harcourt, Brace. 1956, *The mentality of apes.* London: Routledge & Kegan Paul).
Kosslyn, S. M. (1975). Information representation in visual images. *Cognitive Psychology*, *7*, 341–370.
Kosslyn, S. M. (1980). *Image and mind*. Bd. 8. Cambridge: Harvard University Press.
Kosslyn, S. M. (1983). *Ghosts in the mind's machine*. New York: Norton.
Kosslyn, S. M., Alpert, N. M., Thompson, W. L., Majkovic, V., Weise, S. B., Chabris, C. F., Hamilton, S. E., Rauch, S. L., & Buananno, F. S. (1993). Visual mental imagery activates topographically organized visual cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *5*, 263–287.
Kruglanski, A. W., & Orehek, E. (2007). Partitioning the domain of social inference: Dual mode and systems models and their alternatives. *Annual Review of Psychology*, *58*, 291–316.
Loewenstein, G. (1996). Out of control: Visceral influences on behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, *65*, 272–292.
Maier, N. R. F. (1931). Reasoning in humans: II. The solution of a problem and its appearance in consciousness. *Journal of Comparative Psychology*, *12*, 181–194.
Maltin, S. (1983). *Cognition*. New York: Holt-International.
Mervis, C. B., & Pani, J. R. (1981). Acquisition of basic object categories. *Cognitive Psychology*, *12*, 496–522.
Mervis, C. B., & Roch, E. (1981). Categorization of natural objects. *Annual Review of Psychology*, *32*, 89–115.
Mill, J. S. (1843). *A system of logic*. London: Longman. 1, 8
Moorman, M., & van den Putte, B. (2008). The influence of message framing, intention to quit Smoking, and nicotine dependence on the persuasiveness of smoking cessation messages. *Adictive behaviors*, *33*, 1267–1275.
Murphy, G. L., & Ross, B. H. (1994). Predictions from uncertain categories. *Cognitive Psychology*, *27*, 148–193.
Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs: Prentice Hall. 1, 8
Paivio, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. New York: Oxford University Press. Posner et al. 1988
Pinel, J. P. (1997). *Biopsychologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. engl. Original: John P. J. Pinel, Biopsychology 4E
Allyn and Bacon
Roland, P. E., Kawashima, R., Gulyas, B. & O'Sullivan, B. (1993). In: M. Gazzaniga (Hrsg.) (1995), *The cognitive neurosciences.* Cambridge: MIT Press.
Rosch, E. H. (1973). Natural categories. *Cognitive Psychology*, *4*, 328–350.
Scheerer, M. (1963). Problem solving. *Scientific American*, *208*, 118–128.
Schönflug, W. (1977). *System Mensch*. Stuttgart: Klett-Cottta.
Shepard, R. N., & Cooper, L. A. (1982). *Mental images and their transformations*. Cambrigde: MIT Press, Bradford Books.
Shiv, B., Loewenstein, G., Bechara, A., Damasio, H., & Damasio, A. R. (2005). Investmentbehaviour and the negative side of emotion. *Psychological Science*, *16*, 435–439.
Smith, E. E. (1989). Concepts and induction. In M. I. Posner (Hrsg.), *Foundations of cognitive science* (Bd. 8, S. 501–526). Cambridge: MIT Press.
Stegmüller, W. (1977). Das Problem der Induktion: Humes Herausforderung und moderne Antworten. In H. Lenk (Hrsg.), *Neue Aspekte der Wissenschaftstheorie*. Braunschweig: Vieweg.
Thatcher, R., Hallet, M., Zeffiro, T., John, E. R., & Huerta, M. (Hrsg.). (1994). *Functional Neuroimaging*. San Diego: Academic Press.
Tolkien, J. R. R. (2012). *Der Herr der Ringe*. Stuttgart: Klett-Cotta. Original 1999
Tolman, E. C.
Tversky, A., & Kahneman, D. (1980). Causal schemas in judgements under uncertainty. In M. Fishbein (Hrsg.), *Progress in social psychology*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Tversky, A., & Kahnemann, D. (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, *211*, 453–458.
Tversky, A., & Kahnemann, D. (1986). Rational choice and the framing of decisions. *Journal of Business*, *59*, 5251–5278.
Tversky, A., & Kahnemann, D. (1987). Rational choice and the framing of decicision. In R. Hogarth & M. Reder (Hrsg.), *Rational choice: The contrast between economics and psychology*. Chicago: University of Chicago Press.
von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1947). *Theory of games and economic behaviour*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
Wertheimer, M. (1943/1957). Productive thinking. New York, Harper and Row, 1943. (Dt. Produktives Denken. Frankfurt: Kramer, 1957, S. 144 ff.).
Wertheimer, M. (1961). Psychomotor coordination of auditory and visual space at birth. *Science*, *134*, 16–92.
Wickelgren, W. A. (1974). *How to solve problems*. San Francisco: Freeman.
Wisniewsky, E. J., & Medin, D. L. (1991). Harpoons and longsticks: The interaction of theory and similarity in rule indication. In D. Fisher, M. Pazzani & P. Langley (Hrsg.), *Concept formation: Knowledge and experience in unsupervised learning*. San Mateo: Morgan-Kaufman.
Wright, G. (1984). *Behavior decision theory*. Harmondsworth: Penguin.
Zimbardo, P. G. (1983/1995). *Psychologie*. Berlin: Springer.

Motivation

Christian Becker-Carus, Mike Wendt

11.1 Grundbegriffe der Motivation und theoretische Ansätze – 486
11.1.1 Der instinkttheoretische und ethologische Ansatz – 487
11.1.2 Psychoanalytisch-triebtheoretischer Ansatz – 489
11.1.3 Behavioristisch-biopsychologische Ansätze – 490
11.1.4 Kognitive und handlungstheoretische Ansätze – 491

11.2 Grundlegende Motivationen – 494
11.2.1 Homöostatische und nichthomöostatische Motivation – 494
11.2.2 Temperaturhomöostase – 496
11.2.3 Hungermotivation und Homöostaseregelung – 496

11.3 Steuernde Motivationsfaktoren – 502
11.3.1 Motivationszentren des Hypothalamus – 502
11.3.2 Kognitive Umweltfaktoren der Hungermotivation – 506
11.3.3 Lernfaktoren bei Geschmackspräferenzen – 507
11.3.4 Genetische Faktoren der Hungermotivation – 507
11.3.5 Wirkungsgefüge der Hungermotivation – 509

11.4 Geschlecht und Sexualität – 510
11.4.1 Sexuelle Differenzierung – 511
11.4.2 Anreize und situative Bedingungsfaktoren – 513
11.4.3 Der sexuelle Reaktionszyklus – 515
11.4.4 Erfahrung und kulturelle Einflüsse (kulturbedingte Einflüsse) – 517
11.4.5 Sexuelle Skripts – 518
11.4.6 Anschlussbedürfnis und Bindungsverhalten – 518
11.4.7 Neugier- und Explorationsverhalten – 520

11.5 Kognitive Motivationsmodelle – 521
11.5.1 Hierarchie der Motive – 522
11.5.2 Leistungsmotivation – 522
11.5.3 Theorie des leistungsorientierten Verhaltens – 525
11.5.4 Machtmotivation – 526
11.5.5 Motivation durch Zielsetzung – 528
11.5.6 Attribution und Motivation – 529
11.5.7 Intrinsische und extrinsische Motivation – 530

Literatur – 534

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Becker-Carus, M. Wendt, *Allgemeine Psychologie,* DOI 10.1007/978-3-662-53006-1_11

No matter where we begin the study of psychological processes or phenomena, we must sooner or later deal with the problem of motivation.
(Cofer und Appley 1964)

Die Neugier steht immer an erster Stelle eines Problems, das gelöst werden will.
(Galileo Galilei)

1. Was spricht dafür, dass bestimmte Arten von Instinktverhalten angeboren sind? Inwiefern unterliegt auch dieses Verhalten motivationalen Einflüssen?
2. Was wird unter dem Begriff Motivation, was unter Motiv verstanden?
3. Überlegen Sie einmal, welche theoretisch möglichen Zustände Sie als äußerst wünschenswert erachten und dennoch nie zu erreichen versucht haben. Welche Erklärung haben Sie für diese „Unterlassung"?
4. Welche Konsequenzen hat es, sich konkrete Ziele zu setzen?
5. Welche Zusammenhänge bestehen zwischen Handlungsmotivation und der Art der Ursachenzuschreibung für Erfolge und Misserfolge?

11

Wenn wir fragen, was einen Menschen bewegt, sein eigenes Leben aufs Spiel zu setzen, um das Leben eines anderen zu retten, oder was einen anderen bewegt, bis spät in die Nacht zu arbeiten, um ein bestimmtes Berufsziel zu erreichen, oder sich über Jahre anzustrengen, um eine Machtposition in der Gesellschaft zu erlangen, so stellen wir die Frage nach der Motivation: Warum verhält sich ein Mensch, warum verhält sich ein Organismus so, wie er sich verhält? Oder spezifischer: Was setzt unser Handeln und Verhalten in Gang, und wodurch wird es aufrechterhalten, und das bisweilen unabhängig von den jeweiligen äußeren Faktoren und Reizen? Die Aufklärung der motivationalen Bedingungsfaktoren des Handelns wird daher als eines der zentralen Anliegen der Psychologie betrachtet.

Diese Bedingungsfaktoren sind bei näherer Betrachtung vielfältig. Sie reichen von biologisch-physiologischen und organismisch bedingten Faktoren bis hin zu gesellschaftlich, sozial und kulturell bedingten Wertungen und Normen. Daher ist es vielleicht auch nicht verwunderlich, dass sich in dem breiten Feld der Motivationsforschung bis heute kein einheitlicher integrativer Ansatz hat durchsetzen können.

Andererseits gilt es zu bedenken, dass **Motivation**, wie Abb. 11.1 verdeutlicht, im Grunde nur eine hypothetisch angenommene, *intervenierende Variable* zwischen einem Reiz-Input und einem Verhaltens-Output darstellt, die nicht direkt beobachtbar ist, sondern nur aus Eingangs- und Ausgangsvariablen erschlossen wird, sodass sie sich, wie von einigen Psychologen angenommen wird, bei zunehmender Erkenntnis der direkten Zusammenhänge und Mechanismen erübrigen wird beziehungsweise verzichtbar erscheint.

Motivation bezieht sich auf das aktive, zielorientierte Ingangsetzen, Aufrechterhalten und Durchführen zumeist körperlicher, aber auch psychischer Aktivitäten, im Unterschied zur anschließend behandelten *Emotion*, die weniger eine Handlungsintention darstellt als vielmehr einen gefühlsmäßigen, das heißt emotionalen Zustand, bei dem wir uns (innerlich) erregt und gefühlsmäßig bewegt erleben.

Die Tatsache, dass verschiedene Menschen sich in gleichen Situationen unterschiedlich verhalten, weist darauf hin, dass sich das Verhalten nicht einfach aus den Stimulusvariablen nach dem einfachen **Stimulus-Response-Schema** erklären lässt. Auf derselben Party greifen einige Leute sofort zu, wenn Speisen angeboten werden, andere aber nicht. Aber auch ein und dasselbe Lebewesen legt zu unterschiedlichen Zeiten unterschiedliche Verhaltensweisen an den Tag und verfolgt offensichtlich zu verschiedenen Zeiten verschiedene Ziele. Nicht jedes Mal, wenn wir an einem Bäckerladen vorbeikommen, gehen wir hinein und holen uns etwas zu essen. In beiden Fällen ist es offensichtlich nicht möglich, die verschiedenen Verhaltensweisen allein durch das Wirksamwerden unterschiedlicher Situationsfaktoren oder das Vorliegen genetischer Variationen zu erklären. Daraus kann im Sinne der Motivationspsychologie gefolgert werden: Wenn die objektive Situation gleich, aber unterschiedliches Handeln beobachtbar ist, dann müssen die möglichen Anreize beziehungsweise die möglichen Handlungs- und Verhaltensziele unterschiedlich attraktiv erlebt werden bzw. auf unterschiedliche Intensionen (Motive) treffen und so zu der beobachtbaren unterschiedlichen **Handlungsbereitschaft** führen.

11.1 Grundbegriffe der Motivation und theoretische Ansätze

Die geschichtlichen Wurzeln für die Auffassung der Motivation als
- Gesamtheit der Motive,
- angeborene Antriebe,
- messbares generalisiertes Aktivierungsniveau und
- Verhaltensanreize (*incentives*)

gehen zurück auf Überlegungen vor allem von Leibniz (1646–1716) oder John Locke (1632–1704). **Motivation** beinhaltet heute unsere Annahmen über die aktivierenden und richtungsgebenden inneren Prozesse, die für die Auswahl, Stärke und Ausdauer der Aktualisierung von Verhaltenstendenzen bestimmend sind.

Auch heute ist die Verwendung motivationaler Begriffe und Konzepte in der psychologischen Literatur noch keineswegs einheitlich (siehe *Zusatztext online*) und resultiert oft aus den unterschiedlichen Forschungsansätzen, die wir nachfolgend kurz darstellen werden.

Der Begriff **Trieb** (*drive*) wird in der Psychologie zumeist gebraucht, um eine Handlungsmotivation zu charakterisieren, die sich auf primär biologische Voraussetzungen bezieht, wie Hunger, Durst, Sexualität, auch Flucht- oder Kampfbereitschaft oder elterliches Pflegeverhalten und kindliche Bindung an die Eltern. Diese werden auch als biologische Motivationen oder **biogene Motivationen** den **soziogenen Motivationen** (zum Beispiel Leistungsmotivation) gegenübergestellt. Der Begriff **Motiv** wird zumeist gebraucht, wenn es sich um primär psychologisch und sozial bedingte Handlungsverursachungen handelt, wobei angenommen wird, dass Motive, die zumeist bewusst, aber auch unbewusst sein können, im Unterschied zu Trieben großteils in unserer Sozialisation erlernt werden. Dagegen werden Begriffe,

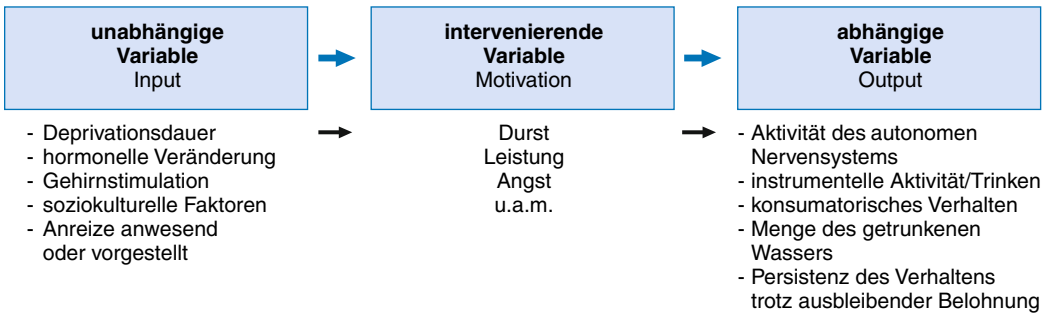


Abb. 11.1 Motivation als intervenierende Variable. Beobachtbar und messbar sind nur die verschiedenen Variablen des Reizinputs (unabhängige Variablen) und des Reaktionsoutputs (abhängige Variablen), von deren Veränderungen wir auf Veränderungen der nicht direkt beobachtbaren (aber erlebten) angenommenen intervenierenden Motivation schließen, die die Verbindung von Input und Output ermöglicht

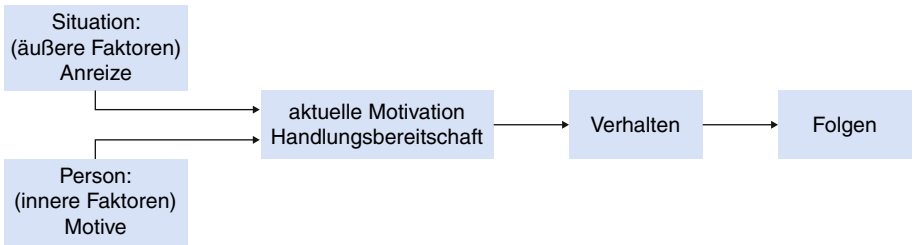


Abb. 11.2 Grundmodell der klassischen Motivationspsychologie. Nicht berücksichtigt sind die vielfältigen Rückmeldewirkungen von Verhalten (Handlung) und Folgen auf die aktuelle Motivation

wie beispielsweise **Bedürfnis** (*need*), einerseits rein biologisch-physiologischen Prozessen (Wasserbedarf des Körpergewebes, *tissue need*) vorbehalten, um sie von der erlebten Durst*motivation* abzugrenzen, während bei anderen Autoren von bewusst erlebten **motivationalen Bedürfnissen** (zum Beispiel Leistungsbedürfnis) die Rede ist. Ähnliches gilt bisweilen für die Begriffe **Instinkt** und **Trieb,** die in der Umgangssprache manchmal gleichgesetzt werden, die aber unterschiedlichen Forschungsansätzen entstammen. Auch der Begriff **Motiv**, der nach Zimbardo (1995) primär auf psychologisch und sozial bedingte Handlungsverursachung hinweisen soll, wird von anderen Autoren umfassender und allgemeiner im Sinne von Motivation gebraucht. So verstand bereits McDougall (1908a) unter einem Motiv eine „ererbte oder angeborene psycho-physische Disposition …, den Impuls zu … einer Handlung zu erleben". Zur Definition von Motivation schreibt Hilgard (Atkinson et al. 2001, S. 343):

Motiv

unter einem Motiv verstehen wir etwas, das den Organismus zu einer Handlung anreizt oder das der Handlung eine beständige Richtung gibt, wenn der Organismus einmal in Tätigkeit ist.

So wird **Motivation** auch kurz definiert als: „A condition that energizes behavior and gives it direction" (Nolen-Hoeksema et al. 2014, S. 651). Diese treffende Definition der Motivation entspricht auch der von Zimbardo gegebenen Motivations-Definition:

Motivation

„Motivation bezieht sich generell auf das Ingangsetzen, Steuern und Aufrechterhalten von körperlichen und psychischen Aktivitäten." (Zimbardo 1995, S. 407).

Ferner, auch im Sinne von allgemeiner Motivation, unterscheiden Schneider und Schmalt (1981) **biogene Motive**, die Verhaltens- und Wertungsdispositionen auf genetischer Basis bezeichnen, von **soziogenen Motiven**, für die eine genetische Basis derzeit nicht überzeugend nachgewiesen werden kann. So werden auch wir den Begriff „Motiv" eher im Sinne einer generellen Motivation gebrauchen (▶ Abschn. 11.2).

Zur Erklärung dessen, was Motivation eigentlich beinhaltet, hat es zahlreiche und sehr unterschiedliche Ansätze in der Motivationsforschung gegeben. Je nach den verschiedenen Ausgangsfragestellungen haben die verschiedenen Forschungsansätze auch zu unterschiedlichen Resultaten und Erkenntnissen geführt, die sich teilweise bis heute in ihren Aussagen über die angenommenen und auftretenden motivationalen Prozesse unterscheiden. Wir werden daher nachfolgend einen kurzen Überblick über die vier zumeist als wichtig betrachteten Theorien menschlicher Motivationen geben. Als allgemeines Grundmodell zur Einführung kann uns das Überblicksschema in Abb. 11.2 dienen.

11.1.1 Der instinkttheoretische und ethologische Ansatz

Wenngleich bereits Darwin (1876) das bei Tieren beobachtete zielgerichtete Verhalten als instinktives Handeln bezeichnete, ist das neuere Instinktkonzept erst durch die jüngere vergleichende Verhaltensforschung, die **Ethologie**, präzisiert worden. So verstehen wir mit Tinbergen unter einem **Instinkt** „einen hierarchisch organisierten nervösen Mechanismus, der auf bestimmte vorwarnende, auslösende und richtende Impulse, sowohl innere, wie äußere, anspricht und sie mit wohl koordinierten lebens- und arterhaltenden Bewegungen beantwortet" (Tinbergen 1956, S. 104).

Bereits Darwin war bei seinen vergleichenden Untersuchungen *Über die Entstehung der Arten* (1859) von der offen-

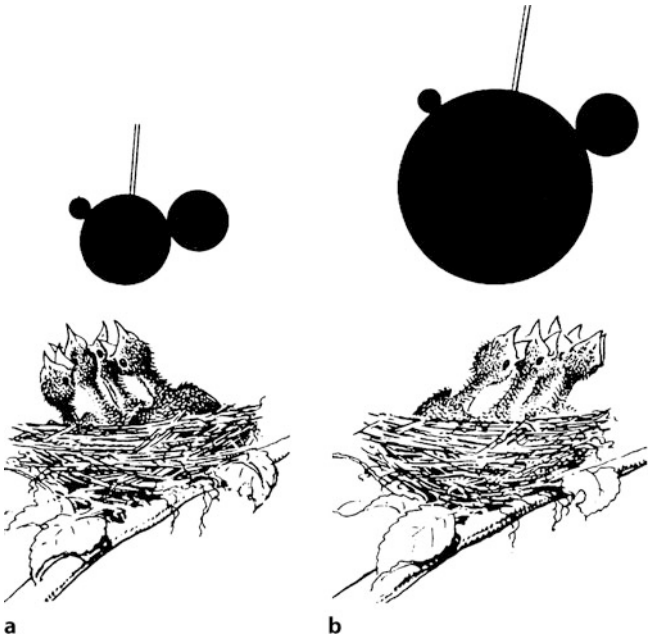


Abb. 11.3 Auslösereize für Instinktreaktionen. Dargestellt sind verschiedene Altvogelattrappen, die das Sperren der Amselnestlinge auslösen. Die Ausrichtung der Sperrbewegung auf den „Schnabel" richtet sich jeweils nach dem Größenverhältnis zwischen „Körper" und „Schnabel". (Buchholtz 1982)

11

sichtlichen Zweckmäßigkeit und Zielgerichtetheit tierischen Verhaltens „besonders eines sehr jungen Tieres noch ohne alle Erfahrung" sehr beeindruckt und bezeichnete sie, wenn sie auf gleiche Weise bei vielen Tieren erfolgte, ohne dass diese ihren Zweck kennen, als **instinktive Handlungen**. Ausgehend von der durch Darwin begründeten Einsicht, dass auch beim Menschen infolge seiner stammesgeschichtlichen Entwicklung ähnliche Verhaltensdispositionen anzunehmen sind, ist das Instinktkonzept sehr bald auch auf die Humanpsychologie übertragen worden. James (1890) konstatierte, allerdings ohne direkte Belege, dass der Mensch neben den biologischen Instinkten, die er mit den Tieren gemeinsam habe, über eine ganze Reihe ebenfalls genetisch fundierter **menschlich sozialer Instinkte** verfüge, wie zum Beispiel Sympathie, Bescheidenheit, Liebe oder Geselligkeit. Anfang des vergangenen Jahrhunderts wurde dieses Instinktverständnis insbesondere durch William McDougall weiter ausgedehnt auf die verschiedensten angeborenen und ererbten Neigungen, die die wesentlichen Triebfedern oder Motivkräfte allen Denkens und Handelns sind (McDougall 1908a). Es wurden unterschiedlich lange Listen mit zunächst bis zu 18 Instinkten aufgestellt. Dabei wurden beobachtbaren Verhaltensweisen, wie Flucht, Neugier oder Selbsterniedrigung, Instinkte unterlegt, wobei in der Art eines Zirkelschlusses von beobachtbarem Verhalten auf das Vorhandensein eines Instinktes geschlossen wurde. Dann wurde mit dem so erschlossenen Instinkt das gleiche Verhalten erklärt.

Nach Bernhard (1924) hatten Psychologen in den 1920er-Jahren Listen mit bis zu mehreren Tausend menschlichen Instinkten zusammengestellt. Während die angloamerikanische behavioristisch orientierte experimentelle Tierpsychologie dieses Konzept wegen seiner Unzulänglichkeit ganz fallen ließ, erfolgte in der europäischen, vor allem durch Lorenz und Tinbergen begründeten *vergleichenden Verhaltensforschung* eine Neupräzisierung des Instinktkonzeptes. Dieses beinhaltet die Beschränkung auf die beobachtbaren Instinkthandlungen und ihre weitgehend starr und schematisch ablaufenden arttypischen Handlungselemente, die den Abschluss der jeweils zielgerichteten Verhaltensweisen bilden. Diese angeborenen und ohne jede Erfahrung und Übung vollständig und offenbar automatisch ablaufenden Handlungselemente werden mit Lorenz auch als *Erbkoordinationen* bezeichnet. Ihnen geht zumeist ein Such- und richtendes Verhalten voraus, das mit Craig (1918) als **Appetenzverhalten** bezeichnet wird und zumeist in hohem Maße durch Erfahrung modifizierbar ist.

Bemerkenswert ist, dass **Instinktreaktionen** (im Sinne von Erbkoordinationen), wie beispielsweise Droh- und Kampfverhaltensweisen sowie Warn- oder Kontaktrufe zum Beispiel bei Vögeln, aber auch bei Primaten, oder Balzverhaltensweisen, im Erbgut genetisch fixiert sind und damit den Gesetzen der Vererbung und den Prinzipien der Evolution unterliegen, sodass sie wie morphologische Merkmale zur taxonomischen Einordnung von Arten und Unterarten herangezogen werden können (Franck 1985). Beim Menschen gibt es weit weniger genetisch festgelegte Instinktreaktionen, so beispielsweise das Brustsuchen des Säuglings beim Anlegen, die Fluchtreaktion, der menschliche Augengruß (mit Heben der Augenbrauen als kulturunabhängiger Mimik) oder das weltweit in gleicher Weise verstandene Lächeln (vgl. die Ausführungen zu Genetik und Verhalten in ▶ Abschn. 2.4.3).

Instinktive Verhaltensweisen sind, ähnlich wie motiviertes Verhalten, von variablen **internen Zuständen** des Organismus abhängig. Diese variieren die Reaktionsbereitschaft, auf bestimmte, weitgehend angeborene **Auslösereize**, sogenannte **Schlüsselreize**, zu reagieren, wobei bei sehr hoher Reaktionsbereitschaft auch **Leerlaufhandlungen** möglich sind, das heißt, die Verhaltenskette läuft auch ohne einen erkennbaren Auslösereiz ab. Normalerweise sind jedoch die Instinktreaktionen auf das Vorhandensein eines angeborenen Auslösereizes angewiesen. So braucht das eben geschlüpfte Möwenküken den Anblick des besonderen Schnabels der Eltern oder einer entsprechend gestalteten Attrappe, um dort gezielt Nahrung zu suchen. Solche Schlüsselreize können entweder Einzelmerkmale oder Merkmalskombinationen sein. Mittels sogenannter **Attrappenversuche** lässt sich feststellen, welchen Merkmalsanteilen die Auslösefunktion zukommt. So verdeutlicht Abb. 11.3 dass Amseljunge den Kopf der Elternattrappe nur dann ansperren, wenn er eine genetisch festgelegte Größenrelation zum Körper hat.

Der erforderliche **innere Bereitschaftszustand** (zum Beispiel Hungerzustand, bestimmtes Alter, bestimmter Hormonspiegel) wird in der Ethologie auch als **Stimmung** bezeichnet (zum Beispiel Fressstimmung, Balzstimmung, Brutpflegestimmung, Kampfstimmung). Bei einem weiblichen Tier zum Beispiel, das nicht in Balzstimmung ist, bleiben die von einem männlichen Tier dargebotenen Auslöser wirkungslos. Jedem Schlüsselreiz, der eine bestimmte Instinkthandlung auslösen kann, entspricht ein sensorischer Mechanismus (vgl. ▶ Abschn. 3.3.10, Wahrnehmungs-Reaktions-Kopplungen)), der als **angeborener Auslösemechanismus** (**AAM**; Tinbergen 1951) bezeichnet wird.

Angeborener Auslösemechanismus

(AAM) (*innate releasing mechanism*, IRM)
Bezeichnet den neurosensorischen (Filter-)Mechanismus, der angeborenermaßen bei einer spezifischen Reizsituation (Auslösereiz) selektiv die adäquate (biologisch sinnvolle) Verhaltensreaktion (Erbkoordination) auslöst.

Auslösemechanismen, die auch durch Lernen verändert werden können, werden als **EAM** (durch Erfahrung veränderte Auslösemechanismen) bezeichnet. Sobald ein passender Schlüsselreiz auf den entsprechend festgelegten Auslösemechanismus trifft, wird die Instinkthandlung ausgelöst, sofern die Handlungsbereitschaft groß genug ist. Diese ist nach Lorenz (1937) abhängig von einer endogenen Triebproduktion, dem Drang, eine Handlung auszuführen. Dieser wächst zumeist mit zunehmender Zeit seit der letzten Ausführung der Instinkthandlung. Die Auslösung der Instinkthandlung erfolgt also weitgehend automatisch durch den passenden Schlüsselreiz, *ohne Einsicht* in die Konsequenzen des Handelns. Viele Vögel zum Beispiel ignorieren ihre eigenen Eier und bebrüten sie nicht, wenn ein größeres Attrappenei vorhanden ist, welches die für das Bebrüten optimalen Auslösereize aufweist. (Daher wird das größere Ei des Kuckucks, das er in Nester von kleineren Singvögeln legt, dort bevorzugt ausgebrütet.)

Das Zusammenwirken dieser verschiedenen Mechanismen ist nach Tinbergen (1956) hierarchisch organisiert. Die unterste Ebene stellen die bereitliegenden Bewegungsprogramme zum Beispiel von Instinkthandlungen dar. Ihnen übergeordnet sind Instinktverhaltensweisen, in denen die Einzelverhaltensweisen jeweils zu dem entsprechenden **Funktionskreis** (zum Beispiel Brutpflegeverhalten, Fressverhalten) zusammengefasst sind und denen jeweils wieder ein eigenes Antriebszentrum (Trieb) zukommt.

Nach diesem **energetischen Motivationsmodell** der **Instinktorganisation** kommt es dann zu **Übersprungshandlungen**, wenn in einer Konfliktsituation Energien nicht in die dazugehörigen Verhaltensreaktionen abfließen können, sondern gestaut werden und in eine nicht zu dem Funktionskreis gehörende Verhaltensweise abfließen. So stecken Austernfischer beispielsweise in Konfliktsituationen ihren Schnabel ins Gefieder und beginnen zu „schlafen". Hähne unterbrechen gelegentlich den Kampf und zeigen unvollkommene Pickbewegungen, obwohl keine Nahrung vorhanden ist. Menschen beginnen verlegen sich am Kopf zu kratzen oder an der eigenen Kleidung zu zupfen.

Im Gegensatz zum motivierten Verhalten, das von Antizipation und Erwartung eines Handlungsziels (vgl. die Ausführungen zur operanten Konditionierung in ▶ Kap. 7) dominiert wird und das daher unterschiedliche Verhaltensprogramme zur Erreichung desselben Ziels verwenden kann, ist das Instinktverhalten im Wesentlichen **automatisiert** und festgelegt. Auch bei Menschen kann es bei starker unspezifischer Erregung des Motivationssystems (Angst, Aggression) zu einer Art „Rückfall" auf ein einfacheres und starreres Reflexniveau von Instinktreaktionen kommen, etwa wenn wir bei einem plötzlichen Geräusch erschreckt zusammenzucken oder instinktiv die Arme vor das Gesicht halten und die Augen schließen, wenn plötzlich ein Gegenstand auf uns zufliegt.

Der Wert und die Bedeutung des durch die moderne Ethologie präzisierten instinkttheoretischen Ansatzes für das Verständnis des menschlichen Verhaltens werden in der gegenwärtigen Fachliteratur recht widersprüchlich diskutiert. Das mag daran liegen, dass besonders die deutschen Motivationspsychologen dem kritischen Dialog mit Vertretern der vergleichenden Verhaltensforschung zumeist aus dem Wege gegangen sind. Andererseits ist in den letzten Jahren auch ein interessanter Brückenschlag im Bereich der neuroethologischen Forschung und den Bereichen der physiologischen Psychologie des Menschen zu beobachten, wo es insbesondere im internationalen Rahmen zu erfolgsversprechenden weiterführenden Ansätzen gekommen ist (McFarland 1971; Becker-Carus 1985).

Wenngleich das Instinktkonzept auf der Basis tierexperimenteller Untersuchungen konkretisiert und weiterentwickelt wurde und hier wesentlich zum Verständnis tierischer Verhaltensweisen, auch was den Naturschutz anbelangt, beigetragen hat, darf die Bedeutung des ethologischen Ansatzes für das Verständnis bestimmter Bereiche menschlichen Verhaltens nicht unterschätzt werden. Hierzu gehören insbesondere frühkindliche, ohne Erfahrung funktionierende Verhaltensweisen wie zum Beispiel das Suchen der Mutterbrust und das Schlucken, aber auch manche **Prädispositionen** bei Lernvollzügen (▶ Kap. 7) wie etwa dem Spracherwerb (▶ Kap. 9).

Menschliches Verhalten lässt sich jedoch weitgehend nicht durch Rückführung auf angeborene Instinkte erklären oder verstehen, zumal insbesondere beim erwachsenen Menschen die Anreize motivierten Verhaltens in hohem Maße auch abhängig sind von der individuellen Lern- und Erfahrungsgeschichte innerhalb einer bestimmten Kultur und Sozialisation.

11.1.2 Psychoanalytisch-triebtheoretischer Ansatz

Die wichtigsten Impulse für eine Triebtheorie menschlichen Verhaltens stammen von Freud (1915). In seinem Aufsatz *Triebe und Triebschicksale* entwickelte Freud eine theoretische Konzeption für die menschliche Motivation, die sich für die Motivationsforschung bis in unsere heutigen Tage als ungeheuer fruchtbar erwies und die für viele Jahrzehnte einen zentralen Ansatz für die weitere Motivationsforschung insbesondere im englischsprachigen Raum darstellte. Vor Freud hatten christliche Theologen angenommen, dass nur Tiere durch Instinkte geleitet würden. Nachdem aber Darwin (1859) die Kontinuität der Arten bis einschließlich des Menschen belegt hatte, gab es auch hier gravierende Vorstellungsveränderungen. So baute vor allem McDougall (1908a) den Instinktbegriff auch für die menschliche Psyche weiter aus und definierte ihn als ererbte Disposition mit einem Handlungs-, einem Trieb- und einem Zielaspekt. Freud beschreibt dagegen wenig später **Triebe** als eine aus dem Körperinneren kommende, konstant wirkende Kraft, ohne bewussten Zweck, die ohne Mitwirkung des Bewusstseins und des Denkens zustande kommt, dann aber bewusst erlebt wird, und die uns zu Handlungen bewegt oder antreibt (motiviert) (von lateinisch *motivatio* für „Beweggrund", „Antrieb"), durch die eine Befriedigung und damit eine Aufhebung des Reizzustandes

an der Triebquelle erreicht wird. Dieser physiologische Prozess wird psychologisch als **Triebbefriedigung** erlebt. Insofern ist das Triebkonzept bereits bei Freud ein **psychophysiologisches Konzept**, „ein Grenzbegriff zwischen Seelischem und Somatischem". Außer dem Ziel, welches in einer letztendlich physiologischen Befriedigung des Triebzustandes gesehen wird, benötigt jeder Trieb auch ein Objekt, in welchem oder durch welches dieses Ziel erreicht werden kann. Wie wir noch sehen werden, findet sich dieser Grundgedanke einer **Triebreduktionshypothese** ebenfalls in der behavioristischen Motivationsforschung und den neueren biopsychologischen Erkenntnissen wieder.

Nach Freud beeinflussen Triebe und triebhafte Impulse, die aus dem Unbewussten aufsteigen, in vielfältiger Weise **unbewusst** sowohl unsere Handlungen als auch unsere Gedanken und Gefühle, auch wenn wir zu deren Verständnis zumeist rationale Erklärungen bereithalten.

Grundsätzlich sieht Freud das menschliche Dasein hineingestellt in den Konflikt zweier hypothetischer Grundtriebe. Den **Lebenstrieb** oder **Eros**, der sich vornehmlich in unserer Sexualität ausdrückt und der Erhaltung des Lebens dient, und andererseits den **Todestrieb** oder **Thanatos**, der sich als grundlegend negative Kraft insbesondere auch in unserem Aggressionsverhalten äußert und auch – nach Innen gerichtet – zu selbstzerstörerischen Verhaltensweisen führt.

Wenngleich eine überzeugende experimentalpsychologische Bestätigung mit objektiven Methoden auch für einzelne Erklärungsbeispiele bislang nicht erbracht werden konnte (Eysenck und Wilson 1973), so hat das psychoanalytisch-triebtheoretische Theoriengebäude von Freud in seiner Nachfolge in vielfältiger Weise therapeutische Zugänge zu psychischen Störungen eröffnet.

11.1.3 Behavioristisch-biopsychologische Ansätze

Ursprünglich im Gegensatz zu der seinerzeit extrem mechanistischen Sicht instinkttheoretischer Ansätze (McDougall 1908a, 1908b), nach denen angeborene biologische Instinkte wesentlich unser gesamtes Verhalten bestimmten, entwickelte sich innerhalb der amerikanisch-behavioristisch orientierten Psychologie in den 1920er-Jahren ein **lernpsychologisch ausgerichtetes Motivationskonzept**, das zum einen den individuell wandelbaren und andererseits den kulturspezifisch unterschiedlichen Motivationen eher gerecht wurde. Auch dieses Konzept wird bisweilen als (lernpsychologische) **Triebtheorie** bezeichnet. Es nimmt seinen Ausgangspunkt in den objektiv nachweisbaren biologisch-physiologischen **Bedürfnissen** (*needs*) unseres Organismus, wie zum Beispiel dem Bedürfnis nach Nahrung, Wasser, Sauerstoff oder der Vermeidung schmerzhafter Reize, die den Organismus in einen erregten (*aroused*) Zustand versetzen, der ihn motiviert oder treibt (*drives*), den Bedarf zu beseitigen.

Dieser **Triebbegriff** (*drive*) unterscheidet sich also wesentlich von den als angeboren angenommenen Kräften der alten Instinktlehre und Trieben im psychoanalytischen Sinne. Auch „drive" ist wie „Instinkt" oder „Motivation" ein hypothetisches Konstrukt, das nicht direkt beobachtbar ist. Aber es ist direkt abgeleitet von beobachtbarem Verhalten. Wird ein Tier (aber auch ein Mensch) längere Zeit nahrungsdepriviert, so wird es schneller laufen und größere Anstrengungen machen, Futter zu erhalten, und auch mehr fressen, als ein nicht depriviertes Tier. Zudem besteht hier, wie aus dem Beispiel ersichtlich, die Möglichkeit, das auslösende Bedürfnis (Bedarf) objektiv zu messen (Deprivationszeit) und dieses mit den triebabhängigen Variablen, wie Lernleistung, Laufgeschwindigkeit oder dem allgemeinen Aktivitätsniveau der untersuchten Tiere, zu verbinden. Da also der Organismus jeweils versucht, den „Trieb" zu reduzieren, indem er etwas tut (hier: Futter suchen), um das zugrunde liegende Bedürfnis (*need*) zu befriedigen, wird dieses Konzept auch vielfach als **Triebreduktionstheorie** (*drive-reduction theory*) bezeichnet.

Zu diesem behavioristisch-biopsychologischen Ansatz gehört einerseits das von Cannon (1915) beschriebene Prinzip der **Homöostase** und das daraus entwickelte homöostatische Motivationsmodell, das sich als außerordentlich fruchtbar erwiesen hat und dem wir uns im Folgenden noch ausführlicher zuwenden werden. Andererseits zählt hierzu die lernpsychologische Triebtheorie von Hull (1943), in der sowohl die biologischen (primären) Antriebe als auch die durch Lernprozesse aus ersteren hervorgehenden **sekundären Antriebe** (Motivationen) berücksichtigt werden. In diesem in den 1950er-Jahren weit anerkannten Modell tragen alle Bedürfnisse zu einem einheitlichen Trieb bei, der alle Reaktionsweisen gleichermaßen aktiviert, und zwar in dem Maße, wie diese Reaktionen aufgrund unterschiedlicher **Gewohnheitsstärken** bereitstehen, um in einer bestimmten Situation durch einen äußeren **Anreiz** (*incentive*) ausgelöst zu werden. Die Ausführung des Verhaltens (zum Beispiel Fressen) führt zu einer Triebreduktion und damit (wie in Cannons Modell) zu einem erwünschten **entlasteten** (gleichbleibenden) **Zustand** (*steady state*). Dabei zeigt sich im Experiment, dass nur solche Verhaltensweisen in ähnlichen Situationen wiederholt werden, die zu einer solchen Triebreduktion geführt haben, also erfolgreich waren. Die Triebreduktion *bekräftigt* also einen Lernvorgang. Triebreduktionen werden damit zur Voraussetzung allen Lernens, womit zugleich das bekannte Thorndike'sche **Gesetz des Effektes** (vgl. ▶ Kap. 7) eine nachprüfbar physiologische Interpretation erhält.

Nach der revidierten Fassung sieht das **Hull'sche Modell** (Hull 1952) schließlich drei Determinanten vor, die das exzitatorische Potenzial (E) des motivationalen Zustandes bestimmen, der damit nicht allein von dem Trieb (D, *drive*) abhängig ist, sondern fernerhin von dem Gewohnheitspotenzial (H, *habit*), das sich infolge wiederholter Lernerfahrungen als Gewohnheit aufbaut, und schließlich drittens den Anreizen (I, *incentives*) während eines Lernversuchs, was der Beobachtung Rechnung trägt, dass die Erhöhung oder Erniedrigung einer Belohnung in der Lernphase unter sonst vergleichbaren inneren und äußeren Bedingungen zu bemerkenswerten Veränderungen in den erzielten Lernleistungen führt. Das Zusammenwirken dieser drei hypothetischen Faktoren verdeutlichte Hull durch eine multiplikative Verknüpfung in der Formel

$$E = D \times H \times I\,.$$

Ein Formalisierungsgrad, der – wie sich bald herausstellte – zu hoch gegriffen und verfrüht erscheint (das motivationale Exzi-

tationspotenzial müsste auf null abfallen, sobald einer der drei Faktoren auf null geht, was praktisch nicht der Fall ist; insofern ist die Formel eher bloß als Proportionalität zu betrachten). Das insgesamt weitaus komplexere Hull'sche Theoriengebäude wurde dann jedoch Ende der 1950er-Jahre aufgrund weiterer widersprechender Experimentalbefunde fallengelassen, wenngleich auch dieses Modell wesentliche Beiträge zum Verständnis motivierten Verhaltens liefern konnte. So lassen sich die in der Formel ausgedrückten Grundannahmen des Hull'schen Konzeptes wie folgt zusammenfassen:

1. Ein physiologisches Bedürfnis (*tissue need*) löst einen erlebten Trieb (D) aus.
2. Dieses unspezifische motivationale Erregungspotenzial (E) liefert die Energie für beliebige oder durch einen Anreiz (I) gesteuerte Verhaltensaktivitäten.
3. Führt eine der gezeigten Verhaltensreaktionen zu einer Situation, die spannungsreduzierend wirkt und damit eine Verstärkung darstellt, wird die Assoziation zwischen dem Zielstimulus (S) und der erfolgreichen Reaktion (R) gefestigt und damit das Gewohnheits- oder Habituationspotenzial (H) gestärkt.

Weiter führte die Beobachtung der altbekannten Tatsache, dass auch Tiere über die Befriedigung ihrer primären Bedürfnisse hinaus zielstrebige motivierte Verhaltensweisen zeigen, zum Beispiel Neugierverhalten oder Kontaktverhalten zu Artgenossen, zu der Annahme, dass diese als **sekundäre Triebe** bezeichneten Motivationen durch entsprechende Konditionierung erlernt werden können. Im Gegensatz zu **primären Trieben**, die aus internen biologischen Bedürfnissen hervorgehen und die nicht erlernt werden, entstehen hiernach sekundäre Triebe (auch sekundäre Motivationen) nach dem Paradigma der **klassischen Konditionierung**: Zunächst können neutrale Reize, die mit starken primären Trieben zusammen auftreten, dadurch selbst motivierende Wirkung erhalten, wie neutrale Reize, die, mit einem Verstärker assoziiert, selbst zu Verstärkern werden können. Beispielhaft formuliert hieße das: Ein Kind, das sich seiner Mutter zuwendet, um gesättigt zu werden, und dabei Zuwendung und Lächeln erfährt, wird nach mehreren solchen Erfahrungen motiviert sein, sich dieser Person wieder zuzuwenden, um Zuwendung und Lächeln zu erhalten. (Dagegen wird von anderer Seite allerdings argumentiert, dass das Zuwendungsbedürfnis bereits selbst genuiner Natur ist (Harlow 1958) und nicht erst gelernt werden müsse, was ähnlich auch für Neugier- und Kontaktverhalten gilt.)

Zu den **sekundären Motivationen** werden die psychologischen Motive wie Anerkennung, Achtung und Leistung, aber auch Furcht und Angst gerechnet, von denen angenommen wird, dass sie ebenfalls durch Assoziation mit einem der primären Triebe erworben werden. Diese Motivationen spielen auch für Emotionen eine wesentliche Rolle, auf die wir in ► Kap. 12 noch eingehen werden. So konnte Miller (1948) in einem klassischen Experiment bei Ratten demonstrieren, dass eine durch Schockvermeidungs-Konditionierung erlernte generalisierte Furcht später (1) durch assoziierte Reize (zum Beispiel die Farbe des Käfigs) wieder ausgelöst werden kann und (2) diese erlernte Furcht als „Motivation" dazu verwendet werden kann, dass die Ratten in einem weiteren Experiment neue Reaktionen (zum Beispiel das Drehen eines Rades) lernten, die mit Furchtreduzierung verstärkt werden.

Andererseits mehrten sich bereits in den 1950er-Jahren die Beobachtungen, dass Menschen wie Tiere Verhaltensweisen zeigen, die nicht zu einer Spannungs- oder Bedürfnisreduktion führen, sondern dass auch einfache sensorische Reize, zum Beispiel die Aufnahme einer nährstofffreien Saccharinlösung (Sheffield und Roby 1950), verstärkende Wirkungen haben können oder dass auch erregungssteigernde Aktivitäten belohnend wirken. So schauen sich manche Menschen gerne Krimis oder Horrorfilme an, andere nehmen an lebensgefährlichen Wildwasserfahrten teil, erklettern senkrechte Felswände oder erfreuen sich des Fallschirmspringens und ähnlicher, eher erregungssteigernder Aktivitäten. Derartige Beobachtungen führten zu der Entwicklung einer Theorie des optimalen Erregungsniveaus (*optimal arousal level*), die wir am Ende dieses Kapitels ausführlicher besprechen werden. In der neueren Motivationsliteratur wird als gemeinsames belohnendes Ziel solcher unterschiedlichen Handlungsweisen die Optimierung einer individuellen *Affektbilanz* gesehen.

11.1.4 Kognitive und handlungstheoretische Ansätze

Wie von der neueren kognitiven Motivationsforschung deutlich gemacht und hervorgehoben wurde, gibt es nicht nur erlernte Motive, sondern motivierend wirkt vielmehr auch, welche **Vorstellungen und Erwartungen** wir uns von Zusammenhängen in der Welt sowie von den vorgestellten Wirkungen und Folgen unseres eigenen Handelns oder Nichthandelns machen. Das heißt, unser Verhalten wird auch motiviert und bestimmt

1. durch mögliche, für uns zukünftig folgende, vorgestellte positive oder negative Ereignisse, die wir gedanklich antizipieren beziehungsweise erwarten, und
2. durch den persönlichen Wert, den wir diesen Zielen oder Handlungsfolgen für uns beimessen – und die insbesondere auch unsere Leistungsmotivation beeinflussen (vgl. ► Abschn. 11.5.2).

Dadurch erweitert sich das Motivationskonzept um die ganze Dimension vorgestellter Ziele, Erwartungen, Ideen, Ideale, Wertvorstellungen und Wunscherfüllungen, durch deren vorgestelltes Erreichen unser Handeln zielorientiert motiviert wird.

Auch hier wird deutlich, dass Motive und Anreize aufeinander bezogen sind. Situative oder vorgestellte Anreize (Ziele) kennzeichnen das Motivziel, also den Zustand, dessen Eintreffen (aufgrund des eigenen Verhaltens) wir uns erhoffen oder dessen Ausbleiben wir befürchten. Diese individuell unterschiedliche Gewichtung der Ziele bezeichnet die Stärke der Motive. So ergibt sich die Wirksamkeit der Anreize auf den Organismus erst aus den **Wertungsdispositionen**, die wir ihnen als Person beimessen.

Ihr gemeinsames Ziel wird in der Optimierung der erlebten positiven **Affektbilanz** gesehen, die aus dem Zusammenwirken eines appetitiven (erhoffen) und eines aversiven (befürchten) Motivationssystems resultiert, wie dies zunächst für die Leistungsmotivation konzipiert wurde (s. diese). (a) Das appetitive Motivationssystem wird danach durch Reize oder vorgestellte

zukünftige Zielzustände aktiviert, Sie setzen Verhaltensweisen in Gang, die der Erreichung und Aufrechterhaltung der positiv erlebten Reize oder Ereignisse dient. (b) Das aversive Motivationssystem wird dagegen durch Reize oder vorgestellte zukünftige Zielzustände aktiviert, die negative Affekte hervorrufen oder erwarten lassen. Hierdurch werden entsprechend Vermeidungsverhaltensweisen in Gang gesetzt, welche geeignet sind, die negativen Affekte (z. B. Bestrafungen) zu verhindern oder zu meiden.

Gegenwärtige oder vorgestellte (erwartete) Reize und Ereignisse werden zu **Anreizen**, d. h. erhalten ihren Anreizcharakter durch die mit ihnen individuell verbundenen Affekte, die sie auslösen oder die sie ankündigen. Welche Reize, Ereignisse oder auch Tätigkeiten für uns mit welchen Affekten verbunden sind, kann angeboren oder durch unsere Sozialisation erlernt sein. So können z. B. Schmerz- und Nahrungsreize ungelernt Affekte hervorrufen, die Zuwendung oder Meidungsverhalten auslösen. Aber selbst bei Nahrungsreizen sind die Affekte der Vorlieben oder Abneigungen bestimmter Speisen erlernt.

Reize, Ereignisse oder Tätigkeiten werden für uns zu Anreizen erst durch die mit ihnen für uns verbundenen Affekte.

Der erlebte Anreizcharakter von Reizen oder Ereignissen ist darüber hinaus auch von den zeitlichen Merkmalen und Zuständen des Organismus bzw. der Person abhängig. So wird das appetitive System z. B. von Nahrungsreizen stärker aktiviert werden, wenn es sich um einen hungrigen Organismus handelt. Wenn wir gesättigt sind, werden wir wohl kaum große Anstrengungen machen, um ein Stück trockenes Brot zu erlangen, was für andere lebenserhaltend sein kann. Andererseits können auch die Anreizstärken unabhängig vom Zustand des Organismus variieren. So werden lecker zubereitete Speisen auch dann noch einen Anreiz darstellen, wenn der Organismus schon gesättigt ist.

Motive sind danach Bewertungspositionen, durch die bestimmt wird, ob und wie stark vorhandene Reize (Situationen, Ereignisse, Tätigkeiten, erwarteter Zielzustand) Anreizcharakter erhalten.

Dadurch haben Motive einen Einfluss darauf, welche Aspekte der Umwelt wir bevorzugt wahrnehmen, worauf wir in welcher Weise emotional reagieren und auch welche Zielzustände wir anstreben (Schneider und Schmalt 2000; Puca und Langens 2008).

Bereits Lewin (1935) hat als einer der Ersten darauf hingewiesen, dass eine umfassende Erklärung menschlichen wie tierischen Verhaltens nur dann gelingen könne, wenn sowohl *personenbezogene* und *organismische* Faktoren als auch Situationsfaktoren in die Analyse einbezogen werden, wie dies in verschiedenen Ansätzen der kognitiven Motivationsforschung versucht wird und von denen wir bei Behandlung der Leistungsmotivation noch sprechen werden.

Erwartung-mal-Wert-Modelle

Ein weiterer, hierauf aufbauender Ansatz greift die auf den Philosophen und Mathematiker Blaise Pascal (1623–1662) zurückgehenden rationalen Prinzipien der modernen *Entscheidungstheorie* (▶ Kap. 10)auf, die von Mathematikern und Wirtschaftswissenschaftlern (von Neumann und Morgenstern 1944) entwickelt wurden, und bildet das Kernkonzept der **Erwartung-mal-Wert-Modelle**. Sie beinhalten eine Gewichtung der subjektiven Wertung beziehungsweise der Anreize mit der jeweiligen Erwartung, diese Ziele auch verwirklichen zu können. Das heißt, bei der Wahl (Entscheidung) zwischen zwei oder mehreren Handlungsalternativen werden wir derjenigen Alternative den Vorrang geben, bei welcher der Erwartungswert am größten ist. Dieser **Erwartungswer**t definiert sich hierbei als die Summe der möglichen Gewinne und Verluste bei den verschiedenen möglichen Ausgängen der Entscheidung multipliziert mit ihren jeweiligen Auftretenswahrscheinlichkeiten (Wert mal Erwartung). Einbezogen werden können dabei die individuell unterschiedlich erwarteten Auswirkungen der Entscheidung auf andere Menschen, was dann zu dem Bereich der **sozialen Motive** führt, zum Beispiel Altruismus (hohe Bewertung der Folgen für andere), Egoismus (hohe Bewertung der Folgen für mich selbst), Kooperation (hohe Bewertung für beide) oder Wettbewerb (hohe Bewertung der Differenz zwischen beiden) (Wendt 1989).

Diesem Ansatz liegt das allgemeine Verhaltensmodell zugrunde, wonach das motivierte Verhalten von zwei Grundparametern geleitet wird:

1. von den bewerteten Zielzuständen, die auch als **Valenzen** bezeichnet werden, und
2. von der Wahrscheinlichkeit, einen solchen Zielzustand zu erreichen (**Erwartung**).

Nach Schneider und Schmalt (1981) ist mit diesem Grundmodell eine große Anzahl von motivationspsychologischen Sachverhalten vereinbar, was für die weitgehende Akzeptanz desselben spricht.

Weitere Modelle

Einen qualitativ völlig anderen Zugang stellen die **handlungstheoretischen Ansätze** dar. Sie betonen die Ausrichtung einzelner motivierter Handlungsschritte an übergeordneten motivierenden Handlungszielen. Sie heben damit die hierarchische Gliederung des Verhaltens in umfassende Handlungssequenzen hervor, die sich über längere Zeiträume erstrecken und die die verschiedensten Handlungen umfassen können, welche wiederum aus Teilhandlungen und Teilbewegungen zusammengesetzt sind (Hacker 1978). So wird zum Beispiel jeder untergeordnete Verhaltensablauf so lange ausgeführt, bis das vom übergeordneten Ziel bestimmte Teilziel erreicht ist. Dabei setzen sich die einzelnen Teilhandlungen jeweils aus einer Ausführungs- und einer Prüfungsphase zusammen. Erst wenn die Prüfung ergibt, dass das angestrebte Teilziel erreicht ist, geht die Person zum nächsten Schritt der Handlungssequenz über. Der Grundplan dieses Verhaltensablaufs, der den meisten menschlichen Handlungen zugrunde liegt, wurde von Miller et al. (1960) mit dem Schema des sogenannten **TOTE-Prinzips** (Test-Operate-Test-Exit-Schema) beschrieben, wie es in ◘ Abb. 11.4 dargestellt ist.

Diese auf kybernetische Rückkopplungsmodelle, wie sie in der Steuerungs- und Regelungstechnik verwendet werden (Oppelt 1964), zurückgehenden Ansätze differenzieren zwar den Verhaltensablauf einer motivierten, zielorientierten Handlung, verbleiben dabei aber in einer bloßen Deskription der Abläufe,

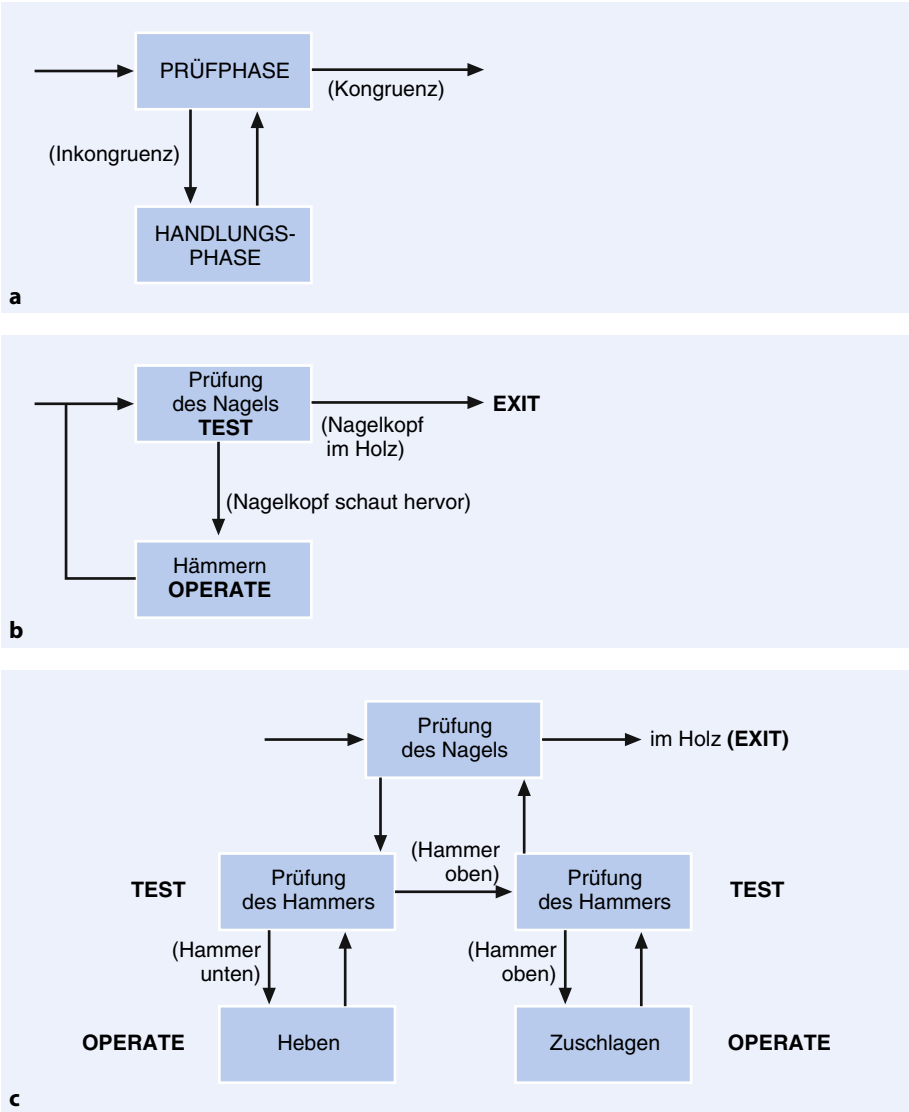


Abb. 11.4 Verhaltensplan des TOTE-Prinzips. Das Test-Operate-Test-Exit-Schema (Prüfen – Ausführen – Prüfen – Beenden) wird am Beispiel einer einfachen Handlung erläutert, dem Einschlagen eines Nagels (**b**), das sich aus zwei Bewegungen, dem Heben und dem Zuschlagen (**c**), aufbaut. (Miller et al. 1960)

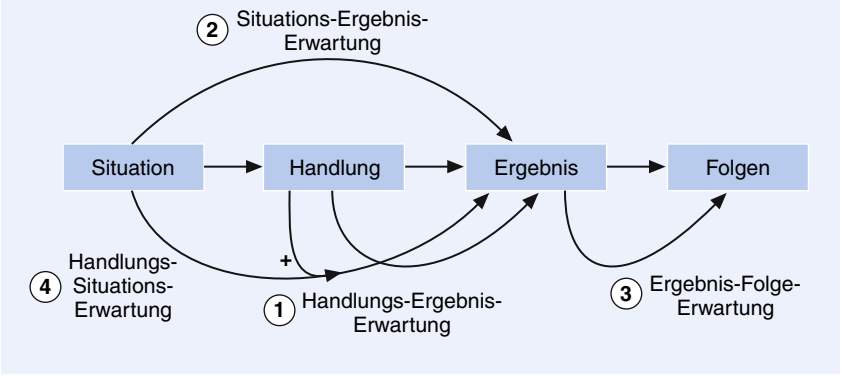


Abb. 11.5 Modellschema des Motivationsprozesses beim menschlichen Handeln mit verschiedenen Erwartungen. (Heckhausen 1977b)

ohne auf eine Klärung der Motivationsfrage einzugehen, deren Klärung sie im Grunde voraussetzen.

Eine im Einzelnen recht komplexe handlungstheoretisch-kognitiv ausgerichtete Vorstellung über das Motivationsgeschehen menschlichen Handelns hat Heckhausen (1977a, 1977b) in Fortsetzung der Erwartung-mal-Wert-Theorien entwickelt (vgl. ▶ Abschn. 11.5.2). Er fasst Motive als **überdauernde, individuelle Besonderheiten** auf, die in bestimmten Grundsituationen der individuellen Entwicklung gelernt werden und die sich in **generalisierten Erwartung-Wert-Einstellungen** niederschlagen. In seiner Modellvorstellung geht er davon aus, Motivation als einen Handlungsprozess zu konzipieren, in welchem Person- und Situationsparameter sowie der Handlungsvollzug und die Handlungsergebnisse mit ihren Folgen berücksichtigt werden, wobei diese Wert-Variablen durch verschiedene Erwartungsvariablen in den einzelnen Stadien des Motivationsprozesses verbunden werden (Abb. 11.5).

Exkurs 11.1

Genauer betrachtet: Wie Motivation wirkt

In einer kalten Winternacht haben wir uns zum Lesen niedergesetzt. Die Heizung ist bereits ausgegangen. Obgleich die Temperatur weit gesunken ist, hält unser Körper seine Kerntemperatur von etwa 37 °C unverändert aufrecht. Zunächst haben wir davon noch nichts bemerkt, denn unser Organismus hat schon längst „selbsttätig" oder „automatisch" reagiert und seine Maßnahmen zur Konstanthaltung der Körpertemperatur getroffen. In unseren Breiten gelingt diese Regelung jedoch nur in einem sehr kleinen Teil des Jahres direkt. Die meiste Zeit hingegen müssen wir dadurch nachhelfen, dass wir die Wärmeisolation durch das Tragen von Kleidung erhöhen oder die Umgebung, in der wir uns befinden, durch zusätzliche Heizung erwärmen, während andere Säugetiere oder Vögel auch hier noch weiter automatisch mit dem Aufstellen der Haare oder der Federn in der Weise reagieren, dass sie einen wärmeisolierenden Luftmantel schaffen.

Die beim Menschen bewusst gesteuerte Reaktionsweise hat vielerlei Konsequenzen. Wir werden einerseits „motiviert sein", uns Kleidung zu beschaffen, zu kaufen, und andererseits werden wir „motiviert sein", Räume zu bauen und in diesen die Heizung einzuschalten. Wenn das Heizungsmaterial verbraucht ist, werden wir die „Notwendigkeit verspüren", neues zu besorgen und dabei all die (gelernten) Tätigkeiten auszuführen wie telefonieren, bestellen, bezahlen, überweisen und nicht zuletzt für Geld zu arbeiten – Tätigkeiten, die unter anderem letztlich notwendig sind, um unser biologisches Wärmebedürfnis zu befriedigen. So gesehen, entwickelt sich ausgehend von den fundamentalen Bedürfnissen eine Vielzahl von konkreten Motivationen in Abhängigkeit von den verschiedenen individuell und kulturell bedingten Situationen und Sozialisationen (Nuttin 1968).

Ausgehend von einer Situation, in der sich das Individuum befindet, kommt es zur Bildung von Erwartungen, die sich aus der Antizipation der eigenen Handlungsergebnisse und deren Verknüpfung mit den weiteren Stadien des Handlungsprozesses herleiten. Die **Handlungs-Ergebnis-Erwartungen** (vgl. Abb. 11.4) und die **Situations-Ergebnis-Erwartungen** beziehen sich auf die antizipierten Wahrscheinlichkeiten, inwieweit durch eigenes Handeln oder durch die Situation selbst bestimmte Ereignisse herbeigeführt oder verhindert werden. **Handlungs-Situations-Erwartungen** beziehen sich auf solche situativen Umstände, die Handlungen für die Erreichung bestimmter Ergebnisse eher behindern oder fördern. Die **Ergebnis-Folge-Erwartungen** kennzeichnen schließlich den Wert, den ein bestimmtes Handlungsergebnis für die weiterreichenden Handlungsfolgen hat, und bestimmen damit die erlebte Motivation.

Dieser kurze Umriss einiger bekannterer kognitiv orientierter Ansätze der Motivationsforschung mag verdeutlicht haben, dass unsere Kenntnisse auf diesem Gebiet noch keinen allgemein akzeptierten Abschluss gefunden haben und unterschiedliche Erklärungsansätze mit mehr oder weniger großer Akzeptanz bei Forschern anderer Richtungen nebeneinander bestehen.

Gemeinsam ist den kognitiven Ansätzen der Motivationsforschung, dass sie in erster Linie kognitiv bewusste Prozesse (Motive) als verantwortlich für das zielorientierte Handeln des Individuums betrachten und nicht so sehr biologisch-physiologische Prozesse primärer Motivation oder direkte Aktivierungen durch spezifische Reizeigenschaften.

11.2 Grundlegende Motivationen

Die inneren motivationalen Bedingungen, die bestimmen, ob, wann und welche Aktionen beziehungsweise Reaktionen ein Individuum in einer bestimmten Situation oder auf einen bestimmten Reiz hin ausführt, werden vielfach unterteilt in:

1. **Biologische Motivationen** (Triebe) Sie resultieren in der Regel aus fundamentalen Bedürfnissen des Organismus, wie dem nach Nahrung, Trinken, Schlaf, Sexualität, Wärme und anderen. Ihnen wenden wir uns zunächst ausführlicher zu.
2. **Psychologische Motivationen** (Motive) Sie resultieren aus solchen Bedürfnissen wie sozialer Anerkennung, Selbstachtung, Sicherheit, Leistung oder Wissen, wobei der genaue Ursprung dieser psychologischen Motivationen noch immer unterschiedlich beurteilt wird. Sie gewinnen jedoch erst in dem Maße an Bedeutung, in dem die Elementarbedürfnisse des Körpers soweit befriedigt sind, dass sie nicht mehr im Vordergrund stehen, das heißt die *Dominanzrolle des Mangels* in den Hintergrund tritt (Hoffstätter 1963).

Andererseits wird in der neueren Motivationsliteratur unterschieden zwischen **biogenen Motiven** wie Hunger oder Durst und **soziogenen Motiven** wie Anschluss, Macht und Leistung. Erstere beruhen auf biologischen Bedürfnissen, letztere sind eher Persönlichkeitseigenschaften, die im Laufe der Sozialisation entstehen (Puca und Langens 2008).

Wie weit die Auswirkungen biologischer Motivationen in unser alltägliches Handeln und Denken reichen, mag uns vielleicht das Beispiel in ▶ Exkurs 11.1 zum Wärmebedürfnis des Menschen verdeutlichen.

11.2.1 Homöostatische und nichthomöostatische Motivation

Bei den biologischen Motivationen lässt sich nach Grossman (1967) zwischen homöostatischen und nichthomöostatischen Mechanismen unterscheiden. Viele Überlebensmotivationen wie Hunger, Durst, Schlaf oder das Wärmebedürfnis arbeiten nach dem Prinzip der **Homöostase**, das heißt der Aufrechterhaltung des konstanten inneren Zustandes trotz wechselnder äußerer Zustände. So variiert die Kernkörpertemperatur des gesunden Menschen nur um 1 oder 2 °C, auch wenn die Umgebungstemperatur an die 80 °C variieren kann. Ähnlich wird auch der Wassergehalt des Körpers (70–75 % des Körpergewichtes) mit erstaunlicher Genauigkeit konstant gehalten. Er schwankt normalerweise nur um ±0,22 %, auch wenn die Umgebungsfeuchtigkeit beträchtlichen Schwankungen unterliegt.

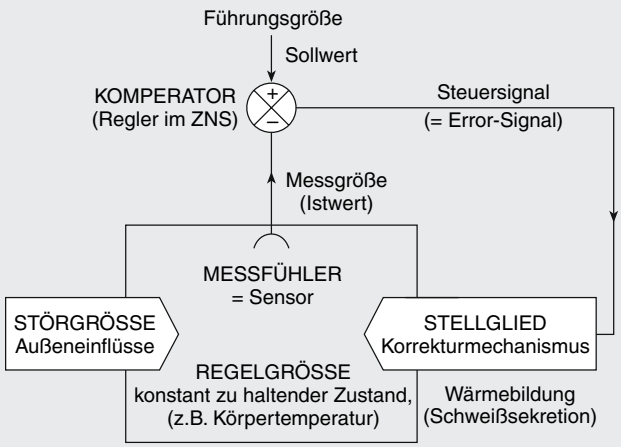
Homöostatische Motivationen wie Hunger und Durst oder das Wärmebedürfnis haben ihren Ursprung also in physiologischen Veränderungen, die das physiologische Gleichgewicht des Organismus stören. Sie werden durch Änderung im internen Milieu des Organismus ausgelöst und kommen uns zum Beispiel

Exkurs 11.2

Genauer betrachtet: Geschlossenes Regelsystem – „Regelkreis“

Die Funktionsweise des sogenannten **Regelkreises** mit **negativer Rückkopplung** (Feedback) wird gern am Beispiel der Temperaturregulierung veranschaulicht. Hierzu wird das aus der Regelungstechnik übernommene und in ◘ Abb. 11.6 dargestellte Aktionsdiagramm verwendet. Der konstant zu haltende Zustand, die **Regelgröße** (zum Beispiel die Körpertemperatur), wird von *Messfühlern* (zum Beispiel den Thermorezeptoren) kontrolliert, die ihre Meldungen (*Messgrößen*, Ist-Werte) einem zentralen **Komparator** zuführen, wo dieser **Ist-Wert** mit der vorgegebenen Führungsgröße, dem **Soll-Wert**, verglichen wird. Ohne äußere Störungen (*Störgröße*) ist die Differenz zwischen Ist-Wert und Soll-Wert gleich null oder noch im Gleichgewichtsbereich. Es erfolgt kein korrigierendes Steuersignal. Wirkt jedoch eine **Störgröße** (zum Beispiel Wärmeverlust), auf das System ein und erniedrigt den Ist-Wert der Körpertemperatur unter eine kritische Schwelle, so wird hierdurch der Regler aktiviert und verstellt über entsprechende Aussendung von Steuersignalen die **Steuer-** oder **Stellglieder** (zum Beispiel Vasokonstriktion, bei der sich die Gefäße zusammenziehen, oder Erhöhung des Muskeltonus) so lange, bis die aufgetretene Differenz zwischen Ist-Wert und Soll-Wert wieder ausgeglichen ist. Das Prinzip des geschlossenen Regelkreises liegt also darin, dass jede Störung der Regelgröße selbsttätig mit umgekehrten Vorzeichen (negative Rückkopplung) ausgeglichen wird.

◘ **Abb. 11.6** Geschlossener Regelkreis mit negativer Rückkopplung



als Hunger- oder Durstempfindung zu Bewusstsein. Dadurch entstehen Bedingungen, die den Organismus zur motivierten Aktivität veranlassen. Erst wenn das Ziel erreicht und das biologische Gleichgewicht wiederhergestellt ist oder aber ein anderes, stärkeres Motiv überwiegt, endet dieser Prozess.

Nichthomöostatische Motivationen wie sexuelle Erregung, Emotionen und Neugier werden hingegen durch Veränderungen in der externen Umwelt des Organismus ausgelöst und in der Regel auch durch diese befriedigt. Sie sind nicht auf die Aufrechterhaltung eines physiologischen oder psychologischen Gleichgewichtszustandes ausgerichtet, sondern finden ihr Ziel in erregenden oder entspannenden Befriedigungen.

Im Folgenden werden wir uns zunächst ausführlich mit der homöostatischen Motivation befassen, und zwar dann exemplarisch am Beispiel der Hungermotivation, ehe wir uns dann einigen nichthomöostatischen Motivationen zuwenden wie der Sexualität, dem Bindungsverhalten (*attachment* und *affiliation*) und der Leistungsmotivation. Damit ist freilich das Spektrum der ausführlicher untersuchten und bekannten Motivationen längst nicht abgedeckt. In diesem Sinne wären als weitere wichtige bekannte Motivationen zu nennen: Neugierverhalten und Exploration, Angst (*anxiety*) und Furcht sowie die Machtmotivation und die Motivation zur Aggression, deren emotionaler Anteil in ► Kap. 13 zur Sprache kommt.

Homöostatische Motivationen. Walter Cannon, der unter dem Titel *The Wisdom of the Body* (Cannon 1932) die erstaunlichen Leistungen schildert, die das physiologische System zur Aufrechterhaltung einer Vielzahl von lebensnotwendigen Gleichgewichtszuständen vollbringt, nannte diesen Selbstregulationsprozess **Homöostase**. Die ihm zugrunde liegenden Mechanismen arbeiten „automatisch“, ohne unsere willentliche Aktion und ohne dass sie uns bewusst werden. So können die Körperbedürfnisse für Nahrung und Flüssigkeit für gewisse Zeiten durch Anzapfen der Fett- und Wasserreserven in den Körpergeweben überbrückt werden. Es können erstaunliche Temperaturunterschiede der Umwelt zumindest zeitweise toleriert werden durch automatische Anpassungsmechanismen wie Schwitzen, schnelles Atmen oder Zittern. Früher oder später jedoch sind die automatischen Homöostasemechanismen nicht mehr in der Lage, den lebensnotwendigen Gleichstand (*steady state*) im Körper aufrechtzuerhalten. An dieser Stelle wird der Gesamtorganismus in Form eines **erlebten Bedürfnisses** aktiviert, mit einer „willentlichen“ Handlung die Mangelzustände zu beenden. Insofern haben wir hier zunächst zwischen der bereits erwähnten physiologischen **Bedarfslage** (*need*) und dem erlebten **Bedürfnis** (*drive*) zu unterscheiden. Bedarf bezeichnet jede substanzielle physiologische Abweichung vom Ideal- oder Normalwert im Organismus. Seine psychologische Entsprechung wird als Trieb bezeichnet – ein erregter Zustand oder ein drängendes Bedürfnis, welches aus dem physiologischen Bedarf resultiert. So entsteht zum Beispiel ein Gewebebedarf (*tissue need*), wenn der Blutzuckerspiegel beträchtlich unter den idealen Sollwert absinkt. Dieses physiologische Ungleichgewicht wird zunächst automatisch dadurch ausgeglichen, dass auf Signale der Pankreas (Bauchspei-

cheldrüse) hin von der Leber Zucker ins Blut abgegeben wird. Reicht dies nicht aus, wird ein „erlebter" Trieb aktiviert, der den Organismus zur Tätigkeit veranlasst, um das Ungleichgewicht (zum Beispiel durch Nahrungsaufnahme) auszugleichen.

Homöostase (*homeostasis*)

Das Prinzip (die Tendenz), einen ausgeglichenen und konstanten inneren Gleichgewichtszustand aufrechtzuerhalten, z. B. Blutzuckerspiegel, Kernkörpertemperatur. (Cannon 1915)

Das zugrunde liegende Prinzip eines homöostatischen Systems ist ein geschlossenes Regelsystem (Regelkreis) mit negativer Rückkopplung, wie er auch jedem mechanischen Thermostaten zugrunde liegt. Seine Funktionsweise wird in ▶ Exkurs 11.2 dargestellt.

Die Aufdeckung dieses Wirkungsprinzips, das in der Technik der selbstregulierenden Systeme heute weit reichende Anwendung gefunden hat (zum Beispiel Thermostat, Hygrostat), ermöglichte im organischen Bereich das Verständnis vieler zweckmäßig und zielstrebig wirkender Verhaltensweisen, und es ließen sich in zahlreichen Fällen die hierfür zu fordernden neuronalen Verschaltungen, Steuer- und Stellglieder nachweisen. Ein anderes Beispiel haben wir bereits bei der **Invariantenbildung** im Bereich der Wahrnehmung (▶ Exkurs 3.15) kennengelernt.

11

11.2.2 Temperaturhomöostase

Wie Hunger und Durst zählt auch das Bedürfnis nach Konstanthaltung der Körpertemperatur zu den homöostatisch organisierten Trieben, das zwar zumeist nicht als Prototyp einer Motivation betrachtet wird, das aber als für das Überleben des Organismus wichtige Homöostase viele unserer Verhaltensweisen motiviert. In dem hier in ausgeprägtester Form zugrunde liegenden Regelkreis bildet die Bluttemperatur die konstant zu haltende Regelgröße. Thermorezeptoren befinden sich sowohl in der Haut und im Mund als auch im Rückenmark und im Gehirn, speziell im **Hypothalamus**. Außer diesen Sensoren befinden sich im vorderen (anterioren) Hypothalamus Areale, die den Komperator enthalten, sowie eine Zone mit der offenbar idealen Kerntemperatur. Wird im Tierexperiment bei einer Ratte diese als Thermostat fungierende Region durch einen Eingriff zerstört, kann sie ihre Temperatur nicht mehr regeln. Andererseits führt eine direkte Erwärmung (durch implantierte Thermoden) im vorderen Hypothalamus dazu, dass die Ratte ihre Körpertemperatur senkt, obgleich der Körper selbst nicht übermäßig warm ist.

Normalerweise erfolgt die Temperaturregulierung in zwei Schritten, für die auch unterschiedliche Regionen des Hypothalamus verantwortlich sind. Im ersten Schritt wird die Nachregulierung (*adjustment*) automatisch und rein physiologisch geregelt. Sinkt die Körpertemperatur zu weit ab, führen die Steuersignale zu einer Konstriktion der Hautkapillaren, sodass das Blut von der kalten Peripherie ferngehalten wird, damit die verbleibende Wärme den lebenswichtigen inneren Organen erhalten bleibt. Weiterhin kommt es zu erhöhtem Muskeltonus bis zum Körperzittern, wodurch Wärme frei wird. Für diese automatischen Regulierungen sind die präoptischen Areale des Hypothalamus verantwortlich. In einem zweiten Schritt vollziehen wir in Ergänzung dieser physiologischen Reaktionen auch verhaltensmäßige Anpassungen, wie im Eingangsbeispiel (▶ Exkurs 11.1) bereits geschildert. Wenn uns kalt wird, suchen wir einen wärmeren Platz auf oder ziehen uns wärmere Kleidung an. Für den Anstoß dieses willentlich *motiviert* ausgeführten Verhaltens sind Regionen des lateralen Hypothalamus verantwortlich (Satinoff und Shan 1971).

11.2.3 Hungermotivation und Homöostaseregelung

Sowohl in der Motivationsforschung als auch in jedem menschlichen und tierischen Verhalten spielt Hunger als Motiv immer wieder eine zentrale Rolle. Er ist ein **basales Überlebensmotiv**, das in Notzeiten, wenn Nahrung fehlt, alles Denken und Handeln beherrschen kann. Wie alle anderen Lebewesen sind wir Menschen darauf angewiesen, zur Aufrechterhaltung unseres Stoffwechsels Nahrung und Flüssigkeit aufzunehmen. Dieser physiologische Bedarf des Organismus kommt uns als Hunger oder auch als Durst zum erlebten Bewusstsein und motiviert uns zum Handeln.

Wie aber kommt es zu dieser „erlebten" Motivation? Spüren wir Hunger, weil unser Magen sich meldet, weil er leer ist? Wie aber ist dann zu erklären, dass auch Menschen, denen der Magen entfernt werden musste (infolge von Krebs- oder Magengeschwüren), Hungergefühle erleben und ihren Nahrungskonsum regulieren können? Oder kommt der Hunger, weil „Tischzeit" ist? Oder genügt es, leckere Speisen zu sehen, die gut riechen, gut aussehen und den Appetit anregen? Wie Untersuchungen gezeigt haben, können Menschen ihre Nahrungsaufnahme auch dann in gleicher Weise gut regulieren, wenn all diese Reize eliminiert werden – etwa bei Patienten oder Versuchspersonen, denen die Nahrung durch einen Schlauch (Magenfistel) direkt in den Magen zugeführt wird.

Solche Fragen zur Hungermotivation sind nicht nur von grundlagenwissenschaftlicher Bedeutung, sondern haben auch einen hohen praktischen Wert hinsichtlich der Entstehung und Behandlung von Übergewicht und **Fettleibigkeit** (Adipositas). Neuere Untersuchungen in den USA (Brownell und Rodin 1994) haben gezeigt, dass rund 30 % der Bevölkerung übergewichtig sind, davon 12 % stark übergewichtig, und etwa 40 % glauben, übergewichtig zu sein. Auch in der Bundesrepublik ist nach dem Jahresbericht der Deutschen Gesellschaft für Ernährung von 2000 jeder dritte Bürger übergewichtig und setzt damit nach medizinischen Erkenntnissen seine Gesundheit aufs Spiel. Hinzu kommt, dass rund 35 % der Bevölkerung ständig Diät einhalten, sich also nicht auf ihr natürliches Hungergefühl verlassen können. Ist Hunger demnach kein sicheres Zeichen für ein Nahrungsbedürfnis unseres Körpers? Welche Faktoren führen dann zu dem Auftreten der Hungermotivation?

Obgleich Hunger nach wie vor zu den homöostatischen Motivationen gerechnet wird, machen die eingangs dargestellten Überlegungen deutlich, dass es sich hier nicht um ein so einfach

strukturiertes homöostatisches System handeln kann wie bei der Regulierung der Körpertemperatur.

Nach dem gegenwärtigen Stand der Forschung wird angenommen, dass sowohl rein physiologische als auch primär psychologische sowie erlernt soziokulturelle Faktoren in bestimmten Steuerzentren des Gehirns – speziell des Hypothalamus – auf der Basis eines homöostatischen Regelsystems zusammenwirken. Grundlegend werden auch hier über bestimmte Sensoren verschiedene Nährstofffaktoren in unserem Körper (vor allem der Glucose- und Fettspiegel) überwacht. Sinken diese Werte unter ein bestimmtes, jeweils festgesetztes Niveau, den **Set-Point**, so wird dieser Bedarf signalisiert und führt unter dem Einfluss weiterer interner und externer Faktoren zum Erleben der Hungermotivation. Andererseits fiel bereits in frühen Untersuchungen auf, dass während der Nahrungsaufnahme das Sättigungserlebnis weit früher auftrat, als dass die Nahrung über Magen und Darm vom Körper bereits resorbiert (aufgenommen) worden sein konnte. Das heißt, wir beenden in der Regel unsere Mahlzeiten, bevor das Energiereservoir wieder aufgefüllt und das Sättigungsbedürfnis damit gestillt ist. Würden wir die Nahrungsaufnahme tatsächlich erst dann beenden, wenn unsere Nahrungs- und Energiespeicher wieder aufgefüllt sind und ihren Idealwert erreicht haben, würden wir etwa vier Stunden weiteressen, denn so lange dauert es, bis die Nahrung verdaut ist. Selbst wenn also der Anstoß zur Hungermotivation und zur Nahrungsaufnahme vom biologischen Bedarf abhängt und im Zusammenwirken mit äußeren Anreizen erfolgt, müssen für das Auftreten der Sättigung und damit der Beendigung der Nahrungsaufnahme schneller wirkende Mechanismen wirksam werden. Hier konnten, wie wir sehen werden, verschiedene **Sättigungsdetektoren** gefunden werden, die sich an verschiedenen Stellen des Verdauungstraktes befinden und die unserem Gehirn signalisieren, dass der benötigte Nachschub bereits auf dem Wege ist und wir die Nahrungsaufnahme beenden können. Wir haben also zu unterscheiden zwischen **zwei Systemen**:

1. einem System, das für die **Beendigung** der Nahrungsaufnahme sorgt, und
2. einem weiteren, das für die **Initialisierung** der Nahrungsaufnahme verantwortlich ist.

Bekannte Untersuchungen zur Frage nach der Entstehung des Hunger- und des Sättigungsgefühls werden in ▶ Exkurs 11.3 behandelt.

Aber auch für die **Sättigung** scheinen der Magen und die Magenfüllung nicht allein verantwortlich zu sein. Verabreicht man Ratten über eine künstliche Magenfistel zusätzlich etwa 175 % des normalen Kalorienbedarfs direkt in den Magen, was ein Sattheitsgefühl hervorrufen sollte, so bleibt die Fresslust der Ratten dabei unverändert. Erst nach einigen Wochen kommt es zu einer kompensatorischen Anpassung des Fressverhaltens (Janowitz und Hollander 1953). Und wenn man schließlich eine Zuckerlösung direkt in das Blut eines nüchternen Tieres mit leerem Magen injiziert, so führt dies zwar zu einer Beendigung der Magenkontraktionen, jedoch hört damit, wie das Fressverhalten zeigt, der Hunger nicht auf.

Fazit: Obwohl die Empfindungen, die vom Magen kommen, unser Hungergefühl beeinflussen, können sie weder die Regulierung des Nahrungsbedarfs, noch Beginn oder Ende des Hungergefühls erklären.

Derartige Ergebnisse führten zu der Annahme, dass bereits vorgeordnete Orte im oralen und ösophagialen Bereich für die Entstehung von Sättigungssignalen verantwortlich sind.

Faktoren der präresorptiven Sättigung

Wenn es bereits im Mund-Schlund-Bereich Sättigungssensoren gibt, müssten Tiere auch dann zu fressen aufhören, wenn die Nahrung durch einen künstlichen Ausgang (Ösophagusfistel), bevor sie in den Magen gelangt, nach außen abgeleitet wird, sodass alle nachfolgenden Sättigungsfaktoren nicht in Betracht kommen. Tiere mit einer solchen Ösophagusfistel fressen zwar bei einer einzelnen Mahlzeit durchaus länger, stoppen aber schließlich mit der Nahrungsaufnahme und beginnen kurz danach erneut zu fressen. Dieses regelmäßig wiederholte Beenden des Fressens spricht dafür, dass die hier ausgelöste Sättigung nur jeweils einen Kurzzeiteffekt hat (Janowitz und Grossman 1949). Es wird daher angenommen, dass die mit dem Fressen verbundenen Reizungen der Geruchs-, Geschmacks- und Mechanorezeptoren des Nasen-Mund-Rachen-Raumes und der Speiseröhre sowie auch das Kauen und Schlucken selbst (▶ Exkurs 11.4) zur präresorptiven Sättigung beitragen.

Es liegt daher der Schluss nahe, dass die sensorischen Rückmeldungen vom oralen Bereich des Verdauungstraktes (Mund, Speiseröhre) einen wichtigen Anteil an der Regulation der Nahrungsaufnahme haben und die Nahrungsmenge pro Mahlzeit regulieren, während eine längerfristige Regelung des Kalorienbedarfs über neurale und humorale (die Körperflüssigkeiten betreffende) Signale erfolgt.

Wie die Experimente von Epstein und Teitelbaum (siehe ▶ Exkurs 11.5) deutlich machen, ist der Einfluss dieser internen **präresorptiven Sättigungsfaktoren** auf die Einleitung und Aufrechterhaltung der Sättigung eher gering beziehungsweise erscheint entbehrlich.

Anders sieht es allerdings mit weiteren oralen Faktoren aus, die sich ebenfalls auf unser Nahrungsaufnahmeverhalten auswirken. So kommt insbesondere neben dem appetitanregenden **Aussehen** der Nahrung vor allem ihrem **Geruch** und **Geschmack** eine besondere Bedeutung zu, ob wir uns motiviert fühlen, die Nahrung aufzunehmen oder zu verweigern, und dies bisweilen weitgehend unabhängig von unserem physiologischen Sättigungszustand. Geschmacksfaktoren dienen somit nicht nur der Identifikation von genießbarer und ungenießbarer Nahrung, sondern durch ihre hedonistischen (dem Lustprinzip entsprechenden) Wirkungen auch der unmittelbaren und langfristigen Steuerung des Nahrungsbedürfnisses. So bevorzugen Jungtiere fast aller untersuchten Arten, einschließlich des Menschen, unmittelbar nach der Geburt süß schmeckende Stoffe und stoßen bittere wieder aus (Preyer 1982). Wie bereits Engel (1928) in einer Pionierstudie nachweisen konnte, zeigt die hedonistische Bewertung unterschiedlicher Konzentrationen von Lösungen mit süßem, bitterem, saurem und salzigem Geschmack eine deutliche Konzentrationsabhängigkeit (◘ Abb. 11.9).

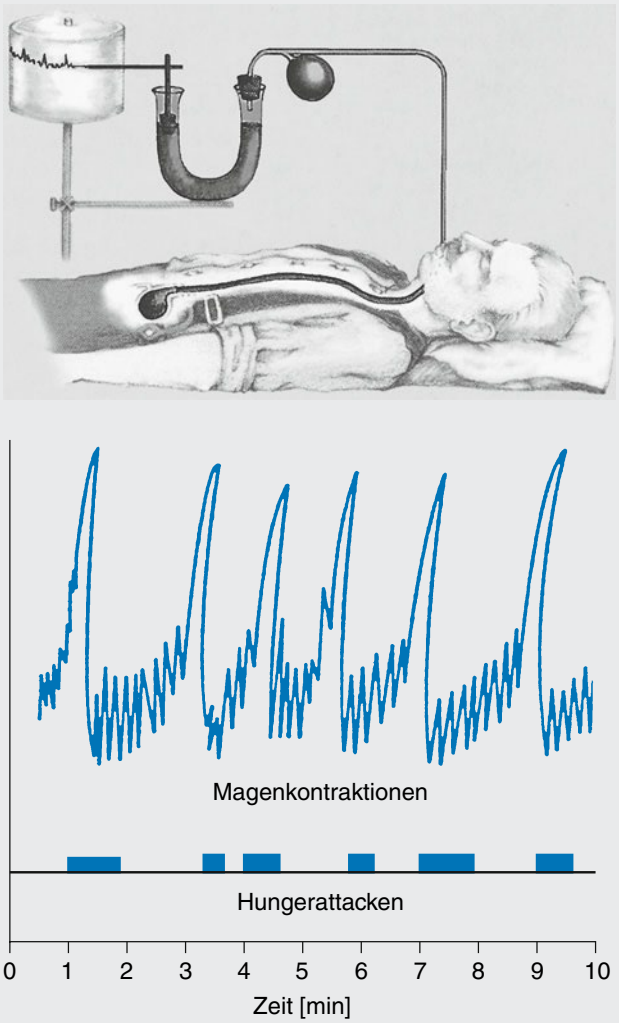
Bevorzugt wird dabei zumeist eine isotone Konzentration, das heißt eine Lösung, deren osmotischer Wert dem der Körperflüssigkeit entspricht (Young 1967). Nach späteren Untersuchun-

Exkurs 11.3

Genauer betrachtet: Untersuchungen zur Entstehung des Hungergefühls

Eine der einflussreichsten frühen Untersuchungen über die Entstehung des Hungergefühls stammt von Walter Cannon, einem der Pioniere der frühen Physiologie, und Washburn. Sie hielten das bekannte Magenknurren zunächst für den entscheidenden Faktor der Hungermotivation. Die Idee, einen Ballon schlucken zu lassen, kam von Cannon, während Washburn die ideale Versuchsperson abgab. Washburn schluckte zunächst einen leeren Ballon, dessen Öffnung mit einer dünnen Sonde verbunden war, über die Luft in den Ballon gepumpt werden konnte (◘ Abb. 11.7). Das andere Ende der Sonde war luftdicht mit einem wassergefüllten U-Rohr verbunden, sodass Washburns Magenkontraktionen zu einem Anstieg des Wasserspiegels am Ende des U-Rohres führten, der über eine Apparatur aufgezeichnet wurde. Ferner hatte Washburn jedes Mal mit dem Finger eine Taste zu betätigen, wenn er **Hungergefühle** (Magenknurren) verspürte.

Tatsächlich zeigten sich immer dann starke Magenkontraktionen, wenn Washburn Hungergefühle verspürte. Diese frühen Ergebnisse führten zu der Theorie, dass Hunger das Gefühl ist, das entsteht, wenn sich der leere Magen zusammenzieht, während Sättigung das Gefühl ist, das sich einstellt, wenn der Magen gedehnt wird (Cannon und Washburn 1912). Doch weitere Untersuchungen ein Vierteljahrhundert später ließen erkennen, dass Magenkontraktionen nicht einmal eine notwendige Bedingung für das Auftreten von Hunger sind. Wurde bei Ratten der Magen chirurgisch entfernt und ihre Speiseröhre (Ösophagus) mit dem Zwölffingerdarm (Duodenum) verbunden, so blieb ihr regelmäßiges Fressverhalten unverändert (Tsang 1938). Auch Patienten, deren Magen wegen eines Krebs- oder Magengeschwüres in ähnlicher Weise entfernt werden musste, berichten nach dem Eingriff noch über Hunger- und Sättigungsgefühle. Auch sie konnten ihr Körpergewicht weiterhin konstant halten, allerdings indem sie häufiger aßen, aber kleinere Mahlzeiten zu sich nahmen.



◘ **Abb. 11.7 Messung von Magenkontraktion und Hungergefühl.** Cannon und Washburn (1912) fanden mit dem von ihnen entwickelten System zur Messung von Magenkontraktionen, dass starke Magenkontraktionen mit „Magenknurren" und Hungergefühl einhergehen. (Pinel 1997, S. 259, Abb. 10.11)

gen gilt dies auch für den süßen Geschmack. Oft werden süße und fettangereicherte Stoffe auch dann aufgenommen, wenn das physiologische Nahrungsbedürfnis bereits gestillt ist oder obwohl sie, wie im Beispiel der Saccharinlösung, ohne Nährwert sind.

Solche Ergebnisse lassen erkennen, dass die Regelung der homöostatischen Hungermotivation äußerst komplex ist, und sie weisen zum anderen auf die evolutionäre Entstehung der Verhaltensmechanismen hin, deren Wert zumeist aus Anpassungen an durchlebte Umwelten erklärbar ist. So liegt zumindest für

Exkurs 11.4

Genauer betrachtet: Sättigungswert von Schluckbewegungen

Ein Beleg für die Auslösung des Sättigungsempfindens durch die Menge der Schluckbewegungen konnte von Ploog (1964) sowie von Spitz (1957) erbracht werden, die beide bei Säuglingen deutliche Abhängigkeiten zwischen Sättigungsgrad und der Anzahl der durchgeführten Schluckbewegungen feststellten. Sie ließen in ihren Untersuchungen eine Gruppe von Säuglingen eine bestimmte Nahrungsmenge aus der Flasche in 20 min saugend aufnehmen. Die Nahrungsmenge war so bemessen, dass die Säuglinge sich danach befriedigt zeigten und ruhig einschliefen. Wenn man bei einem nächsten Durchgang nun die Öffnung im Sauger so vergrößerte, dass die Säuglinge die gleiche Nahrungsmenge oder sogar 50 % mehr in nur 5 min saugend aufnehmen konnten, blieben sie hingegen unbefriedigt und begannen zu schreien. Gab man ihnen anschließend nochmals die leere Flasche, saugten und schluckten die Säuglinge gleichsam im Leerlauf ohne weitere Nahrungsaufnahme weiter und zeigten sich nach etwa 10–15 min befriedigt. Um die Hungermotivation zu befriedigen, genügt es offenbar nicht, die notwendige Menge Nahrung nur in den Magen zu befördern, sondern erst das Hinzufügen einer bestimmten Menge von Schluckbewegungen führt zur Befriedigung.

Exkurs 11.5

Genauer betrachtet: Intragastrische Selbstinjektion

Tiere sind auch dann noch in der Lage, ihre Nahrungs- und Kalorienaufnahme selbst zu regeln, wenn die aktiv aufgenommene Nahrung Mund und Schlund nicht passiert, sondern direkt durch eine Fistel in den Magen geleitet wird. Bei ihren Untersuchungen führten Epstein und Teitelbaum (1962) bei ihren Versuchstieren (Ratten) eine nasale Fistel, ähnlich wie sie auch zur Nahrungszufuhr bei Patienten im Hospital verwendet wird, durch Nasengänge und Schlund in die Speiseröhre ein. Ferner wurde jedoch ihr Zugang über den Schädel unter der Haut so weit nach hinten verlegt, dass der Gesichts- und Mundbereich unbehindert blieben (Abb. 11.8a). Die Tiere können nach dieser Operation sowohl normal mit dem Mund fressen und trinken als auch über die Fistel, unter Umgehung des Mund-Schlund-Bereichs, mit flüssiger Nahrung versorgt werden.

In einem zweiten Schritt lernen die Tiere nun, einen Hebel zu drücken, und erhalten dafür jedes Mal automatisch eine kleine Menge flüssiger Nahrung in einem Schälchen, die sie aktiv aufschlecken. Nach erfolgreichem Lernen wird sodann die Magenfistel mit einer elektrischen Pumpe verbunden (Abb. 11.8b), die nun durch den gleichen Hebeldruck in Aktion versetzt werden kann. Die ganze Anordnung ist so gehalten, dass sich die Ratte relativ frei bewegen kann. Sie ist so in der Lage, sich selbst zu füttern, wann immer sie will, ohne dass sie die Nahrung frisst oder schmeckt. Nach einer kurzen Eingewöhnungsphase konnten die Tiere ihren täglichen Futterbedarf sowie ihr Körpergewicht sehr gut selbst regulieren, und das über den gesamten Untersuchungszeitraum von 44 Tagen. Die Regulation zeigt ferner sogar sofortige Anpassungen an die Nahrungsdichte (Kaloriengehalt). Wurde die flüssige Nahrung zu 50 % mit Wasser verdünnt, so verdoppelten die Tiere ihre Aufnahmemenge (Abb. 11.8c, Tag 7, 8). Sie reduzierten sie andererseits, wenn die Nahrung kalorienmäßig konzentriert wurde. Ferner konnte eine ebenso gute kompensatorische Anpassung beobachtet werden, wenn die Füllungsmenge für jeden Hebeldruck halbiert oder verdoppelt wurde (Abb. 11.8c unten, Tag 13–15). Selbst wenn die Apparatur so eingestellt wurde, dass für jede intragastrische Selbstinjektion zunehmend öfter und bis zu 36-mal der Hebel gedrückt werden musste (Tag 16–23), taten die Tiere dies und nahmen recht genau die normale Nahrungsmenge auf. Diese Selbstinjektionsexperimente sprechen dafür, dass Tiere ihren Nahrungsbedarf auch sehr wohl ohne Rückmeldung über die sensorischen Rezeptoren des Mund- und Rachentraktes regulieren können.

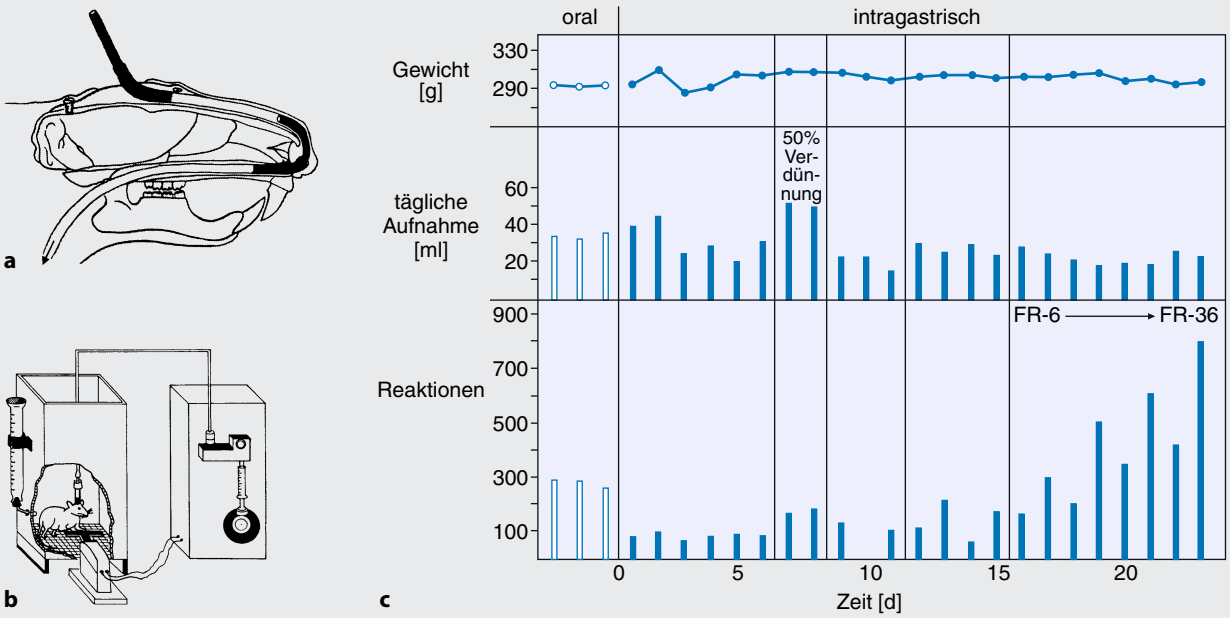


Abb. 11.8 Intragastrische Selbstinjektion. a Verlauf der nasopharyngialen intragastrischen (in den Magen führenden) Fistel am Schädel der Ratte. **b** Schematische Darstellung der Vorrichtung zur intragastrischen Selbstinjektion bei der Ratte. **c** Versuchsverlaufsausschnitt. Siehe Text. Normale Nahrungsaufnahme, oral, 3 Tage, dann intragastrische Fütterung, *FR* Frequenz des erforderlichen Hebeldrückens. (Epstein und Teitelbaum 1962, publisher: APA, reprinted with permission; APA is not responsible for the accuracy of this translation)

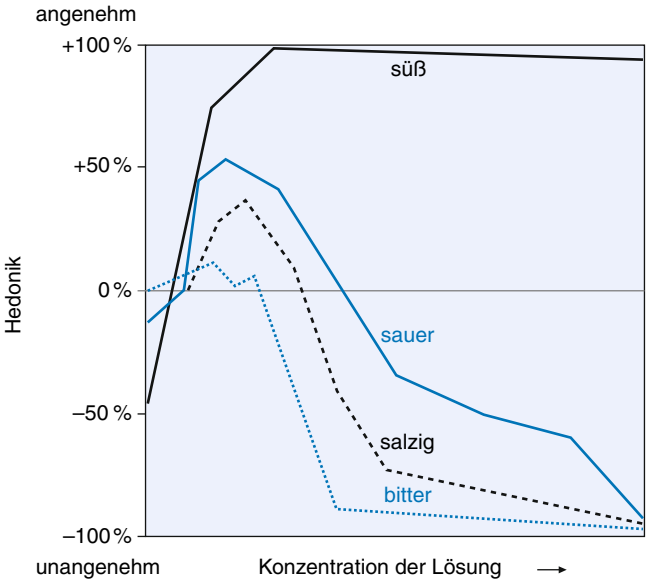


Abb. 11.9 Geschmacksbewertungen unterschiedlicher Konzentrationen von vier Grundgeschmacksqualitäten, Mittelwerte über sieben Versuchspersonen, die von Engel (1928) erhoben und von Woodworth und Schlosberg (1965) in dieser Form zusammengestellt wurden

Pflanzen- und Allesfresser der Anpassungswert dieser Bevorzugungen unter diesem Aspekt auf der Hand: Süß schmeckende Pflanzenteile, wie Früchte, sind reich an Kohlehydraten, dagegen schmecken viele pflanzliche Giftstoffe (Alkaloide) bitter.

Dass Geschmacksfaktoren normalerweise auch zur homöostatischen Regelung der Energieaufnahme beitragen, macht eine Studie von Cabanac (1971) deutlich, aus der ersichtlich wird, dass die Wertigkeit von Geschmacksfaktoren mit zu- oder abnehmendem physiologischen Nahrungsbedürfnis sich so verändert, dass bei hoher physiologischer Sättigung ihr Anreizwert abnimmt, bei physiologischem Bedarf ihr Anreizwert zunimmt (▶ Exkurs 11.6).

Weiter ist bekannt, dass einige physiologisch-viszerale Faktoren die Nahrungsaufnahme beeinflussen. Hierzu gehören **Dehnungsreize** des Magens und vielleicht auch der anschließenden Darmabschnitte, die normalerweise durch die aufgenommene Nahrung verursacht werden. So konnte in Studien mit Hunden gezeigt werden (Janowitz 1967), dass eine Füllung des Magens mittels eines Katheters unmittelbar vor der Mahlzeit das Fressen reduziert. Ein im Magen aufgeblasener Ballon erbringt den gleichen Effekt.

Ferner scheint die Anwesenheit von Nahrungsstoffen im Zwölffingerdarm (Duodenum) ebenfalls ein Faktor für die Sättigung zu sein. Wird eine kleine Menge Glucose direkt in den Magen oder den oberen Darmabschnitt gegeben, führt dies anschließend für einige Zeit zur Unterdrückung der Nahrungsaufnahme (Booth 1972). Hierbei handelt es sich offenbar um vagale Afferenzen von den Chemorezeptoren des Magens und der oberen Dünndarmabschnitte, die auf den Glucose- und Aminosäuregehalt der Nahrung ansprechen und die Information über den Vagusnerv weiterleiten, denn dieser Effekt verschwindet, wenn der Nervus vagus durchtrennt wird (Rezek und Novin 1976).

Außer diesen nervösen Sättigungssignalen konnten auch *hormonale Rückmeldungen* über die Blutbahn nachgewiesen werden (Gibbs et al. 1973; Silver und Morley 1991). Beim Eintritt der Nahrung in den Zwölffingerdarm wird hier von der Magenschleimhaut das Gastrointestinalhormon Cholecystokinin (CCK) zusammen mit anderen Hormonen abgegeben, das, über die Blutbahn weitergeleitet, im Gehirn Sättigung signalisiert. Für diese Hypothese spricht, dass auch Injektionen dieses Neuropeptids CCK sowohl beim Menschen wie auch bei anderen Säugern zur Sättigung führen und die Nahrungsaufnahme stoppen (Gibbs et al. 1973).

Faktoren der postresorptiven Sättigung

Das nächste wichtige und damit erste innere Organ, in das die resorbierten wasserlöslichen Nährstoffe aus dem Verdauungssystem gelangen, ist die **Leber**. Hier finden sich ebenfalls **Sättigungssensoren**, die hier Information über die aufgenommene (resorbierte) Nahrung erfassen können. Diese und weitere Sättigungsrezeptoren im Hypothalamus werden daher auch gelegentlich als Faktoren der **postresorptiven Sättigung** bezeichnet, in Abgrenzung zu den vorher besprochenen, vor der Resorption durch die Darmwand wirksamen **präresorptiven Sättigungsfaktoren**. Injiziert man Glucose direkt in die Leber eines hungrigen Tieres, so frisst das Tier weniger. Das heißt, auch von hier aus können Sättigungssignale an das Gehirn erfolgen (Russek 1971). Weitere **Glucosesensoren**, deren Struktur und Arbeitsweise noch unbekannt sind, liegen im Hirnstamm und Hypothalamus. Sie erfassen, soweit wir heute wissen, die Glucosenutzung, das heißt das Ausmaß, in welchem die Glucose in den Zellen absorbiert wird, was sich in der Differenz des Glucoseanteils in den Arterien einerseits und denen der Venen andererseits widerspiegelt.

Über Mikroelektroden, die man in den Hypothalamus von Hunden und Katzen implantierte, ließ sich die neuronale Aktivität nach einer Injektion von Glucose einerseits und Insulin (welches den Glucosespiegel senkt) andererseits messen. So ließ sich nachweisen, dass nach einer Glucoseinjektion die neuronale Aktivität der Zellen in bestimmten Regionen des Hypothalamus abnimmt, was einen ausreichenden Glucosespiegel signalisiert. Wird dagegen der Glucosespiegel durch Insulin gesenkt, steigt die Aktivität dieser Zellen, was einen Mangel an Glucose signalisiert. Daraufhin erfolgen normalerweise zunächst physiologische Anpassungen, wie die Freisetzung von gespeicherter Glucose in den Blutstrom, und schließlich über das Erleben des Hungers die Suche nach Nahrung als verhaltensmäßige Anpassung.

Mehrphasen-Sättigungsprozess

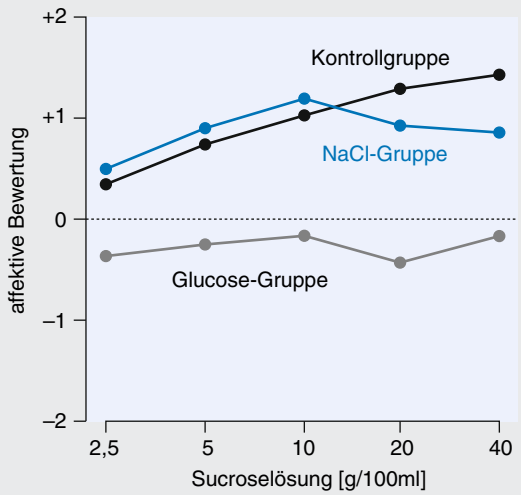
Hunger und Sättigung scheinen nach diesen Untersuchungen über mehrere Rückmeldesysteme nach dem Prinzip der mehrfachen Sicherung innerorganismisch reguliert zu werden, wobei die Rückmeldesysteme zwar mit unterschiedlichen zeitlichen Verzögerungen arbeiten, sich aber nach Ausfall (oder Aussetzen) eines oder mehrerer Systeme weitgehend wechselseitig ersetzen können. Durch diese Verflechtung wird die wissenschaftliche Analyse solcher Systeme allerdings beträchtlich erschwert. Prinzipiell arbeiten die Systeme jedoch alle als Informationsträger, die ihre Nachrichten über Aktivierung oder Hemmung an zentralnervöse Zentren weiterreichen und nicht, wie man zunächst vermutete, als autonome Regulationsmechanismen. Es handelt sich also

Exkurs 11.6

Genauer betrachtet: Spezifische Sättigung und Geschmacksbewertung

Dass die hedonistische Wohlgeschmacksbewertung von der jeweiligen spezifischen Sättigung abhängig ist, versuchten Cabanac und Duclaux (1970) in einem Experiment nachzuweisen. Ihre nüchternen Versuchspersonen mussten den affektiven Wert von sechs Konzentrationen einer Sucrose- und einer Kochsalzlösung beurteilen. Die Versuchspersonen der ersten Experimentalgruppe hatten eine Stunde zuvor 50 g Glucose in 200 ml Wasser zu sich genommen, die Versuchspersonen der zweiten Experimentalgruppe dagegen 15 g Kochsalz in ebenfalls 200 ml Wasser (in diesem Falle mittels eines Magenkatheters direkt in den Magen). In der Kontrollgruppe erhielten die Versuchspersonen nichts zu trinken. Wie Abb. 11.10 zeigt, werden alle Glucose-Konzentrationen von den Versuchspersonen, die zuvor 50 g Glucose zu sich genommen hatten, in ihrem Wohlgeschmack deutlich negativer beurteilt als von denen der Kontrollgruppe oder der Experimentalgruppe, die zuvor eine Kochsalzlösung verabreicht bekommen hatten. Die Sättigung mit Kochsalzlösung hat dagegen nur einen geringen Einfluss auf den Wohlgeschmack der Sucroselösung. Zugleich entfällt dabei auch die zunehmend positivere Beurteilung süßerer Sucroselösungen, wie sie unter der Kontrollbedingung beobachtet werden kann.

Abb. 11.10 Affektive Geschmacksbewertung bei unterschiedlicher spezifischer Sättigung



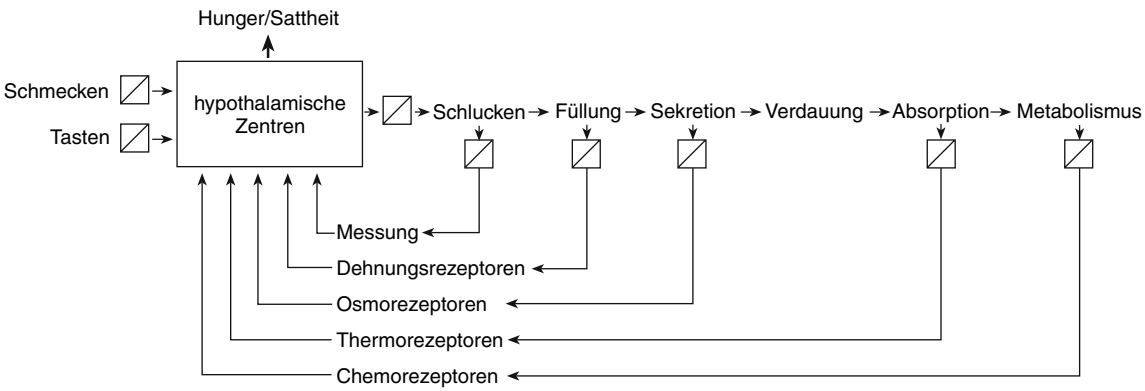


Abb. 11.11 Vereinfachtes multifaktorielles Schema der Rückmeldeschleifen bei der Regulation der Nahrungsaufnahme. (Nach Brobeck 1960)

um einen **Mehrphasen-Sättigungsprozess**, dessen Glieder so ineinandergreifen, dass bereits durch die *konsumatorische Endhandlung* im Motivationszyklus (Nahrungsaufnahme) eine erste, wenn auch kurz dauernde Bremsung erfolgt, die dann zeitlich später durch nachfolgende Glieder (Abb. 11.11) korrigiert wird. Nachdem die Nahrungsaufnahme zunächst durch das (Kurzzeit-) Hungergefühl angeregt ist (Go-Signal), wird sie jeweils durch das Erlebnis der (präresorptiven) Sattheit beendet (Stopp-Signal). Darüber hinaus werden jedoch das Ausmaß der Nahrungsaufnahme insgesamt und die Länge der Pausen zwischen den Mahlzeiten durch die Prozesse der resorptiven und postresorptiven Sättigung bestimmt, die sich allerdings im Bereich der Chemorezeptoren des Magen-Darm-Traktes überschneiden, wie auch in der zusammenfassenden Darstellung in Abb. 11.12 angedeutet. Nicht berücksichtigt sind in dieser eher physiologisch orientierten Zusammenstellung die später noch weiter zu besprechenden Einflüsse sozialer und kognitiver Faktoren.

Das Erleben von Hunger und Sättigung und damit das Beendigen der Nahrungsaufnahme wird durch einen Mehrphasen-Sättigungsprozess über mehrere Rückmeldesysteme in gekoppelten Regelkreisen gesteuert.

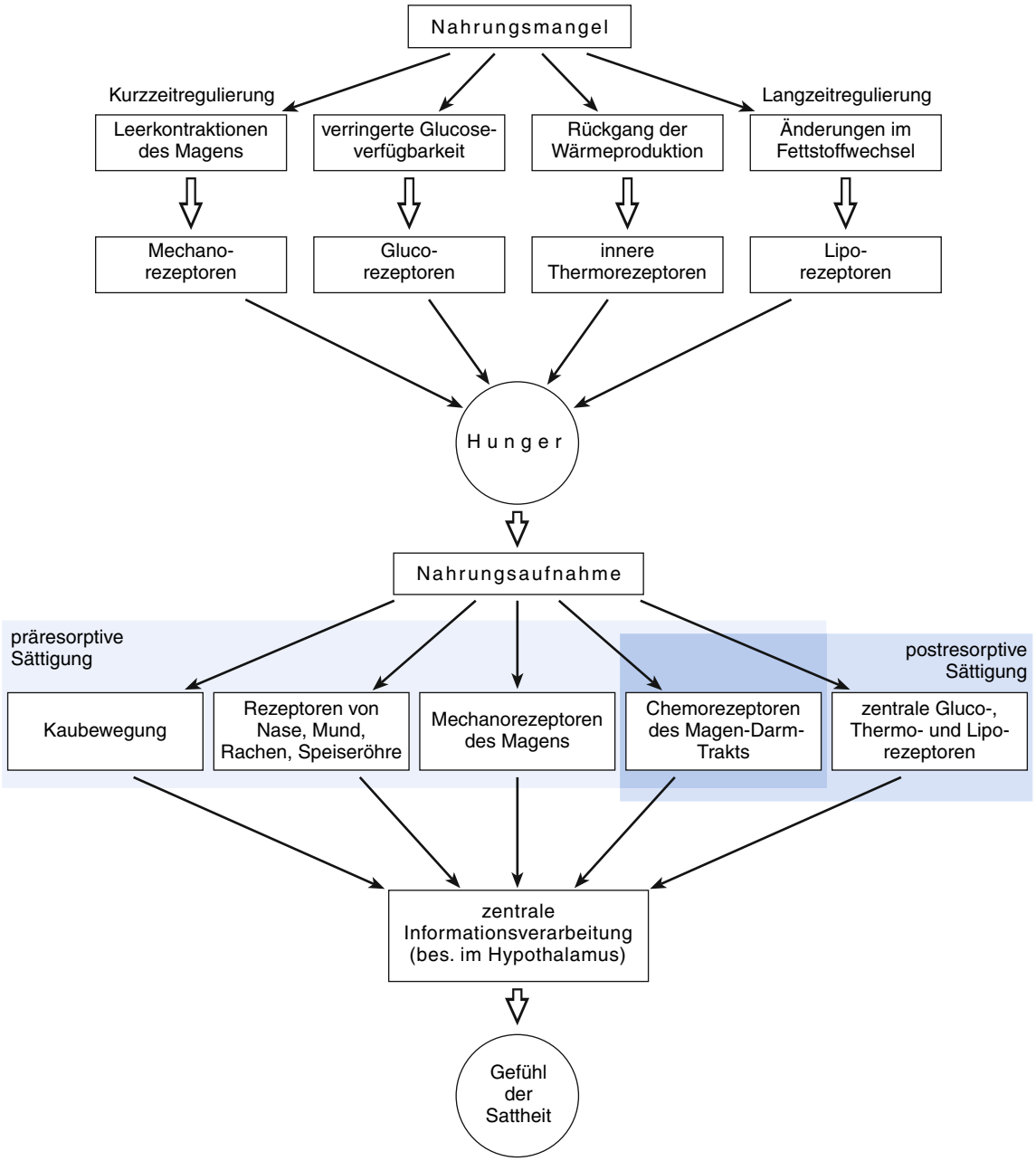


Abb. 11.12 Entstehung von Hunger- und Sättigungsgefühl bei der Nahrungsaufnahme. Die Kaubewegungen können sowohl über eine direkte zentrale Efferenzkopie der Kaumotorik als auch über die beim Kauen aktivierten Sensoren (Muskelspindeln, Sehnenorgane) zur präresorptiven Sättigung beitragen. (Schmidt und Thews 1997, S. 171, Abb. 9.4)

11.3 Steuernde Motivationsfaktoren

Im Folgenden werden wir am Beispiel des Hungers die Motivationseinflüsse des Hypothalamus näher betrachten, dann auf kognitive Faktoren und schließlich auf das Zusammenwirken beider Faktoren im Wirkungsgefüge der Hungermotivation eingehen. Weitere Erkenntnisse zur Motivationssteuerung, Motivationsbefriedigung und zum Lustprinzip in *Zusatztext online*.

11.3.1 Motivationszentren des Hypothalamus

Der Hypothalamus gilt als oberste Schalt- und Integrationsstruktur für Hunger und Sättigung, wie andererseits aber auch für die Durst- und Temperaturregulation. Hier werden die aus den verschiedenen Regionen eingehenden Sättigungssignale zur Regulation der motivierten Nahrungsaufnahme zusammengeführt (Abb. 11.14). Mit Hilfe differenzierter Ausschaltungs- und Hirnstimulationsexperimente (▶ Exkurs 11.7) ließen sich im Hypothalamus (siehe ▶ Kap. 2) zunächst im Wesentlichen zwei bestimmte Areale nachweisen, denen eine besondere Bedeutung für die Regulation der Nahrungsaufnahme und der zugehörigen

Exkurs 11.7

Genauer betrachtet: Experimenteller Nachweis der Steuerungszentren

Auf der Suche nach möglichen Steuerungszentren der Motivation brachten erstmals die so genannten Abtragungs- beziehungsweise *Ausschaltungsexperimente* einen wesentlichen Fortschritt, bei denen mittels eines Stereotakters gezielt bestimmte Partien des Gehirns stufenweise durch Abtragen (Ablation) ausgeschaltet werden können. Das hierdurch veränderte Verhalten der Versuchstiere lässt sodann Schlüsse auf die Funktion der ausgeschalteten Gehirngebiete zu. Hinzu kamen ferner *Hirnstimulationsexperimente*, bei denen ebenfalls mittels des Stereotakters (der eine genaue Lokalisation ermöglicht) ausgewählte Hirnareale gezielt stimuliert und dadurch veranlasste Reaktionen anschließend beobachtet werden können.

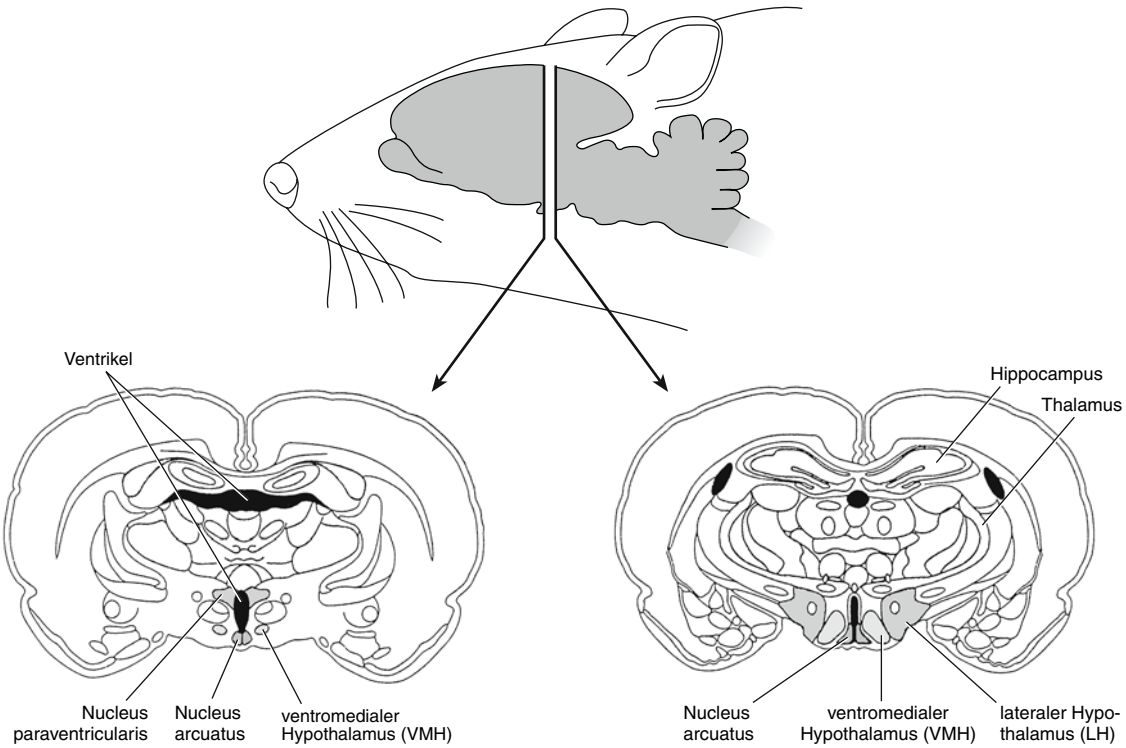


Abb. 11.13 Koronaler Schnitt durch das Gehirn mit Kennzeichnung einiger wichtiger Kerne des Hypothalamus. Die Läsion der ventromedialen Kerne (VMH) führt zu gesteigertem Fressverhalten (Hyperphagie) bei der Ratte. Läsionen im Gebiet des lateralen Hypothalamus (LH) führen zu Aphagie und späterer Hypophagie. (Pinel 1997, S. 256, Abb. 10.8; Birbaumer und Schmidt 1999, S. 672, Abb. 26.7b)

Motivation zukommt. Es zeigte sich, dass Gewebezerstörungen (Läsionen) im **ventromedialen Kern des Hypothalamus** (**VMH**) in der Nähe des dritten Ventrikels (Abb. 11.13) stets zu übermäßiger Nahrungsaufnahme (Fresssucht, Hyperphagie) führten. Die Tiere verdoppeln oder verdreifachen ihren normalen Nahrungsbedarf innerhalb weniger Tage und fahren so fort, bis sich ihr Körpergewicht etwa verdreifacht hat. Es kommt zu einer starken **Fettleibigkeit**, wie sie bereits von Fröhlich (1901) als klinisches Syndrom beim Menschen (**Fröhlich'sches Syndrom**) mit einem ähnlich lokalisierten Hirntumor beschrieben wurde. Dieses Ergebnis fand sich durchgängig bei allen untersuchten Tierarten, wie Huhn, Maus, Ratte, Kaninchen, Katze, Hund und Affe, und auch beim Menschen. Es ließ sich ferner nachweisen, dass die auftretende Fettleibigkeit allein auf zu reichliches **motivationsbedingtes Essen** zurückzuführen ist und nicht auf irgendwelche anderen metabolischen Veränderungen. Wird die Nahrungsaufnahme nach Maßgabe normaler Kontrolltiere rationalisiert, so entwickeln sich auch die Experimentaltiere völlig normal und zeigen keine Fettleibigkeit. Offensichtlich ist also ihre *Hungermotivation* relativ zu ihrem **Homöostasebedarf** überhöht, die normalerweise zu erwartende Sättigung tritt aber nicht mehr rechtzeitig ein, was zur Annahme eines hier im VMH gelegenen **Sättigungszentrums** führte.

Glucostatentheorie

Besonderes Interesse kam bei den geschilderten Untersuchungen der auf Mayer (1953; 1955) zurückgehenden **Glucostatentheorie** von Hunger und Sättigung zu. Sie besagt, dass in den hypothalamischen Zentren **Glucorezeptoren** existieren, die sensitiv auf die Veränderungen des Blutzuckerspiegels reagieren und dafür sorgen, dass Abweichungen über Umwandlung verfügbaren Glycogens in der Leber in Glucose ausgeglichen werden. Die vielfältigen Untersuchungen machten zusammengenommen eine hohe Komplexität der Regulation deutlich, wobei sich zeigte, dass außer den Glucorezeptoren im lateralen Hypothalamus auch in der Leber gelegene Rezeptoren involviert sind (Friedman und Stricker 1976).

Lipostatentheorie

Andererseits wird bei **Nahrungsdeprivation** (Fastenphase) in den Körperzellen gespeichertes Fett als temporäre Energiequelle

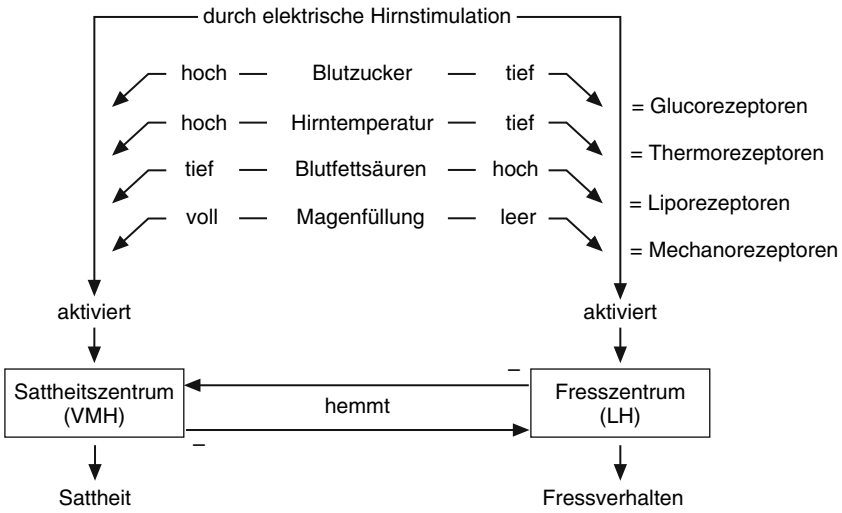


Abb. 11.14 Hungermotivationszentren und schematische Darstellung ihrer Beeinflussung durch elektrische Stimulation sowie durch verschiedene interne Faktoren, die zugleich die Grundlage für unterschiedliche Erklärungshypothesen boten

Exkurs 11.8

Genauer betrachtet: Untersuchungen zur dualen Hypothalamustheorie

Eine Vielzahl von Ablations- und Hirnstimulationsexperimenten führte zunächst zu der Entdeckung zweier wichtiger Syndrome:

1. Das **VMH-Syndrom.** Es tritt auf, wenn das Nervenzellgewebe des ventromedialen Hypothalamus zerstört wird (Ausschalten des VMH-Sättigungszentrums). Die Entdeckung geht auf Hetherington und Ranson (1940) zurück, die bei ihren Untersuchungen beobachteten, dass ausgedehnte bilaterale elektrolytische Läsionen im ventromedialen Bereich des Hypothalamus bei Ratten (Abb. 11.13) Fresssucht (Hyperphagie) und damit verbunden extreme Fettleibigkeit (Adipositas) hervorrufen. Dieses VMH-Hyperphagiesyndrom gliedert sich in zwei distinkte zeitliche Phasen:
   - Die Anfangs- oder **dynamische Phase**, die zwischen vier bis zwölf Wochen dauert, ist charakterisiert durch anhaltende übermäßige Nahrungsaufnahme sowie eine entsprechend rapide Gewichtszunahme mit einer Verdopplung oder gar Verdreifachung des Körpergewichts (Abb. 11.15a, oben). Daher wurde der VMH als Sättigungszentrum betrachtet, da seine Funktionsfähigkeit offenbar ein Überfressen verhindert.
   - In der anschließenden **statischen Phase** reduzieren die Tiere jedoch ihre übermäßige Nahrungsaufnahme allmählich auf ein gleichmäßiges Niveau und stabilisieren sich auf ein neues höheres (übergewichtiges) Körpergewicht, wie dies in Abb. 11.15a, unten rechts, zu sehen ist. Diese Beobachtung deckt sich jedoch nicht mit den Annahmen eines durch Läsion vollständig ausgeschalteten Sättigungszentrums.

Bemerkenswert und für die weiteren Folgerungen wichtig ist die Beobachtung, dass diese VMH-Tiere nun ihr neues (übergewichtiges) Körpergewicht hartnäckig beizubehalten trachten. Entzieht man den Ratten in der statischen Phase zeitweise das Futter, bis sie stark an Gewicht abgenommen haben (Abb. 11.15b, Futterentzug), so nehmen die Tiere, sobald sie wieder freien Zugang zum Futter haben, erneut mehr Nahrung auf, aber nur bis sie das „übergewichtige Körpergewicht" wieder erreicht haben (veränderter Set-Point). Werden die Tiere dagegen zwangsgefüttert (Abb. 11.15b) und erreichen ein weiter überhöhtes Körpergewicht (Abb. 11.15c), so fressen sie anschließend nur so lange wieder weniger, bis sie das erzwungene zusätzliche Übergewicht wieder abgebaut haben. Diese und andere Beobachtungen ließen in der Folgezeit Zweifel an der Richtigkeit der Zwei-Zentren-Theorie aufkommen und haben sie insofern widerlegt, als dass hier nicht das momentane Fressen oder Gesättigtsein gesteuert wird, sondern vielmehr die Regulation der Langzeit-Körpergewichtskontrolle erfolgt, durch die der jeweilige Set-Point für die angestrebte Nahrungsaufnahme festgelegt wird (vgl. „Set-Point-Hypothese" in ▶ Abschn. 11.3.3).

2. Das **LH-Syndrom.** Es tritt auf, wenn das Nervenzellgewebe des lateralen Hypothalamus durch Läsion ausgeschaltet wird, wie dies zuerst von Anand und Brobeck (1951) beschrieben wurde. Die bilaterale elektrolytische Läsion ruft bei Ratten eine vollständige Nahrungsverweigerung (Aphagie) hervor. Die Tiere haben kein Interesse mehr, etwas zu fressen, und verhungern selbst bei reichlichem Nahrungsangebot, wenn sie nicht intravenös oder über eine Magenfistel künstlich weiterernährt werden. Selbst Ratten, die zuvor durch VMH-Läsionen hyperphagisch geworden waren, wurden durch zusätzliche LH-Läsion aphagisch. Dagegen führt elektrische Stimulation des LH-Arials zu einer Steigerung der Nahrungsaufnahme. Daher ging die Forschung mit Anands und Brobecks Annahme jahrelang davon aus, dass der LH-Bereich das Fresszentrum darstellt (Abb. 11.13).

Länger andauernde Untersuchungen in der Folgezeit zeigten jedoch:

- Mit der Aphagie war stets auch eine vollständige Verweigerung des Trinkens (**Adipsie**) verbunden.

Die Tiere erholen sich nach einigen Wochen von der Operation, wenn sie weiter künstlich ernährt werden. Zunächst fressen sie nur schmackhafte, feuchte Nahrung, trinken aber noch nicht. Schließlich fressen und trinken sie aber wieder normal (trotz zerstörtem LH!) (Teitelbaum und Epstein 1962).

Auch diese Untersuchungsergebnisse stellten die Richtigkeit der dualen Hypothalamustheorie in Zweifel.

in Form freier Fettsäuren in das Blut ausgeschüttet. Gemäß der **Lipostatentheorie** des Hungers werden über Liporezeptoren (Fettrezeptoren), die den Spiegel der freien Fettsäuren erfassen, Signale an den lateralen Hypothalamus gesendet, der in der Folge über Hypophysenhormone (▶ Kap. 2) das ZNS veranlasst, Reaktionen der Nahrungsaufnahme zu aktivieren, die als Hunger erlebt werden. Gespeichertes Fett und freie Fettsäuren stehen in einem Gleichgewicht. Unterschreiten die in den spezifischen Fettzellen gespeicherten Fette ein jeweils bestimmtes kritisches Niveau, den *critical set point*, so kommt es zu Signalen, die als Hunger erlebt werden (Keesey und Powley 1986).

Exkurs 11.8 (*Fortsetzung*)

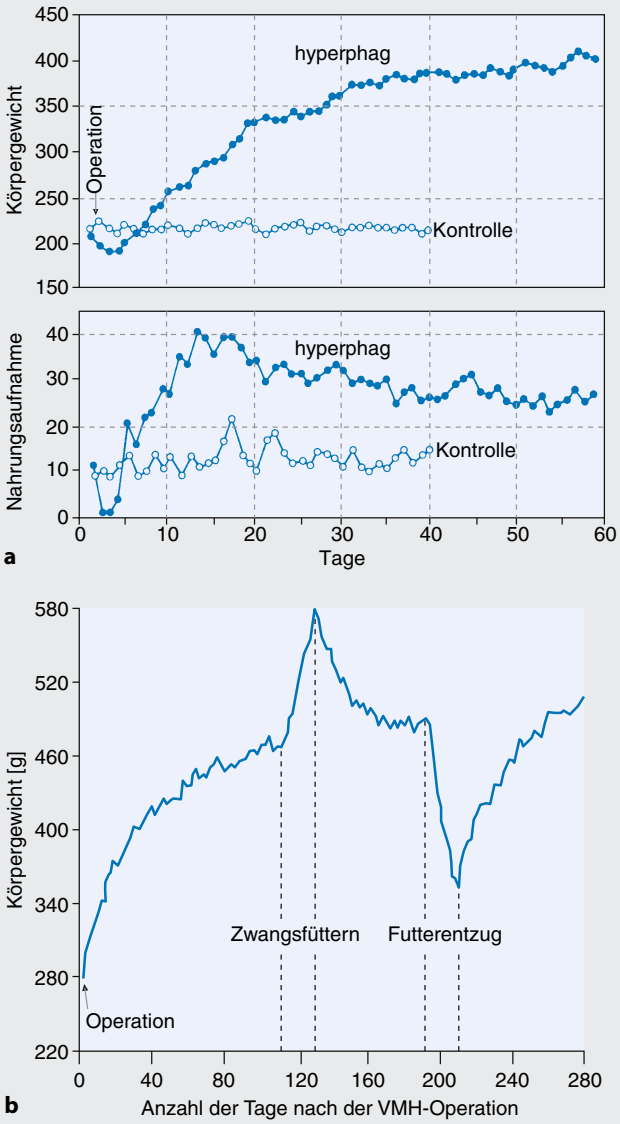




Abb. 11.15 Nahrungsaufnahme und Körpergewichtsentwicklung bei hyperphagen und normalen Tieren. **a** dynamische und statische Phase. **b** Gewichtsentwicklung nach VMH-Läsion bei Zwangsfüttern und Futterentzug. **c** Fettleibige Ratte auf der Waage. (**a** Aus Johns 1961; **c** Atkinson et al. 2003, p. 364, Foto: © Richard Howard)

Duale Hypothalamustheorie

Die Ergebnisse der in den 1950er-Jahren durchgeführten Experimente an Ratten schienen weiter darauf hinzudeuten, dass das Essverhalten insgesamt von zwei miteinander in Wechselwirkung stehenden Zentren im Hypothalamus kontrolliert wird (Abb. 11.14), in denen die verschiedenen Signale integriert werden: von dem bereits genannten **Sättigungszentrum** im ventromedialen Hypothalamus (VMH) und von einem im **lateralen Hypothalamus** (**LH**) gelegenen **Fresszentrum**, dessen Läsion (Ausschaltung) zu einer Unlust am Fressen und schließlich zu einer Nahrungsverweigerung, einer **Aphagie**, führt. Und umgekehrt: Eine Stimulation im LH regt die Nahrungsaufnahme an, eine Stimulation im VMH hingegen hemmt die Nahrungsaufnahme.

Diese Beobachtungen und Ergebnisse führten zur **dualen Hypothalamustheorie des Hungers**. Sie besagt, dass diese beiden Hypothalamuszentren den Beginn und die Beendigung der Nahrungsaufnahme steuern (Grossman 1979). Im Einzelnen liegen die Dinge jedoch weit komplizierter (► Exkurs 11.8).

Neubewertung der VMH- und LH-Effekte

Genauere Beobachtungen sowie weitere Untersuchungen ließen jedoch Zweifel an der Richtigkeit der frühen Theorie der Funktion dieser hypothalamischen Hunger- und Sättigungszentren aufkommen. So weisen einige neuere Untersuchungen darauf hin, dass der VMH nicht eigentlich ein abgegrenztes „Zentrum", sondern vielmehr ein diffuses Gebiet darstellt, durch welches eine Vielzahl von Nervenfasern hindurchläuft, die mit der Beendigung der Nahrungsaufnahme zusammenhängen und bei den Läsionen mit betroffen waren. So zeigten Hoebel und Teitelbaum (1969) sowie Gold (1973), dass Läsionen, die sich nur auf den VMH-Nucleus beschränken, keinen Effekt auf das Fressverhalten zeigen, wohl aber größere Läsionen, die auch weitere angrenzende Areale mit umfassen, wobei eine gewisse Proportionalität sichtbar wurde, dass nämlich die größten Läsionen typischerweise auch die fettesten Ratten produzierten. So könnten die beobachteten VMH- und LH-Syndrome auch auf der Zerstörung oder Interaktion mit einer der etwa 50 verschiedenen Nervenbahnen beruhen, die durch diese

hypothalamischen Areale ziehen. Zu diesen gehören auch insbesondere Fasern des *neurochemischen Systems*, denen die Regulation der adrenergen Übertragung zum Vorderhirn obliegt, oder solche, die den Metabolismus der Nahrungsaufnahme beeinflussen und so zu einer Fettablagerung führen, sodass zu wenig Fett im Umlauf bleibt und die Tiere sich deshalb ständig überfressen.

Die in ▶ Exkurs 11.8 dargestellten und weiteren Befunde und Zusammenhänge haben schließlich zu einer Neubewertung der Effekte von VMH- und LH-Läsionen geführt. Hiernach kommt den Hypothalamusarealen primär eine steuernde Rolle in der Regulation des *Energiestoffwechsels* zu und nicht in der des *Essverhaltens*, das erst eine Folge der Regulationsumstellung ist: Die Tiere mit VMH-Läsionen werden nicht fett (adipös), weil sie zu viel fressen, sondern die veränderte Energiestoffwechselregulation mit einem höheren Gleichgewichtspunkt führt dazu, dass die Tiere mehr fressen, und zwar nur so lange, bis das neue Fettleibigkeitsgleichgewicht erreicht ist (▶ Exkurs 11.8). Ähnlich stabilisieren sich auch die Ratten mit dem LH-Syndrom schließlich auf einem niedrigeren Dauergewicht als ihrem Normalgewicht (Mitchel und Keesey 1974).

Bewirkt werden diese Umstellungen, die einer Verschiebung des (Hunger-)Set-Points gleichkommen, wahrscheinlich durch parallele Wirkungen der Läsionen. So führen beidseitige VMH-Läsionen zu vermehrter Insulinfreigabe und damit zu einer Erhöhung des Blutzuckerspiegels, wodurch die Lipogenese (Bildung von Körperfett) angeregt und die Lipolyse (Umwandlung von Körperfetten in nutzbare Energieformen) vermindert wird (Powley et al. 1980). Demzufolge werden die mit der Nahrung aufgenommenen Kalorien bei diesen VMH-Tieren umgehend als Fett gespeichert, sodass die Tiere ständig fressen müssen, um den akuten Energiebedarf zu decken und sicherzustellen, dass ständig genügend Nährstoffe im Blut vorhanden bleiben.

Zu der Neubewertung hat andererseits die Erkenntnis beigetragen, dass bei den ausgedehnten elektrolytischen Läsionen im VMH zwangsläufig auch andere hindurchziehende Nervenbahnen mit zerstört werden, wie sie insbesondere vom nahe gelegenen paraventrikulären Kern des Hypothalamus ausgehen, und somit nicht alle Effekte allein auf den VMH zurückzuführen sind. Diese Erkenntnis lenkte das Interesse folglich auf diese hypothalamischen Kerne. Und tatsächlich rufen auch bilaterale Läsionen der *paraventrikulären Nuclei* (Leibowitz et al. 1981) oder des noradrenalen Bündels (Gold et al. 1977) Hyperphagie und Fettleibigkeit hervor, ähnlich wie VMH-Läsionen. Unser Verständnis dieser Zusammenhänge dürfte jedoch noch recht unvollständig sein. Neuere chemische Stimulations- und Blockierungseingriffe mittels Mikroinjektionen in den Nucleus paraventricularis unterstützen diese Sicht. Wird die Aktivität dieses Kernes durch Gabe von zum Beispiel Noradrenalin, GABA oder des Neuropeptids Y gehemmt, so wird dadurch das Nahrungsaufnahmeverhalten ausgelöst oder aktiviert (Leibowitz 1992). Die Gabe von Serotonin führt dagegen zu einer Stimulation dieses Kernes, was zur Folge hat, dass die Versuchstiere ihre Mahlzeiten verkürzen und mit geringerer Geschwindigkeit fressen (Leibowitz und Shor-Posner 1986). Solche Ergebnisse führten entsprechend zu der heute weitgehend gültigen Auffassung, dass nicht so sehr dem ventromedialen Hypothalamus, sondern vielmehr dem **Nucleus paraventricularis** die Rolle des **Sättigungszentrums** zuzusprechen ist und dass der **LH** und **VMH** im Wesentlichen für die Langzeit-Körpergewichtskontrolle sowie für die Setzung des Set-Points des Körpergewichts verantwortlich sind. Eine Erkenntnis, die zugleich auch eine wesentliche Grundlage des Verständnisses und der verhaltenstherapeutischen Behandlung von Fettleibigkeit darstellt (Keesey und Powley 1975).

Bei der internen Regelung von Hunger und Nahrungsaufnahme bezeichnet der Set-Point diejenige Körpergewichtsgröße, bei der sich das Stoffwechselgleichgewicht langfristig einstellt. Seine Festsetzung und Kontrolle erfolgen im LH und VMH. Für das momentane Sättigungserleben ist der Nucleus paraventricularis verantwortlich.

11.3.2 Kognitive Umweltfaktoren der Hungermotivation

Die eher physiologisch orientierten Sollwert-Theorien im strengen Sinne lassen außer Acht, dass auch andere als rein physiologische Faktoren unser „Hungergefühl" mitbestimmen. Dies hat zur Entwicklung einer alternativen Theorie geführt, die die ansonsten vernachlässigten Faktoren, wie Geschmack und Lernen und soziale Einflüsse, in den Vordergrund stellt. Die zentrale Annahme dieser **Anreiztheorie** (*positive-incentive-theory*) besteht darin, dass Menschen und Tiere nicht ausschließlich durch ein internes Energiedefizit quasi zum Essen getrieben werden, sondern vor allem durch die erwarteten angenehmen Effekte, die **Anreize** (*incentives*) der Nahrung, zum Essen angeregt beziehungsweise motiviert werden (Bolles 1980; Toates 1981). Nach dieser Theorie wird das Ausmaß des Anreizes nicht nur von dem erwarteten Geschmack bestimmt, sondern ebenso auch durch den Zeitraum, der seit der letzten Mahlzeit vergangen ist, sowie von der Tageszeit in Bezug auf die gewohnten Essenszeiten wie auch von Art und Menge der zuvor verzehrten Nahrung, also von einer Vielzahl miteinander interagierender Faktoren. Für die Richtigkeit dieses Ansatzes gibt es vielerlei Belege, doch wird damit die Gültigkeit der Sollwert-Theorien nicht außer Kraft gesetzt, sondern durch diese Überlegungen eher erweitert. Ist nach einer ausgedehnten Mahlzeit unser Hunger bereits ausreichend gesättigt, ist auch der Anreiz der meisten Speisen recht niedrig. Wird uns dann aber vielleicht noch unser Lieblingsdessert serviert, kann der (erlernte) Anreiz doch so hoch sein, dass wir dennoch das leckere Dessert verzehren.

Viele Beobachtungen des täglichen Lebens sprechen dafür, dass neben biologisch verursachenden Komponenten auch kognitive und Umweltfaktoren das menschliche Nahrungsaufnahmeverhalten beeinflussen und möglicherweise für das gesteigerte Nahrungsaufnahmeverhalten bei Fettleibigen mitverantwortlich sind. So wurde schon früh argumentiert, dass Übergewichtige sich wesentlich stärker als Normalgewichtige *von äußeren Signalen leiten lassen* und möglicherweise sogar allgemeine Erregungszustände wie Ängste oder Ärger als Hungergefühle erleben und sich „gern etwas Gutes gönnen" (Bruch 1961).

Tatsächlich nachweisen ließ sich, dass Übergewichtige sich stärker als Normalgewichtige bei ihrem Nahrungsaufnahmeverhalten von äußeren Faktoren leiten lassen. So zeigte sich, wenn man in einem experimentellen Setting Versuchspersonen glauben macht, es sei schon Essenszeit (vorgestellte Uh-

ren), und Essen bereitstellt, dass sich Übergewichtige stärker von dieser Information beeinflussen lassen und mehr essen als die Normalgewichtigen der Kontrollgruppe (Schachter und Gross 1968).

Noch bedeutsamer scheint zu sein, dass übergewichtige Personen **sensitiver** gegenüber **externen Hunger-** oder **Appetitanreizen** wie Aroma, Geschmack und Anblick leckerer Speisen und Nahrungsmittel reagieren und dabei möglicherweise interne Sättigungssignale (zum Beispiel aus dem Magen) leichter übersehen oder ignorieren, wie dies von Schachter (1968) angenommen wurde. Wenngleich die von Schachter (1971) ursprünglich aufgestellte Hypothese einer generell größeren „Externalität" (stärkere Außenleitung bei geringerer Beachtung interner Signale) übergewichtiger Personen nicht bestätigt werden konnte (Rodin 1981), ließ sich dagegen die **stärkere Beeinflussbarkeit** übergewichtiger Personen durch Geschmack und Anblick der Nahrung experimentell belegen, wie das Beispiel in ▶ Exkurs 11.9 zeigt.

11.3.3 Lernfaktoren bei Geschmackspräferenzen

Bei Menschen, aber auch bei Tieren, sind spezielle Bedürfnisse in hohem Maße das Ergebnis von **Lernprozessen**, die von sozialen und kulturellen Faktoren abhängig sind. Tiere lernen rasch, eine Geschmacksrichtung zu bevorzugen, auf die ein Sättigungsgefühl folgte, und solche zu vermeiden, die unbekömmlich waren (Sclafani 1990; Beispiele hierzu in ▶ Exkurs 11.10).

Auch beim Menschen wird zumindest in jenen Kulturen, die über ein ausreichendes Nahrungsangebot verfügen, die Nahrungsaufnahme in der Regel durch nach der **klassischen Konditionierung** erlernte Reize und Situationen (CS) ausgelöst: Solange wir nicht unter Nahrungsentzug leiden, werden Zeitpunkt und Menge der Nahrungsaufnahme weniger durch primär physiologische Faktoren (Gewebebedarf) bestimmt, sondern vielmehr durch **konditionierte Umgebungsreize**, wie Essenszeit, Geschmack und Aussehen von Speisen – wie auch soziale Faktoren, wie die Anwesenheit und das gleichzeitige Essen anderer Personen. Denjenigen, die ihre Mahlzeiten regelmäßig zu genau gleichen Tageszeiten einnehmen, sind sicher die vormahlzeitlichen Hungerattacken bekannt, die durch die **konditionierte Erwartung** von Nahrung zu diesem Zeitpunkt ausgelöst werden und die nicht unbedingt einem Energiedefizit zu entsprechen brauchen (Woods 1991). Nach Woods tritt der Körper zu diesem konditionierten Zeitpunkt (es genügt manchmal auch ein Blick auf die Uhr) in die **cephalische Phase** (Erwartungsphase) und trifft automatisch Vorkehrungen, den bevorstehenden, die Homöostase störenden Nahrungseinstrom vorzubereiten, indem er zum Beispiel Insulin ins Blut ausschüttet und damit den Blutzuckerspiegel senkt, was dann entsprechend zur Auslösung des *Hungergefühls* führt. Auch leckere Geschmacks- und Geruchsreize aktivieren den Appetit, selbst dann, wenn der homöostatische Hunger bereits gestillt ist. Hier wird also nicht ein bereits entstandenes Nahrungs- oder Energiedefizit ausgeglichen, sondern der erwartete Energiebedarf wird vorwegnehmend abgedeckt (vorausplanende Nahrungsaufnahme).

Ferner kann sich auch unser **scheinbares Wissen** über den Nahrungswert auf den erlebten Hunger auswirken. So konnten Nisbett und Storms (1974) zeigen, dass fiktive Angaben auf Verpackungen von Nahrungsmitteln, die auf den kalorischen Gehalt der Nahrung hinweisen, oder auch Veränderungen des geschmacklichen Eindrucks der Nahrhaftigkeit einen deutlichen Effekt auf die Nahrungsaufnahme und auf das erlebte Hunger- beziehungsweise Sättigungsgefühl haben, auch wenn diese Angaben nicht mit den tatsächlichen Kalorienwerten übereinstimmen.

Diese Befunde machen erneut die hohe Komplexität der Steuerung und Regelung einer so grundlegenden Motivation wie die des Hungers deutlich und zeigen, dass außer physiologischen, homöostatischen sowie direkten Anreizfaktoren auch kognitive Bewertungen und Vorstellungen sich auf Stärke und Richtung dieser Motivation auswirken.

11.3.4 Genetische Faktoren der Hungermotivation

Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Betrachtung des Motivationsgeschehens überhaupt und hier zunächst der Hungermotivation ist schließlich in den genetischen Erbanlagen begründet, die ja auch für die Ausbildung des Gehirns und damit die Entwicklung der Motivationszentren verantwortlich sind.

Schon früh war auffällig, dass Fettleibigkeit familienbedingt vorkommt. Sind beide Eltern fettleibig, trifft das auch in 70 % der Fälle auf die Kinder zu. Ist kein Elternteil fettleibig, kommt es nur in 10 % der Fälle zu Fettleibigkeit der Kinder (Gurney 1936). Doch lässt sich aus einer solchen Beobachtung noch nicht eindeutig auf eine genetische Bedingtheit schließen, denn es können natürlich auch die innerhalb einer Familie tradierten Essgewohnheiten für die reichlichere Nahrungsaufnahme und die Körperfülle verantwortlich sein.

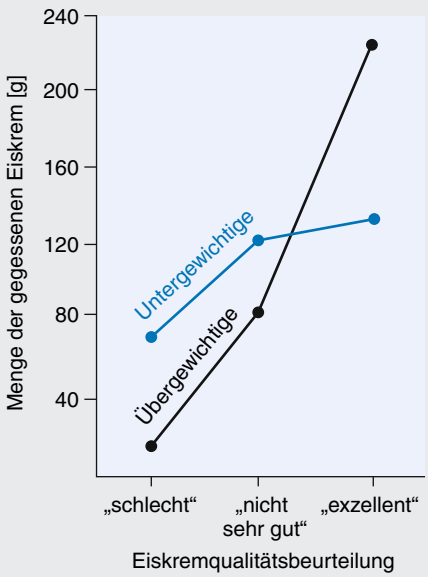
Klarere Aussagen lassen sich aufgrund von Zwillingsstudien machen. Da **eineiige (identische) Zwillinge** das gleiche Genmaterial haben und Gene vermutlich für die Gewichtszunahme mit verantwortlich sind, sollte sich bei eineiigen Zwillingen unabhängig von Umgebungsfaktoren das gleiche Muster der Gewichtszunahme zeigen. Dies konnte von Bouchard et al. (1990) in einer umfangreichen Studie an zwölf Paaren männlicher eineiiger Zwillinge belegt werden, die gemeinsam in einer Art Internat für 100 Tage dem gleichen Umfeld und der gleichen mit Kalorien angereicherten Nahrung unterworfen wurden. Die beobachtete Gewichtszunahme variierte von neun bis 30 Pfund, doch es gab so gut wie keine Unterschiede innerhalb der Geschwisterpaare. Eineiige Geschwisterpaare zeigten auch die gleiche zeitliche Abfolge der Gewichtszunahme und setzten auch die Fettpolster in den gleichen Körperregionen an. Deutliche Unterschiede gab es jedoch *zwischen* den Geschwisterpaaren, was deutlich macht, dass weitgehend genetisch festgelegt ist, (1) wo, (2) wie schnell und (3) wie viel Übergewicht der Körper bei übermäßigem Nahrungsangebot anlegt. Dies gilt auch dann unverändert, wenn die identischen Zwillinge getrennt unter unterschiedlichen Lebensbedingungen aufwuchsen.

Exkurs 11.9

Genauer betrachtet: Geschmack und Übergewicht

Wie externe, affektive Anreize, wie zum Beispiel Geschmacksfaktoren, die Menge unserer Nahrungsaufnahme beeinflussen können, wurde unter anderem in einer Studie von Nisbett (1968) untersucht, die belegt, dass übergewichtige Personen sich bei ihrer Nahrungsaufnahme stärker von der geschmacklichen Qualität der Nahrung beeinflussen lassen. Zwei Gruppen von Versuchspersonen, (1) Übergewichtige, (2) Untergewichtige, bekamen in dieser Studie verschiedene Sorten von Vanilleeiskrem zu essen, deren Geschmack manipuliert und zum Teil mit Chinin (bitter schmeckend) versetzt war. Sie hatten die Möglichkeit, so viel sie wollten davon zu essen. Anschließend wurden sie gebeten, die Qualität der Eiskrem auf einer vorgegebenen Skala zu beurteilen. Die Ergebnisse sind in ◘ Abb. 11.16 zusammengefasst. Übergewichtige Personen essen wesentlich mehr Eiskrem, wenn sie dieselbe als „exzellent" beurteilen. Sie essen aber auch wesentlich weniger davon, wenn die Eiskrem ihnen nicht schmeckt und als „schlecht schmeckend" beurteilt wird. Untergewichtige lassen sich dagegen wesentlich weniger von einer hervorragenden Geschmacksqualität zum Mehressen verleiten. Wenngleich auch in verschiedenen anderen Studien nachgewiesen werden konnte, dass Menschen sehr unterschiedlich auf externe Reize in ihrem Nahrungsverhalten ansprechen, so konnte dagegen die von Schachter (1971) ursprünglich aufgestellte Hypothese einer generell größeren „Externalität" (stärkere Beeinflussung durch Außenreize, geringere Nutzung interner Sättigungssignale) bei übergewichtigen Personen in späteren Untersuchungen nicht bestätigt werden. Zwar zeigen weder alle Übergewichtigen eine große Externalität, noch sind alle als external eingestuften Personen übergewichtig, aber es besteht durchaus eine nicht zu vernachlässigende Korrelation zwischen dem Ausmaß der Fettleibigkeit und dem Grad der Externalität (Rodin 1981).

Trotz der vielfältigen Untersuchungen nach möglichen Ursachen des gesundheitspolitischen Problems der **Adipositas** (Fettleibigkeit, Übergewicht) gibt es heute noch keine einheitliche und generelle Erklärung. Dies mag daran liegen, dass in den Untersuchungen vielfach übergewichtige Personen mit ganz unterschiedlichen Ätiologien zusammengefasst werden (Pudel 1978) und dass es offensichtlich verschiedene sowohl genetisch bedingte als auch verhaltensbedingte Faktoren (externale Reize, Selbstkontrolle) gibt, die in ihrer Kombination in unterschiedlicher Weise zur Fettleibigkeit beitragen können.



◘ **Abb. 11.16 Einfluss von Geschmacksbeurteilung** auf die Speiseaufnahme (Eiscreme) bei untergewichtigen und übergewichtigen Probanden

Wenn also Übergewicht und Gewichtszunahme wesentlich von genetischen Faktoren mitbedingt sind, dürfte ferner von Interesse sein, wie diese Steuerung erfolgt. Wie weitere Untersuchungen zeigten, ist hierfür die weitgehend genetisch festgelegte **Mindestanzahl gebildeter Fettzellen** und ihre Größe verantwortlich. So haben fettleibige Personen etwa dreimal größere Fettzellen als Normalgewichtige (Knittle und Hirsch 1968). Entfernt man bei jungen Ratten etwa die Hälfte der angelegten Fettzellen, werden die erwachsenen Ratten auch nur etwa halb so fett wie ihre Kontrolltiere (Faust 1984).

Ähnlich wie die Anzahl der Fettzellen (und damit eine Grundlage für die Übergewichtigkeit) genetisch mitbestimmt ist, wird auch die Größe der Fettzellen wesentlich genetisch mitbedingt, wenngleich in gewissem Umfang auch Überessen zur Vergrößerung von Fettzellen und Nahrungsdeprivation zur Verkleinerung von Fettzellen führen kann.

Die Steuerung der Hungermotivation könnte nun, wie Zhang et al. (1994) darlegte, über die Aussendung eines Sättigungssignals von den Fettzellen erfolgen. So kontrolliert bei Mäusen vermutlich ein „Fettleibigkeitsgen" die Fettzellen und veranlasst sie, einen solchen Botenstoff zu erzeugen. Mäuse, die dieses Gen nicht besitzen, werden fett. Je mehr Fettzellen vorhanden sind, desto stärker ist dieses ins Blut abgegebene chemische Signal. Wenngleich ein solcher Zusammenhang beim Menschen bisher noch nicht nachgewiesen ist, würde er eine Erklärung liefern, warum es manchen fettleibigen Personen schwerfällt, nach einer erfolgreichen Diät nicht wieder übergewichtig zu werden, auch wenn sie nicht mehr Kalorien zu sich nehmen.

In dieser Hinsicht geht aus den genannten Zwillingsstudien, bei denen alle Probanden während des Untersuchungszeitraums die gleiche Kalorienmenge erhielten, auch hervor, dass der eintretende Körpergewichtsunterschied wohl auf einem Unterschied

Exkurs 11.10

Genauer betrachtet: Beispiele gelernter Geschmackspräferenzen

Tiere wie Menschen müssen im Lauf ihres frühen Lebens lernen, welche Nahrung für sie genießbar ist und welche nicht, um den Hunger zu befriedigen. Besondere Leistungen in dieser Hinsicht wurden bei Ratten beobachtet (im Zusammenhang mit ihrer Bekämpfung), die es üblicherweise schwer macht, Ratten überhaupt zu vergiften. Ihre (vielleicht angeborene) Strategie besteht darin, dass die Tiere neues Futter zunächst einmal ignorieren und sich eher an erfolgreich verspeiste Nahrung halten. Von der neuen Nahrung (ausgelegte Köder) nehmen sie nach einiger Zeit jedoch zunächst nur eine kleine Menge und warten mehrere Tage ab, ehe sie mehr davon nehmen, wenn sie ihnen bekommen ist. Hat die neue Nahrung jedoch (auch nach mehreren Tagen) zu starkem Unwohlsein geführt, ignorieren sie dieses Futter beständig (Barnett 1963).
Auch positive Effekte der Nahrung, die erst nach längerer Zeit wirken, wie zum Beispiel die Aufhebung eines Vitamin- oder Mineralmangels, können mit Merkmalen der zuvor genossenen Nahrung verknüpft und gelernt werden. Erhalten Versuchstiere für längere Zeit nur ein vitaminarmes Mangelfutter, was zu Mangelerscheinungen führt, so fressen sie davon nur noch unwillig und probieren jedes andere Futter, das sie erhalten. Da Vitamine wie auch viele andere Mineralien (außer Kochsalz) normalerweise geschmacklos sind, können die Tiere die Aufnahme dieses Futters, das reich an der fehlenden Substanz ist, nur dadurch erlernen, dass sie dessen positive Wirkung (Beseitigung der Symptome) erleben. So entwickeln Ratten, die mit einer Thiamin-Mangelkost (Thiamin = Vitamin B1) ernährt werden, eine Aversion gegen den Geschmack dieser Kost. Bietet man ihnen dann zwei neue Futtervarianten an, von denen eine das Thiamin enthält, so zeigen die Tiere oft schon nach wenigen Tagen eine Vorliebe für das thiaminreiche Futter und meiden das Mangelfutter (Harris et al. 1933). Prinzipiell dürfte auch der Mensch diese Fähigkeit besitzen, mittels derartiger *inzidenteller Lernerfahrungen* durch „richtige" Ernährung Mangelerscheinungen zu vermeiden beziehungsweise zu beheben. Doch scheinen Mangelerscheinungen in unserer Gesellschaft auch heute noch sehr verbreitet (vgl. Willett 1994). Eine Erklärung, warum diese Lernfähigkeit hier versagt, könnte in den weiteren Ergebnissen der Harris'schen Studie gesehen werden. Als sie ihren Tieren mit Thiaminmangel nicht nur zwei, sondern gleichzeitig zehn neue Futtervarianten anboten, von denen lediglich eine das so dringend benötigte Thiamin enthielt, entwickelten nur wenige Tiere ein Präferenz für die vollwertige Nahrung.
Noch viel größer ist dagegen die Vielfalt der verschiedenen Substanzen, die wir täglich in unserer Überflussgesellschaft zu uns nehmen, sodass es unserem Körper schwerfallen könnte, seine natürliche Fähigkeit der richtigen Substanzauswahl zu nutzen. Hinzu kommen die vielen der Nahrung heute zugesetzten Geschmacksstoffe und Geschmacksverstärker, die unsere natürliche Selektionsfähigkeit überfordern.

im Metabolismus der Nahrungsverwertung beruht. Während bei den einen die zusätzlichen Kalorien eher in Fettspeicher umgewandelt werden, neigen die anderen eher dazu, dieselben Kalorien über eine höhere Metabolismusrate einfach zu verbrennen (Ravussin et al. 1988).

Es gibt offensichtlich mehrere Wege, auf denen Erbfaktoren die Gewichtszunahme sowie die Motivation, Nahrung aufzunehmen, beeinflussen. Hierzu zählen (1) die zunehmende Anzahl und Größe der Fettzellen, (2) ein hoher Set-Point der Sättigung und (3) eine niedrige Metabolismusrate.

Set-Point-Hypothese

Kernpunkt dieses Ansatzes ist die Annahme, dass die Kombination dieser beiden genetisch mitbestimmten Faktoren Anzahl und Größe der Fettzellen, die ja in enger Beziehung zur Fettleibigkeit stehen, verantwortlich ist für die individuelle Einstellung des homöostatischen Set-Points, der von der hypothalamischen Hungerregulation angestrebt wird. Daraus wurde gefolgert, dass in solchen Fällen die Übergewichtigkeit dem durch den Set-Point vorgegebenen „normalen" Gewicht entspricht. Versuche zur Gewichtsreduktion durch Nahrungseinschränkung würden diese Personen ständig unter ihrem biologisch bedingten Set-Point halten, was zur Folge hat, dass sie sich ständig hungrig fühlen, da ihre Homöostase nicht ausgeglichen ist (Nisbett 1972). Unter diesem Aspekt erklärt sich auch die bekannte Beobachtung bei Übergewichtigen, dass nach Absetzen von zur Gewichtsreduktion verwendeten pharmakologischen Appetitzüglern (Appetit unterdrückende Substanzen) sehr schnell wieder eine Gewichtszunahme auf das alte vorherige Übergewicht einsetzt. Offenbar erfolgt die Appetitreduzierung über eine Erniedrigung des Set-Points, der nach Absetzen wieder auf sein Ausgangsniveau zurückkehrt (Stunkard 1982; vgl. hierzu auch „Neubewertung der VMH- und LH-Effekte" in ► Abschn. 11.3.1).

11.3.5 Wirkungsgefüge der Hungermotivation

Abschließend soll das Zusammenwirken der verschiedenen Komponenten der Hungermotivation anhand eines systemtheoretischen Schemas (◘ Abb. 11.11) vereinfachend zusammengefasst werden. Ausgehend von dem Regelkreismodell (► Exkurs 11.2) stellt ◘ Abb. 11.17 ein **Grundschema der erweiterten homöostatischen Regelung** der Nahrungsaufnahme und der Erklärung der Hungermotivation dar.

Die konstant zu haltende Größe (Regelgröße) ist die dem Organismus zur Verfügung stehende Energie. Sie wird, wie wir gesehen haben, über verschiedene Sensoren in den hypothalamischen „Zentren" mit einem biologisch vorgegebenen, aber über die Zeit variablen Sollwert beziehungsweise *Set-Point* verglichen (◘ Abb. 11.17 links). Die für den Stoffwechsel verfügbare Energie steht im ständigen Austausch mit der im Organismus in Speicherform festgelegten Energie (Glycogen in der Leber, Fette, vor allem als Triglyceride in den Fettzellen und Fettdepots des Körpers). Sinkt die verfügbare Energie infolge von Energieverbrauch (zum Beispiel Arbeit oder Wärmeabgabe) oder längerer Deprivation so weit ab, dass sie nicht mehr dem derzeitigen Set-Point entspricht (der auch zirkadian schwanken kann), so führt dies zu einer Diskrepanz zwischen Ist- und Sollwert. Diese Diskrepanz stellt das **Hungersignal** dar. Dieses Hungersignal, vielfach auch als **Error-Signal** bezeichnet, kann nun, wie wir gesehen haben, auf vielfältige Weise gehemmt (negatives Vorzeichen) oder auch verstärkt (positives Vorzeichen) werden, bis es von uns als **Hungergefühl** (◘ Abb. 11.17 rechts) erlebt wird und Verhaltensweisen des Nahrungsaufsuchens (Appetenzverhalten) aktiviert.

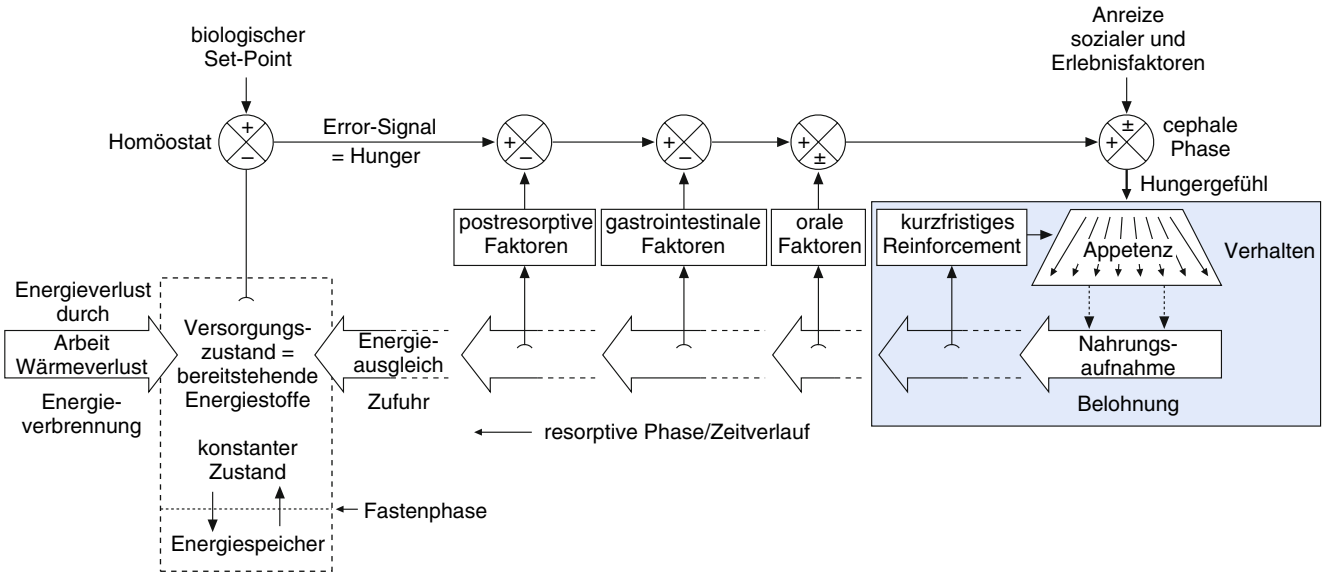


Abb. 11.17 Zusammenfassendes Wirkungsgefüge zur Hungermotivation. Dargestellt sind die verschiedenen besprochenen Rückmeldeschleifen, die den Hunger und das Hungergefühl beeinflussen, sowie (*blau* unterlegt) das für das Verhaltenslernen verantwortlich anzunehmende konditionierbare Verstärkersystem (▶ Exkurs 11.9)

Dabei kann es verschiedene gewohnte oder gelernte Wege zur Nahrungsaufnahme geben. Entlang des Weges, den die aufgenommene Nahrung nun bis hin zur Resorption nimmt (unterer Pfeil nach links), wird ihr Eintreffen und ihre Verarbeitung über die verschiedenen Sensoren, wie besprochen, rückgemeldet. Diese Sättigungssignale (negative Vorzeichen) wirken – zeitlich versetzt – hemmend auf unser Hungergefühl. Unabhängig davon können, auch bei fehlendem homöostatischen Hungersignal, externe Anreize (oben rechts) Appetit und Hungergefühle auslösen und damit zusätzliche Nahrungsaufnahme veranlassen.

In das Schema ist (blau unterlegt) das für das Verhaltenslernen von der Lerntheorie anzunehmende **Verstärkersystem** (*reinforcement*) integriert, wie es von Gallistel (1973) in seinem **integrativen Motivationsmodell** (▶ Exkurs 11.11) vorgeschlagen wurde.

11.4 Geschlecht und Sexualität

Neben der Nahrungs- oder Hunger- und Durstmotivation ist die **sexuelle Motivation** wohl die zweitwichtigste biologisch bedingte Motivationsquelle menschlichen Handelns.

Im Unterschied zu den bereits besprochenen homöostatischen Motivationen Hunger und Durst, bei denen ein innerer Mangelzustand reguliert und beseitigt wird, gilt die Sexualität, ähnlich wie das Neugierverhalten, als *nichthomöostatische* Motivation, deren Ziel nicht ein homöostatisches Gleichgewicht ist, sondern vielmehr zunächst ein angenehmer Erregungszustand. Des Weiteren liegt, was Darwin bereits sah, der biologische Sinn nicht in der Erhaltung des Individuums (das bei einigen Tierarten bereits bei oder bald nach der Kopulation stirbt), sondern in der Erhaltung der Art, und zwar dadurch, dass neue, jüngere Individuen entstehen. Aus biologischer Sicht ist die primäre Funktion des Sexualverhaltens die Weitergabe der eigenen Gene bei gleichzeitiger Erhöhung der Variabilität. Denn bei der sexuellen Fortpflanzung kommt es zur Neukombination von Erbfaktoren, wodurch (außer bei Inzucht) eine hohe Variation des Genoms der Art erreicht wird. Der evolutionsbiologische Nutzen dieser Variation liegt dann darin, dass es nur bei hoher Variation wahrscheinlich ist, dass bei Veränderung der Umweltbedingungen genetische Varianten unter den Nachkommen sind, die sich hier als relativ gut angepasst herausstellen und das Überleben der Art ermöglichen.

Darüber hinaus ist *Sexualität* aus psychologischer Sicht vor allem ein *soziales Motiv*, aber auch ein biologischer Trieb. Während Hunger und Durst als überlebenssichernd vorwiegend das eigene Individuum betreffen, schließt Sexualität normalerweise ein anderes oder andere Individuen mit ein und dient dabei nicht nur der Reproduktion, sondern bei Menschen wie auch vielen höheren Tieren vornehmlich auch der Bindung an Partner sowie von Nachwuchs und sozialen Gruppen (Familie, Sippe). Aber auch damit ist das Spektrum sexueller Motivation und Emotion – die hier offenbar eng ineinander spielen – bei Menschen bei weitem nicht erschöpft:

1. Sexualität kann eine unvergleichlich weite Spannbreite von Verhaltensweisen und Einstellungen motivieren und psychische wie auch biologische Prozesse beeinflussen.
2. Sexuelle Erregung ist zumeist nicht an Deprivation gebunden.
3. Sexuelle Motivation wird weitgehend durch externe Reize aktiviert oder ausgelöst, weswegen Sexualität auch als Anreizmotivation (*incentive motivation*) den Mangelmotivationen gegenübergestellt wird.
4. Sexuelle Erregung kann – individuell sehr unterschiedlich – durch fast jeden vorstellbaren Reiz angeregt werden. Das geht von der Berührung der Genitalien über Fantasien und Vorstellungen (Telefonsex) sowie Tagträume oder Symbole bis hin zu konditionierten Fetischen.

Exkurs 11.11

Genauer betrachtet: Integratives Homöostasemodell der Verhaltenssteuerung

Aufbauend auf den neueren Ergebnissen der elektrischen Selbststimulation des Gehirns hat Gallistel (1973) die vielfältigen theoretischen Ansätze zur Erklärung der homöostatischen Belohnungsmechanismen auf der Basis und im Rahmen der modernen Kontrolltheorie zu einem einheitlichen integrativen Modell zusammengeführt (Abb. 11.18). Das dargestellte Modell differenziert zwischen **Motivation** (verstanden als Antrieb zur Handlungsausführung) einerseits und **Verstärkung** andererseits, die verstanden wird als Instrument, welches den Antrieb auf dasjenige Verhaltensmuster ausrichtet (adjustiert), dessen Ausführung zur jeweiligen Belohnung (Nahrung bei Hunger, Flüssigkeit bei Durst) führt.

Ein Mangel eines dieser Grundbedarfe des Organismus führt zu einer erhöhten Erregung des jeweiligen Homöostaten im Hypothalamus (Abb. 11.18 links). Diese Trieberregung (Antriebsstärke, Triebenergie, Error-Signal), die auf die entsprechenden motorischen Areale des Gehirns übertragen werden muss, aktiviert hier motorische oder kognitive Verhaltensmuster, die zunächst ungerichtet sind (zum Beispiel Suchverhalten, Laufen, Hebel drücken u. a. m.). Wenn die Ausführung eines bestimmten Verhaltens zu dem gewünschten und benötigten Ziel (hier zum Beispiel Nahrung) führt, so wird durch diese Belohnung das Verstärkungssystem auf eben dieses Verhaltensmuster adjustiert, dessen Ausführung zu der Bekräftigung führte. Liegen bereits Erfahrungen vor, so wird in einem nächsten Fall die zunächst ungerichtete Trieberregung durch das aktivierte Verstärkersystem sogleich auf jene Handlungsmuster (motorische Zentren) ausgerichtet (adjustiert), die in der Vergangenheit mit Erfolg zur Wiederherstellung des Gleichgewichtes in dem Homöostaten geführt hatten (zum Beispiel Sättigung) und mit diesem so verbunden wurden.

Physiologische Motivationsmodelle dieser Art führen also das beobachtbare Verhalten auf zwei Motivationskomponenten zurück: einerseits auf den bisher besprochenen physiologischen Antriebszustand und andererseits auf die (möglicherweise doppelte) Wirkung der erhaltenen Belohnung. Das heißt, bei einem gegebenen physiologischen Antriebsniveau und bei gegebenen konstanten Reizbedingungen werden die Stärke und die Anzahl der vorausgegangenen Belohnungen sowohl die Art des ausgeführten Verhaltens (zum Kühlschrank gehen) als auch die Intensität desselben bestimmen, und zwar so lange, wie die physiologische Antriebskomponente noch über dem Schwellenwert liegt, das heißt das Differenzsignal ungleich null ist.

Es lässt sich ferner annehmen, dass für jede biologische Motivation beziehungsweise jeden Trieb, wie Hunger, Hunger auf eine bestimmte Substanz, Wärmebedürfnis und so weiter, je gesonderte Homöostasemechanismen bestehen, die sich so auf gesonderte zugehörige erfolgversprechende Handlungsmuster zur Triebbefriedigung einstellen. Dies ist in Abb. 11.18 durch die verschiedenen, hintereinander liegenden Ebenen angedeutet.

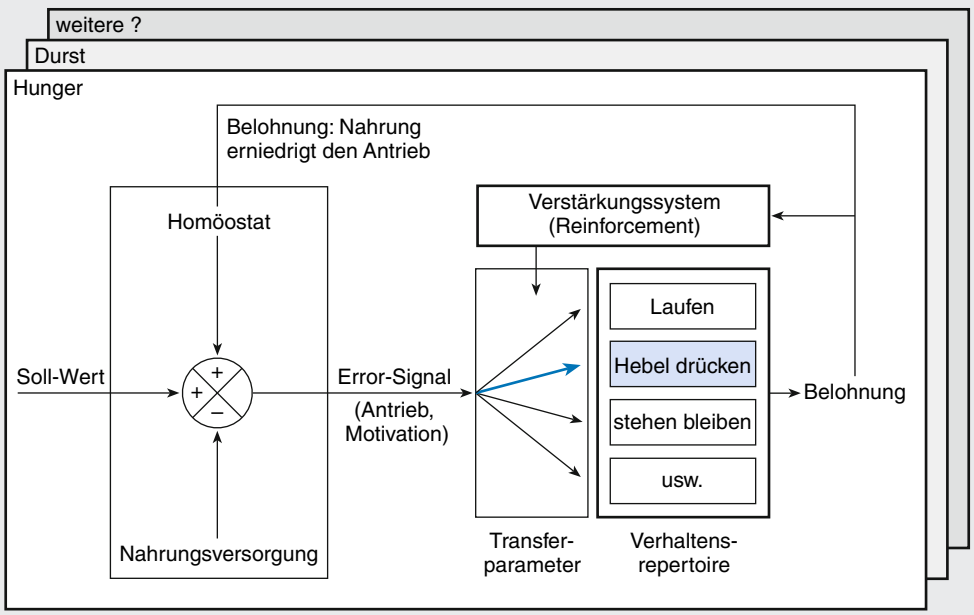


Abb. 11.18 Integratives Homöostasemodell der Verhaltenssteuerung. (Gallistel 1983)

5. Fast jeder Reiz kann zum erworbenen motivierenden Reiz (CS) werden, wenn er mit sexueller Erregung gekoppelt wird, oder zum konditionierten Verstärker (S^+), wenn er mit sexueller Befriedigung gekoppelt wird.
6. Sexuelle Befriedigung kann sowohl in der maximalen Erregung als auch in der Spannungsreduktion erlebt werden.

Ehe wir im Weiteren auf diese Aspekte im Einzelnen eingehen, wenden wir uns zunächst den Grundlagen der Geschlechtsdifferenzierung und der Geschlechtsidentität zu.

11.4.1 Sexuelle Differenzierung

Bei der Betrachtung der menschlichen Sexualität ist zu unterscheiden zwischen der frühen sexuellen Entwicklung, die schon im Mutterleib beginnt und bereits die Basis für unsere spätere erlebte **sexuelle Identität** legt, und andererseits der **Sexualität des Erwachsenen**, die mit den physiologischen und psychologischen Veränderungen während der Pubertät beginnt und dann den weiten Bereich unseres Sexualverhaltens ausmacht. Ein zweiter Gesichtspunkt betrifft die Unterscheidung zwischen *biologischen Determinanten* und *umweltabhängigen Determinanten* des sexuellen Verhaltens und Erlebens. Hier gilt zunächst allgemein, dass

die sexuelle Erregung und sexuelles Verhalten bei Tieren in weit höherem Maße von biologisch-physiologischen und hormonellen Prozessen gesteuert werden als bei Menschen. Die menschliche Sexualität ist weit stärker von psychologischen Faktoren, wie frühen kindlichen Erfahrungen, Lernprozessen, sozialen und kulturellen Normen, abhängig als von ebenfalls mitwirkenden biologisch-hormonellen Faktoren.

Die Grundlage für die eigene Geschlechtsidentität (*gender identity*), das heißt für das sichere Erleben der eigenen beständigen Zugehörigkeit zu einem der beiden Geschlechter, wird schon früh in der embryonalen Entwicklung gelegt. Zunächst jedoch ist der menschliche Embryo in allen Gewebeanteilen bis etwa zur achten Schwangerschaftswoche bisexuell oder geschlechtlich neutral. Allein das Vorhandensein eines Y-Chromosoms (männlich) oder das Nichtvorhandensein eines solchen im Chromosomensatz jeder Zelle lässt das zukünftige Geschlecht erkennen.

Bis zu diesem Entwicklungsstadium haben beide Geschlechter das gleiche Aussehen. Etwa zwischen dem zweiten und dritten Monat differenzieren sich die zunächst neutralen primitiven Vorstufen der Geschlechtsdrüsen, die **Gonaden**, zu **Hoden** (Testes) beim Vorhandensein eines Y-Chromosoms oder in allen anderen Fällen zu **Ovarien**. Diese produzieren dann, sobald sie funktionsfähig sind, die Sexualhormone, durch die nun die Entwicklung der inneren und äußeren Sexualorgane getrennt für beide Geschlechter gesteuert wird. Die von den **Testes** produzierten männlichen Geschlechtshormone, die Androgene (von griechisch *andros* für „Mann" und *gennan* für „produzieren"), zu denen vor allem das **Testosteron** gehört, bewirken die Ausbildung eines männlichen Organismus.

Bei nicht ausreichender oder fehlender Androgenproduktion kommt es dagegen zur Ausbildung äußerlich weiblicher Geschlechtsorgane, auch dann, wenn das Neugeborene genetisch männlich ist. Umgekehrt werden bei einem genetisch weiblichen Organismus bei künstlicher Zuführung von Androgenen (was sich aus ethischen Gründen in der Regel verbietet) männliche Genitalien ausgebildet. Die normale körperliche Entwicklung des weiblichen Embryos erfordert keine weiblichen Hormone, sondern erfolgt normal einfach beim Fehlen männlicher Hormone.

Die Androgene wirken in der pränatalen Phase (etwa 11. bis 22. Schwangerschaftswoche) auch auf das zentrale Nervensystem ein und bewirken vor allem im Hypothalamus und Limbischen System die geschlechtsspezifischen Unterschiede. Hier werden wahrscheinlich ebenfalls sowohl der sexuelle Status (Hetero-, Homo- oder Bisexualität) veranlagt als auch das spätere geschlechtstypische Verhalten, das sich in maskulinen Wesenszügen sowie einem später höheren Aggressionsniveau zeigt, wie dies bei genetisch weiblichen Affenembryonen durch Androgengaben nachgewiesen werden konnte (Phoenix et al. 1968).

Sowohl die ersten sechs Wochen nach der Geburt als auch die Zeit der Pubertät (11. bis 14. Lebensjahr) sind weitere **sensitive Perioden** der Entwicklung für Androgeneinwirkungen. In der Pubertät beginnt der Hypothalamus, chemische Botenstoffe, die **gonadotropen Releasing-Factors** (**RF**), zu produzieren, die im Hypophysenvorderlappen die pulsatile Ausschüttung von **LH** (luteinisierendem Hormon) und **FSH** (follikelstimulierendem Hormon) bewirken (◘ Abb. 11.19). Diese gonadotropen Hormone gelangen über die Blutbahn zu den Gonaden, das heißt zu den Testes beziehungsweise Ovarien, wo sie die Ausschüttung der Geschlechtshormone Testosteron bei männlichen und Östrogen bei weiblichen Individuen anregen, unter deren Wirkung sich dann auch die sekundären Geschlechtsmerkmale, unter anderem tiefe Stimme, Bart und vermehrte Muskelmasse beziehungsweise Brüste und weitere Hüften, ausbilden.

Ab der Pubertät sorgt auch die unterschiedlich ausgebildete Struktur des Hypothalamus beim weiblichen Geschlecht über die RF für die zyklische Aktivität der gonadotropen Hormone FSH und FH, deren Zyklus mit etwa 28 bis 30 Tagen der *lunaren Periodizität* von etwa einem Monat entspricht. Das FSH stimuliert die Ovarien zur Bildung von Follikelzellen, die die Entwicklung fertiler Eizellen ermöglichen. Gleichzeitig erzeugen die Follikelzellen das weibliche Hormon **Östrogen**, das, über die Blutbahn verteilt, die sexuelle Entwicklung des Körpers anstößt und bei vielen Tierarten über das Gehirn die sexuelle Motivation aktiviert. Das etwas später vom Hypophysenvorderlappen freigesetzte LH veranlasst dann die Freisetzung eines reifen Eis, den Eisprung oder die Ovulation. Zu dieser Zeit wird vom Follikelgewebe ein zweites weibliches Hormon, das **Progesteron**, gebildet, das den Uterus (die Gebärmutter) zur Aufnahme des befruchteten Eis vorbereitet. Auch das Progesteron trägt bei manchen Tierarten zur Aktivierung der sexuellen Motivation bei.

Beim männlichen Geschlecht werden die RF dagegen über die Zeit gleichbleibend ausgeschüttet, sodass auch FSH und LH, die hier eine andere Wirkung haben, in etwa gleichbleibender Konzentration im Blut vorhanden sind. Beim Mann veranlassen diese **Gonadotropine** die Spermienbildung in den Hoden und führen andererseits zur Bildung und Ausschüttung von Androgenen (speziell Testosteron), die die Ausbildung männlicher Körpermerkmale sowie bei den meisten Tierarten auch das sexuelle Verlangen stimulieren. Beim Menschen ist die Auswirkung hormoneller Regelungen (einschließlich des *menstruellen Zyklus*) auf die sexuelle Erregung weitaus geringer und für unser Sexualverhalten eher nebensächlich. Die Sexualität wird bei uns weit stärker von *sinnlichen Reizen* und psychologischen Einflüssen bestimmt.

Die **sexuelle Erregung** wird beim Menschen insbesondere durch erotische Reize hervorgerufen. Diese können vielfältiger psychischer und physischer Art sein. Dabei hängt die erlebte sexuelle Erregung wesentlich von der jeweiligen physiologischen und **kognitiven Bereitschaft** ab, auf diese Reize zu reagieren, auf sie einzugehen und sich ihnen hinzugeben. Die gleichen visuellen, akustischen, aber auch geruchlichen erotischen Reize können je nach unserer individuellen oder situativen Stimmungs- oder Bereitschaftslage eine hohe erotische Stimulation bewirken oder aber auch mehr oder weniger unbeachtet bleiben oder in besonderen Situationen sogar ausgeblendet und abgewehrt werden, wie dies zum Beispiel von unseren jeweiligen sozialen Normen gefordert wird. Wird erotische Stimulation gesucht oder zugelassen, führt sie je nach innerer Bereitschaft und Vermögen zu einem emotional erregenden lustvollen Spannungszustand, der sexuellen Erregung, die mit Gefühlen der Leidenschaft verbunden sein kann und die zu sexuellen Aktivitäten motiviert. Die sich bei der sexuellen Aktivität steigernde physische und psychische

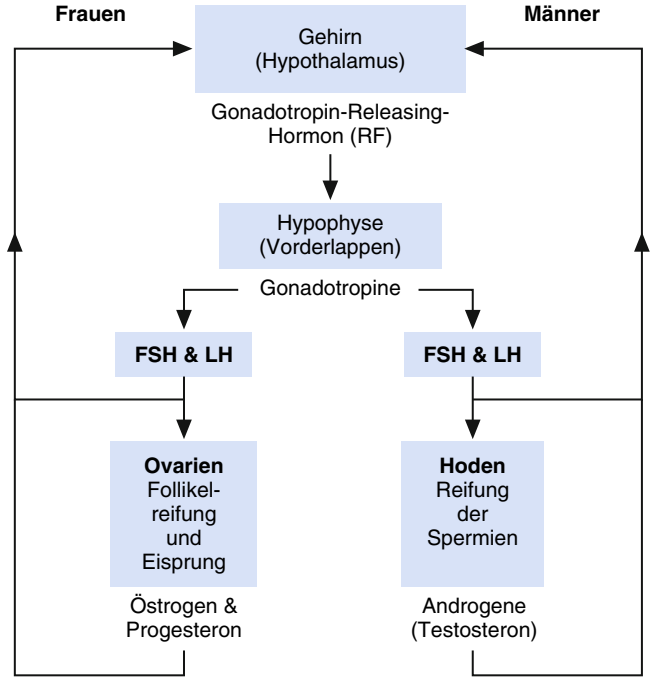


Abb. 11.19 Vereinfachtes Schema zum Wirkungsverlauf der Sexualhormone bei Frau und Mann. Der Hypothalamus steuert mittels des gonadotropen Releasing-Hormons, das über das hypothalamische Pfortadersystem zum Hypophysenvorderlappen gelangt, dort die Ausschüttung der Gonadotropine FSH und LH in den Blutkreislauf. Diese veranlassen in der Folge die Keimdrüsen zur Sekretion der Sexualhormone (Östrogene, Androgene und Gestagene). Die positive oder negative Rückkopplung (*Pfeile* nach oben) steuern den nachfolgenden Hormonausstoß

Erregung wird schließlich durch das Erreichen des Orgasmus reduziert und klingt in Entspannung ab.

Sexuelle Erregung bezeichnet bei Menschen einen emotionalen Zustand der Aufregung und Spannung, der durch sexuell physiologische und kognitive Reaktionen auf erotische Reize hervorgerufen wird. Sie ist in starker Form meist mit einem Verlangen nach sexueller Handlung verbunden.

11.4.2 Anreize und situative Bedingungsfaktoren

Die Anreize zur Auslösung sexueller Erregung und sexuellen Verhaltens sind vielfältig. Primär dürften das auch beim Menschen vor allem körperliche Reize des Sexualpartners sein. Bei vielen (insbesondere niederen) Tieren sind diese Reize des Sexualpartners in der Regel genetisch festgelegte **Auslöser**, auf die der Partner mit einem angeborenen Auslösemechanismus (AAM), einer ebenfalls festgelegten Reaktionsfolge, anspricht. Das in ▶ Exkurs 11.12 dargestellte Beispiel aus der Verhaltensforschung demonstriert auch zugleich das Zusammenspiel innerer und äußerer Faktoren, nämlich der (hier physiologisch bedingten) Verhaltensbereitschaft einerseits und der Stärke des Auslösers andererseits.

Der so im Tierreich gut dokumentierte Ausgleich von innerer Ansprechbarkeit und äußerer **Reizattraktivität** des anderen Geschlechts ist natürlich auch vom Menschen bekannt, jedoch ist hier nicht so durchgehend einheitlich und genetisch festgelegt, wie die optimal auslösenden Reize des bevorzugten Geschlechtspartners im Einzelfall auszusehen haben. Wir alle haben unsere mehr oder weniger individuellen Vorlieben. Dennoch gibt es offensichtlich grundsätzliche Übereinstimmungen innerhalb eines jeden Kulturkreises über „Schönheitsideale" oder Attraktivität, wie der bekanntlich erfolgreiche Einsatz von optischen Anreizen durch die Darstellung vor allem des weiblichen, aber zunehmend auch des männlichen Körpers in der Werbung zeigt. Aber auch in den Animations- beziehungsweise Sexfilmen nächtlicher TV-Sendungen oder den kostspieligen anrüchigen Internetangeboten, in denen es sich jedoch auch heute noch vornehmlich um weibliche Reize handelt, wird diese sexuell stimulierende Wirkung genutzt.

Viele Untersuchungen haben belegt, dass Männer sexuell erregt werden, wenn sie erotisches oder sexuelles Material hören, lesen oder sich vorstellen. Dies gilt jedoch auch für Frauen, soweit sie an solchen Studien teilnahmen. In einer experimentellen Laboruntersuchung von Heiman (1975), in der als abhängige Maße unter anderem Penisumfang und Vaginalrötung apparativ gemessen wurden, hatten sexuell erfahrene Universitätsstudenten jeweils eine von vier Tonbandaufnahmen anzuhören: ein ausdrücklich erotisch-sexuelles Tonband, ein romantisches Band einer Liebesbeziehung ohne körperlichen Kontakt, ein gemischt romantisch-erotisches Band und ein neutrales Kontrollband. Die Ergebnisse zeigten, dass das spezifisch erotische Band für beide Geschlechter am erregendsten war, insbesondere, wenn die Frau den Sex initiierte und sich die Darstellung auf ihre Reaktionen konzentrierte.

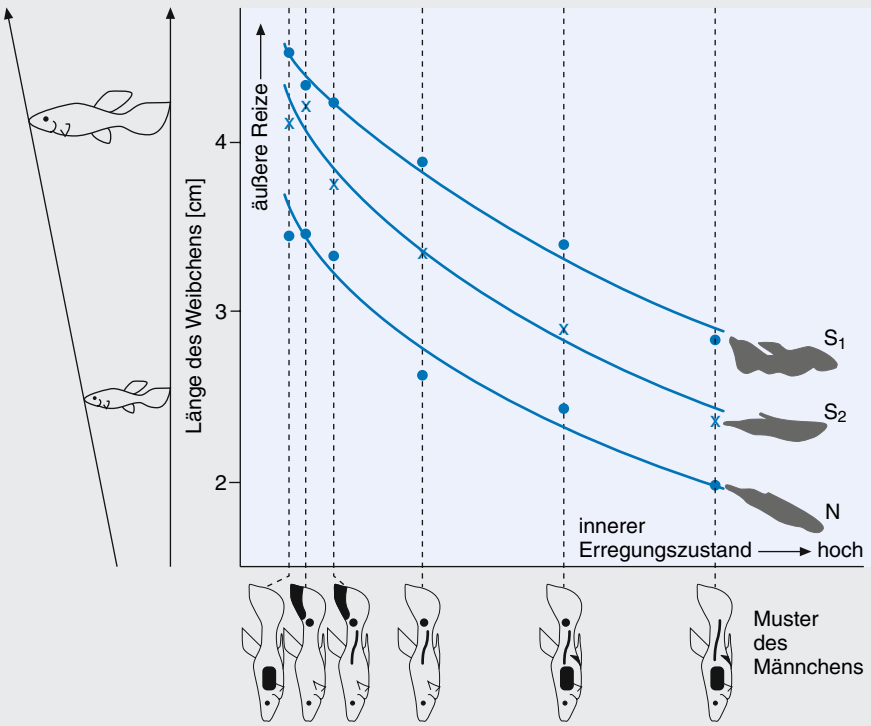
Ein weiterer Gesichtspunkt in diesem Zusammenhang ist die **gegengeschlechtliche Attraktivität**. Nach Schneider und Schmalt (2000) wird die körperliche Attraktivität allem voran an Gesichtsmerkmalen beurteilt. Männer beurteilen Frauengesichter bei relativ kleiner Nase, großen Augen und Pupillen sowie hohen Augenbrauen, hervorspringenden Wangenknochen und kleinem Kinn als besonders attraktiv (Cunningham 1986). Jones (1995) konnte zeigen, dass weibliche Gesichter kultur- und populationsunabhängig als umso attraktiver eingeschätzt werden, je mehr die Gesichtszüge denen von Neugeborenen ähnelten (Babyface). Bei Männergesichtern sollen eher eine ausgeprägte Kinnpartie und Wangenknochen als attraktiv gelten. Bedeutend einflussreicher für die eingeschätzte sexuelle Attraktivität von Männern durch Frauen ist nach Studien von Sadalla et al. (1987) jedoch das Verhaltensmerkmal hoher Dominanz, was sich auch mit der soziobiologischen Modellvorstellung deckt, dass Männer in hohen Statuspositionen als Sexualpartner besonders attraktiv erscheinen (Kenrick et al. 1990). Zu bedenken ist bei solchen Studien jedoch, dass es sich um offene Befragungen und verbale Einstufungen handelt und nicht um beobachtete Zusammenhänge.

Hinsichtlich der affektiven Wirkung und Bewertung sexuell-erotischer Reize sollen sich Frauen und Männer deutlich und konsistent unterscheiden. Nach einer zusammenfassenden Studie von Griffitt (1987) berichten Frauen während der Darbietung erotischer Stimuli häufiger über *negative Emotionen* wie Ekel,

Exkurs 11.12

Genauer betrachtet: Zusammenwirken innerer und äußerer Faktoren

Sexuelle Verhaltensweisen sind nicht allein von der Stärke der auslösenden Reize abhängig, sondern auch von der Triebstärke oder inneren Handlungsbereitschaft. Den Zusammenhang dieser beiden Faktoren bei der Verhaltensauslösung bei Tieren konnten Baerends et al. (1955) in einer bekannt gewordenen Verhaltensstudie an dem Aquarienfisch *Lebistes reticulatus* (Guppy) aufzeigen. Bei diesen Tieren sind, wie vielfach im Tierreich, die Reize des Sexualpartners festgelegte Auslöser, auf die der andere Partner mit einem angeborenen Auslösemechanismus (AAM) reagiert. Der Anreiz für die Auslösung des Balzverhaltens des Männchens ist die Gesamtgröße des weiblichen Tieres. Gibt man nun paarungsbereiten männlichen Tieren im kontrollierten Beobachtungsexperiment unterschiedlich große weibliche Attrappen vor, so zeigt sich, dass der Anreiz für die Auslösung des Balzverhaltens umso größer ist, je größer das Weibchen ist (Ordinate in ◘ Abb. 11.20). Vorteilhafterweise ist, wie Vorversuche zeigten, bei *Lebistes* die innere Erregung oder Balzbereitschaft an dem sich verändernden Farbmuster des Schuppenkleides ablesbar, dessen Maßpunkte auf der Abszisse aufgetragen sind. Die Kurven geben die Kombinationen von Auslöserstärke und innerer Bereitschaft an, bei denen das gleiche Balzverhalten ausgelöst wird, und zwar für die Verhaltensweisen Nachschwimmen (N) und S-Biegung des Männchens in zwei Intensitäten S_1 und S_2. Die Kurven zeigen sehr schön, dass bei hoher innerer Balzbereitschaft schon ein schwacher auslösender Reiz ein vollintensives Balzverhalten auslösen kann. Und umgekehrt bedarf es, wenn die innere Erregung gering ist, eines starken äußeren Anreizes (großes Weibchen), um das Balzverhalten auszulösen (Baerends et al. 1955).



◘ **Abb. 11.20 Zusammenwirken** von physiologisch bedingter Verhaltensbereitschaft (Stimmung) und Stärke (Größe) des wahrgenommenen Auslösereizes beim Stichling. (Verändert nach Baerends et al. 1955; Eibl-Eibesfeldt 1978)

Ärger oder Widerwillen, während Männer häufiger *positive Emotionen* und Bewertungen wie Erregung oder Neugier äußern. Andererseits zeigen neuere Untersuchungen (Stockton und Murnen 1992), dass die meisten Frauen – jedenfalls die weniger gehemmten, die freiwillig an einer solchen Untersuchung teilnehmen – eine fast ebenso starke Erregung bei den gleichen erotischen Darstellungen berichten wie Männer. Bei Männern bewirken stark erotische Stimuli wie Sexfilme auch markante Veränderungen im Sexualhormonspiegel. Sowohl der LH-Spiegel (luteinisierendes Hormon) als auch kurz darauf der Testosteronspiegel steigen bereits 15–60 min nach Filmbeginn deutlich an (Schweiger und Pirke 1999).

Die Auslösung sexueller Aktivitäten, die zum Orgasmus führen können, weisen bei Menschen ebenfalls eine fast unendliche Vielfalt auf. Berührungen in Form genitaler Zärtlichkeiten, wie sie wohl in allen Kulturen als Teil des sexuellen Vorspiels zu finden sind (Ford und Beach 1951), dürften die primären und unkonditionierten Auslöser sein. Doch beinahe jeder beliebige Reiz oder Gegenstand, der mit genitaler Berührung oder Orgasmus gekoppelt werden kann und verinnerlicht wird, kann zum *erworbenen motivierenden Reiz* werden. Vielfach werden dabei Dinge oder Vorstellungen gewählt, die symbolische Gemeinsamkeiten mit den männlichen oder weiblichen Geschlechtsmerkmalen haben. Jedoch auch nicht sexuelle Gegenstände wie zum Beispiel ein Schuh, aber auch Gerüche, Töne oder Klänge können durch konditionierte Assoziationen (zum Beispiel bei der Masturbation) zum machtvollen Auslöser sexueller Erregung werden, was als **Fetisch** bezeichnet wird.

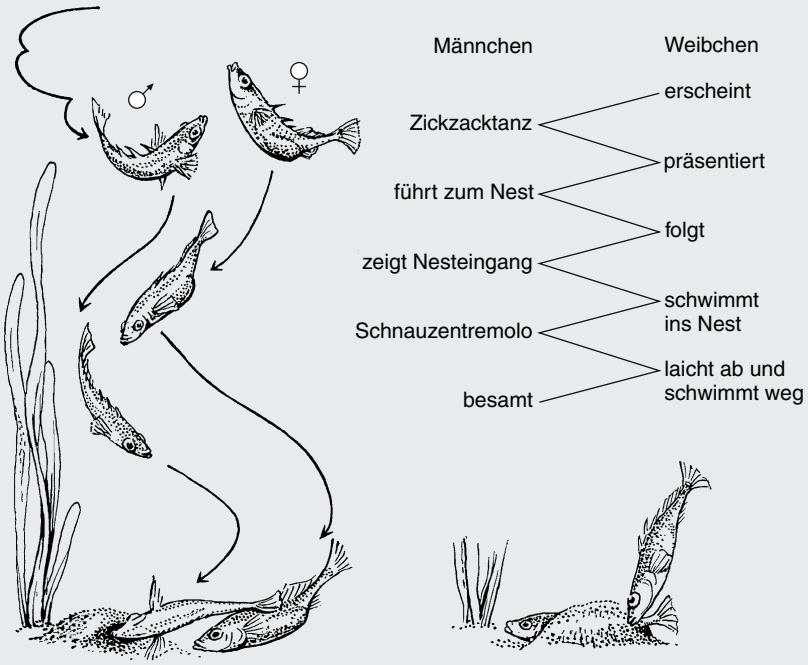
Außer solchen realen Reizen kommt auch *imaginierten Vorstellungen* eine nicht zu unterschätzende stimulierende Wirkung zu. Hierbei handelt es sich nicht nur um Erinnerungen früherer sexueller Erlebnisse, sondern bisweilen auch um reine Fantasien, die nicht mit dem tatsächlichen Verhalten korrespondieren. Das Ausmaß der hierdurch hervorgerufenen sexuellen Erregung ist

Exkurs 11.13

Genauer betrachtet: Ritual des Paarungsverhaltens beim Stichling

Viele Verhaltensweisen, bei denen zwei Partner miteinander interagieren, laufen nach einer Art **Ritual** ab, bei dem die einzelnen Verhaltensweisen des einen Partners wechselseitig ein bestimmtes Verhalten des anderen Partners auslösen und umgekehrt. Ein besonders schönes und in der Ethologie vollständig analysiertes Beispiel einer solchen doppelten Reaktionskette bietet das Paarungsverhalten des Dreistachligen Stichlings (Tinbergen 1951), das in ◘ Abb. 11.21 zusammenfassend und schematisch dargestellt ist. Sobald ein (zur Brutzeit) dickbäuchiges Weibchen in kennzeichnender Bewegungsform im Revier des Männchens erscheint, beginnt dieses sofort mit dem genetisch festgelegten Zickzacktanz (AAM). Dieser Tanz des rotbäuchigen Männchens löst nun eine besondere Präsentierbewegung des Weibchens aus. Diese ist der Auslöser dafür, dass er eilends zum Nest schwimmt. Das veranlasst sie, ihm zu folgen. Ihr Nachfolgen wirkt als Anreiz für ihn, seinen Kopf in den Nesteingang zu stecken. Diese hinweisende Gebärde löst das Einschlüpfen des Weibchens ins Nest aus, was ihn dazu veranlasst, in schneller Folge mit der Schnauze gegen ihren Schwanzstiel zu stoßen, was sie wiederum zum Ablaichen und anschließenden Wegschwimmen veranlasst. Die damit freiwerdenden frischen Eier im Nest endlich veranlassen ihn, diese zu besamen.

Jeden einzelnen dieser Reize kann man im Attrappenversuch nachahmen und damit das entsprechende Verhalten auslösen. Unterbleibt ein Reiz, dann reißt die Verhaltenskette ab. Andererseits können auch Glieder der Kette übersprungen werden, wo immer die Verhaltensfolge durch auslösende Reize bestimmt wird. Auch ein bereits abgehandeltes Verhalten kann bei Wiederholung des auslösenden Reizes wiederholt werden. Auch unter natürlichen Bedingungen ist der Ablauf nicht immer so vollständig und unterliegt mannigfachen Variationen (Baerends et al. 1955).



◘ **Abb. 11.21** Ritual des Paarungsverhaltens beim Stichling. (Eibl-Eibesfeldt, 1978)

jedoch bei Männern und Frauen sehr unterschiedlich (Christiansen 1999).

Sexuelle Motivation resultiert aus dem Zusammenspiel von physiologischer und psychischer Bereitschaft, externaler Reize und imaginierter Vorstellungen (nach Byrne 1982).

11.4.3 Der sexuelle Reaktionszyklus

Die Grundstruktur des sexuellen Reaktionszyklus ist bei den meisten Säugern und Vögeln recht ähnlich. Ehe es jedoch zu diesem kommt, findet in der Regel eine sehr unterschiedlich lang andauernde und sehr unterschiedlich intensive Phase der gegenseitigen Annäherung – im Tierreich als Balz bezeichnet – des Einfühlens und Abstimmens statt. Innerhalb dieser psychologisch bedeutsamen Einleitungsphase sexuellen Verhaltens, die den Stoff und die unerschöpfliche Quelle für Lyrik und Poesie bildet und die insbesondere im ursprünglich indischen Tantra realistisch beschrieben wird, tritt dann als Motivation ein Begehren auf, nach sexueller Erfahrung zu streben.

Physiologisch betrachtet, handelt es sich bei der Anbahnung und Ausführung des sexuellen Aktes um die zeitliche und räumliche Feinabstimmung zwischen zwei Individuen bei der Aktivierung der einzelnen hierarchisch geordneten Reflexbausteine zu einem komplexen Reaktionsmuster. Ein anschauliches und sehr einfaches Beispiel für einen solchen *Interaktionsprozess* bei Tieren bietet die aus der Ethologie bekannte Stichlingsbalz, die in ▶ Exkurs 11.13 beschrieben ist.

Bei der Sexualität des Menschen können vier Stadien unterschieden werden, die nacheinander ablaufen und je das entsprechende Stadium beim anderen Individuum auslösen: (1) sexuelle Attraktion, durch die die Partner zueinander finden, (2) appeti-

Exkurs 11.14

Genauer betrachtet: Kinsey und der sexuelle Wandel

Lange Zeit, noch bis in die 1940er und 1950er-Jahre hinein, war unsere westeuropäische und amerikanische Gesellschaft hinsichtlich des Sexualverhaltens äußerst restriktiv. Sexualität war weithin ein Tabuthema. Die existierende vorpubertäre oder außereheliche Sexualität wurde geleugnet, verdammt oder auch gesetzlich verboten. Ein grundlegender Wandel hin zu mehr Freizügigkeit vollzog sich erst in den Jahren zwischen 1940 und 1970. Hierzu dürften nicht wenig die Veröffentlichungen des von Alfred C. Kinsey und Mitarbeitern erarbeiteten *Kinsey-Reports* beigetragen haben, durch den die wissenschaftliche Untersuchung des normalen menschlichen Sexualverhaltens ihren ersten wichtigen Impuls erhielt. Bei ihren Erhebungen in den Jahren 1948 und 1953, bei denen sie etwa 17.000 Amerikaner anonym hinsichtlich ihres sexuellen Verhaltens befragten, ergab sich, dass gewisse Verhaltensweisen, die bis dahin für selten oder abnormal gehalten worden waren, tatsächlich weit häufiger berichtet wurden. Beispielsweise berichten von den amerikanischen College-Absolventen, die um 1940 interviewt wurden, 27 % der Frauen und 49 % der Männer, im Alter von 21 Jahren bereits vorehelichen Geschlechtsverkehr gehabt zu haben (Kinsey et al. 1948, 1953). Die dann in den 1970er-Jahren durchgeführte Erhebung (Hunt 1974; Tavris und Sadd 1977) an College-Studenten berichtet bereits über Prozentsätze zwischen 40 und 80 % sowohl bei Männern als auch bei Frauen. Weiter hat sich auch in den letzten Jahrzehnten die Altersgrenze nach unten verschoben. Nach einer Untersuchung von Laumann et al. (1994) berichteten sowohl 50 % der Männer wie auch der Frauen, bereits im Alter von 16 bis 17 Jahren Geschlechtsverkehr gehabt zu haben. Auch die Einstellungen zu außerehelichem Sex sowie zu sexuellen Verhaltensweisen wie Masturbation oder oralgenitaler Stimulation (Fellatio und Cunnilingus) wie auch gegenüber der Homosexualität wurden in den letzten 40 bis 50 Jahren zunehmend permissiver. Nach den Erhebungen von Kinsey um 1940 und Hunt um 1970 beträgt der Prozentsatz berichteter orogenitaler Vorspielerfahrungen (nach Hilgard et al. 2000):

Fellatio:	1940:	33 %
	1970:	72 %
Cunnilingus:	1940:	14 %
	1970:	69 %

Nach diesem – auch als sexuelle Revolution der 1970er-Jahre bezeichneten – Umschwung hat sich das Blatt heute wieder gewendet, ausgelöst durch die Angst vor sexuell übertragenen Krankheiten, insbesondere AIDS.

tives Verhalten, das sich in Annäherungen und Einladungen zu intimerer Kontaktaufnahme äußert und bereits mit Erektionen verbunden ist. Es führt (3) zu dem kopulatorischen Verhalten mit der Intromission des Gliedes und mündet in den Orgasmus mit der Ejakulation beim Mann und starken Uteruskontraktionen bei der Frau. Hierauf folgt (4) die postkopulatorische Entspannungsphase.

Kenntnisse über den in der zivilisatorischen Geschichte lange Zeit weitgehend tabuisierten Bereich der Sexualität beim Menschen verdanken wir den Arbeiten von Masters und Johnson (1966, 1970, 1979), die dieses Tabu mit ihren Beobachtungsstudien endgültig brachen. Zuvor hatten bereits in den 1940er-Jahren Alfred Kinsey und seine Mitarbeiter einen ersten, für die amerikanische Öffentlichkeit schockierenden Anstoß in diese Richtung gegeben, indem sie die Ergebnisse ihrer an 17.000 Amerikanern durchgeführten Befragung nach ihren sexuellen Praktiken veröffentlichten (▶ Exkurs 11.14).

Masters und Johnson unterzogen das menschliche Sexualverhalten unter Laborbedingungen der direkten Beobachtung bei gleichzeitiger Aufzeichnung der physiologischen Reaktionsmuster bis hin zum Orgasmus. Dabei stellten sie unter anderem fest:

1. Mann und Frau haben unabhängig von der Quelle der Erregung ähnliche sexuelle Reaktionen.
2. Frauen sind bei der Abfolge der Phasen des bei beiden Geschlechtern sehr ähnlichen sexuellen Reaktionszyklus weniger festgelegt, neigen dazu, langsamer zu reagieren, und bleiben oft länger erregt.
3. Die meisten Frauen sind zu mehrfachen Orgasmen nacheinander fähig, während Männer dies in vergleichbarem Zeitraum nur selten sind. Ferner geht auf ihre Beobachtungen die Beschreibung des sexuellen Reaktionszyklus nach vier aufeinander folgenden Phasen zurück: Erregungsphase, Plateauphase, Orgasmus, Entspannung.

Der eigentliche **sexuelle Reaktionszyklus** beim Menschen verläuft in den zuerst von Masters und Johnson beschriebenen vier Stufen: Erregungsphase, Plateauphase, Orgasmus und Entspannung, wie dies die ◘ Abb. 11.22 schematisch illustriert.

1. In der **Erregungsphase**, die variabel einige Minuten bis zu über einer Stunde dauern kann, kommt es infolge stärkerer Durchblutung zum Anschwellen der Klitoris, die mit der Transudation mukoider Flüssigkeit in der Vagina verbunden ist, und zur Erektion des Penis. Bei Frauen kann es dabei auch zur Rötung des Körpers (*sexual flush*) kommen.
2. In der **Plateauphase**, in der ein variables und individuell unterschiedliches Maß an optimaler Erregung erreicht wird, sind Atmung, Herzschlag und Blutdruck gesteigert, ebenso die Drüsenfunktionen und die Muskelspannung im ganzen Körper. Bei der Frau muss die Plateauphase zumeist länger anhalten als beim Mann, um einen Orgasmus auszulösen.
3. Zu Beginn der **Orgasmusphase**, die mit schnellen rhythmischen Kontraktionen der genitalen Muskulatur einhergeht, wird von beiden Partnern ein Maximum an lustvoller Erregung erlebt, die sich sehr bald nach der Ejakulation in eine wohltuende starke Empfindung wandelt. Der Höhepunkt ist physiologisch durch den Maximalwert der Herzschlagfrequenz (bei etwa 150–160 bpm) sowie des Blutdrucks gekennzeichnet.
4. In der anschließenden **Entspannungsphase** kehren Herzschlag, Blutdruck und Atmung langsam wieder in ihre Ausgangslage zurück. Die nach dem Orgasmus einsetzende Refraktärzeit, die einige Minuten bis Stunden dauern kann, ist nur beim Mann absolut, das heißt, dass in dieser Zeit keine weitere Erektion und kein Orgasmus möglich sind. Frauen sind dagegen bei anhaltender Erregung zu multiplen Orgasmen ohne große Pausen in der Lage (Birbaumer 1999; Bösel 1987).

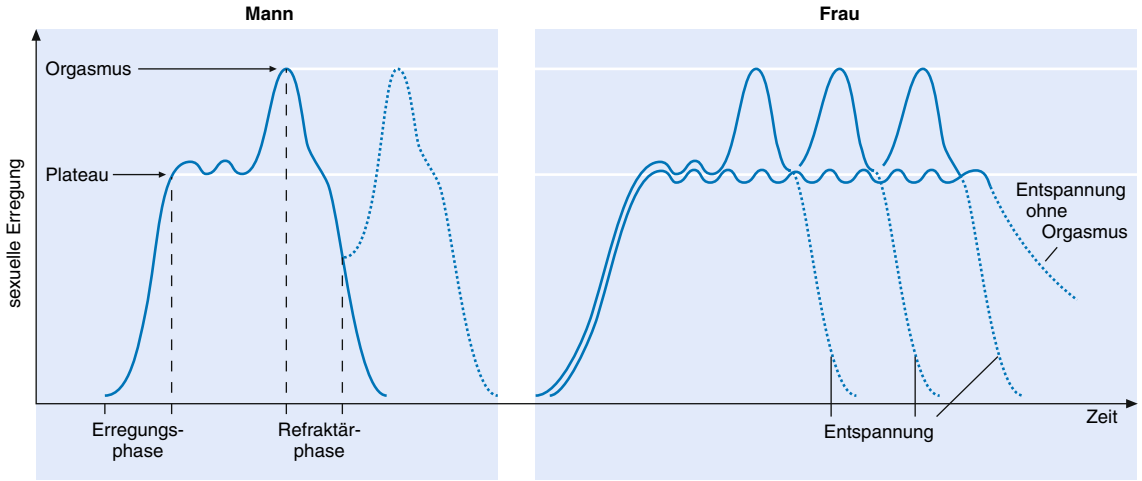


Abb. 11.22 Sexueller Reaktionszyklus beim Mann und bei der Frau. Schematische Darstellung durchschnittlicher zeitlicher Erregungsverläufe sowie die Aufteilung in die vier Phasen Erregungs-, Plateau-, Orgasmus- und Entspannungsphase. Beim Mann stellt sich nach dem Orgasmus eine absolute Refraktärphase ein. Bei der Frau besteht eine größere Variabilität mit einem, mehreren oder auch keinem expliziten Orgasmus. (Birbaumer und Schmidt 1999, Abb. 25-8)

11.4.4 Erfahrung und kulturelle Einflüsse (kulturbedingte Einflüsse)

Im Gegensatz zu anderen Primaten ist das menschliche Sexualverhalten auch wesentlich durch kognitive und kulturelle Einflüsse mitbestimmt. Jede Gesellschaft, auch die sogenannter primitiver Völker, setzt gewisse Restriktionen oder Normen. So zum Beispiel ist Inzest (sexuelle Beziehung innerhalb der Familie) in fast allen Kulturen verboten (was biologisch sinnvoll ist). Dagegen sind andere Formen sexuellen Verhaltens, wie sexuelle Aktivität unter Kindern, Homosexualität, Masturbation oder vorehelicher Geschlechtsverkehr, in verschiedenen Kulturen mit recht unterschiedlicher Toleranz belegt. Bei Naturvölkern oder frühen Kulturen, wie beispielsweise bei dem in Afrika lebenden Stamm der Ashanti, steht der Geschlechtsverkehr mit einem Mädchen, das noch nicht der Pubertäts-Zeremonie unterzogen wurde, unter Todesstrafe für beide Beteiligte. Andere Völker, wie die in Südamerika lebenden Cuna, glauben, dass die Kinder und Jugendlichen in jeglicher sexueller Hinsicht unwissend bleiben sollten, bis sie verheiratet sind. Dagegen gibt es auch andere, sehr permissive Völker, wie die afrikanischen Chewa, die autoerotische Aktivitäten und sexuelle Spiele unter Kindern beiderlei Geschlechts sogar ermutigen, weil sie der Auffassung sind, dass die Kinder ohne solche Erfahrungen später unfähig wären, Kinder zu zeugen.

Wie wir in ▶ Exkurs 11.14 (Kinsey-Report) besprochen haben, gibt es auch in unserem Kulturkreis sexuelle Normen, die aber in den letzten Jahrzehnten eine beträchtliche Wandlung erfahren haben. Aber trotz der enorm gestiegenen Freizügigkeit bleibt Sex auch heute noch in manchen Bereichen – vielfach in stark religiösen Kreisen, aber auch in der normalen Öffentlichkeit – stark tabuisiert, weil er nicht unseren gesellschaftlichen Normen entspricht und damit einen **Tabubereich** bildet.

Ein interessantes Modell zum Verständnis dieses Zusammenspiels zwischen biologischen Bedürfnissen und *sozialen Normen* und der daraus resultierenden Verhaltenssteuerung wurde von Hofstätter (1963) entwickelt, das sich nicht allein auf den erlernten Umgang mit sexuellen, sondern jedweden biologischen Bedürfnissen bezieht. Aus unseren täglichen Erfahrungen können wir wissen, dass unser Verhalten wesentlich an sozialen Wertungen (Soll-Werten) orientiert ist, die uns vorschreiben, was sich ziemt, das heißt, wie man sich in bestimmten Situationen richtig zu verhalten hat. Wer Durst hat, fühlt sich geneigt, von einem Hydranten auf der Straße zu trinken, jedoch steht dies einem „Gentleman" schlecht an. Wie das Hofstätter'sche Beispiel zeigt, entspricht der soziale Soll-Wert zumindest nicht immer dem biologischen Soll-Wert des Verhaltens (nicht trinken – trinken). In ähnlicher Weise gilt dies auch für andere Verhaltensweisen und ethische Normen. So lernen wir in unserer Sozialisation das „richtige" Maß an Gewissenhaftigkeit und sprechen jenseits dieses Soll-Wertes von einem Zwangsneurotiker. Wir lernen ein rechtes Maß an Sparsamkeit, wer darüber hinausgeht, wird als Geizkragen oder Verschwender bezeichnet. Wir lernen all diese Dinge, Verhaltensweisen und Orientierungen wie auch affektive Bewertungen, indem die Gesellschaft als Ganzes für das richtige, sozial akzeptierte Verhalten Belohnungen in Gestalt ihrer Anerkennung oder Nichtanerkennung bereithält, womit die Einhaltung dieser Normen auch als gelernte sekundäre Motivation verstanden werden kann.

So lernen wir ebenfalls, welche sexuellen Verhaltensweisen oder Annäherungsversuche erlaubt sind oder sich ziemen. Auch hier stimmen die sozialen Sollwertsetzungen nicht unbedingt mit den biologischen überein, was in ◘ Abb. 11.23 schematisch und im Kontrast zur tierischen Verhaltenssteuerung (links) dargestellt ist. Auch hier steht neben der „biologischen Befriedigung" eine „soziale Befriedigung". Verhaltensweisen, die diesem normativen Soll-Wert nicht genügen, fallen in die Kategorie des Nicht-Erlaubten und bleiben, wie in ◘ Abb. 11.23 eingezeichnet, tabu.

Bemerkenswert ist, dass es offenbar, wie Hofstätter sagt, im Wesen des normativen Soll-Wertes und seiner dynamischen Funktion liegt, dass Kulturen im Allgemeinen keinen Unterschied zwischen ihrem normativen Soll-Wert und dem biologischen Soll-Wert anerkennen. Der normative Soll-Wert ist in einer stabilen Kultur selbstverständlich und gilt daher als „naturgemäß" (Hofstätter 1963).

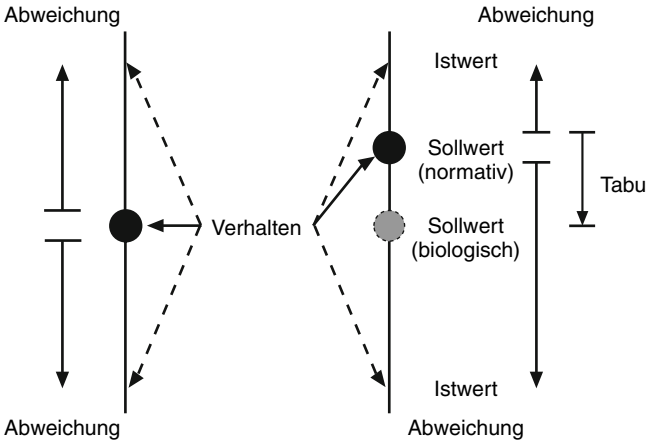


Abb. 11.23 Tierische und menschliche Motivationssteuerung unter dem Einfluss kultureller Faktoren. Die Abweichung normativer Sollwerte von den biologischen begründet den jeweiligen gesellschaftlichen Tabubereich. (Hofstätter 1963, S. 222, Abb. 36)

11.4.5 Sexuelle Skripts

In der gegenwärtigen wissenschaftlich-psychologischen Literatur ist es modern, sexuelles Verhalten auch unter dem Aspekt der Skriptbildung und -bindung zu betrachten. Sexuelles Verhalten unterliegt, wie wir bereits dargestellt haben, je nach Zugehörigkeit zu einem Kulturkreis bestimmten, meist unausgesprochenen (impliziten) Verhaltensregeln beziehungsweise Verhaltensmustern, die durch soziales Lernen im Umgang mit den Mitmenschen erlernt werden.

Sexuelle Skripts sind durch soziales Lernen erworbene Muster sexuellen Verhaltens. Sie enthalten implizit Anweisungen darüber, was sexuell wann, wie, und wer mit wem, oder mit was und warum zu tun ist (Gagnon 1977).

Die von uns individuell verinnerlichten Skripts können sehr unterschiedlich sein, was sich aus unseren individuellen Lerngeschichten ergibt, die sich im Gegensatz zu anderen Skripten – wie dem eines Restaurantbesuches – lebenslang den Erfahrungen entsprechend verändern können. Andererseits wurden und werden solche Erfahrungen auch durch unsere soziale Schichtzugehörigkeit mitbestimmt, die das Sexualverhalten und unsere Einstellung zur Sexualität vermutlich stärker beeinflussen als unsere Geschlechtszugehörigkeit. Nach Bell (1974) sind zum Beispiel Frauen einfacherer Bildungsschichten weniger anspruchsvoll, was die Anwendung unterschiedlicher Praktiken, aber auch was die Häufigkeit des Geschlechtsverkehrs anbelangt. Sie empfinden es unter anderem eher als unanständig, verführerisch erotische Praktiken anzuwenden, und entwickeln eher Schuldgefühle, wenn sie solchen Wünschen des Partners „nachgeben". In solchen Fällen liegen offenbar unterschiedliche Rollensozialisationen der Gesellschaft vor, die der Frau eher Passivität und Verantwortlichkeit zuweisen, den Männern hingegen männliche Selbstbestätigung und Leistung. So können unterschiedliche Skripts der Partner Probleme in der Übereinstimmung zwischen ihnen hervorrufen, wenn sie nicht besprochen und aufeinander abgestimmt werden. Skripts als *erlernte Programme* umfassen soziale Normen, persönliche Einstellungen und Werte sowie individuelle Erwartungen oder auch angenommene oder bevorzugte Verhaltenssequenzen (▶ Exkurs 11.15).

Dabei beinhalten die individuellen Skripts natürlich auch unsere Erwartungen an den Sexualpartner, was wir von ihm als angemessene Reaktionen erachten, was wir als gesund und notwendig oder was wir als krankhaft oder gar als pervers bewerten. Solche Wertungen wurden lange in den verschiedenen Kulturen einschließlich der unseren von den Religionen und Kirchen vermittelt. Doch mit den veränderten Sozialisations- und Aufklärungspraktiken sowie den sich wandelnden Ansichten über die Geschlechterrollen ist hier manches in Bewegung gekommen, auch hinsichtlich der Akzeptanz und dem Austausch unterschiedlichster sexueller Skripts. Dies wiederum dürfte möglicherweise auch Einfluss haben auf den bei Männern und Frauen unterschiedlichen Ablauf des von Masters und Johnson (s. oben) beschriebenen und als biologisch bedingt angesehenen sexuellen Reaktionszyklus.

11.4.6 Anschlussbedürfnis und Bindungsverhalten

Das Streben nach positiven affektiven Beziehungen zu einzelnen Menschen, Gruppen oder auch Tieren ist ein universelles Bedürfnis, das wir sowohl beim Menschen als auch bei vielen Tierarten vorfinden. Dieses *Bedürfnis nach Anschluss oder Zugehörigkeit*, das beim Menschen zumeist auch mit einem Wunsch nach **Intimität** verbunden ist, hat seine biologischen Wurzeln zum einen in dem biologischen Selektions- und **Überlebensvorteil**, zum anderen in dem bei Tieren gegebenen Brutpflegetrieb. Aber auch wir Menschen sind von Geburt an auf Gemeinschaft angelegte Geschöpfe. Zusammenschlüsse zu Gruppen bei Tier und Mensch sichern für die einzelnen Individuen der Gruppe eine höhere Überlebenschance, als sie Einzelindividuen in der Regel haben (Eibl-Eibesfeld 1997). So bilden viele Fische und Vögel zum Schutz vor Fressfeinden zusammenhaltende Schwärme. Großsäuger der deckungsarmen Savannen finden sich zu Herden zusammen. Solche Schutzverbände können vorübergehend sein (Wanderschwärme, Vogelzug und Jungfischschwärme, wie wir dies ähnlich auch beim Menschen kennen, zum Beispiel in Form von Jugendgruppen oder Reisegesellschaften), oder sie können zeitlebens beibehalten werden. Auch tierische Schutzverbände dienen nicht nur passiv dem Schutz des Einzelnen, der in diesen weniger leicht angegriffen wird, sondern sie können auch aktiv für Schutz sorgen. Vögel in einer Brutkolonie stehen sich ebenso wie viele Familien und Herdenmitglieder aktiv gegenseitig bei, wenn sie von einem Feind bedroht werden. Delfine stehen verwundeten Artgenossen bei und heben sie zur Wasseroberfläche, damit sie atmen können; sie umkreisen Gebärende und schützen sie vor Haien (Siebenaler und Caldwell 1956).

Das Streben nach Anschluss ist zumeist, insbesondere bei Kindern und Jungtieren, so groß, dass soziale Trennung oder gar Isolierung Unwohlsein, Apathie und auch physiologische Stressreaktionen, wie Ausschüttung von Glucocorticoiden (Stresshormone), zur Folge hat. Zum anderen äußert sich das Bedürfnis nach positiv affektiver Interaktion mit anderen Menschen in

Exkurs 11.15

Genauer betrachtet: Geschlecht und Einstellung

Ob genetisch bedingt oder eher sozial erworben, berichten die meisten vergleichenden Studien über gravierende Unterschiede in den Einstellungen zur Sexualität bei Männern und Frauen. So hat man zum Beispiel nach Malamuth (1996) zumeist recht, wenn man annimmt, dass ein Leser von Hardcore-Pornografie ein Mann ist, ein Leser romantischer Romane dagegen eine Frau. In einer sorgfältigen Erhebung an 3432 US-Bürgern zwischen 18 und 59 Jahren wurde gefragt, wie oft sie an Sex denken, „jeden Tag" oder „mehrmals am Tag". Diese Frage wurde von nur 19 % der Frauen, aber von 54 % der Männer bejaht (Laumann et al. 1994).
In einer an 251.000 amerikanischen College-Studenten durchgeführten Befragung stimmten 54 % der Männer, aber nur 32 % der Frauen der Aussage zu: „Wenn sich zwei Personen wirklich mögen, auch wenn sie sich erst kurze Zeit kennen, ist es in Ordnung, auch Sex zu haben" (Sax et al. 1996). Clark und Hatfield (1989) ließen in ihrer experimentellen Feldstudie einen durchschnittlich aussehenden studentischen Assistenten auf dem Universitätsgelände attraktive Studenten des jeweils anderen Geschlechts ansprechen, ob sie nicht „heute Nacht mit ihnen ins Bett gehen wollten". Während alle Frauen zumeist irritiert ablehnten, gingen 75 % der Männer auf das schnelle Angebot ein. Auch ihre zwei Wiederholungsuntersuchungen, von denen eine in einem AIDS-Gebiet durchgeführt wurde, erbrachten die gleichen Resultate: Keine Frau, aber über die Hälfte der Männer waren bereit, mit einer/einem Fremden ins Bett zu gehen (Clark 1990). Das heißt aber auch, dass der restliche Teil der Männer so wie der restliche Teil der Frauen nicht dazu bereit ist.
Auch in der Beurteilung von Verhaltensweisen des täglichen Umgangs finden sich geschlechtsspezifische Einstellungs- und Erwartungsunterschiede. So attribuieren (vgl. ▶ Abschn. 11.5.6) in der Regel Männer wesentlich häufiger als Frauen die herzliche Freundlichkeit eines, beziehungsweise einer anderen, auf sexuelles Interesse (Abbey 1987; Johnson et al. 1991). Solche offenbar gängigen Fehlattributionen weiblicher Herzlichkeit als sexuelles Angebot können die soziale Interaktion erschweren und führen nicht selten zu mehr oder weniger weit reichenden sexuellen Belästigungen (Muehlenhard 1988).

kulturellen und gesellschaftlichen Zusammenkünften. Nach Buss (2000) zählt die Befriedigung der **Anschlussmotivation** zu den wichtigsten Quellen für emotionales Wohlbefinden und Zufriedenheit. Die Stärke des Anschlussmotivs, das bei einzelnen Individuen sehr unterschiedlich stark ausgebildet ist, lässt sich durch soziometrische Rating-Verfahren, ähnlich dem in ▶ Exkurs 11.16 besprochenen TAT, messen und quantifizieren. Wie Atkinson und Walker (1956) zeigen konnten, haben Personen mit einem starken Bedürfnis nach Anschluss (*need for affiliation*) ein feineres Gespür für soziale Beziehungen und lernen solche sozial-emotionalen Bezüge leichter. Personen mit hoher *need for affiliation* schreiben öfter Briefe, führen mehr Telefongespräche und machen mehr Besuche bei Freunden als Personen mit niedriger Anschlussmotivation (Lansing und Heyns 1959).

Anschlussmotivation

Anschlussmotivation bezeichnet das Bedürfnis nach Aufbau, Aufrechterhaltung oder Wiederherstellung einer positiven affektiven Beziehung mit anderen Personen oder Gruppen (Atkinson et al. 1954).

Eine zweite evolutionäre Wurzel der Anschlussmotivation wird mit Eibl-Eibesfeld (1997) in dem bei Tieren weit verbreiteten Brutpflegetrieb gesehen, der sich in dem ausgeprägten **Fürsorgeverhalten** (Bindungsverhalten) gegenüber den eigenen Jungtieren äußert. Das Fürsorgeverhalten oder **mütterliches Verhalten** (*maternal behavior*) ist bei vielen, insbesondere höheren Tierarten eine genetisch verankerte Verhaltenstendenz. Die ihr zugrunde liegende Motivation wird in der Literatur unterschiedlich auch als **Brutpflegetrieb** oder -bedürfnis (*parental behavior*) oder Fürsorgetrieb bezeichnet. In vielen Fällen ist das Bedürfnis, die eigenen Kinder zu schützen, zu pflegen, zu hüten und zu umsorgen, weitaus stärker verhaltensbestimmend als Hunger, Durst oder Sexualität (▶ Exkurs 11.16).

Physiologische Aspekte

Bei Primaten einschließlich der Menschen haben Hormone in der Regel einen weit geringeren Einfluss auf das Fürsorgeverhalten, sodass Fehlverhalten und Kindesmissbrauch möglich werden. Beim Menschen wie auch bei anderen Primaten kommt der eigenen Erfahrung und dem Lernen in der frühen Sozialisation die weitaus größere Bedeutung zu. Nach vorsichtigen Schätzungen werden in den USA 350.000 bis 1 Mio. Kinder jährlich physisch, sexuell oder emotional von ihren Eltern oder Familienangehörigen missbraucht oder ernstlich geschädigt (Wolfe 1985). Diese Eltern haben, wie sich zeigte, ihrerseits als Kinder kaum oder keine liebevolle Zuwendung erhalten und sind selbst oft geschlagen worden. Die Bedeutung der frühen eigenen Erfahrung für das adäquate mütterliche Verhalten ließ sich auch im Tierexperiment bestätigen. Werden weibliche Affen in sozialer Isolation aufgezogen, so zeigen sie später als Mütter gegenüber den eigenen Jungen keine der normalen mütterlichen Verhaltensweisen. Sie zeigen keinerlei Zuwendung und ignorieren die Jungtiere generell und beißen sie in Extremfällen zu Tode (Suomi et al. 1972).

Dennoch scheinen auch beim Menschen hormonelle Wirkungen mit im Spiel zu sein, jedenfalls was die Prozesse *sozialer Bindung* anbelangt. So wird die natürliche Bindung zwischen Mutter und Kind in der frühen Phase durch die Bildung des Neuropeptids **Oxytocin** gefördert, das während der Stillzeit vermehrt vom Hypophysenhinterlappen ausgeschüttet wird und bei Frauen sonst die Kontraktionen des Uterus und das Einschießen der Milch stimuliert. Nachgewiesen wurde diese Wirkung bei Schafen. Diese bauen, wenn ihnen Oxytocin injiziert wird, automatisch eine soziale Beziehung zu einem Lamm auf, das sich in ihrer Nähe befindet. So wurde Oxytocin schon früh als „Hormon der Mutterliebe" bezeichnet. Oxytocin stärkt aber auch die Bindung zwischen den Geschlechtspartnern, so bei in Paaren lebenden Säugetieren, bei denen dieses Peptid während des Geschlechtsverkehrs ausgeschüttet wird.

Beim Menschen bewirken Körperkontakt wie Massagen und Wärme die Ausschüttung von Oxytocin. Da Oxytocin bei

Exkurs 11.16

Genauer betrachtet: Fürsorgeverhalten

Im Experiment lässt sich zum Beispiel zeigen, dass eine Mutterratte mehr und größere Hindernisse überwindet und größere Strapazen auf sich nimmt, um zu ihren Jungen zu gelangen, als zu Futter, wenn sie hungrig ist, oder zu Wasser, wenn sie durstig ist (Atkinson et al. 1990). Mütterliches Verhalten ist ähnlich wie das Sexualverhalten bei niederen Tieren einerseits weit stärker hormonell gesteuert, andererseits auch stärker von auslösenden beziehungsweise stimulierenden Reizen abhängig als bei Primaten. Jungfräuliche Ratten, denen man Rattenbabys in den Käfig gibt, beginnen schon nach wenigen Tagen, ein Nest zu bauen, die Kleinen zu belecken und sie ins Nest zurückzutragen. Überträgt man Blutplasma von einem gebärenden Muttertier auf eine jungfräuliche Ratte, die noch keine Jungen geboren hat, so zeigt diese schon am selben Tage mütterliches Brutpflegeverhalten (Terkel und Rosenblatt 1972). Das Fürsorgeverhalten ist offenbar ein angeborenes, im Gehirn vorprogrammiertes Verhaltensmuster, das sowohl durch äußere Reize (Kindchenschema, Baby) als auch durch übertragene Hormone angeregt und aktiviert wird. Das anregende Hormon ist in diesem Fall das Prolaktin, das nach der Geburt vom Hypophysenvorderlappen ausgeschüttet wird und die Milchdrüsen zur Produktion anregt.

Primaten die Bereitschaft zur Fellpflege (*grooming*) erhöht und dieses wiederum zu weiterer Oxytocinausschüttung führt, wird angenommen, dass Oxytocin auch bei anderen Formen positiver sozialer Interaktion beteiligt ist und beim Menschen auch beim „symbolischen Kontakt" zum Beispiel eines herzlichen Gesprächs ausgeschüttet wird (Uvnäes-Moberg 1998). In dieselbe generelle Richtung gehen die Überlegungen von Eibl-Eibesfeld (1997), dass die Vielfalt menschlicher Bindungen an den Ehepartner, die Kinder, an Freunde und Verwandte, aber auch an Haustiere sowie sogar unbelebte Gegenstände, ihre evolutionären Wurzeln in der primären Bindung des Säuglings an seine Eltern hat.

11

Soziale Aspekte

Als Menschen sind wir von Geburt an auf Gemeinschaft angelegte Geschöpfe und haben das **Bedürfnis nach Zugehörigkeit** zu anderen Personen oder zu einer Gruppe, in der wir Anerkennung und **soziale Akzeptanz** finden. In allen bekannten Kulturen leben Menschen in Gruppen und fühlen sich zugehörig zu einer Gruppe, womit sie sich auch von anderen Gruppen als „wir" unterscheiden. Dazu zählen: Familie, Großfamilie, Klassen-, Interessen-, Arbeits- und anderen Gemeinschaften. In einer Umfrage, bei der Personen danach befragt wurden, „was gibt deinem Leben Sinn", gaben die meisten ihre befriedigenden Beziehungen zur Familie, zu Freunden oder Partnern an (Berscheid 1985)

Dass das Bedürfnis nach Zugehörigkeit wichtiger ist als nach Reichtum sein kann, zeigte sich in einer Studentenbefragung. „Sehr glückliche Studierende" unterschieden sich von ihren anderen Kommilitonen nicht durch das ihnen zur Verfügung stehende Geld, sondern durch „reichhaltige und befriedigende enge Beziehungen" (Diener und Seligman 2002, S. 83).

Ein Großteil unseres Sozialverhaltens zielt darauf ab, gesellschaftlich akzeptiert, anerkannt und Teil einer Gruppe zu sein. Diese Zugehörigkeit stärkt unser Selbstbewusstsein (Leary et al. 1998). Diese Motivation veranlasst uns auch dazu zu versuchen, einen guten Eindruck zu erwecken (oder zu imponieren) und Wertschätzung zu erlangen. Dafür werden vielerorts auch Unsummen für Kleider, Kosmetika. Fitness, Diät oder Schönheitsoperationen ausgegeben. Andererseits führt das Bedürfnis nach Zugehörigkeit auch zur Bildung von Gangs oder kriminellen Vereinigungen. Nach Baumeister und Leary (1995) ist unser Zugehörigkeitsbedürfnis eine fundamentale menschliche Motivation.

Einmal geschlossene Gruppenbildungen aufzugeben ist zumeist schmerzhaft und wir versuchen sie möglichst aufrecht zu erhalten, z. B. wenn die Schulklasse aufgelöst wird, wenn ein Ferienlager beendet ist, indem wir versprechen, anzurufen oder zu schreiben. Bindungen können Menschen sogar in Beziehungen festhalten, in denen die körperlich oder seelisch missbraucht werden. Wenn jemandem das Bedürfnis nach Zugehörigkeit abgesprochen wird, z. B. durch sozialen Ausschluss, Ächtung oder Nichtzulassung zu einer Gruppe (Schulverweis), kann das für den Betroffenen nicht nur sehr schmerzhaft sein, sondern auch zu unerwarteter (Selbst-)Aggressivität führen (Twenge et al. 2001, 2002; vgl. auch ▶ Abschn. 12.5).

11.4.7 Neugier- und Explorationsverhalten

Ein weiteres Handlung leitendes Motivthema ist die Neugier. Neugierverhalten ist schon bei Kleinkindern und jungen Tieren zu beobachten. Bereits Säuglinge schauen im Experiment schon länger auf eine unbekannte Reizvorlage als auf eine bekannte, wenn ihnen zwei solche vorgehalten werden. Neugier regt Affen an herauszufinden, wie sich ein Riegel öffnen lässt, der nichts verschließt, oder wie sich ein Fenster öffnen lässt (Butler 1954). Neugier ist der Antrieb für Kinder, die Welt zu erkunden, (▶ Exkurs 11.17) ebenso wie für die Wissenschaftler, Neues zu entdecken und die Welt zu verstehen. Menschen, die wie Entdecker und Abenteurer Risiken und Aufregung genießen oder Neues ausprobieren, werden auch als „Sensation Seeker" bezeichnet (Zuckermann 1979).

Bei Tieren nimmt das Neugier- und Explorationsverhalten mit ihrer Stellung in der Evolutionsreihe zu und ist beim Menschen am stärksten ausgeprägt (◘ Abb. 11.24). Es steht in positivem Zusammenhang mit der Entwicklungshöhe der corticalen Funktionen einer Art. Es ist davon auszugehen, dass die Tendenz, die sächliche und soziale Umwelt zu erkunden, zur angeborenen Ausstattung auch des Menschen gehört. Bei Tieren hat Lorenz (1943, 1950) den Selektionsvorteil des Neugierverhaltens ausführlich begründet und dargelegt, dass der Vorteil für solche Arten besonders hoch ist, die nicht auf bestimmte Biotope des Nahrungserwerbs festgelegt sind, und dass solche „Spezialisten auf Nichtspezialisiertsein" wie Ratten und Rabenvögel, aber auch der Mensch ein besonders hohes Ausmaß an Neugierverhalten zeigen und sich so durch individuelles Lernen wandelnden Umwelten anpassen.

Tiere und Menschen zeigen mit zunehmender Vertrautheit des Neuen einen Abfall der Zuwendung. Sie gewöhnen sich (habituieren) an die neuen Gegebenheiten, die ihren Anreizcha-

Exkurs 11.17

Experiment: Welterkunden bei Krabbelkindern

Einjährige Krabbelkinder, denen im Experiment die Möglichkeit geboten wurde, von einem zentralen Raum in einen von zwei angrenzenden Räumen zu krabbeln, in denen je ein Spielzeug sichtbar lag, und von denen ein Raum bereits bekannt, der andere unbekannt war, krochen elf von zwölf Kindern zunächst in den noch unbekannten Raum, und sie verbrachten dort viermal so viel Zeit wie in dem Raum mit dem bekannten Spielzeug (Ross et al. 1972).

rakter damit alsbald verlieren (Abb. 11.24). Ferner erfolgt das Explorieren auch darum nicht unbegrenzt, weil neue Objekte und Situationen gleichzeitig Furcht und Vermeidungsverhalten hervorrufen, insbesondere wenn das Neue stark vom Gewohnten und Erwarteten abweicht. (Ein schönes Bespiel finden Sie in *Zusatztext online*). Nach Berlyne (1960) lassen sich zwei Arten des Neugierverhaltens unterscheiden:

1. **Spezifisches (gerichtetes) Neugierverhalten**. Es wird ausgelöst durch konkrete neuartige Reize in der Umwelt und ebbt allmählich ab durch Vertrautwerden.
2. **Diversives Neugierverhalten.** Es tritt auf als eine Reaktion auf reizarme, monotone Situationen, in denen wir Langeweile erleben, und äußert sich im Suchen nach Stimulation irgendeiner Art.

Beim *spezifischen Neugierverhalten* lassen sich als Reizcharakteristika unterscheiden: Neuigkeit, Komplexität und Zweideutigkeit sowie die objektive Unsicherheit von möglichen Ereignissen. Es wird angenommen, dass diese verschiedenen Reizqualitäten alle einen Zustand der Unsicherheit erzeugen, der seinerseits das spezifische Neugierverhalten anregt, das eine erhöhte Informationsaufnahme ermöglicht, welche die Unsicherheit wieder reduziert (Schneider und Schmalt 2000).

Bei dem *diversiven Neugierverhalten* war das Interesse der Forschung vor allem auf das sog. Sensation-Seeking-Motiv gerichtet, eine von Zuckermann (1979) beschriebene Verhaltensdisposition, die durch das Bedürfnis nach neuen Eindrücken sowie besonders risiko- und abwechslungsreichen Verhaltensweisen gekennzeichnet ist. Die zur Untersuchung des Ertragens von Isolation und der hierbei beobachteten großen individuellen Unterschiede entwickelte „Sensation-Seeking-Scale" (Zuckermann 1990, 1994) zeigte, dass auch das Motivationskonstrukt selbst sehr heterogen ist, ebenso wie das Verhalten, das vorhergesagt werden soll.

Spezifisches Neugierverhalten. wird ausgelöst durch konkrete neuartige Reize. Diversives Neugierverhalten äußert sich im Suchen nach Stimulation irgendeiner Art.

Aus physiologischer Sicht lässt sich auch hier wieder fragen, welche neurophysiologischen Mechanismen liegen solchen schon in der frühen Kindheit in Erscheinung tretenden nach Befriedigung suchenden Verhaltensweisen zugrunde. Auch bei den noch zu besprechenden nicht biologischen Motivationen, wie Leistungsmotivation oder Machtmotivation, hat man sich schon früh diese Frage gestellt, was dem Erleben von Lust – Unlust,

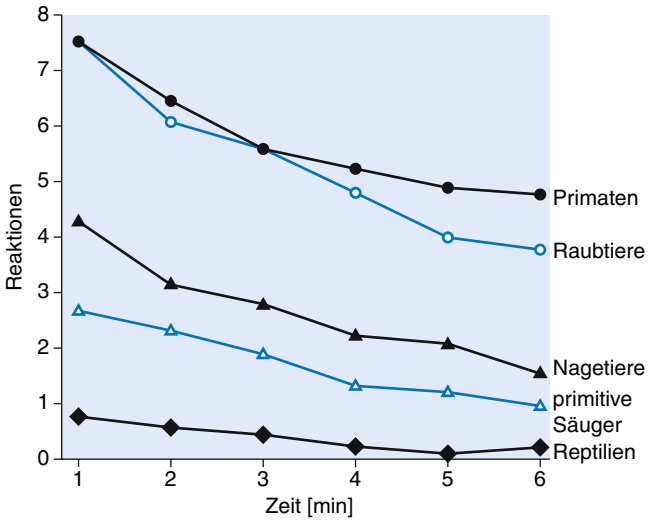


Abb. 11.24 Explorierendes Neugierverhalten bei verschiedenen Tierstämmen und -ordnungen. Anzahl Erkundungsreaktionen in Abhängigkeit von der Zeit ab der Objektdarbietung. (Schneider und Schmalt 1981, 2000, S. 161)

Erfolg – Misserfolg neurophysiologisch zugrunde Liegt. Insbesondere angeregt durch die auf Freud zurückgehende Annahme eines „Lustprinzips" wurden beginnend in den neunzehnhundertsechziger Jahren zahlreiche Untersuchungen durchgeführt, die zum Nachweis solcher **Lust- oder Belohnungszentren** führten, und die auch bei der Entwicklung von Suchtverhalten eine Rolle spielen. Ausführlicheres in *Zusatztext online*.

11.5 Kognitive Motivationsmodelle

Bei der Betrachtung unseres menschlichen Verhaltens, so wie wir es in unserer zivilisatorischen Welt täglich erleben, einerseits und den vorangehenden Ausführungen über die biologischen Motivationen andererseits, wird sich mancher die Frage stellen, wie weit sich denn wirklich all unser tägliches Verhalten aus den biologischen Bedürfnissen nach Nahrung, Wasser, Sex oder nach optimaler Stimulation erklären lässt. Zwar haben wir eingangs ein Beispiel angeführt, wie sich aus dem einfachen Wärmebedürfnis verschiedene Handlungsfolgen, die auch Leistungen des Arbeitens mit einschließen, ableiten lassen, doch sind die meisten von uns in der glücklichen Lage, dass ihre diesbezüglichen Bedürfnisse weitgehend befriedigt sind, und erleben sowohl im Berufs- als auch im Privatleben ganz andere, eher psychologisch ausgerichtete Bedürfnisse als handlungsbestimmend.

So hat es – ähnlich wie bei den frühen Triebtheorien – nicht an Ansätzen gefehlt, verschiedenste **nichtbiologische Bedürfnisse** zu beschreiben. Die von Murray (1938) aufgrund seiner intensiven Untersuchungen als repräsentativ aufgeführten 20 Bedürfnisse (Tab. 11.1) geben uns eine Vorstellung davon. Er postulierte bereits damals ein Handlungsmotiv, „ein Bedürfnis, etwas zu leisten", das heute in der kognitiven Motivationsforschung als **Leistungsmotivation** eine Vorrangstellung einnimmt. Ein solches Leistungsbedürfnis ist, wie auch Murray feststellte, bei verschiedenen Personen in unterschiedlich starkem Maße

Tab. 11.1 Liste der von Murray (1938) aufgeführten Bedürfnisse des Menschen

Demütigung	Schadensvermeidung
Leistung	Demütigung vermeiden
Geselligkeit	Pflege
Aggressivität	Ordnung
Autonomie	Spiel
Widerstand	Ablehnung
Verteidigung	Empfindung
Ehrerbietung	Sex
Dominanz	Beistand
Selbstdarstellung	Verstehen

ausgebildet, weshalb er es auch als **Persönlichkeitsmerkmal** ansah, das er mit **n** (für *need*) bezeichnete. Es ist aber, wie Murray ebenfalls erkannte, zu großen Teilen eine Funktion von Umweltfaktoren, was er als Umwelteffekt **p** (für *press*) bezeichnete. Wenn wir zum Beispiel sehen, wie ein Freund einen anderen beim Schachspiel besiegt, könnte dies unser eigenes **Leistungsmotiv** anregen, sofern auch wir überhaupt eine Motivation zum Schachspiel haben, und uns veranlassen, den Freund hernach ebenfalls herauszufordern. Das eigene *persönliche* Leistungsbedürfnis (n Leistung) und die Anregung durch die *Umwelt* (p Leistung) zusammen führen nach Murray zu der erlebten Motivation. In gleicher Weise lassen sich nach Murray auch die biologischen oder – wie er sie nennt – **viszerogenen Bedürfnisse** verstehen: Der Anblick einer leckeren Speise (p Nahrung) zusammen mit dem „viszerogenen" Bedürfnis nach Nahrung (n Nahrung) würde uns zum Essen motivieren.

11.5.1 Hierarchie der Motive

Im Gegensatz zu Murray, der mit seiner Liste von angenommenen Grundbedürfnissen mit Sicherheit nicht die ganze Breite menschlicher Motivationen abdeckt, geht Maslow (1970) in seiner Motivationstheorie davon aus, dass die Vielzahl der menschlichen Bedürfnisse eine Hierarchie bilden, in der sich alle denkbaren Bedürfnisse anordnen lassen, ohne dass sie im Einzelnen aufgeführt werden müssen. Grundlegend unterscheidet er dabei zwei Motivationsformen:

1. **Mangelmotivationen**, die uns veranlassen, unser physisches oder psychisches Gleichgewicht wiederherzustellen.
2. **Wachstumsmotivationen**, die uns veranlassen, über unser bisheriges Tun und Handeln hinauszuwachsen.

Wachstumsmotivationen nach höheren, ideell philosophisch oder politisch vorgestellten Zielen lassen eine Person zum Beispiel Demütigung, Schmerz, Hunger oder auch Autonomieverlust und Tod in Kauf nehmen und ertragen, weil sie diese als Mittel oder Schritte auf dem Weg zur umfassenden Aktualisierung ihres Potenzials zur Erreichung der gesteckten Ziele betrachtet.

Widerstandskämpfer, Revolutionäre, die vor nichts zurückschrecken, oder Märtyrer können bereit sein, Unsägliches zu erleiden, um ihren Wertvorstellungen entsprechende, hoch gesteckte Ziele erreichen zu wollen.

Maslows Bedürfnishierarchie

Unter solchen Aspekten gruppierte Maslow unsere als angeboren betrachteten Bedürfnisse zunächst in fünf, dann sechs und später in acht Kategorien in einer aufsteigenden hierarchischen Reihenfolge, die als **Maslows Bedürfnishierarchie** bekannt geworden ist (Abb. 11.25). Zuunterst in dieser Hierarchie finden sich unsere grundlegenden biologischen Bedürfnisse. Ihre Befriedigung hat den Vorrang vor der der anderen, deren Befriedigung zunächst aufgeschoben werden kann. Die höher stehenden Bedürfnisse kommen, nach Maslows Theorie, erst dann zum Tragen, wenn die jeweils niederen erfüllt sind. So werden wir uns zum Beispiel – auf der nächsten Stufe – erst wenn unsere Sicherheitsbedürfnisse befriedigt sind, durch unsere Bindungsbedürfnisse, lieben und geliebt zu werden, motivieren lassen.

Als Begründer der Bewegung der „humanistischen Psychologie" maß Maslow der (zunächst letzten) Stufe der Selbstverwirklichung eine besondere Bedeutung im menschlichen Leben zu. **Selbstverwirklichung** beschreibt das Bedürfnis, sich selbst zu erfüllen, „das zu werden, wozu man fähig ist", seine Talente und Fähigkeiten voll zu entwickeln. In seinen späteren Jahren fügte Maslow der Hierarchie als höchste Stufe noch das Bedürfnis nach **Transzendenz** hinzu, nach spiritueller Identität jenseits des persönlichen Selbst, als höchsten Punkt menschlichen Strebens und höchste Stufe der **moralischen Entwicklung** (Maslow, 1970). (Zur Stufentheorie der moralischen Entwicklung siehe Kohlberg 1976, 1981.)

Maslows Theorie hat sowohl herbe Kritik als auch Anerkennung gefunden; Kritik, weil seinen Aussagen angemessene experimentelle Belege fehlen und seine Begriffe unklar und eher verschwommen erscheinen und die realen Erfahrungen des Einzelnen durch dieses Modell vom eigentlich „guten Menschen" oft schwer erklärbar sind. Anerkennung und Einfluss fand sein Ansatz dagegen in Bereichen der Erziehung und der Therapie, wo ein vergleichsweise – zur beispielsweise bloßen Spannungsreduktion – so positiv optimistischer Ansatz begrüßt wurde, der die Aktivierung und Optimierung des eigenen Potenzials zum Ziel hat.

Nach Maslow verfügen wir alle über eine in Ebenen gegliederte Hierarchie angeborener und durch Werte der Umwelt beeinflussbarer Bedürfnisse, die bei ständiger Frustration auch zu pathologischen Formen führen kann.

11.5.2 Leistungsmotivation

Unser Streben danach, etwa Bedeutsames zu erreichen, gestellte Aufgaben hervorragend zu lösen oder herausragende Leistungen zu erbringen, zusammen mit dem Wunsch nach Kontrolle und hohen Standards wird als Leistungsmotivation bezeichnet.

Wesentliche Erkenntnisse über die **Leistungsmotivation** verdanken wir vor allem den umfangreichen Forschungsar-

beiten von David McClelland und J. W. Atkinson. In ihrer viel zitierten Arbeit (McClelland et al. 1953) stellen sie eine Motivationstheorie vor, die den emotionalen Affekten Lust – Unlust bei der Motivationsentstehung eine wichtige Funktion zuweist, und zwar sowohl bei dem Erwerb von Motivationen als auch bei der Entstehung einer aktuellen Motivationsdisposition, die sie als ein Produkt von **situativen Reizen** und dem durch sie in uns erzeugten **Affektwandel** verstehen. Treten früher bereits erlebte Reizsituationen auf (leckere Speise, von der ich ja nur aus früherer Erfahrung wissen kann, dass sie lecker ist), so können die früher erlebten Affekte (angenehm – unangenehm) „antizipatorisch wiederhergestellt" werden. Sie können daher als **Erwartungsemotionen** bezeichnet werden und sind nach McClelland der eigentlich motivierende Faktor, der unser Handeln auslöst, um die ursprünglichen Lustempfindungen wieder zu ermöglichen oder die Unlustaffekte zu vermeiden.

Auch mit diesem Ansatz ist eine Erklärung für die persönlichen, individuellen Unterschiede in der Ausprägung nicht nur der Leistungsmotivation gegeben, denn in ihrer Jugend machen verschiedene Menschen unterschiedliche Erfahrungen, die sie später entsprechend abrufen können.

Thematischer Apperzeptionstest (TAT)

Ihren Ausgangspunkt nahmen die Untersuchungen von McClelland et al. (1953) in dem Bemühen, zunächst überhaupt Verfahren für die Messung der Stärke eines Bedürfnisses im Humanbereich zu entwickeln. Sie gingen dabei von Murrays (1938) **TAT-Technik** aus (► Exkurs 11.16), die sie erweiterten, um auf diese Weise nicht mehr auf bloße Befragungen angewiesen zu sein, sondern das Leistungsmotiv direkt und damit objektiver erfassen zu können. Zur Erfassung der **Motivationsstärke** gaben sie ihren Versuchspersonen Bilder mit leistungsbezogenen Darstellungen vor (zum Beispiel Meister und Lehrling in einer Werkstatt oder einen Musikschüler mit seiner Geige), zu denen die Probanden Geschichten erzählen und sagen sollten, was ihrer Meinung nach auf dem Bild passiert und was die dargestellte Person erlebt. McClelland ging dabei davon aus, dass sich nach Art eines *projektiven Tests* in den Schilderungen der dargestellten Szene die eigenen Werte, Interessen und Motive der Versuchsteilnehmer widerspiegeln. Aus den Reaktionen der Versuchspersonen auf eine Serie solcher Bilder entwickelte McClelland sodann Maße für verschiedene Motive, wie das *Machtmotiv,* das *Anschlussmotiv* und das *Leistungsmotiv.* Dazu wurden die Geschichten jeweils nach einem hierfür entwickelten Inhaltsschlüssel, zum Beispiel auf leistungsthematische Inhalte, analysiert und die Häufigkeit, mit der leistungsthematische Inhalte auftraten, als Maß für die Stärke des Motivs herangezogen. Das so messbar gemachte **Leistungsmotiv** wurde von ihnen als **need achievement** (n Ach) bezeichnet. Es umfasst die Eigenschaften hervorzuragen, Hindernisse zu überwinden, einen hohen Standard zu erreichen oder Schwieriges baldmöglichst zu vollbringen. Nach Bourne und Ekstrand (1992) ist man in den USA so leistungsorientiert, dass der Begriff „Motivation" in weiten Kreisen schon fast gleichbedeutend mit dem Begriff der Leistungsmotivation gebraucht wird.

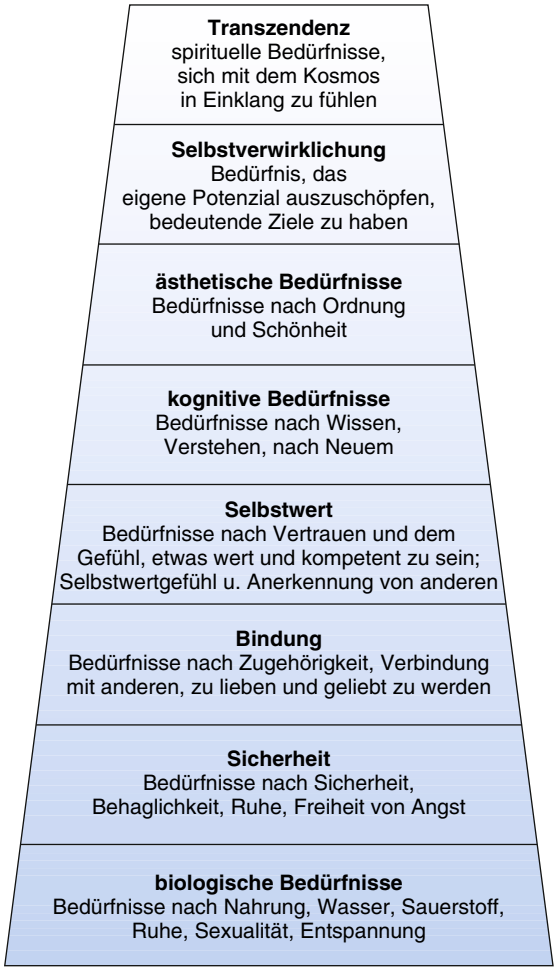


Abb. 11.25 Maslows Bedürfnishierarchie. Die Motivation eines Menschen wird so lange von Bedürfnissen der jeweils tiefsten Hierarchiestufe bestimmt, wie diese noch unbefriedigt sind. Aufmerksamkeit und Handeln wenden sich nach ihrer Erfüllung der nächsthöheren Stufe zu

Leistungsmotivation und Leistung

Bei den Validierungsstudien des Messverfahrens zeigten sich schon sehr früh deutliche Verhaltensunterschiede zwischen Personen mit hoher beziehungsweise niedriger Leistungsmotivation. Hoch Leistungsmotivierte neigten eher dazu, sich auf leistungsbezogene Tätigkeiten einzulassen, und erbrachten höhere Leistungen. Ferner lernten sie schneller und blieben unter bestimmten Bedingungen auch länger bei den leistungsbezogenen Tätigkeiten als niedrig Leistungsmotivierte (McClelland et al. 1953).

Auch weitere Untersuchungen, im Labor und in Feldstudien, erbrachten enge Beziehungen zwischen der Stärke der Leistungsmotivation und ihren Auswirkungen im praktischen Leben, wie aber auch mit bestimmten Entstehungsbedingungen:

1. Eine Analyse von Archivdaten ergab, dass die Menge der leistungsorientierten Bilder in Kinderbüchern einer Epoche mit verschiedenen Maßen der wirtschaftlichen Leistung der Gesellschaft (zum Beispiel Anzahl angemeldeter Patente, Stromproduktion) ein paar Dekaden später signifikant korrelierte (DeCharms und Moeller 1962). Hinsichtlich erzieherischer Einflüsse fand McClelland (1961), dass „protestantische Länder", in welchen nach seiner Aussage die Tendenz besteht, Leistung und Unabhängigkeit als zusammenhängende Tu-

Exkurs 11.18

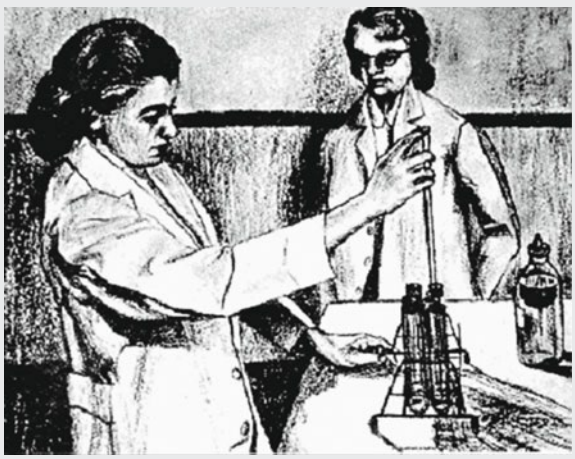
Genauer betrachtet: Thematischer Apperzeptionstest (TAT)

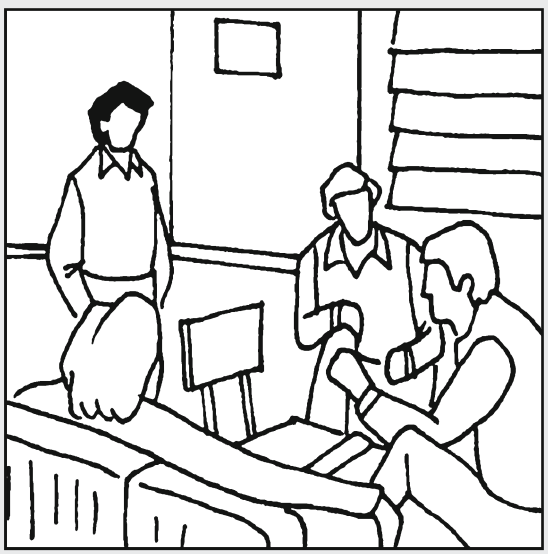
Der thematische Apperzeptionstest (*thematic apperception test*, TAT) ist ein projektives Testverfahren, das von dem amerikanischen Psychologen Murray (1938) im Rahmen der Persönlichkeitsdiagnostik entwickelt wurde. Bei dem Test werden den zu untersuchenden Personen nacheinander verschiedene mehrdeutige Testbilder (wie in ◘ Abb. 11.26a oder zum Beispiel ein tagträumender Junge) vorgelegt, und sie werden gebeten, jeweils eine passende Geschichte dazu zu erfinden, in der beschrieben werden soll, was die Menschen in der dargestellten Szene tun, erleben und denken; ferner, was zu dem jeweiligen Ereignis geführt hat und wie die Situation ausgehen wird.

Ausgewertet werden die Geschichten sodann nach Struktur, Inhalt und dem Verhalten der erzählenden Person, um daraus einerseits emotionale Probleme oder aber andererseits auch *dominante Bedürfnisse* der untersuchten Person zu diagnostizieren. Das Verfahren wurde seither mehrfach weiterentwickelt von McClelland et al. (1972), Verhoff (1957) und Winter (1972).

Da das Verfahren, abgesehen von formalen Kritiken (Entwisle 1972), umständlich und zeitaufwendig ist, hat Schmalt (1976, 1999) ein Verfahren entwickelt, das die Vorteile des TAT mit der Praktikabilität von Fragebogenverfahren kombiniert. Bei diesem nun als **Gitter-(grid)-Technik** bezeichneten Verfahren werden den Probanden ebenfalls Bilder von mehrdeutigen Situationen vorgegeben sowie gleichzeitig eine Liste möglicher Deutungen, die sich mit den Inhaltskategorien des TAT decken (◘ Abb. 11.26b). Die erhaltenen Antworten lassen sich in einer Matrix („Gitter") mit den Dimensionen „Situationen" und „Aussagen" anordnen, woraus dann Kennwertberechnungen durchgeführt werden können. Auch hier sollen, wie beim TAT, die Personen die Bilder durch die Brille ihrer Motive sehen und entsprechend interpretieren.

a





b

	Ja	Nein
Man ist froh, den anderen getroffen zu haben		
Hier Einfluss haben wollen		
Sich hier den Erfolg zutrauen		
An mangelnde spezielle Fähigkeiten denken		
Die Macht Anderer befürchten		
Man fürchtet, den Anderen zu langweilen		

◘ **Abb. 11.26 Beispiele zum Thematischen Auffassungstest und dem Multi-Motivgitter a** Beispiel wie im TAT verwendet. Zu solchen und ähnlichen Bildern sollen die Probanden Phantasiegeschichten erzählen, die nach Häufigkeit bestimmter Motivthemen ausgewertet werden. **b** Beispiel aus dem Multi-Motivgitter, wo anzukreuzen ist, welche Aussage nach eigener Auffassung am ehesten zum Bild passt. (Puca und Langens 2008, in: Müsseler, S. 205)

genden zu schätzen, generell wirtschaftlich weiter entwickelt waren als „katholische Länder".

2. Zur Frage der Auswirkung im praktischen Leben konnten McClelland et al. (1976) in einer Untersuchung feststellen, dass bei Personen mit hohen *n-Ach*-Werten eine größere, aufwärts gerichtete Mobilität besteht als bei Personen mit niedrigen Werten. Auch war es nach dieser Untersuchung bei Söhnen mit hohen *Werten* wesentlich wahrscheinlicher, dass sie den beruflichen Status des Vaters überholten, als bei Söhnen mit niedrigen Werten. So kommen auch generell im Berufsleben Menschen mit hoher Leistungsmotivation weiter voran als Menschen mit niedriger Leistungsmotivation, die die gleiche Ausbildung und die gleichen Aufstiegschancen besitzen.
3. Experimentell konnte gezeigt werden, dass das Beharren auf der Bearbeitung einer unlösbaren Aufgabe bei Personen mit hohem *need-achievement* größer war, wenn die Aufgabe als eher schwierig vorgestellt worden war, während Personen mit niedrigem *n-Ach* unter diesen Bedingungen eher aufgaben, aber dabei verweilten, wenn die (wirklich unlösbare) Aufgabe als eigentlich leicht lösbar vorgestellt worden war.
4. Auch eine Reihe von experimentellen Untersuchungen erbrachte das gleiche Ergebnis, dass Personen mit hohem

Leistungsbedürfnis bessere Leistungen erbringen, so zum Beispiel beim Lösen von Anagrammen oder arithmetischen Berechnungen.

5. Ferner konnten McClelland et al. (1953) belegen, dass jede Person ein relativ zeitstabiles *n-Ach*-Niveau bestimmten Aufgaben gegenüber besitzt, wenngleich die Leistungsmotivation im Einzelnen durchaus manipuliert beziehungsweise angeregt werden kann. Dies konnten sie dadurch zeigen, dass sie den Versuchspersonen in einem Experiment nach einer Reihe von Tests mitteilten, dass sie schlecht abgeschnitten hätten. Anschließend hatten die Versuchspersonen wieder TAT-Geschichten zu beschreiben. Die Misserfolgserfahrung führte zur Aktivierung der Leistungsmotivation, wie sich an dem Anstieg der Anzahl von leistungsbezogenen Themen und Elementen in den Geschichten nachweisen ließ (vgl. hierzu auch ► Exkurs 11.20).

11.5.3 Theorie des leistungsorientierten Verhaltens

Noch einen Schritt weiter wurde die Analyse der Leistungsmotivation durch die theoretischen Arbeiten von Atkinson (1957, 1964) geführt, der auf früheren Arbeiten anderer Autoren (Lewin 1938; Festinger 1942) aufbauend ein theoretisches **Modell: leistungsorientierten Verhaltens** entwickelte, das sich in weite Bereiche der neueren Motivationspsychologie auswirkte (zum Beispiel Heckhausen 1980; Weiner 1972). In diesem Modell wird motiviertes Verhalten als eine gemeinsame Funktion verstanden von

1. Motiven (Dispositionsvariable = M),
2. äußeren situativen Anreizen (Anreizvariable = A),
3. subjektiven Erwartungen (Erwartungsvariable = e).

Weiterhin werden Motive und Anreize je nach dem Erfolg und Misserfolg weiter unterteilt. So spricht man von einem **Erfolgsmotiv** (M_e) und einem **Misserfolgsmotiv** (M_m) sowie dem **Anreiz von Erfolg** (A_e) und dem **Anreiz von Misserfolg** (A_m). Die Anreize werden dabei verstanden als **antizipierte Affekte**, die sich nach Erfolg beziehungsweise Misserfolg einstellen. Sie sind zugleich abhängig von der subjektiven Erfolgswahrscheinlichkeit (W_e) beziehungsweise der subjektiven Misserfolgswahrscheinlichkeit (W_m). Dabei ist zum Beispiel der erlebte Erfolgsanreiz (A_e) linear invers von der Erfolgswahrscheinlichkeit abhängig ($A_e = 1 - W_e$). Das heißt, psychologisch ist für Leistungsmotivierte ein erwarteter Erfolg umso attraktiver, je schwieriger die Aufgabe ist (das heißt je unwahrscheinlicher ihre Lösung ist), und ein Misserfolg ist umso bedrohlicher, je leichter die Aufgabe ist (das heißt je wahrscheinlicher die Lösung ist).

Anreiz (*incentive*)

Ein äußere Reiz, auf den die Motivation gerichtet ist, und der als Belohnung wirken kann.
Erwartete Belohnung einer Handlung (Nolen-Hoeksema et al. 2014).

Aus der gemeinsamen Interaktion dieser Größen, die multiplikativ verstanden wird, wie dies ähnlich auch schon Hull (1952) für seine Motivationsfaktoren angenommen hatte, ergibt sich eine **resultierende Motivationstendenz (RT)**:

$$RT = (M_e \times A_e \times W_e) - (M_m \times A_m \times W_m) .$$

Diese Motivationstendenz, die das Verhalten beschreibt, sowie ihre Variation können in Abhängigkeit von der Motivationsausprägung und der subjektiven Erfolgswahrscheinlichkeit experimentell überprüft werden.

Aufgrund dieser Modellvorstellung des leistungsorientierten Verhaltens hat Atkinson gefolgert, dass es mindestens zwei Faktoren der Leistung geben müsse: das **Erfolgsbedürfnis** und die **Angst vor Misserfolg**, woraus sich zwei experimentell überprüfbare Hypothesen ableiten lassen:

1. Erfolgsmotivierte Personen (bei ihnen ist $M_e > M_m$) sollten sich vergleichsweise eher auf leistungsorientierte Aufgaben einlassen und Aufgaben mittlerer Schwierigkeit bevorzugen – Letzteres, weil hier das Produkt aus A_e (Anreiz auf Erfolg) und W_e (Wahrscheinlichkeit des Erfolgs) den größtmöglichen numerischen Wert erreicht.
2. Misserfolgsmotivierte Personen, das heißt Personen, die Angst vor Misserfolg haben (bei ihnen ist $M_m > M_e$), sollten leistungsbezogene Aufgaben eher zu meiden suchen, und das insbesondere dann, wenn die Aufgaben eine mittlere Schwierigkeit haben, und zwar darum, weil hier das Produkt aus A_m (Anreiz von Misserfolg) und W_m (Wahrscheinlichkeit des Misserfolgs) den größtmöglichen negativen Wert erreicht.

Inzwischen gibt es einige Untersuchungen, in denen diese Folgerungen geprüft und auch weitgehend bestätigt werden konnten (Heckhausen 1963; Schmalt 1976). Eine der ersten experimentellen Studien stammt von Atkinson und Litwin (1960). Sie ließen ihre Probanden in einem Ringwurfspiel über zehn Durchgänge die Wurfdistanzen frei wählen und verglichen die gewählten Wurfdistanzen bei erfolgs- und misserfolgsmotivierten Probanden. Die Erfolgsmotivierten bevorzugten, wie erwartetet, mittlere Wurfdistanzen, also Aufgaben mit einem mittleren Schwierigkeitsgrad.

Auch was die subjektiven Erfolgswahrscheinlichkeiten anbelangt, gibt es bestätigende Untersuchungsergebnisse. Leistungs- und Ausdaueraufgaben mit einer mittelhohen subjektiven Erfolgswahrscheinlichkeit wurden von Erfolgsmotivierten besonders effizient bearbeitet, während Misserfolgsmotivierte ausdauernder und besser arbeiteten, wenn die subjektiven Erfolgswahrscheinlichkeiten sehr niedrig (schwere Aufgabe) oder sehr hoch (leichte Aufgabe) waren (Karabenick und Youssef 1968).

Auf der Grundlage dieser Einführung in die kognitiven Theorien des leistungsorientierten Verhaltens dürften auch die Ausführungen zu den *Wertungsdispositionen* und über die zusammenfassende Modellvorstellung des Motivationsgeschehens zu Beginn von ► Abschn. 11.1.4 besser verständlich werden.

Neben den Motiven werden heute sowohl die subjektiven Erfolgswahrscheinlichkeiten als auch die antizipierten Affekte (Anreize) als wichtige Bestimmungsstücke und erlebbare Determinanten des Motivationsgesche-

hens angesehen. Sie werden auch als kognitive *Einflussfaktoren* bezeichnet.

Dementsprechend gelten Theorien, die diesen Faktoren einen wesentlichen Einfluss beimessen, als **kognitive Motivationstheorien** (Schmalt und Heckhausen 1990). Hinsichtlich der neu erscheinenden Erkenntnis, dass kognitive Faktoren aus sich selbst heraus Motivationsprozesse steuern und beeinflussen können, war das Vertrauen auf die Wirkung kognitiver Einstellungsgrößen so weit reichend, dass manche Autoren von einer **kognitiven Wende** sprachen (Heckhausen und Weiner 1972). Doch die im deutschsprachigen Raum betriebene Motivationsforschung beinhaltete schon längst vorher stets kognitionspsychologische Erklärungselemente (Schneider und Schmalt 1981).

Kritisch hinterfragt

Betrachtet man die dargestellten Ableitungen und Untersuchungsbeispiele kritisch unter einem anderen Gesichtswinkel, so lässt sich anmerken, dass die meisten Bezüge im Grunde korrelativer Art sind. Wenn man für eine Untersuchung Personen mit hoher und solche mit niedriger Leistungsmotivation auswählt und dann feststellt, dass die mit hoher Motivation bei einer (auch schwereren) Aufgabe besser abschneiden, hat man praktisch lediglich eine Korrelation zwischen Leistungsmotivation und Leistung, nicht aber bereits eine Kausalbeziehung, denn die Korrelation besagt nicht, dass die Unterschiede in der Leistungsmotivation die Leistungsunterschiede verursacht haben. Möglich wäre ja auch, dass Personen mit hohem Leistungsbedürfnis intelligenter, energischer und durchsetzungsfähiger sind als Personen mit niedriger Leistungsmotivation. Somit könnte der Leistungsunterschied, aber auch das höhere Leistungsbedürfnis, auf diesen weiteren Faktoren beruhen – offenbar ist es nicht leicht, auf diesem komplexen Gebiet der menschlichen Motivation zu eindeutigen Schlüssen zu kommen (Bourne und Ekstrand 1992).

11.5.4 Machtmotivation

Machtmotiviertes Verhalten äußert sich in einem Bedürfnis nach Überlegenheit und Stärke, einem Bedürfnis, andere Personen zu dominieren, über sie zu bestimmen bzw. Einfluss auf sie auszuüben. Macht bezeichnet die Möglichkeit, den eigenen Willen gegenüber dem Willen anderer durchzusetzen. Dominanz und Unterwerfung sind Phänomene, die bereits bei vielen höher organisierten Tiergesellschaften wie auch beim Menschen zu beobachten sind. Sie gehören zu unserer natürlichen Erbausstattung. In geschlossenen Tiergesellschaften führen Macht- oder Rangordnungskämpfe in der Regel zu hierarchisch organisierten Rangordnungen. Bekannt wurden sie durch die erstmals von Schjelderup-Ebbe (1935) untersuchte „Hackordnung" auf dem Hühnerhof, aber auch in Affenpopulationen (vgl. ► Kap. 12). Dadurch erhalten ranghohe Tiere ein höheres Privileg, an Futter zu gelangen und sich fortzupflanzen (Harcourt 1989; Kuester und Paul 1989). Auch beim Menschen gilt, dass ranghohe Individuen leichteren Zugang zu verschiedenen Ressourcen wie Nahrungsmitteln haben. Dies macht sie wiederum zu attraktiveren Partnern (Pérusse 1994). Ferner ist Machtverhalten eng mit dem erlebten subjektiven Wohlbefinden (Befriedigung) verbunden (Alkock 1993) und insofern darauf ausgerichtet, durch Dominanz, Einflussnahme oder Prestige positive Emotionen zu erlangen. Die Erwartung derselben (Antizipation) kann gleichsam als motivierender Anreizmechanismus wirken.

Konzepte und Konstrukte

Macht ist eine vielgestaltige Erscheinung, die in der abendländischen Geistergeschichte immer wieder diskutiert und in unterschiedliche Weise interpretiert, gerechtfertigt, verworfen oder verstanden wurde und wird. In den *Sozialwissenschaften* wie Soziologie oder Politikwissenschaft liegt das Interesse vornehmlich an der Analyse gegebener Machtverhältnisse und Herrschaftsstrukturen. In den *Verhaltenswissenschaften* wie Psychologie steht die Erforschung des Prozessverlaufs von Machtausübung und der individuelle Motivationsprozess im Vordergrund. In der *Soziobiologie* geht es eher um den Nachweis der Funktionalität zwischen verschiedenen Status- und Ressourcenpositionen und dem biologisch vorgegebene Ziel „reproduktiver Fitnessmaximierung" (Heckhausen und Heckhausen 2006, S. 211). (Eine Liste unterschiedlicher Definitionen von Macht (nach Heckhausen) finden Sie in *Zusatztext online*.)

Macht

Macht (*power*) bedeutet das Streben nach Dominanz, Einfluss und Kontrolle.

Die motivationalen Grundlagen von Macht und Machtausübung lassen sich allgemein auf unterschiedlichen Ebenen betrachten und analysieren. Auf der Ebene des Einzelindividuums oder der Ebenen kleinerer und größerer Gruppenverbände (Familie, Verein, Institutionen) bis hin zu übergreifenden Gesamtgesellschaften wie Nationen und deren Verhältnis untereinander. Aus Sicht des Studienfaches Allgemeine Psychologie beschränken wir uns (wie andere Lehrbücher) auf die Perspektive des Einzelindividuums.

Zur Ausübung von Macht bedarf es bestimmter **Machtquellen**, auf die sich die Macht stützt und durch die die Einflussnahme oder Kontrolle geschehen kann. Belohnungs- und Bestrafungsmacht sind sicher die grundlegenden Quellen asymmetrischer Ressourcenverteilung, die im ganzen Primatenbereich wirksam sind. French und Raven (1959) sowie Raven (1974) haben eine Taxonomie von Macht mit folgenden sechs Machtquellen aufgestellt (mehr in *Zusatztext online*):

1. Belohnungsmacht (*reward power*): Ihre Stärke hängt von der Erwartung B's ab, inwieweit A in der Lage ist, eines seiner (B's) Motive zu befriedigen, und inwieweit A dies von einem erwünschten Verhaltens B's abhängig macht.
2. Zwangs- oder Bestrafungsmacht (*coercive power*): Ihre Stärke hängt von der Erwartung B's ab, inwieweit A in der Lage ist, B für unerwünschte Handlungen durch Entziehung der Möglichkeit zur Befriedigung bestimmter Motive zu bestrafen, und inwieweit dies A von dem unerwünschten Verhalten B's

abhängig macht. Der Zwang besteht darin, dass durch Strafandrohung der Handlungsspielraum B's eingeengt wird.
3. Legitimierte Macht (*legitimate power*): Hier handelt es sich *um internalisier*te Normen von B, die ihm sagen, dass A befugt ist, die Einhaltung gewisser Verhaltensnormen zu überwachen und, falls nötig, durchzusetzen.
4. Vorbildmacht (*referent power*): Sie beruht auf der Identifikation von B mit A, auf B's Wunsch, so zu sein wie A.
5. Expertenmacht (*expert power*): Ihre Stärke hängt von dem Ausmaß ab, mit dem B besondere Kenntnisse, Einsichten oder Fertigkeiten hinsichtlich des infrage stehenden Verhaltensbereichs A zuschreibt.
6. Informationsmacht (*informational power*): Sie ist dann wirksam, wenn A Dinge mitteilen kann, die B die Folgen seines Verhaltens in einem neuen Licht erscheinen lassen und ihn dadurch zu einer Verhaltensänderung veranlassen.

Auf die Anwendung der hier genannten ersten beiden Machttypen reagieren betroffene Personen zumeist deutlich positiv. Auf die Machttypen 3 und 4 konnten Hinkin und Schriersheim (1989) eine gemäßigt positive, und auf „Bestrafungsmacht", wie zu erwarten, eine deutlich negative Reaktion feststellen. Darüber hinaus zählen auch Prestige, Status, Besitz, Führungsposition und Informationsüberlegenheit zu den begehrten Machtquellen.

In dem Bestreben, die eigenen Machtquellen zu vermehren, gibt es durchaus individuelle Unterschiede. Bemerkenswert ist, dass schon der bloße Besitz solcher Machtquellen und das damit verbundenen Macht- oder Prestigegefühl das erstrebte Verhaltensziel sein können, ohne dass es zu einer tatsächlichen Machtausübung kommen muss. Entsprechend definierte McClelland (1975), auf den viele der wichtigsten Untersuchungen zur Machtmotivation zurückgehen, das Machtmotiv primär als das Bedürfnis, sich vor allem stark zu fühlen, und erst in zweiter Linie auch machtvoll zu handeln.

Macht hat recht unterschiedliche Gesichter und wird, je nach Beobachtungsschwerpunkt, recht unterschiedlich definiert.

Zur **Messung des Machtmotivs** beim Menschen wurde zunächst von Verhoff (1957), dann insbesondere von McClelland und Winter (1969) das projektive TAT-Verfahren (siehe ▶ Exkurs 11.18) weiterentwickelt und auf das Machtmotiv bezogen sowie zum vereinfachten Gitter-Verfahren (dito ▶ Exkurs 11.18.) umgebaut. Bei den vielfältigen Untersuchungen zeigte sich, dass das Machtmotiv weiter differenziert werden musste in eine aufsuchende (Machterwartung) und eine verlustmeidende (Furcht vor Verlust) Komponente. Die aufsuchend gerichteten Machttypen wurden von McClelland et al.(1972) weiter unterschieden in

- personalisierte Macht (PM), die durch ein hohes Machtmotiv und niedrige Inhibitionstendenz charakterisiert ist und auf direkte Konfrontation mit anderen zur möglichen Vergrößerung des eigenen Machtbereichs gerichtet ist;
- sozialisierte Macht (SM), die durch ein hohes Machtmotiv und eine starke Inhibitionstendenz gekennzeichnet ist. Sie realisiert Macht zugunsten anderer und ist altruistisch ausgerichtet.

Die bisher fast ausschließliche Messung von Motivausprägungen durch projektive Verfahren hat zu einer breit gefächerten uneinheitlichen Befundfülle geführt.

Physiologische Grundlagen der Machtmotivation

Mit dem Einzug des biologischen Denkens in die Emotions- und Motivationspsychologie war auch die Suche nach physiologischen Grundlagen der Machtmotivation verbunden. Recht gut abgesichert ist heute, dass das Dominanzstreben bei Säugetieren wie auch beim Menschen mit einer verstärkten Ausschüttung des in den Keimdrüsen gebildeten Steroidhormons Testosteron verbunden ist. Männer mit einem hohen Testosteronspiegel neigen im Vergleich zu Männern mit niedrigem Testosteronspiegel zu dominantem und aggressivem Verhalten sowie zur Überschreitung von Gesetzen und Vorschriften. Sie sind häufiger in handgreifliche Auseinandersetzungen verwickelt, erscheinen weniger sympathisch und lächeln weniger. Auch haben sie früher und mehr sexuelle Kontakte und lassen sich, wenn verheiratet, mit größerer Wahrscheinlichkeit scheiden (Dabbs 1992, 1979; Julian und McKenry 1989). Befunde, die sich in dieser Hinsicht auf Frauen beziehen (sie haben einen drei- bis zehnfach niedrigeren Testosteronspiegel), sind bisher weniger eindeutig.

In Untersuchungen von Schultheiss et al. (1999) und Schultheiss (2007) konnten inzwischen auch direkte Verbindungen zwischen dem Machtmotiv und Testosteronausschüttungen nachgewiesen werden. In manipulierten Spielsituationen, vor und nach denen Speichelproben zur Testosteronbestimmung genommen wurden, zeigte sich, dass insbesondere bei hoch motivierten Teilnehmern (stark ungehemmtes Machtmotiv) der Testosteronspiegel nach einem Sieg deutlich ansteigt und nach einer Niederlage abfällt. Es wird angenommen, dass der mit positiven Affekten verbundene Testosteronanstieg als belohnend empfunden wird (Schultheiss und Rohde 2002). Weiteren Untersuchungen zur Beteiligung des Stresshormons Kortisol zufolge, führt bei hoch machtmotivierten männlichen Personen eine Niederlage zu stark erhöhten Kortisolwerten, ein Sieg dagegen zu einer Senkung des Kortisolspiegels. Dies entspricht der erlebten emotionalen Belastung nach einer Niederlage und einer Entlastung bei errungenem Sieg.

Solche Zusammenhänge zeigten sich allerdings nur bei Personen mit ungehemmtem Machtmotiv (mit impulsivem Verhalten, Promiskuität und Aggression), die Macht vor allem zu persönlicher Befriedigung einsetzen (Winter und Barenbaum 1985). Hoch Motivierte, deren Machtmotiv dadurch gezügelt wird, dass sie über ein hohes Verantwortungsbewusstsein verfügen oder ihre Macht in den Dienst anderer Menschen stellen, zeigen keine erhöhten Testosteronwerte nach einem gewonnenen Dominanzexperiment. Nach Winter (1991) werden vorwiegend Personen mit einem (im TAT gemessenen) starken verantwortungsvollen Machtmotiv zu langfristig erfolgreichen Managern und steigen in Chefetagen auf. Andererseits scheint nach McClelland (1989) ein permanent gehemmtes oder unter Stress stehendes Machtmotiv zu erhöhter Anfälligkeit für gesundheitliche Beeinträchtigungen und zu Erkrankungen zu führen. (Die Zusammenstellung der Wirkbezüge zu einem psychosomatischen Krankheitsmodel finden Sie in *Zusatztext online*.)

11.5.5 Motivation durch Zielsetzung

Ein weiterer wesentlicher Anreiz zu motiviertem Handeln ist das eigene Setzen von Zielen, das natürlich eine gewisse Antizipation und Wünschbarkeit erwarteter Ziele voraussetzt.

Nach Brunstein und Maier (1996) lassen sich persönliche Ziele verstehen als antizipierte Zustände von individueller Bedeutung, die Verhalten organisieren, dem Verhalten einer Person einen Sinn geben und die zukunftsgerichtete Seite der Persönlichkeit ausmachen (Puca und Langens 2008). Solche antizipierten Zustände, die mental vorgestellt werden, sind insbesondere in unserer Jugend nicht immer stabil und unserem individuellen Lernprozess unterworfen. So können Verhaltensdispositionen erfahrungsabhängig im Laufe der Zeit verändert werden, wie das z. B. von Berufswünschen oder Vorstellungen vieler Heranwachsender bekannt ist.

Ziele, die wir uns setzen, können weit gefächert sein und in verschiedenster Weise ineinandergreifen oder sich überlappen. Übergeordnete Lebensziele (beispielsweise der erfolgreiche Abschluss eines Studiums) unterteilen sich alsbald in kleinere oder größere näherliegende Zwischenziele (eine Klausur zu bestehen, die Zulassung zum Studium zu erhalten) oder laufen parallel mit anderen Wünschen (z. B. ein Pferd zu besitzen oder in einem Wettkampf zu siegen).

Ziel

Ein Ziel (*goal*) ist ein mental repräsentierter, wertgeladener, zukünftiger Zustand, der Verhalten steuert und organisiert.

Die Intensität und Dringlichkeit, mit der eine Person ein einmal gestecktes Ziel auch bei auftretenden Hindernissen oder Schwierigkeiten beibehält und beständig weiterverfolgt, wird als **Commitment** oder Zielbindung bezeichnet (Klinger 1975). (In Organisationen bezeichnet Commitment die positive Einstellung der Mitarbeitenden gegenüber organisatorischen Veränderungen.) Das Phänomen, dass weit reichende Ziele häufig nicht erreicht oder realisiert werden, ließ Gollwitzer (1999, 1993) aufgrund seiner Analysen zu dem Schluss kommen, dass Ziele häufig erst dann realisiert werden können, wenn die Selbstregulationsstrategie des vorsätzlichen Planens eingesetzt wird. Demnach wäre zu unterscheiden zwischen (1) Zielintention (Absicht) und (2) Vorsätzen (Durchführungsintention).

Durch das Fassen von Vorsätzen („wenn … dann“) wird die mentale Repräsentation der Situation erhöht und damit die kognitive Zugänglichkeit erleichtert, sodass sich die Aufmerksamkeit leichter darauf richtet. Es wird angenommen, dass die Realisierung eines Vorsatzes nun automatisch erfolgt („strategische Automatizität“), nachdem er durch einen einmaligen Willensakt gefasst wurde (Gollwitzer et al. 2004; Heckhausen und Heckhausen 2006).

Nach Brunstein (1995) zeichnet sich ein hohes Commitment, wie es bei Berufs- oder Lebenszielen zu beobachten ist, durch einen engen Zusammenhang zur eigenen Identität aus. So werden bestimmte Berufsziele wie Arzt, Pfleger oder Wissenschaftler häufig nicht wegen des zu erwartenden Gehalts, sondern wegen der eigenen Identität angestrebt (Gollwitzer 1987), wodurch ein hohes Commitment gewährleistet ist.

Die Ausrichtung auf bestimmte Ziele wirkt sich in vielfältiger Weise auf unser Wahrnehmen, Denken oder Erinnern aus. Haben wir uns für ein bestimmtes Berufsziel, z. B. Musiker, entschieden, wird sich unsere langfristige Aufmerksamkeit automatisch vorrangig auf solche Reize oder Begebenheiten richten, die mit dem Zielbereich in Verbindung stehen. Wir werden beim Shopping eher vor den Auslagen eines Musikgeschäfts stehen bleiben (das andere vielleicht kaum bemerkt haben). Oder wir werden in einem Instrumentalkonzert eher ein ungewöhnliches Instrument entdecken oder gar heraushören. Uns werden in einer Buchhandlung Bücher über Musik oder Musikinstrumente bevorzugt ins Auge fallen. Aber wir werden auch Dinge, Erlebnisse oder Begebenheiten, die mit Musik zu tun haben, bevorzugt im Gedächtnis behalten oder über Musikzusammenhänge bevorzugt nachdenken und in diesem Bereich Hoffnungen und Wünsche entwickeln.

Ziele verändern unbeabsichtigt Aufmerksamkeits-, Gedächtnis- und Bewusstseinsprozesse (auf ein Ziel hin), und das zumeist unbewusst.

Die Motivation durch Zielsetzung ist offenbar unabhängig von den anderen besprochenen Motivationssystemen (wie Leistung oder Macht) und kann unabhängig von diesen unser Verhalten steuern. Wie in verschiedenen Untersuchungen abgesichert werden konnte (Brunstein et al. 1998; King 1995). Ziele, die vornehmlich der Machtmotivation zuzuordnen sind, werden danach ebenso häufig von hoch machtmotivierten Personen verfolgt wie von Personen, die nur mit einem geringen Machtmotiv ausgestattet sind. Ebenso verfolgen nicht alle hoch leistungsmotivierten Menschen leistungsmotivierte Ziele. Allerdings macht es einen Unterschied, ob eine Person ein Ziel verfolgt, das mit der eigenen Motivstruktur übereinstimmt (*motivkongruentes Ziel*), oder aber ein Ziel, das mit diesem nicht übereinstimmt (*motivinkongruentes Ziel).* So gelingt die Verfolgung motivkongruenter Ziele meist besser und erfolgreicher als bei motivinkongruenter Ausrichtung. Mitverantwortlich dafür dürfte sein, dass etliche Prozesse wie Aufmerksamkeitsausrichtung, Energetisierung und Lernprozesse automatisch in Gang gesetzt werden, wenn das erstrebte Ziel durch ein übereinstimmendes Motiv unterstützt wird. Anderenfalls müssen alle notwendigen Prozesse willkürlich aktiviert werden, was nach Sokolowski (1996) als anstrengend und unlustvoll erlebt wird. Auch führen Fortschritte bei der Verfolgung eigener Ziele zu positiven Affekten und einer Steigerung des subjektiven Wohlbefindens, wenn die Ziele motivkongruent sind (Brunstein et al. 1998).

Die neueren kognitiven Motivationstheorien lassen sich grob in zwei Klassen unterteilen. Die einen befassen sich mit Motivationen, die sich auf (eher unbewusste) Affektantizipationen zurückführen lassen, die anderen konzentrieren sich auf Motivationen, die aus bewusster Zielsetzung resultieren.

Volition

Heute werden die Prozesse der *Verwirklichung von Zielen* mit der Bezeichnung *Volition* von der Motivation durch Zielsetzung

Exkurs 11.19

Genauer betrachtet: Volition, das Verwirklichen von Zielen

Eine Gruppe von neueren Theorien geht, im Unterschied zu den klassischen Motivationstheorien (Erwartung-mal-Wert-Modelle), von der *Zielrealisierung* aus. Dabei wird einerseits gefragt, welche Prozesse bei der erfolgreichen Realisierung von Zielen zusammenspielen, andererseits wird untersucht, welcher Zieltyp am ehesten umgesetzt wird und wann Zielfortschritte mit positivem Erleben verbunden sind. Diese Form der Motivation wird mit Lewin (1926) nun als Volition bezeichnet. Sie bezieht sich also auf das Streben nach, und die handelnde Umsetzung von, bereits gesetzten Zielen (*goal striving*). Der Begriff „Motivation" wird dann hier nur noch für Prozesse verwendet, welche das Setzen von Zielen (*goal setting*) betrifft, das aufgrund deren Wünschbarkeit und Realisierbarkeit erfolgt, wie es den Erwartung-mal-Wert-Theorien zugrunde liegt (vgl. ▶ Abschn. 11.1.4). Nach Kuhl (1983, 1987, 2001), der als erster Motivationsforscher auf die gegensätzlichen Funktionen von Selektions- und Realisationsmotivation hinwies, wird in der neueren Forschung vielfach zwischen motivationalen und volitionalen Fragen unterschieden, wobei neuerdings das *Konzept von Annäherung und Vermeidung* im Vordergrund steht (Elliot 2008).
Somit bezeichnet (in der Psychologie) Volition den Prozess der Bildung, Aufrechterhaltung und Realisierung von Absichten, wobei es um die Umsetzung von Zielen oder Motiven (durch Handlungen) in Resultate und dabei um die Überwindung von Handlungsbarrieren durch den Willen geht. Hierzu wurde von Heckhausen ein Modell entwickelt, das ein Grundproblem der Motivationsforschung klären sollte, nämlich die Wahl von Handlungszielen einerseits und die Realisierung dieser Ziele andererseits zu unterscheiden und in ein Gesamtrahmenmodell zu integrieren. Dieses **Rubikon-Modell** der Handlungsphasen gilt aber aufgrund neuerer Erkenntnisse der Neurologie als überholt (mehr dazu in *Zusatztext online*).

unterschieden (▶ Exkurs 11.19.). Erst in den letzten Jahrzehnten hat sich anknüpfend an die frühe Willenspsychologie eine eigenständige Volitionsforschung entwickelt. Sie befasst sich mit den Prozessen, die der erfolgreichen Realisierung von Absichten und gesteckten Zielen zugrunde liegen, die zur Handlungssteuerung führen (▶ Kap. 6).

Ein Ausgangspunkt wird darin gesehen, dass die klassischen Erwartung-Wert-Modelle Schwierigkeiten hatten zu erklären, warum persönlich wichtige Vorhaben häufig auf die lange Bank geschoben werden und kein zielrealisierendes Handeln erfolgt, selbst wenn die Erfolgsaussichten höchst günstig erscheinen. Andererseits hat sich auch in der Kognitions- und Neuropsychologie ein besonderes Forschungsinteresse an der intentionalen Steuerung und kognitiven Kontrolle des Denkens und Handelns entwickelt (Goschke 2002), das auch zunehmend durch neurowissenschaftliche Ansätze (Hirnaktivitätsmessungen mittels bildgebender Verfahren) ergänzt wird (▶ Exkurs 10.4).

11.5.6 Attribution und Motivation

Komplexer wird das Bild der menschlichen Motivation, und speziell der Leistungsmotivation, durch die Einbeziehung einer weiteren kognitiven Komponente, nämlich unserer persönlichen **Ursachenzuschreibung** (**Attribution**) für erlebte Erfolge oder Misserfolge. Menschen neigen dazu, ihre jeweiligen Erfolge und Misserfolge bestimmten Ursachen oder Gründen zuzuschreiben, d. h. zu attribuieren. Aus der Befassung mit diesem Aspekt des motivationalen Handelns hat sich in den letzten Jahrzehnten eine eigene, neue, eher sozialpsychologisch orientierte Forschungsrichtung entwickelt: die der *Attributionstheorien*.

Attributionstheorien

Attributionstheorien basieren auf der Erkenntnis, dass Menschen sich normalerweise nicht damit begnügen, Ereignisse ihrer Umwelt, aber auch des eigenen Verhaltens, lediglich zu registrieren, sondern bestrebt sind, diese Ereignisse auf bestimmte Ursachen zurückzuführen (Schneider und Schmalt 1981). Dies gilt nun auch, wie Weiner et al. (1971, 1972) erkannten, für die Ursachenzuschreibung von Erfolg und Misserfolg bei leistungsbezogenem Verhalten. Aus dieser Erkenntnis formulierten Weiner und Mitarbeiter eine **attributionstheoretische Fassung der Leistungsmotivationstheorie**. Dabei gehen sie von vier „Ursachenfaktoren" aus, die ihrerseits entweder „zeitstabil" oder über die Zeit „variabel" sind und die wir gemäß unserer persönlichen Kontrollüberzeugung (*locus-of-control*-Orientierung) entweder uns selbst zuschreiben (**internal attribuieren**) oder aber der Umwelt zuschreiben (**external attribuieren**). Aus der Kombination dieser beiden Dimensionen in einem Vierfelder Schema (◘ Abb. 11.27) ergeben sich vier mögliche Ursachenattributionen eines Leistungsresultates unserer Handlung. Bei Examensprüfungen zum Beispiel mögen wir glauben oder „überzeugt" sein, dass die erhaltene Note im Wesentlichen das Ergebnis unserer Lernanstrengung ist (**variables Persönlichkeitsmerkmal**) oder wesentlich auf unsere Begabung (Fähigkeit) zurückzuführen ist (**stabiles Persönlichkeitsmerkmal**), wobei wir in beiden Fällen internal attribuieren. Andererseits könnten wir auch überzeugt sein und meinen, die erhaltene Note sei das Resultat externer Faktoren wie Schwierigkeitsgrad der Aufgaben (**situationsgebunden stabil**) oder des Zufalls (Glück, Pech) (**variables externes Merkmal**).

Nach Weiner legt dabei die Stabilitätsdimension unsere Erwartungen beziehungsweise Erwartungsänderungen hinsichtlich zukünftiger Leistungsergebnisse fest. Die Verantwortlichkeitsdimension dagegen bestimmt die durch den Erfolg oder Misserfolg ausgelösten leistungsbezogenen Affekte (Stolz, Scham). Das heißt, je nachdem, ob wir Erfolg oder Misserfolg internalen oder externalen Ursachen zuschreiben, erleben wir unterschiedliche Affekte. Internale Ursachenzuschreibungen sollen daher die effektiven Konsequenzen eigenen Handelns maximieren (Weiner et al. 1979).

Wie aus verschiedenen empirischen Untersuchungen zur Attributionstheorie hervorgeht, neigen Menschen generell eher dazu, Erfolge internal und Misserfolge external zu attribuieren (Schmalt 1978). Diese Feststellung wurde vielfach als Beleg dafür genommen, dass sich emotionale Aspekte schon relativ früh in den Prozess der Informationsverarbeitung motivationalen Geschehens einmischen und die nachfolgenden, bewussten, kognitiven Prozesse der Ursachenzuschreibung beziehungsweise -wahrnehmung im Sinne einer **hedonistischen Verzerrung** beeinflussen, die die

		Kontrollüberzeugung (Verantwortlichkeit)	
		internal	external
Zeitstabilität	stabil	Begabung Fähigkeit	Aufgaben-schwierigkeit
	variabel	Anstrengung	Zufall (Glück, Pech)

Abb. 11.27 Vierfelder-Schema zur Ursachenattribuierung. Die Zuschreibung von Erfolg und Misserfolg kann auf vier verschiedene Ursachenfaktoren erfolgen, woraus sich unterschiedliche Erwartungen hinsichtlich zukünftiger Leistungsanstrengungen ergeben

Aufrechterhaltung eines **möglichst vorteilhaften Selbstwertgefühls** gestattet (Schneider und Schmalt 1981; Monson 1983). Andererseits ist auch die Abhängigkeit bewusster emotionaler Erlebnisse von der jeweiligen Ursachenzuschreibung gut belegt (Weiner et al. 1979): Wir empfinden Stolz über unsere Leistung, weil wir meinen, sie sei die Folge unserer harten Anstrengung.

Für die frühe Wirksamkeit einer hedonistisch emotionalen Komponente spricht auch die Feststellung, dass Erfolgsmotivierte ihre Erfolge stärker der eigenen Begabung oder der eigenen Anstrengung zuschreiben und Misserfolge eher dem Zufall oder einer mangelnden Anstrengung. Dagegen liegen die Zuschreibungen bei Misserfolgsmotivierten gerade umgekehrt. Sie schreiben ihre Erfolge eher einem glücklichen Zufall oder der geringeren Aufgabenschwierigkeit zu, das heißt, sie attribuieren hier external, während sie Misserfolge eher persönlichen Eigenschaften zuschreiben (► Exkurs 11.20).

Kontrollüberzeugungen

Die unterschiedliche kognitive Attribuierung wirkt sich auch motivational auf unser zukünftiges Handeln und unsere Anstrengungen aus, die wir unternehmen werden, um ein Ziel zu erreichen oder eine Leistung zu vollbringen. Schreiben wir einen Misserfolg nicht einem zufälligen Missgeschick, sondern vor allem unserer geringen Fähigkeit und der Schwierigkeit der Aufgabe zu, werden wir mit großer Wahrscheinlichkeit eher resignieren, einfachere Aufgaben wählen und uns bescheidenere Ziele setzen. Wir werden dagegen eine höhere Motivation verspüren, eine misslungene Leistung erneut zu unternehmen, wenn wir glauben, dass das Misslingen das Resultat eines unglücklichen Zufalls oder mangelnder Anstrengung war (Valle und Frieze 1976). Diese unterschiedlichen Grundeinstellungen werden als **Kontrollüberzeugungen** bezeichnet. Aus dieser Erkenntnis ließ sich auch praktischer Nutzen ziehen: Indem Schulkinder trainiert werden, erlittene Misserfolge eher auf mangelnde Anstrengung als auf mangelnde Fähigkeiten zurückzuführen, ließ sich ihr Einsatz und damit auch ihr Leistungserfolg deutlich steigern, wie Dweck (1975) in einer Untersuchung nachweisen konnte.

Unterschiedliche Kontrollüberzeugungen führen zu unterschiedlichen Motivationen, die spätere Erfolge wahrscheinlicher oder unwahrscheinlicher werden lassen, wirken sich auf das allgemeine Selbstwertgefühl aus und führen zu unterschiedlichen emotionalen Affekten.

Führt der positive internale Attribuierungsprozess zu der Überzeugung, generell in einer bestimmten Situation die angemessene Leistung erbringen zu können, so spricht man von dem Gefühl der **Selbstwirksamkeit** (*self-efficacy*). Die Wahrnehmung der eigenen Selbstwirksamkeit wirkt wiederum beruhigend auf den emotionalen Erregungszustand und führt zu besseren Leistungen. Das Gefühl der **Selbst*un*wirksamkeit** (*self-inefficacy*) kann dagegen zu Apathie, Mutlosigkeit und Leistungsverlust führen.

Wenn schließlich Erfolgsmotivierte ihre Erfolge eher auf eigene Begabung und Misserfolge auf mangelnde Anstrengung zurückführen, und Misserfolgsmotivierte ihre Erfolge eher mit dem Zufall, Misserfolge aber mit mangelnder Begabung erklären, kann durch die damit verbundene ständige Selbstbekräftigung dann das **Leistungsmotivationssystem** des Individuums langfristig verfestigt und etabliert werden (Schneider und Schmalt 1981). Hierdurch kann es zu **überdauernden Attributionsstilen** kommen, die wir zum Teil zeitlebens beibehalten und die dazu beitragen, wie wir uns selbst sehen oder was wir uns zutrauen und was nicht (Trotter 1987). So attribuieren Pessimisten zum Beispiel weitgehend durchgängig auf stabil-internale, globale Faktoren: „Mit solchen Situationen bin ich schon immer nicht fertig geworden, da lohnt auch keine Anstrengung."

Attributionsstil

Attributionsstil bezeichnet ein konsistentes, individuelles Muster der Attribution (Zuschreibung) von Ursachen und Gründen für Erfahrungen und Ereignisse unseres Lebens.

11.5.7 Intrinsische und extrinsische Motivation

Etliche Verhaltensweisen führen wir aus, nicht weil sie uns Spaß machen, sondern weil wir dafür in irgendeiner Weise von „außen" belohnt werden. Tiere, aber auch Menschen, kann man durch die Vergabe von Belohnungen zu den verschiedensten Verhaltensweisen veranlassen. Die gezielte Setzung und Vergabe von Belohnungen liegen, wie wir bereits gesehen haben, als Grundprinzip der operanten Konditionierung zugrunde. Aber auch die Ausführung von bereits gelernten Verhaltensweisen lässt sich durch die Vergabe von Belohnung motivieren. Wir arbeiten, um Geld zu verdienen oder gute Noten und Zensuren zu erhalten. Diese Art der Motivation wird als **extrinsische Motivation** bezeichnet im Gegensatz zu der **intrinsischen Motivation**, die wir dann verspüren, wenn wir eine Tätigkeit um ihrer selbst willen betreiben. Wir frönen unserem Hobby einfach deshalb, weil es uns Spaß bereitet, auch wenn es vielleicht mit großen Anstrengungen verbunden ist. Es ist ein inneres Anliegen, das uns motiviert. Auch Arbeit kann intrinsisch motiviert sein, wenn sich eine Person von sich aus sehr für die Aufgabe interessiert, die erledigt werden soll. Intrinsische Motivation lässt uns beharrlich vielleicht bis tief in die Nacht hinein an einem Problem arbeiten, einfach weil wir es lösen wollen, auch wenn es sonst vielleicht niemanden interessiert.

Exkurs 11.20

Attribution und Erfolgs-/Misserfolgsmotivation

In einer systematischen Studie hat Meyer (1973) die Auswirkung der Attribution von Erfolg beziehungsweise Misserfolg auf die Motivation untersucht. Er gab seinen Probanden verschiedene Denkaufgaben zur Bearbeitung vor und fragte sie danach, wie viele sie richtig gelöst zu haben meinten. Daraufhin gab er ihnen eine (fingierte) Rückmeldung. Den Probanden einer ersten Gruppe wurde mitgeteilt, dass sie mehr Treffer als erwartet erzielt hätten („Erfolg"), den Probanden einer zweiten Gruppe, dass sie weniger („Misserfolg"), und denen einer dritten Gruppe, dass sie erwartungsgemäß viele Treffer erzielt hätten (neutrale Kontrolle). Nun ließ er sie einschätzen, in welchem Ausmaß sie diesen Erfolg oder Misserfolg (1) ihrer Begabung, (2) ihrer Anstrengung oder (3) dem Zufall verdanken. Die Resultate dieser Untersuchung zeigten: Erfolgsmotivierte schrieben ihre Erfolge mehr ihrer Begabung und ihre Misserfolge eher einer mangelnden Anstrengung und dem Zufall („Pech") zu. Misserfolgsmotivierte reagierten weniger stark auf die Rückmeldung, aber führten ihre Erfolge doch deutlich mehr auf den Zufall („Glück") als auf ihre Begabung zurück als die Erfolgsmotivierten.

Wie die Untersuchungen von Lepper et al. (1973) zeigten, kann erwartete extrinsische Belohnung eine sonst intrinsisch motivierte Verhaltensweise auch schwächen. Wurden Kinder dafür, dass sie in der Schule zeichneten und malten, was sie auch von sich aus gerne taten, belohnt, verbrachten sie in der Folge weniger Zeit mit Malen oder Zeichnen. Prinzipiell ist es offensichtlich möglich, dass Belohnung die intrinsische Motivation sowohl steigern als auch verringern kann. Belohnung wirkt förderlich, wenn sie uns Informationen über die eigene Leistung oder eine Leistungssteigerung gibt oder wenn sie für gut gelernte Routinearbeiten gegeben wird, nicht aber, wenn sie als Kontrollmechanismus wahrgenommen wird (Deci 1975).

Intrinsische Motivation

Als intrinsisch wird die Motivation bezeichnet, sich einer Sache oder Tätigkeit um ihrer selbst willen zu widmen.

Extrinsische Motivation

Als extrinsisch wird die Motivation bezeichnet, sich mit einer Sache um ihrer Konsequenzen willen und weniger ihrer selbst willen zu befassen.

Schlussbetrachtung Motivation ist, wie wir gesehen haben, ein umfassender Begriff, der sich auf das Ingangsetzen, Aufrechterhalten und Lenken von Verhaltensweisen bezieht. Er enthält je nach den verschiedenen Forschungsansätzen Annahmen über aktivierende und richtungsgebende Vorgänge innerhalb und außerhalb des Organismus, die für die Auswahl, Stärke und Fortdauer der Aktualisierung von körperlichen und/oder psychischen Aktivitäten bestimmend sind. Die verschiedenen untersuchten Motivationsvariablen werden in der psychologischen Forschung als intervenierende Variablen betrachtet. Sie sollen erklären, warum ein Mensch oder ein Tier sich unter bestimmten gegebenen (inneren und äußeren) Umständen gerade so und mit dieser Intensität, Beharrlichkeit oder Durchsetzungskraft verhält.

Das in ◘ Abb. 11.28 dargestellte Schema verdeutlicht anhand der biologischen Motivation die vielfältigen Wirkungsbeziehungen innerer und äußerer Faktoren einschließlich erlernter Veränderungen und zeigt zugleich die doppelte Form der Rückmeldung der durch die Motivation oder Handlungsbereitschaft erfolgenden Verhaltensweisen. Ein entsprechendes zusammenfassendes Diagramm, das auch die vielfältigen psychischen Bedingungsfaktoren und Rückwirkungen einbezieht, wäre weit komplizierter zu denken. Die Grundzüge dieser Zusammenhänge haben wir am Kapitelanfang bereits als Grundmodell der klassischen Motivationspsychologie vorgestellt (◘ Abb. 11.2).

Kritisch hinterfragt

Es lässt sich hier kritisch fragen, welchen praktischen Wert die differenzierende Unterscheidung solcher verschiedener Motivationsarten hat. – Dazu wird argumentiert, dass die praktischen Anwendungsmöglichkeiten zwar noch nicht absehbar sind, aber nach den Untersuchungen von Barbuto (Barbuto und Scholl 1998, Barbuto 2005) besteht z. B. ein signifikanter Zusammenhang zwischen den noch weiter differenzierten Motivationsquellen (intrinsisch – extrinsisch) und dem Verhalten (wirtschaftlich) besonders erfolgreicher Führungskräfte. Das könnte, so die Autoren, zu einer verbesserten Auswahl, Förderung und Entwicklung von Fach- und Führungskräften beitragen, wie auch zur gezielten Motivationsförderung und der Vermeidung von Frustration am Arbeitsplatz (Mehr dazu in *Zusatztexte online*).
Inwiefern können Motivationstheorien erklären, warum sich ein Mensch in einer bestimmten Weise verhält? Welchen Platz hat das traditionelle Konzept der Willensfreiheit in diesen Theorien? Gibt es das überhaupt? (Mehr dazu in ▶ Exkurs 5.19 und *Zusatztext online*.)

Kurzzusammenfassung

Motivation bezieht sich auf das aktive zielorientierte Ingangsetzen, Aufrechterhalten und Durchführen zumeist körperlicher aber auch psychischer Aktivitäten. Der Motivationsbegriff bezeichnet eine hypothetisch angenommene intervenierende Variable, die nur indirekt messbar ist an den Veränderungen der verschiedenen Ausgangsvariablen. Auch heute ist die Verwendung motivationaler Begriffe und Konzepte in der psychologischen Literatur noch keineswegs einheitlich und unterscheidet sich insbesondere nach unterschiedlichen Forschungsansätzen. Besprochen werden:

- der instinkttheoretische und ethologische Ansatz
- der psychoanalytisch- triebtheoretische Ansatz
- die Behavioristisch-biopsychologische Ansätze
- die Kognitive und handlungstheoretische Ansätze.

Als grundlegende Motivationen werden biologische Motivationen (Triebe) und psychologische Motivationen (Motive) unterschieden. Zu ersteren gehören homöostatische und nicht homöostatische Motivationen.

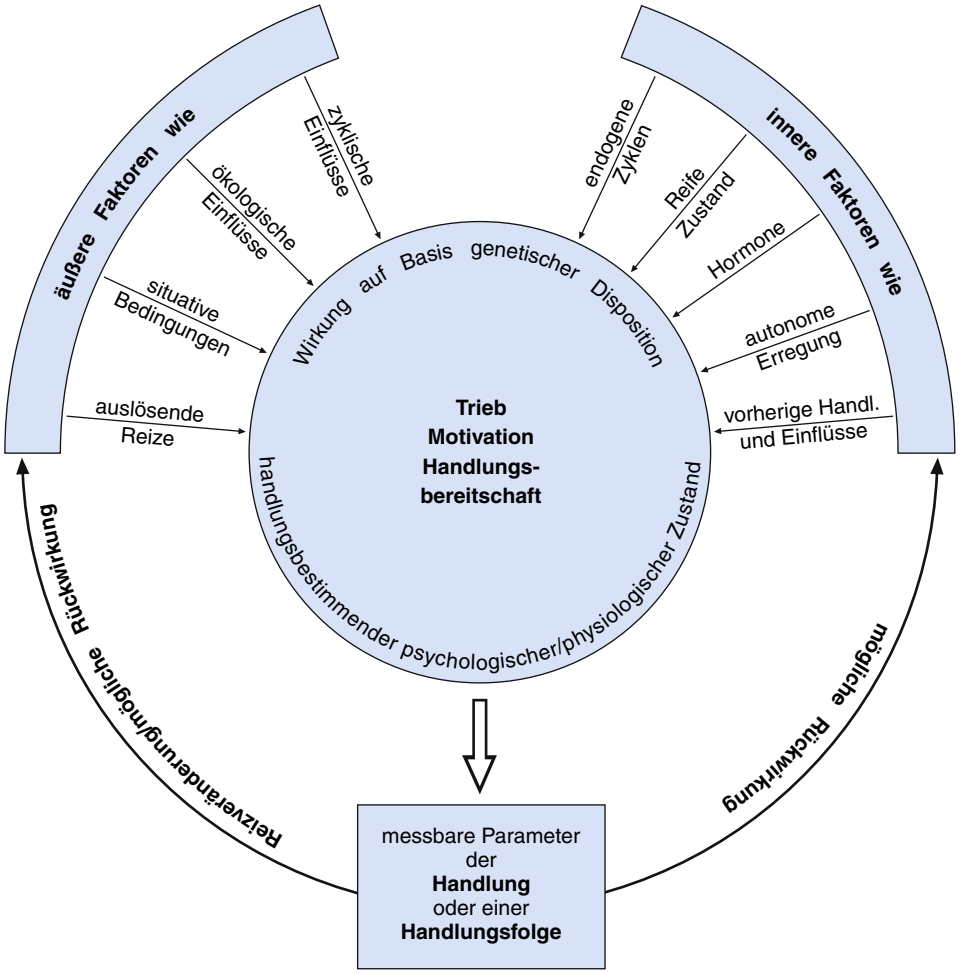


Abb. 11.28 Schemadiagramm motivationaler Wirkbeziehungen. Biologische Motivation, Trieb und Handlungsbereitschaft als verbindende Glieder zwischen Eingängen (endogenen und exogenen Faktoren) und dem Ausgang „Handlung", der seinerseits auf die Eingänge zurückwirken kann. Die Begriffe „Motivation", „Trieb" und „Handlungsbereitschaft" umschreiben pauschal den physiologisch/psychologischen Zustand eines Tieres, der als hypothetisches Konstrukt aus der Handlung erschlossen wird. Der Zustand lässt sich daher nur durch Parameter der Handlung und/oder der Eingangsfaktoren definieren. (Becker-Carus et al. 1972)

Bei *homöostatischen Motivationen* wie Hunger oder Temperatur geht es um die Erreichung eines optimalen, entspannten Gleichgewichtszustandes, der nach dem Prinzip des geschlossenen Regelkreises mit entsprechender Rückmeldung angestrebt wird. Hunger und Sättigung werden im Hypothalamus gesteuert, wobei der ventromediale Hypothalamus für Sättigung, der laterale für vermehrtes „Fressverhalten" zuständig ist. Hinzu kommen kognitive Umweltfaktoren, wobei Anreize der Umwelt (Geruch, Geschmack)im Vordergrund stehen (positive Anreiztheorie). Geschmackspräferenzen und Nahrungsaufnahme können und werden vermittels klassischer Konditionierung erlernt. Aber auch genetischen Faktoren kommt eine mitbestimmende Rolle bei der Setzung des Set-Points für Sättigung und für die Gewichtszunahme zu.

Zu den *nicht homöostatischen Motivationen* gehören vor allem die sexuelle Motivation wie auch das Neugier Verhalten, als deren Ziel nicht Spannungsreduktion sondern vielmehr ein zunächst angenehmer Erregungszustand anzusehen ist.

Sexualität kann eine unvergleichlich weite Spannbreite von Verhaltensweisen und Einstellungen motivieren. Sie gilt zugleich auch soziales Motiv das zu sozialen Gruppen und Verbindungen führt. Sexuelle Motivation wird weitgehend durch externe Reize aktiviert oder ausgelöst, daher auch als Anreizmotivation bezeichnet.

Die sexuelle Differenzierung beginnt bereits im Mutterleib und ist die Grundlage für die erst später eintretende eigene Geschlechtsidentität. Die geschlechtliche Entwicklung wird bei beiden Geschlechtern in unterschiedlicher Weise von mehreren unterschiedlichen Hormonen gesteuert und führt in der Zeit der Pubertät zur Ausbildung der sekundären Geschlechtsmerkmale. Die sexuelle Erregung, die bei den meisten Tierarten jahresrhythmisch hormonell gesteuert wird, wird beim Menschen davon eher unabhängig vor allem durch erotische Reize hervorgerufen. Weiter wurden in diesem Kapitel der sexuelle Reaktionszyklus, der Einfluss von Erfahrung und kulturellen Bedingungen sowie die Bedeutung sexueller Skripts besprochen. Gesondert abgehandelt wurden physiologische und soziale Aspekte des Anschlussbedürfnisses und des Bindungsverhaltens.

Neugier- und Explorationsverhalten W gilt als weiteres Handlung leitendes Motivthema, ist schon bei Kleinkindern zu beobachten und steht in positivem Zusammenhang mit der Entwicklungshöhe corticaler Funktionen. Unterschieden wird zwischen spezifischem (gerichteten) und diversivem Neugierverhalten.

Hinzu kommen erst später die *kognitiven Motivationsmodelle*, die auch nicht biologische Bedürfnisse beschreiben. Während Murray eine lange Liste angenommener Grundbedürfnisse aufstellte ordnete Maslow die Menge möglicher Bedürfnisse in Form einer Hierarchie aufeinander aufbauender Bedürfnisse an, angefangen von den biologischen Grundbedürfnissen, nach deren Befriedigung aufsteigend weitere Bedürfnisse zum Tragen kommen können, wobei der zunächst letzten Stufe, der Selbstverwirklichung, eine besondere Bedeutung im menschlichen Leben beigemessen wird.

Leistungsmotivation beschreibt das bei vielen Menschen auftretende Bedürfnis etwas zu leisten, woraus sich die Energie für das Ingangsetzen und Steuern vieler verschiedener Verhaltensweisen ableiten lässt. Der Stärke der Leistungsmotivation und ihrer Messbarkeit kommt in ihrer Auswirkung im praktischen Leben besondere Bedeutung zu. Menschen schreiben ihren Erfolgen und Misserfolgen in unterschiedlicher Weise Ursachen zu. Nach Atkinson lassen sich danach zumindest zwei Faktoren der Leistungsmotivation annehmen, das Bedürfnis nach Erfolg und die Angst vor Misserfolg. Entsprechend lassen sich erfolgsmotivierte und misserfolgsmotivierte (Angst vor Misserfolg) Personen und ihre Wahl leichter oder schwerer Aufgaben unterscheiden.

Bei der *Machtmotivation*, dem Streben nach Dominanz, Einfluss und Kontrolle, bedarf es bestimmter Machtquellen, auf die sich die Macht stützt. Unterschieden werden derzeit sechs Machtquellen: Belohnungs- und Bestrafungsmacht sowie legitimierte und Informationsmacht sowie Vorbild und Expertenmacht. Zur Messung des Machtmotivs wurde ausgehend vom projektiven TAT, der auch zur Messung des Leistungsmotivs verwendet wird, ein vereinfachtes Gitterverfahren. Unterschieden wird die personalisierte Macht von der sozialisierten Macht. Nach physiologischen Untersuchungen ist das Dominanzstreben bei Säugetieren wie auch beim Menschen mit einer verstärkten Testosteronausschüttung verbunden, die möglicherweise mit positiven Affekten verbunden als belohnend empfunden wird.

Motivation durch Zielsetzung. Ein weiterer wesentlicher Anreiz zu motiviertem Handeln ist das eigene Setzen von Zielen. Ein Ziel ist ein mentalrepräsentierter wertgeladener zukünftiger Zustand, der Verhalten steuert und organisiert. Ziele verändern unbeabsichtigt Aufmerksamkeits-, Gedächtnis- und Bewusstseinsprozesse (auf ein Ziel hin), und das zumeist unbewusst.

Volition bezeichnet die Verwirklichung von Zielen und ist von Prozessen der Zielsetzung zu unterscheiden. Sie bezieht sich also auf das Streben nach, und die handelnde Umsetzung von, bereits gesetzten Zielen.

Attributionstheorien basieren auf der Erkenntnis, dass Menschen sich normalerweise nicht damit begnügen, Ereignisse ihrer Umwelt, aber auch des eigenen Verhaltens, lediglich zu registrieren, sondern bestrebt sind, diese Ereignisse auf bestimmte Ursachen zurückzuführen. Hierbei lassen sich vier „Ursachenfaktoren" unterscheiden, die ihrerseits entweder „zeitstabil" oder über die Zeit „variabel" sind und die wir gemäß unserer persönlichen *Kontrollüberzeugung* (*locus-of-control*-Orientierung) entweder uns selbst zuschreiben (internal attribuieren) oder aber der Umwelt zuschreiben (external attribuieren). Dabei neigen Menschen generell eher dazu, Erfolge internal und Misserfolge external zu attribuieren. In diesem Zusammenhang werden Selbstwirksamkeit und Attributionsstile besprochen, ferner die Wirksamkeit von intrinsischer Motivation gegenüber extrinsischer, nicht aus der Sache selbst stammender, Motivation.

Antworten auf die Eingangsfragen

1. Bei einigen Tierarten lassen sich Verhaltensweisen beobachten, die weitgehend unabhängig von der Lerngeschichte des individuellen Tieres durch die Wahrnehmung bestimmter (Schlüssel-)Reize ausgelöst zu werden scheinen. Allerdings bleibt die entsprechende Reaktion aus, wenn sich das Tier nicht in einem passenden inneren Zustand befindet.
2. Der Begriff Motivation bezieht sich auf die Beweggründe für das Ingangsetzen und Aufrechterhalten von Tätigkeiten. Unter Motiven werden spezifische, handlungsleitende mentale Repräsentationen verstanden, welche vorgestellten oder wahrgenommenen Ereignissen oder Zuständen Anreizcharakter verleihen.
3. Erwartungs-mal-Wert-Theorien zufolge wird die Motivation durch die beiden Faktoren „Werthaftigkeit des Zielzustands" und „Erwartung hinsichtlich seines Eintretens" gemäß einer multiplikativen Beziehung beeinflusst. Die Motivation für ein Verhalten ist demnach am höchsten, wenn der Zielzustand als sehr wertvoll empfunden und sein Eintreten als sehr wahrscheinliche Konsequenz des Verhaltens angesehen wird. Die Motivation sinkt dagegen rapide ab, wenn mindestens einer der beiden Faktoren nur sehr gering ausgeprägt ist. So vermag ein noch so erwünschter Zustand kaum zu motivieren, wenn das Erreichen dieses Zustands unwahrscheinlich erscheint.
4. Die Auswahl spezifischer Handlungen ist maßgeblich durch aktuelle Verhaltensziele geprägt, d. h., wir realisieren vornehmlich zielführend erscheinende Handlungen aus dem uns zur Verfügung stehenden Verhaltensrepertoire. Darüber hinaus bewirkt das Setzen von Zielen eine verstärkte Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf zielbezogene Reize und Kognitionen.
5. Es besteht eine generelle Tendenz, Erfolge auf eigene Fähigkeiten (internal) und Misserfolge auf ungünstige äußere Bedingungen (external) zu attribuieren. Diese Tendenzen zeigen sich stärker bei Personen mit ausgeprägtem Leistungsmotiv. Die Art der Attribuierung kann dabei auch die (zukünftige) Motivation beeinflussen. Erlaubt die Attribuierung eine selbstwirksame Eigenwahrnehmung, so wirkt sich dies im Allgemeinen positiv auf die Motivation und den Leistungserfolg aus.

Fragen zur Wiederholung und Denkanstöße

1. Was sind Instinktreaktionen und was sind angeborene Auslösemechanismen?
2. Beschreiben Sie verschiedene Ansätze zum Motivationsverständnis.
3. Was sind Erwartungs-mal-Wert-Modelle?
4. Beschreiben Sie das Funktionsprinzip einer homöostatischen Motivation (Regelkreis).
5. Worin besteht der Unterschied zwischen Bedarfslage und Bedürfnis?
6. Was ist präresorptive Sättigung?
7. Welche Experimentalbeobachtungen führten zur dualen Hypothalamustheorie des Hungers und was besagt diese?
8. Inwieweit beeinflussen Lernen und kognitive Faktoren unsere Hungermotivation?
9. Was besagt die Set-Point-Hypothese der Hungerregulation?
10. Diskutieren Sie: Inwieweit ist die sexuelle Motivation ein biologischer Trieb, ein soziales Motiv, ein homöostatisches oder nicht homöostatisches Bedürfnis oder eine Anreizmotivation?

11. Welche Rolle spielen die gonadotropen Releasing-Faktoren (RF) bei der Geschlechtsdifferenzierung und der sexuellen Identität?
12. Durch welche Faktoren wird der sexuelle Reaktionszyklus gesteuert?
13. Welche Faktoren sind für die gegengeschlechtliche Attraktion bei Mann und Frau von Bedeutung?
14. Was sind sexuelle Skripts?
15. Was versteht man unter dem Anschlussbedürfnis und wo wirkt es sich aus?
16. Wie lässt sich die Stärke der mütterlichen Fürsorgemotivation messen?
17. Welche Bedeutung hat die frühe Sozialisation für die Ausbildung des mütterlichen Verhaltens?
18. Welche kognitiven Motivationsmodelle kennen Sie?
19. Welche Elemente umfasst die Hierarchie der Motive von Maslow?
20. Beschreiben und diskutieren Sie das Konzept der Leistungsmotivation von McClelland.
21. Welche Faktoren (Determinanten) werden von der Theorie des leistungsorientierten Verhaltens für die Ausprägung der Leistungsmotivation als wesentlich herausgestellt?
22. Wie wirken sich unterschiedliche Attribuierungen auf unsere Motivation aus?
23. Welche Auswirkung hat die Attribution von Erfolg/Misserfolg auf die Motivation?
24. Was wird als intrinsische, was als extrinsische Motivation bezeichnet?

Literatur

Abbey, A. (1987). Misperceptions of friendly behavior as sexual interest: A survey of natural occurring incidents. *Psychology Woman Quarterly*, *11*, 173–194.

Alkock, J. (1993). *Animal behavior*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.

Anand, B. K., & Brobeck, J. R. (1951). Localization of the feeding center in the hypothalamus of the rat. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, *77*, 323–324.

Atkinson, J. W. (1957). Motivational determinants of rist-taking behavior. *Psychological Review*, *64*, 359–372.

Atkinson, J. W. (1964). *An introduction to motivation*. Princeton, NJ: Van Nostrand.

Atkinson, J. W., Heyns, R. W., & Veroff, J. (1954). The effect of experimental arousal of the affiliation motive on thematic apperception. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, *49*, 405–410.

Atkinson, R. L., Atkinson, R. C., Smith, E. E., Bem, D. J., & Hilgard, E. R. (1990). *Introduction to psychology* (10. Aufl.). San Diego: Harcourt, Brace Jovanovich.

Atkinson, R. L., Atkinson, R. C., Hilgard, E. R. et al. (1953^{1}/2000^{13}). *(Hilgard's) Introduction to Psychology.* New York, San Diego, Chicago, San Fransisco, Atlanta: Harcourt Brace Jovanovich, Inc. (deutsch 2001, *Hilgards Einführung in die Psychologie.* Spektrum: Akademischer Verlag).

Atkinson, R. L., Atkinson, R. C., & Hilgard, E. R. et al. (2003). *(Hilgard's) Introduction to Psychology* (14. Aufl.). New York, San Diego, Chicago, San Fransisco, Atlanta: Harcourt Brace Jovanovich.

Atkinson, J. W., & Litwin, G. H. (1960). Achievement motive and test anxiety conceived as motive to approach success and motive to avoid failure. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, *49*, 405–410.

Atkinson, J. W., & Walker, E. L. (1956). The affiliation motive in perceptual sensitivity to faces. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, *53*(12), 38–41.

Baerends, G. P., Brouwer, R., & Waterbolk, H. T. (1955). Ethological studies on Lebistes reticulatus (Peters). I . An Analysis of the male courtship pattern. *Behaviour*, *8*, 249–334.

Barbuto, J. E. (2005). Motivation and transactional, charismatic, and transformational leadership: a test of antecendents. *Journal of Leadership and Organizational Studies*, *11*(4), 26–40.

Barbuto, J. E., & Scholl, R. W. (1998). Motivation sources inventory: development and validation of new scales to measure an integrative taxonomy of motivation. *Psychological Reports*, *82*(3), 1011–1022.

Barnett, S. A. (1963). *The rat: A study in behaviour*. Chicago: Aldine.

Baumeister, R. F., & Leary, M. R. (1995). The need to belong: Desire for interpersonal attachments as a fundamental human motivation. *Psychological Bulletin*, *117*, 497–529.

Becker-Carus, C. (1985). Motivation in Ethology and its implications for an integrative approach to the theory of motivation. In T. Spence & C. E. Izard (Hrsg.), *Motivation, Emotion and Personality*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.

Becker-Carus, C., Buchholtz, C., Etienne, A., Franck, D., Medioni, J., Schöne, H., Sevenster, P., Stamm, R. A., & Tschanz, B. (1972). Motivation, Handlungsbereitschaft, Trieb. *Zeitschrift Tierpsychologie*, *30*, 321–326.

Bell, R. R. (1974). Female sexual satisfaction as related to levels of education. In L. Gross (Hrsg.), *Sexual behavior*. Flushing: Spectrum.

Berlyne, D. E. (1960). *Conflict, arousal and curiosity*. New York: McGraw-Hill.

Bernhard, L. L. (1924). *Instinct*. New York: Holt.

Berscheid, E. (1985). Interpersonal attraktion. In G. Lindzey & Aronson (Hrsg.), *The handbook of social psychology*. New York: Random House.

Birbaumer, N., & Schmidt, R. F. (1999). *Biologische Psychologie* (4. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer.

Bolles, R. C. (1980). Some funcionalistic thought about regualation. In F. M. Toates & T. R. Halliday (Hrsg.), *Analysis of motivational processes* (S. 63–75). London: Academic Press.

Booth, D. A. (1972). Satiety and behavioral caloric compensation following intragastic glucose loads in the rat. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *78*, 412–432.

Bösel, R. (1987). *Physiologische Psychologie: Einführung in die biologischen und physiologischen Grundlagen der Psychologie* (2. Aufl.). Berlin: de Gruyter.

Bouchard Jr., T. J., Lykken, D. T., McGue, M., Segal, N. L., & Telegen, A. (1990). Sources of human psychological differences: The Minesota study of twins reared apart. *Science*, *250*, 223–228.

Bourne, L. E., & Ekstrand, B. R. (1992). *Einführung in die Psychologie*. Eschborn, Frankfurt/M: Klotz.

Brobeck, J. R. (1960). Regulation of feeding and drinking. In J. Field, H. Magoun & V. E. Hall (Hrsg.), *Handbook of Physiology* (Bd. II, S. 1179–1206). Baltimore: Williams & Wikins.

Brownell, K. D., & Rodin, J. (1994). The dieting maelstrom: Is it possible and advisable to lose weight. *American Psychologist*, *49*, 781–791.

Bruch, H. (1961). Transformation of oral impulses in eating disorders: A conceptual approach. *Psychiatric Quarterly*, *35*, 458–481.

Brunstein, J. C., & Maier, G. W. (1996). Persönliche Ziele: Ein Überblick zum Stand der Forschung. *Psychologische Rundschau*, *47*, 146–160.

Brunstein, J. C. (1995). *Motivation nach Misserfolg. Die Bedeutung von Commitment und Misserfolg*. Göttingen: Hogrefe.

Brunstein, J. C., Schultheiss, O. C., & Grässmann, R. (1998). Personal goals and emotional wellbeing: The moderating role of motive dispositions. *Journal of Personality and Social Psychology*, *75*, 494–508.

Buchholtz, C. (1982). *Grundlagen der Verhaltensphysiologie*. Braunschweig: Vieweg.

Buss, D. M. (2000). The evolution of happiness. *American Psychologist*, *50*, 169–171.

Butler, R. A. (1954). Curiosity in monkeys. *Scientific American*, Februar, 70–75.

Byrne, D. (1982). Predicting human sexual behavior. In A. G. Kraut (Hrsg.), *The G. Stanley Hall Lecture Series* Bd. 2 Washington, DC: American Psychological Association.

Cabanac, M. (1971). Physiological role of pleasure. *Science*, *173*, 1103–1107.

Cabanac, M., & Duclaux, R. (1970). Specificity of internal signals in producing satiety for taste stimuli. *Nature*, *227*, 966–967.

Cannon, W. B., & Washburn, A. (1912). An explanation of hunger. *American Journal of Physiology*, *29*, 441–454.
Cannon, W. (1915). *Bodily Changes in Pain, Hinger, Fear and Rage. An Account of Recent Researches into the Function of Emotional Excitement*. New York, London: Appleton & Co.
Cannon, W. B. (1932). *The wisdom of the body*. New York: Norton.
Christiansen, K. (1999). Hypophysen-Gonaden-Achse (Mann). In C. Kirschbaum & D. Hellhammer (Hrsg.), *Psychoendokrinologie und Psychoimmunologie* Enzyklopädie der Psychologie, Biologische Psychologie, (Bd. 3, S. 141–222). Göttingen: Hogrefe.
Clark, R. D. I. I. I., & Hatfield, E. (1989). Gender differences in willingness to engage in casual sex. *Journal of Psychology and Human Sexuality*, *2*(12), 39–55.
Clark, R. D. I. I. (1990). The impact of AIDS on gender differences in willingness to engage in casual sex. *Journal of Applied Social Psychology*, *20*, 771–782.
Cofer, C. N., & Appley, M. H. (1964). *Motivation. Theory and research* (S. 1). New York: Wiley.
Craig, W. (1918). Appetites and aversions as constituents of instincts. *Biological Bulletin, Woods Hole*, *34*, 91–107.
Cunningham, M. R. (1986). Measuring the physical in physical attractiveness: Quasi-experiments on the sociobiology of female facial beauty. *Journal of Personality and Social Psychology*, *50*, 925–935.
Dabbs, J. M. (1979). Testosterone smiling, and facial appearance. *Journal of Nonverbal Behavior*, *21*, 45–55.
Dabbs, J. M. (1992). Testosterone and occupational achievement. *Social forces*, *70*, 813– 824.
Darwin, C. (1876). *Über die Entstehung der Arten*. Ges. Werke, Bd. 2. Stuttgart: Schweizerbart. Orig. 1859, *On the origin of species by means of natural selection*. London: Murray (12)
DeCharms, R., & Moeller, G. H. (1962). Values expressed in American children's readers: 1800–1950. *Journal of Abnormal & Social Psychology*, *64*(2), 136–142.
Deci, E. L. (1975). *Intrinsic motivation*. New York: Plenum.
Diener, E., & Seligman, M. E. P. (2002). Very happy people. *Psychological Science*, *13*, 81–84.
Dweck, C. S. (1975). The role of expectations in the alleviation of learned helplessness. *Journal of Personality and Social Psychology*, *31*, 674–685.
Eibl-Eibesfeldt, I. (1978). *Grundriß der vergleichenden Verhaltensforschung*. München: Piper.
Eibl-Eibesfeldt, I. (1984/1997). *Die Biologie des menschlichen Verhaltens. Grundriß der Humanethologie.* München: Piper.
Elliot, A. J. (2008). *Handbook of approach and avoidance motivation*. New York: Psychology Press.
Engel, R. (1928). Experimentelle Untersuchungen über die Abhängigkeit der Lust und Unlust von der Reizstärke beim Geschmackssinn. *Archiv für die Gesamte Psychologie*, *64*, 1–36.
Entwisle, D. R. (1972). To dispel fantasies about fantasy-based measures of achievement motivation. *Psychological Bulletin*, *77*, 377–391.
Epstein, A. N., & Teitelbaum, P. (1962). Regulation of food intake in the absence of taste, smell, and other oropharyngeal sensations. *Journal of Comparative and Physiological psychology*, *55*, 753–759.
Eysenck, H. J., & Wilson, G. D. (1973). *The experimental study of Freudian theories*. London: Methuen.
Faust, I. M. (1984). Role of the fat cell in energy balance physiology. In A. T. Stunkard & E. Stellar (Hrsg.), *Eating and its disorders*. New York: Raven Press.
Festinger, L. (1942). A theoretical interpretation of shifts in level of aspiration. *Psychological Review*, *49*, 235–250.
Ford, C. S., & Beach, F. A. (1951). *Patterns of sexual behavior*. New York: Harper & Row.
Franck, D. (1985). *Verhaltensbiologie – Einführung in die Ethologie* (2. Aufl.). Stuttgart: Thieme.
French, J. R. P., & Raven, B. H. (1959). The basis of social power. In D. Cartwright (Hrsg.), *Studies in social power* (S. 150–167). Ann Arbor: The University of Michigan.
Freud, S. (1915/1969). *Trieb und Triebschicksale* (Gesammelte Werke, Bd. 10). London: Imago.
Friedman, M. I., & Stricker, E. M. (1976). The physiological psychology of hunger: A physiological perspective. *Psychological Review*, *83*, 409–431.
Fröhlich, A. (1901). Ein Fall von Tumor der Hypophysis cerebri ohne Akromegalie. *Wiener Klinische Rundschau*, *15*, 883–886.
Gagnon, J. H. (1977). *Human sexualities*. Glenview: Scott Foresman.
Gallistel, C. R. (1973). Self-stimulation: the neurophysiology of reward and motivation. In J. A. Deutsch (Hrsg.), *The physiological basis of memory*. New York: Academic Press.
Gallistel, C. R. (1983). Self-stimulation. In J. A. Deutsch (Hrsg.), *The physiological basis of memory* (2. Aufl. S. 269–349). New York: Academic Press.
Gibbs, J., Young, R., & Smith, G. P. (1973). Cholecystokinin decreases food intake in rats. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *84*, 484–495.
Gold, R. M. (1973). Hypothalamic obesity: The myth of the ventromedial nucleus. *Science*, *182*, 488–490.
Gold, R. M., Jones, A. P., Sawchenko, P. E., & Kapatos, G. (1977). Paraventricular area: Critical focus of a longitudinal neurocircuitry mediating food intake. *Physiology & Behavior*, *18*, 1111– 1119.
Gollwitzer, P. M. (1993). Goal achievement: The role of intentions. *European Review of Social Psychology*, *4*, 141–185.
Gollwitzer, P. M. (1999). Implementation intentions. Strong effects of simple plans. *Journal of Personality and Social Psychology*, *73*, 186–197.
Gollwitzer, P. M. (1987). Suchen, Finden und Festigen der eigenen Identität: Unstillbare Zielintentionen. In H. Heckhausen, P. M. Gollwitzer & F. E. Weinert (Hrsg.), *Jenseits des Rubikon: Der Wille in den Humanwissenschaften* (S. 176–189). Berlin: Springer.
Gollwitzer, P. M., Fujita, K., & Oettingen, G. (2004). Planing and the implementation of goals. In R. Baumeister & K. Vohs (Hrsg.), *Handbook of self-regulation* (S. 211–228). New York: Guilford.
Goschke, T. (2002). Voluntary action and cognitive control from a cognitive neuroscience perspective. In W. Prince, G. Roth & S. Maasen (Hrsg.), *Voluntary action. An Issue at the Interface of nature and culture*. Oxford: Oxford University Press.
Griffitt, W. (1987). Females, males, and sexual responses. In: K. Kelly (Hrsg.), *Females, males, and sexuality* (S. 141–173). Albany, NY: State University of New York Press. [12].
Griffith, P. E. (1997). *What Emotions really are: The problem of psychological categories*. Chicago: University of Chicago Press.
Grossman, S. P. (1967). *A textbook of physiological psychology*. New York, London: Wiley & Sons.
Grossman, S. P. (1979). The biology of motivation. *Annual Review of Psychology*, *30*, 209–242.
Gurney, R. (1936). The hereditary factor on obesity. *Archives of internal medicine*, *57*, 557–561.
Hacker, W. (1978). *Allgemeine Arbeits- und Ingenieurspsychologie*. Bern: Huber.
Harcourt, A. H. (1989). Social influences on competitive ability: Aliances and their consequences. In V. Standen & R. A. Foley (Hrsg.), *Comparative Socioecology*. Oxford: Blackwell.
Harlow, H. F. (1958). The nature of love. *American Psychologist*, *13*, 673–585.
Harris, L. J., Clay, J., Hargreaves, F. J., & Ward, A. (1933). Appetite and choice of diet: the ability of the vitamin B deficient rat to discriminate between diets containing and lacking the vitamin. *Proceedings of the Royal Society of London*, *113*, 161–190.
Heckhausen, H. (1963). *Hoffnung und Furcht in der Leistungsmotivation*. Meisenheim: Hain.
Heckhausen, H. (1977a). Achievement motivation and its constructs: A cognitive model. *Motivation and Emotion*, *1*, 283–329.
Heckhausen, H. (1977b). Motivation. Kognitionspsychologische Aufspaltung eines summarischen Konstrukts. *Psychologische Rundschau*, *28*, 175–189.
Heckhausen, J., & Heckhausen, H. (2006). *Motivation und Handeln* (S. 211). Heidelberg: Springer. Und S. 291
Heckhausen, H. (1980/1989). *Motivation und Handeln.* Heidelberg, Berlin: Springer.
Heckhausen, H., & Weiner, B. (1972). The emergence of a cognitive psychology of motivation. In P. C. Dodwell (Hrsg.), *New horizons in psychology* (Bd. 2, S. 126–147). London: Penguin.
Heiman, J. R. (1975). The physiology of erotica: Women's sexual arousal. *Psychology Today*, April, 90–94.
Hetherington, A. W., & Ranson, S. W. (1940). Hypothalamic lesions and adiposity in Rat. *Anatomical Record*, *78*, 149–172.
Hilgard, E. R. et al. (2000) (siehe Atkinson et al., *Introduction to Psychology*).

Hinkin, T. R., & Schriersheim, C. R. (1989). Development and application of new scales to measure the French and Raven (1959) bases of social behavior. *Journal of Applied Psychology*, *74*, 561–567.
Hoebel, B. G., & Teitelbaum, P. (1969). Hypothalamic control of feeding and self stimulation. In C. Zeigler & H. P. Zeigler (Hrsg.), *Readings in physiological psychology: Motivation*. New York: Harper & Row.
Hofstätter, P. R. (1963). *Einführung in die Sozialpsychologie*. Stuttgart: Kröner.
Hull, C. L. (1943). *Principles of behavior*. New York: Appleton.
Hull, C. L. (1952). *A behavior system: An introduction to behavior theory concerning the individual organism*. New Haven Conn: Yale University Press.
Hunt, M. (1974). *Sexual behaviour in the 1970's*. Chicago: Playboy Press.
James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York: Holt, Rinehart & Winston. 2 Bände
Janowitz, H. D., & Grossman, M. I. (1949). Some factors affecting the food intake of normal dogs and dogs' esophagostomy and gastric fistula. *American Journal of Physiology*, *159*, 143–148.
Janowitz, H. D., & Hollander, F. (1953). Effect of prolonged intragastic feeding on oral ingestion. *Federal Proceedings*, *12*, 72.
Janowitz, H. D. (1967). Role of the gastrointestinal tract in regulation of food intake. In C. F. Code (Hrsg.), *Control of food and water intake* Handbook of physiology (Section 6): Alimentary canal, (Bd. I, S. 219–224). Washington: American Physiological Society.
Johns (1961). *Nebraska Symposium on Motivation* (S. 39–65). Lincoln: University of Nebraska Press.
Johnson, C. B., Stockdale, M. S., & Saal, F. E. (1991). Persistence of men's misperceptions of friendly cues across a variety of interpersonal encounters. *Psychology of Women Quarterly*, *15*, 463–475.
Jones, E. E. (1995). Sexual selection, physical attractiveness, and facial neoteny: Cross-cultural evidence and implications. *Current Anthropology*, *36*, 723–748.
Julian, T., & McKenry, P. C. (1989). Relationchip of testosterone to man's family functioning at mid-life: A research note. *Aggressive Behavior*, *15*, 281–289.
Karabenick, S. A., & Youssef, Z. I. (1968). Performance as a function of achievement motive level and perceived difficulty. *Journal of Personality and Social Psychology*, *10*, 414–419.
Keesey, R. E., & Powley, T. L. (1975). Hypothalamic regulation of body weight. *American Scientist*, *63*, 558–565.
Keesey, R. E., & Powley, T. L. (1986). The regulation of body weight. *Annual Review of Psychology*, *37*, 109–133.
Kenrick, D. T., Sadalla, E. K., Groth, G., & Trost, M. R. (1990). Evolution, traits, and the stages of human courtship: Qualifying the parental investment model. *Journal of Personality*, *58*, 97–116.
King, L. A. (1995). Wishes, motives goals, and personal memories: Relations of measures of human motivation. *Journal of Personality*, *63*, 985–1007.
Kinsey, A. C., Martin, C. E., & Pomeroy, W. B. (1948). *Sexual behavior in the human male*. Philadelphia: Saunders.
Kinsey, A. C., Pomeroy, W. B., Martin, C. E., & Gebhard, P. H. (1953). *Sexual behavior in the human female*. Philadelphia: Saunders.
Klinger, E. (1975). Consequences of commitment to disengagement from incentives. *Psychological Review*, *82*, 1–25.
Knittle, J. L., & Hirsch, J. (1968). Effect of early nutrition on the development of rat epididymal fat pads: Cellularity and metabolism. *Journal of clinical investigation*, *47*, 20–91.
Kohlberg, L. (1976). Moral stages and moralization, the cognitive development approach. In T. Likona (Hrsg.), *Moral development and behavior*. New York: Holt, Rinehard and Winston.
Kohlberg, L. (1981). *Essays on moral development*. Bd. 1. San Francisco: Jossea Bass.
Kuester, J., & Paul, A. (1989). Reproductive strategies of subadult barbary macaque males at Affenberg Salem. In A. E. Rasa, C. Vogel & E. Voland (Hrsg.), *The sociobiology of sexual and reproductive strategies* (S. 93–103). London: Chapman & Hall.
Kuhl, J. (1983). *Motivation, Konflikt und Handlungskontrolle*. Berlin: Springer.
Kuhl, J. (1987). Action control: the maintenance of motivational states. In F. Halisch & Kuhl (Hrsg.), *Motivation, intention and volition* (S. 279–2291). Berlin: Springer.
Kuhl, J. (2001). *Motivation und Persönlichkeit*. Göttingen: Hogrefe.
Lansing, J. B., & Heyns, R. W. (1959). Need affiliation and frequency of four types of communication. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, *58*, 356–372.
Laumann, E. O., Gagnon, J. H., Michael, R. T., & Michaels, S. (1994). *The social organization of sexuality: Sexual practices in the United States*. Chicago: University of Chicago Press.
Leary, M. R., Haupt, A. L., Strausser, K. S., & Chockel, J. T. (1998). Calibrating the sociometer: The relationchip between interpersonal appraisals and state self-esteem. *Journal of Personality and Social Psychology*, *74*, 1290–1299.
Leibowitz, S. F., Hammer, N. J., & Chang, K. (1981). Hypothalamic paraventricular nucleus lesions produce overeating and obesity in rat. *Physiology & Behavior*, *27*, 1031–1040.
Leibowitz, S. F. (1992). Neurochemical-neuroendocrine systems in the brain controlling macronutrient intake and metabolism. *Trends in Neurosciences*, *15*, 491–497.
Leibowitz, S. F., & Shor-Posner, G. (1986). Hypothalamic monoamine systems for control of food intake: Analysis of meal patterns and macronutrient selection. In M. O. Carruba & J. E. Blundell (Hrsg.), *Pharmacology of eating disorders: Theroretical and clinical developments* (S. 29–49).
Lepper, M. R., Greene, D., & Nisbett, R. E. (1973). Undermining children's intrinsic interest with extrinsic reward: A test of the overjustification hypothesis. *Journal of Personality and Social Psychology*, *28*(1), 129–137.
Lewin, K. (1935). *A dynamic theory of personality: Selected papers*. New York: McGraw-Hill.
Lewin, K. (1926). Untersuchungen zur Handlungs- und Affekt-Psychologie II.: Vorsatz, Wille und Bedürfnis. *Psychologische Forschung*, *7*, 330–385.
Lewin, K. (1938). *The conceptual representation and the measurement of psychological forces*. Durham, NC: Durke University Press.
Lorenz, K. (1937). Über die Bildung des Instinktbegriffs. *Naturwissenschaften*, *25*, 289–300. 307–318, 325–331.
Lorenz, K. (1943). Die angeborenen Formen möglicher Erfahrung. *Zeitschrift für Tierpsychologie*, *5*, 235–309.
Lorenz, K. (1950). Ganzheit und Teil in der tierischen und menschlichen Gemeinschaft. *Studium Generale*, *3*, 455–499.
Malamuth, N. M. (1996). Sexually explicit media, gender differences, and evolutionary theory. *Journal of Communication*, *46*, 8–31.
Maslow, A. H. (1970). *2). Motivation and personality* (2. Aufl.). New York: Harper & Row.
Masters, W. H., & Johnson, V. E. (1966). *Human sexual response*. Boston: Little, Brown.
Masters, W. H., & Johnson, V. E. (1970). *Human sexual inadequency*. Boston: Little, Brown.
Masters, W. H., & Johnson, V. E. (1979). *Homosexuality in perspective*. Boston: Little, Brown.
Mayer, J. (1953). Genetic, traumatic and environment factors in the etiology of obesity. *Physiol Rev.*, *33*, 472–508.
Mayer, J. (1955). Regulation of energy intake and the body weight: The glucostatic theory and the lipostatic hypothesis. *Annals of the New York Academic of Sciences*, *63*, 15–43.
McClelland, D. C. (1961). *The achieving society*. Princeton: Van Nostrand.
McClelland, D. C., Atkinson, J. W., Clark, R. A. & Lowell, E. L. (1953/1976). *The achievement motive.* New York: Appleton-Century-Crofts.
McClelland, D. C., & Winter, D. G. (1969). *Motivating economic achievement*. New York: Free Press.
McClelland, D. C. (1975). *Power: The inner experience*. New York: Irvington.
McClelland, D. C. (1989). Motivational factors in health and disease. *American Psychologist*, *44*, 675–683.
McClelland, D. C., Wanner, E., & Vanneman, R. (1972). Drinking in the wider context of restrained and unrestrained assertive thoughts and acts. In D. C. McClelland, W. N. Davis, R. Kalin & E. Wanner (Hrsg.), *The drinking man* (S. 162–197). New York: The Free Press.
McDougall, W. (1908a). *An introduction to social psychology*. London: Methuen.
McDougall, W. (1908b). *Social Psychology*. New York: G. P. Putnam's Sons.
McFarland, D. J. (1971). *Feedback mechanisms in animal behaviour*. New York: Academic Press.
Meyer, W.-V. (1973). *Leistungsmotiv und Ursachenklärung von Erfolg und Misserfolg*. Stuttgart: Klett.
Miller, N. E. (1948). Fear as an dequired drive. *Journal of Experimental Psychology*, *38*, 89–101.

Miller, G. A., Galanter, E., & Pribram, K. L. (1960). *Plans and the structure of behavior*. New York: Holt, Rinehart and Winston.

Mitchel, J. S., & Keesey, R. E. (1974). The effects of lateral hypothalamic lesions and castration upon the body weight of male rats. *Behavioral Biology*, *11*, 69–82.

Monson, T. C. (1983). Implications of the traits v. situations controversy for differences in the attributions of actors and observers. In J. Jaspars, F. D. Fincham & M. Hewstone (Hrsg.), *Attribution theory and research: Conceptual developmental and social dimensions* (S. 293–313). New York: Academic Press.

Muehlenhard, C. L. (1988). Misinterpreted dating behaviors and the risk of date rape. *Journal of Social and Clinical Psychology*, *6*, 20–37.

Murray, H. A. (1938). *Explorations in personality*. New York: Oxford University Press.

von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1944). *Theory of games and Economic behavior*. Bd. 12. Princeton: University Press. deutsch 1961, *Spieltheorie und Wirtschaftliches Verhalten*. Würzburg: Physika-Verlag.

Nisbett, R. E. (1968). Taste, deprivation, and weight determinants of eating behavior. *Journal of Personality and Social Psychology*, *10*, 107–116.

Nisbett, R. E. (1972). Hunger, obesity, and the ventromedial hypothalamus. *Psychological Review*, *79*, 433–453.

Nisbett, R. E., & Storms, M. D. (1974). Cognitive and social determinants of food intake. In H. London & R. E. Nisbett (Hrsg.), *Thought and feeling: Cognitive alteration of feeling states* (S. 190–208). Chicago: Aldine.

Nolen-Hoeksema, S., Fredrickson, B. L., Lotfus, G. R., & Lutz, C. (2014). *Atkinson & Hilgards Introduction to Psychology*. Cheriton House, Hampshire: Cencage Learning EMEA.

Nuttin, J. M. (1968). Adaptation et motivation humaine. In F. Bresson et al. (Hrsg.), *Le processus d'adaptation* Symposium de l'Association de Psychologie Scientifique de Langue Francaise.

Oppelt, W. (1964). *Kleines Handbuch technischer Regelvorgänge*. Weinheim: Verlag Chemie.

Pérusse, D. (1994). Mate choice in modern societies: Testing evolutionary hypotheses with behavioral data. *Human Nature*, *5*, 255–278.

Phoenix, C. H., Goy, R. H., & Resko, J. A. (1968). Psychosexual differentiation as a function of androgenic stimulation. In M. Diamond (Hrsg.), *Reproduction and sexual behaviour*. Bloomington: Indiana University Press.

Pinel, J. P. (1997). *Biopsychologie*. Needhem Heights, MA 02194: Spektrum. engl. Original: John P. J. Pinel, Biopsychology 4E. Allyn and Bacon.

Ploog, D. (1964). Verhaltensforschung und Psychiatrie. In H. W. Jung, W. Mayer-Gross & M. Müller (Hrsg.), *Psychiatrie der Gegenwart* Bd. 1 Berlin: Springer.

Powley, T. L., Opsahl, C. A., Cox, J. E., & Weingarten, H. P. (1980). The role of the hypothalamus in energy homeostasis. In P. J. Morgane & J. Panksepp (Hrsg.), *Behavioral studies of the hypothalamus* Handbook of the Hypothalamus, (Bd. 3A, S. 211–298). New York: Marcel Dekker.

Preyer, W. (1982). *Die Seele des Kindes, Beobachtungen über die geistige Entwicklung des Menschen in den ersten Lebensjahren*. Leipzig: Fernau.

Puca, R. M., & Langens, T. A. (2008). Motivation. In J. Müsseler (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie* (S. 191–229). Heidelberg: Springer (Spektrum).

Pudel, V. (1978). *Zur Psychogenese und Therapie der Adipositas. Untersuchungen zum menschlichen Appetitverhalten*. Berlin: Springer.

Raven, B. H. (1974). The comparative analysis of power and power preference. In J. T. Tedechi (Hrsg.), *Perspectives on social Power*. Chicago: Aldine.

Ravussin, E., et al. (1988). Reduced rate of energy expenditure as a risk factor for body-weight gain. *New England Journal of Medicine*, *318*, 467–472.

Rezek, M., & Novin, D. (1976). Duodenal nutrient infusion: Effects on feeding in intact and vagotomized rabbits. *Journal of Nutrition*, *106*, 812–820.

Rodin, J. (1981). Current status of the internal-external hypothesis of obesity: What went wrong? *American Psychologist*, *36*, 361–372.

Ross, H. S., Rheingold, H. L., & Eckerman, C. O. (1972). Approach and exploration of a novel alternative by 12-month-old infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, *13*, 85–93.

Russek, M. (1971). Hepatic receptors and the neurophysiological mechanisms controlling feedback behavior. In S. Ehrenpreis (Hrsg.), *Neurosciences Research* Bd. 4 New York: Academic Press.

Sadalla, E. K., Kenrick, D. T., & Vershure, B. (1987). Dominance and heterosexual attraction. *Journal of Personality and Social Psychology*, *52*, 730–738.

Satinoff, E., & Shan, S. Y. (1971). Loss of behavioral thermoregulation after lateral hypothalamic lesions in rats. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *72*, 302–312.

Sax, L. J., Astin, A. W., Korn, W. S., & Mahonney, K. M. (1996). *The American freshman: National norms for Fall 1996*. Los Angeles, CA: Higher Education Research Institure, UCLA.

Schachter, S. (1968). Obesity and eating. *Science*, *161*, 751–756.

Schachter, S. (1971). *Emotion, obesity, and crime*. New York: Academic Press.

Schachter, S., & Gross, L. (1968). Manipulated time and eating behavior. *Journal of Personality and Social psychology*, *10*, 98–106.

Schjelderup-Ebbe, T. (1935). Social behavior in birds. In C. Murchinson (Hrsg.), *Handbook of social Psychology*. Worcester: Clark University Press.

Schmalt, H.-D. (1976). *Die Messung des Leistungsmotivs*. Göttingen: Hogrefe.

Schmalt, H.-D. (1978). Leistungsthematische Kognitionen II: Kausalattribuierungen, Erfolgserwartungen und Affekte. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, *26*, 509–531.

Schmalt, H. D. (1999). Assessing the achievementmotiv using the grid technique. *Journal of Reserch in Personality*, *33*, 109–130.

Schmalt, H. D., & Heckhausen, H. (1990). Motivation. In H. Spada (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie*. Bern: Huber.

Schmidt, R. F., & Thews, G. (Hrsg.). (1997). *Physiologie des Menschen*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Schneider, K. & Schmalt, H.-D. (1981/1994/2000^3/2002). *Motivation.* Stuttgart: Kohlhammer.

Schultheiss, O. C., & Rohde, W. (2002). Implicit power motivation predicts men's testosterone change and implicit learning in a contest situation. *Hormones and Behavior*, *41*, 195.202.

Schultheiss, O. C. (2007). A biobehavioral model of implicit power motivation arousal, reward and frustration. In E. Harmon-Jones & P. Winkielman (Hrsg.), *Social Neuroscience: Integrating biological and psychological explanations of social behavior* (S. 176–196). New York: Guilford Press.

Schultheiss, O. C., Campbell, K. L., & McClelland, D. C. (1999). Implicit power motivation moderates men's testosterone responses to imagined and real dominance success. *Hormones and behavior*, *36*, 234–241.

Schweiger, U., & Pirke, K.-L. (1999). Die Hypothalamus-Gonaden-Hypophysen-Achse bei der Frau. Wechselwirkungen mit Verhalten und anderen psychischen Funktionen. In C. Kirschbaum & D. Hellhammer (Hrsg.), *Psychoendokrinologie und Sclafani* Enzyklopädie der Psychologie, Theorie und Forschung, Biologische Psychologie, Bd. 3 1990.

Sclafani, A. (1990). Nutritionally based learned flavor preferences in rats. In: E. D. Capaldi & T. L. Powley (Hrsg.), *Taste, experience, and feeding* (S. 139–156). Washington, DC.

Sheffield, F. D., & Roby, T. B. (1950). Reward value of a non-nutritive sweet taste. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *43*, 471–481.

Siebenaler, J. B., & Caldwell, D. K. (1956). Cooperation among adult dolphins. *J. Mammol.*, *37*, 126–128.

Silver, A. J., & Morley, J. E. (1991). Role of CCK in regulation of food intake. *Progress in Neurobiology*, *36*, 23–34.

Sokolowski, K. (1996). Wille und Bewusstheit. In J. Kuhl & H. Heckhausen (Hrsg.), *Motivation Volition und Handlung* Enzyklopädie der Psychologie, Motivation und Emotion, (Bd. 4, S. 485–530). Göttingen: Hogrefe.

Spitz, R. A. (1957). *Entstehung der ersten Objektbeziehungen*. Stuttgart: Klett.

Stockton, M. C., & Murnen, S. K. (1992). *Gender and sexual arousal in response to sexual stimuli: A meta-analytic review*. Presented at the American Psychological Society convention.

Stunkard, A. J. (1982). Obesity. In M. Hersen, A. Bellack & A. Kazdin (Hrsg.), *International Handbook of behavior modification and therapy* Bd. 12 New York: Plenum.

Suomi, S. J., Harlow, H. F., & McKinney, W. T. (1972). Monkey psychiatrist. *American Journal of Psychiatry*, *28*, 41–46.

Tavris, C., & Sadd, S. (1977). *The Redbook report on female sexuality*. New York: Dell.

Teitelbaum, P., & Epstein, A. N. (1962). The lateral hypothalamic syndrome: Recovery of feeding and drinking after lateral hypothalamic lesions. *Psychological Review*, *69*, 74–90.

Terkel, J., & Rosenblatt, J. S. (1972). Humoral factors underlying maternal behavior at parturation: Cross transfusion between freely moving rats. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *80*, 365–377.

Tinbergen, N. (1951/1952). *The Study of Instinct.* London: Oxford University Press (deutsch 1952/1956, *Instinktlehre.* Hamburg: Parey).
Tinbergen, N. (1956). *Instinktlehre. Vergleichende Erforschung angeborenen Verhaltens*. Berlin: Parey.
Toates, F. M. (1981). The control of ingestive behaviour by internal and external stimuli – A theoretical review. *Appetite*, *2*, 35–50.
Trotter, R. J. (1987). Stop blaming yourself. *Psychology Today*, Februar, 30–39.
Tsang, Y. C. (1938). Hunger motivation in gastrectomized rats. *Journal of comparative Psychology*, *26*, 1–17.
Twenge, J. M., Baumeister, R. F., Tice, D. M., & Stucke, T. S. (2001). If you can't join them, beat them: Effects of social exclusion on aggressive behavior. *Journal of Personality and Social Psychology*, *81*, 1058–1069.
Twenge, J. M., Catanese, K. R., & Baumeister, R. F. (2002). Social exclusion causes self defeating behavior. *Journal of Personality and Social Psychology*, *83*, 606–015.
Uvnäes-Moberg, K. (1998). Oxytocin may mediate the benefits of positive social interaction and emotions. *Psychoneuroendocrinology*, *23*, 819–835.
Valle, V. A., & Frieze, I. H. (1976). Stability of causal attributions as a mediator in changing expectations for success. *Journal of Personality and Social Psychology*, *33*, 579–587.
Verhoff, J. (1957). Development and validation of a projective measure of power motivation. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, *54*, 1–8.
Weiner, B. (1972). *Theories of motivation*. Chicago: Markham.
Weiner, B., Russell, D., & Lerman, D. (1979). The cognition-emotion process in achievement-related contexts. *Journal of Personality and Social Psychology*, *37*, 1211–1220.
Weiner, B., Heckhausen, H., Meyer, W.-U., & Cook, R. E. (1972). Causal ascriptions and achievement behavior. A conceptual analysis of effort andreanalysis of locus of control. *Journal of Personality and Social Psychology*, *21*, 239–248.
Weiner, B., Frieze, I., Kukla, A., Reed, L., Rest, S., & Rosenbaum, R. M. (1971). *Perceiving the causes of success and failure*. New York: General Learning Press.
Wendt, D. (1989). *Allgemeine Psychologie: Eine Einführung*. Stuttgart, Berlin, Köln: Kohlhammer.
Willett, W. C. (1994). Diet and health: What should we eat? *Science*, *264*, 532–537.
Winter, D. G., & Barenbaum, N. B. (1985). Responsibility and the power motive in woman and man. *Journal of Personality*, *53*, 335–355.
Winter, D. G. (1972). The need for power in college man: Action correlates in relationship to drinking. In D. C. McClelland, W. N. Davis, R. Kalin & E. Wanner (Hrsg.), *The drinking man* (S. 99–119). New York: The Free Press.
Winter, D. G. (1991). A motivational model of leadership: Predicting long-term management success from TAT measures of power motivation and responsibility. *Leadership Quarterly*, *2*, 67–80.
Wolfe, D. A. (1985). Child-abusive parents: An empirical review and analysis. *Psychological Bulletin*, *97*, 462–482.
Woods, S. C. (1991). The eating paradox: How we tolerate food. *Psychological Review*, *98*, 488–505.
Woodworth, R. S., & Schlosberg, H. (1965). *Experimental Psychology*. New York: Holt, Rinehard and Winston.
Young, P. T. (1967). Palatability: the hedonic response to food stuffs. In C. F. Code (Hrsg.), *Control of food and water intake* Handbook of physiology (Section 6): Alimentary canal, (Bd. I, S. 353–366). Washington: American Physiological Society.
Zhang, Y., Proenca, R., Maffei, M., Barone, M., Leopold, L., & Friedman, J. M. (1994). Positional cloning of the mouse obsene gene and its human homologue. *Nature*, *371*, 425–431.
Zimbardo, P. G. (1983/1995[6]). *Psychologie.* Berlin: Springer.
Zuckermann, M. (1979). *Sensation seeking: Beyond the optimal level of arousal*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
Zuckermann, M. (1990). The psychophysiology of sensation seeking. *Journal of Personality*, *58*, 313–345.
Zuckermann, M. (1994). Impulsive unsocialized sensation seeking: The biological foundations of basic dimensions of personality. In J. E. Bates & D. T. Wachs (Hrsg.), *Temperament. Individual differences at the interface of biology and behavior* (S. 219–255). Washington D.C.: American Psychological Asssociation.

Emotion

Christian Becker-Carus, Mike Wendt

12.1 Emotion und Motivation – 540
12.1.1 Emotionale Reaktionsweisen: Komponenten der Emotion – 540
12.1.2 Funktionale Bedeutung von Emotionen – 541
12.1.3 Emotion und Erregung (physiologische Ebene) – 542

12.2 Frühe Theorien der Emotion – 543
12.2.1 James-Lange-Theorie – 543
12.2.2 Cannon-Bard-Theorie – 544
12.2.3 Lindsleys Aktivationstheorie – 545
12.2.4 Emotion und emotionale Erregung – 545

12.3 Kognition und Emotion (kognitive Ebene) – 545
12.3.1 Zwei-Komponenten-Theorie von Schachter und Singer – 546
12.3.2 Kognitive Bewertungstheorien – 549
12.3.3 Emotion ohne Kognition – 549

12.4 Emotionaler Ausdruck (motorische Ebene) – 551
12.4.1 Universalität des Ausdrucks und seine kommunikative Funktion – 551
12.4.2 Ausdruckslokalisationen im Gehirn – 552
12.4.3 Wirkungen des emotionalen Gesichtsausdrucks: Facial-Feedback-Hypothese – 553
12.4.4 Ausdrucksphysiologie – 554

12.5 Aggression als emotionale Reaktion – 554
12.5.1 Mechanismen der Aggression – 554
12.5.2 Manipulation aggressiver Emotion – 555

12.6 Angst als emotionale Reaktion – 558
12.6.1 Biologische Grundlage der Angst – 558
12.6.2 Erlernte Angst – 558

12.7 Emotionaler Stress – 558
12.7.1 Stress-Reaktionsmechanismen – 559
12.7.2 Kognitive Bewertung – 559
12.7.3 Allgemeines Anpassungssyndrom – 561
12.7.4 Konzepte der Stressverarbeitung – 562

12.8 Facetten der Emotion – ein Resümee – 563

Literatur – 566

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Becker-Carus, M. Wendt, *Allgemeine Psychologie,* DOI 10.1007/978-3-662-53006-1_12

Dem stärksten Willen fehlt oft die Kraft, die einer zarten Emotion selbstverständlich ist.
(E. Hablé, österreichische Aphoristikerin)

Die Vernunft formt den Menschen, das Gefühl leitet ihn.
(J. Jacques Rousseau)

Öfter als jedes andere Lebewesen bewegen uns Angst oder Wut, Schmerz oder Trauer, Freude oder Liebe.

? 1. Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem Empfinden eines Gefühls und dabei auftretenden körperlichen Reaktionen wie z. B. Zittern oder Beschleunigung des Herzschlags?
2. Wie lässt sich nachweisen, dass Emotionen durch Ereignisse hervorgerufen werden können, die uns nicht bewusst werden?
3. Unterscheiden sich Ausdrucksformen von Emotionen zwischen Angehörigen unterschiedlicher Kulturen?
4. Werden Emotionen in den beiden Gehirnhälften unterschiedlich verarbeitet, und wie?
5. Lässt sich aggressives Verhalten durch künstliche Stimulation bestimmter Hirnbereiche auslösen?

Emotionen werden in uns gewöhnlich durch eine äußere Reizsituation und deren kognitiven Gehalt ausgelöst: Wir begegnen einem unliebsamen Menschen auf der Straße. Wir sind plötzlich in einen Autounfall verwickelt. Wir erleben einen 1:0-Sieg in einem Fußballmatch, oder wir treffen unerwartet unsere Geliebte. – Solche psychologischen Situationen, die bei uns ein ganz bestimmtes individuelles Erleben auslösen, sind beim Menschen nicht allein auf die gegenwärtige Wahrnehmung beschränkt. Emotionen können bei uns auch in gleicher Stärke durch die bloße Nachricht über eine solche Situation wachgerufen werden, zum Beispiel wenn wir erfahren, dass ein uns nahestehender Mensch verstorben ist oder wir in einem Lottospiel gewonnen haben. Auch die Erinnerung an vergangene oder die Vorstellung zukünftiger Ereignisse vermag in uns Emotionen auszulösen. In allen diesen möglichen Situationen finden wir jedoch stets drei Faktoren: den Organismus, die Umwelt und unsere kognitive Bewertung, die weitgehend durch frühere Erfahrungen und Erlebnisse bestimmt ist. Deutlich wird dies zum Beispiel an unserem genannten Fußballsieg, den wir unterschiedlich erleben, je nachdem, welche Spieler wir als „unsere Spieler" betrachten.

Die Vielfalt emotionaler Erscheinungen und ihrer Auslösung hat zu den unterschiedlichsten Forschungs- und Erklärungsansätzen angeregt. Auch die heute vorliegenden Werke zur *Emotionspsychologie* sind im deutschen wie auch im englischen Sprachraum ungewöhnlich heterogen. Das mag – ähnlich wie in der Motivationspsychologie – einerseits daran liegen, dass die Thematik nicht nur in der Allgemeinen Psychologie bearbeitet wird, sondern unter anderem auch in der Sozialpsychologie, der differenziellen und Persönlichkeits- wie auch in der klinischen und der Entwicklungspsychologie, wobei andererseits jeweils auch noch ganz unterschiedliche Aspekte – biologische, soziologische oder kognitive – im Vordergrund stehen können.

Beginnend mit der Frage nach der Definition von Emotion und ihrer Abgrenzung zu verwandten Konstrukten wie dem der Motivation (auch Emotion ist ein hypothetisches Konstrukt), werden wir uns zunächst mit der funktionalen Bedeutung von Emotion und dem Konzept der emotionalen Erregung befassen, auf dem schon die frühen Emotionstheorien aufbauen. Anschließend werden wir uns sodann den wichtigsten Aspekten der gegenwärtigen Emotionspsychologie zuwenden, die den drei offenbar grundlegenden Komponenten der Emotion – Erleben, körperliche/physiologische Reaktion und Ausdruck – unterschiedliche Bedeutung beimessen.

12.1 Emotion und Motivation

Zur Definition, was eine **Emotion** ist, gibt es bislang keine zufriedenstellende Aussage. Emotion lässt sich jedoch zumindest charakterisieren als ein stark motivationaler Zustand, der gewöhnlich von erhöhter Reizbarkeit und verstärktem Zuwendungs- oder Rückzugsverhalten begleitet wird und der eine erhöhte, weit reichende Aktivität des autonomen (ANS) und zentralen Nervensystems (ZNS) umfasst. So beinhalten die klassischen emotionalen Zustände wie Furcht, Ärger (Zorn) oder Freude einen beträchtlichen Anteil Motivation. In Lehrbüchern werden **Motivation und Emotion** daher vielfach zusammen abgehandelt. Furcht führt zu Rückzugsverhalten, Ärger zu aggressiver, Freude zu friedvoller Zuwendung. In allen drei Fällen kommt es zu weit reichenden Veränderungen im physiologischen Bereich: Wir merken, dass Herzschlag- und Pulsfrequenz steigen, dass die Atmung beschleunigt wird, und ein Gefühl „wie Schmetterlinge im Bauch" lässt uns die verstärkte Aktivität unseres autonomen Nervensystems spüren. Weitere physiologische Reaktionen finden sich in Erweiterungen oder Verengungen der Pupillen, in chemischen Veränderungen im Blut, im Speichel sowie im Urin.

12.1.1 Emotionale Reaktionsweisen: Komponenten der Emotion

Emotionen sind ähnlich wie Triebe und Motivationen ebenfalls psychische Kräfte, doch fehlt ihnen die homöostatische Einheit der wiederholten Abfolge von Anreiz – Verlangen – Befriedigung. So sind Emotionen und Motivation im Grunde nur bedingt voneinander abgrenzbar. Emotionen sind eine „bewegende Erfahrung", die sich im Wesentlichen als eine Mischung auf *drei Hauptebenen* vollzieht und beobachten lässt:

1. **Physiologische Ebene:** Sie umfasst die körperlich-physiologischen Veränderungen (wie hormonale, viszerale Erregungen).
2. **Kognitive Ebene:** Sie bezeichnet den Bereich des eigenen (subjektiven) psychologischen Erlebens, einschließlich der kognitiven Interpretation des Erlebens (wie Angstgefühle).
3. **Motorische Ebene:** Sie umfasst den Bereich des offenen Verhaltens und Ausdrucks einschließlich der Tendenz zum Handeln (wie Weinen, Lächeln, Angstausrufe). In aktuellen Ansätzen wird diese Ebene weiter differenziert in: (a) behavioral, und (b) expressiv (Sokolowski 2008).

Emotion

Emotion zeigt sich als eine Reaktion des ganzen Organismus und umfasst (1) physiologische Erregung, (2) bewusstes kognitives Erleben und (3) Ausdrucksverhalten.

Emotion wird heute auch aufgefasst als eine subjektive, bewusste Erfahrung, die primär charakterisiert wird durch psychophysiologisch-biologische Reaktionen und bestimmte mentale Zustände (mehr dazu in *Zusatztext online*).

So war und ist es eine der zentralen Fragen der Emotionspsychologie, wie diese drei Teile zusammenwirken. Nehmen wir zuerst unser Herzrasen oder unseren beschleunigten Gang wahr und fühlen daher die Angst, oder fühlen wir zuerst die Angst, die dann unser Herz schneller schlagen lässt und unseren Gang beschleunigt? Oder aber liegt es an unserer Interpretation der Umstände, die die Angstgefühle, physiologische Erregung und den Verhaltensausdruck auslöst?

Je nach ihrer theoretischen Orientierung haben sich die einzelnen Emotionsforscher in unterschiedlicher Weise auf den einen oder anderen dieser Aspekte konzentriert. Hinzu kommt eine Zersplitterung in Einzelfragestellungen nach den Wirkungen von emotionalen Stimmungen auf zum Beispiel Gedächtnis- und Denkprozesse (► Abschn. 8.5.4), auf Leistungen, zum Beispiel bei Prüfungsangst, oder ihre Bedeutung in speziellen Anwendungsfeldern, wie pädagogischer Psychologie oder Arbeitspsychologie, was eine kurz gefasste und zugleich umfassende Darstellung in einem Lehrbuch der Allgemeinen Psychologie eigentlich unmöglich macht.

Nach einer Definition von Rubinstein (1971) lassen sich **Emotionen** auch als genetisch verankerte „Stellungnahmen" des Subjekts zur Umwelt in Form seines unmittelbaren Erlebens verstehen. Im Gegensatz zu den Vorgängen des Wahrnehmungsvollzuges umfassen die Emotionen zugleich das Erleben des Individuums und dessen Ausdruck, wobei das Erleben, wie wir im Eingangsbeispiel zeigten, weitgehend von der Einstellung des Subjektes zur Welt abhängt. Der *Erlebnisaspekt* dient dabei vor allem der Steuerung des eigenen Verhaltens, er entspricht zugleich der motivationalen Komponente der Emotion. Der *Ausdrucksaspekt* der Emotion dient dagegen (gewollt oder ungewollt) als Komponente der sozialen, zum Teil **nonverbalen Kommunikation**, der Steuerung des Verhaltens anderer Menschen.

Es lassen sich nach Sokolowski (2008) auch *drei Funktionen der Emotion* ausmachen, die wir später im Kontext behandeln werden: (1) Die Funktion der *Bewertung* (► Abschn. 12.3.2), (2) der *Verhaltensvorbereitung* (► Abschn. 12.7) und (3) der *Kommunikation* (► Abschn. 12.4.1), deren Auswirkungen sich in fünf Komponenten nachweisen lassen: der subjektiven, der physiologischen, der behavioralen, der expressiven und der kognitiven.

Das Vorhandensein von Emotionen besagt nicht von vornherein, dass wir uns dieser auch bewusst sind, wie man das in der frühen Zeit psychologischer Forschungen angenommen hatte. Emotionen können zwar durch bewusste Ereignisse hervorgerufen werden, doch ist damit nicht der Gesamtbereich emotionalen Verhaltens abgedeckt, denn ein Großteil unseres emotionalen Verhaltens läuft „unbewusst" ab, das heißt, wir sind zunächst nicht in der Lage, die tatsächlichen Gründe unseres Verhaltens zu verbalisieren. So begegnen wir nicht selten aggressivem oder feindlichem Verhalten bei Personen, die darauf bestehen, dass sie nicht zornig sind, oder ängstlichem Verhalten bei Personen, die (objektiv) keinen Grund zur Furcht haben oder angeben können. Danach scheint ein bestimmter Bewusstseinsgrad oder Bewusstseinszustand weder notwendig noch hinreichend für das Auftreten eines bestimmten emotionalen Verhaltens zu sein. Jedoch lassen sich andererseits bewusste Wahrnehmungen als Hinweise auf das Vorhandensein von Emotionen verwenden, wie zum Beispiel in therapeutischen Behandlungssituationen, wenn man berücksichtigt, dass diese Hinweise nicht immer verlässlich sind. Zur Erfassung und Messung von Emotionen wurden verschiedene **Emotionsskalen** entwickelt, die hier jedoch nicht besprochen werden sollen (siehe Bottenberg 1972) und die generell jeweils nur bestimmte Aspekte der Emotion erfassen (mehr in *Zusatztext online*).

Von anderen Autoren ist dagegen, wie wir bei Behandlung der Aggression in ► Abschn. 12.4.4 noch sehen werden, dargelegt und angenommen worden, dass Emotion nichts anderes sei als ein bestimmtes Verhalten: Hiernach stellt aggressives Verhalten selbst Ärger dar, Furcht ist Flucht oder Rückzug, Freude ist Lachen. Eine solche Auffassung scheint jedoch ebenfalls unzureichend, da sie in vielen Fällen versagt, in denen ein beobachtbares Verhalten nicht in Übereinstimmung mit dem bewusst erlebten Zustand und den messbaren physiologischen Veränderungen steht, die deutlich auf einen **emotionalen Erregungszustand** deuten. Routinierte Verhandlungspartner zum Beispiel können ihr emotionales Verhalten unterdrücken und ruhiges, zufriedenes oder lässiges Verhalten äußern, während sie vor Zorn innerlich „hochgehen", erschrocken oder freudig überrascht sind.

Die entsprechenden inneren physiologischen Reaktionen, wie erhöhter Herzschlag, mögen zwar vorhanden sein, doch bleiben sie dem äußeren Beobachter verborgen. Solche **Dissoziationen** zwischen äußerem und innerem emotionalen Verhalten sind jedoch nur vom Menschen bekannt, sodass uns dieser Aspekt in der tierexperimentellen Forschung nicht begegnet. Jedoch gibt es auch hier bestimmte Formen emotionalen Verhaltens, wie zum Beispiel Wutausbrüche bei Tieren, die darauf hindeuten, dass hier auch die gleichen zentralnervösen Mechanismen im Spiel sind, die bei Emotionen zu Erregungen im autonomen System führen.

12.1.2 Funktionale Bedeutung von Emotionen

Ihre funktionale Bedeutung erhalten Emotionen vom evolutionsorientierten Standpunkt aus gesehen schon einmal durch ihre **handlungssteuernde Wirkung** in genetisch veranlagten und im Laufe der Stammesgeschichte entstandenen Motivationssystemen, in denen Verhalten auch ohne Einsicht in biologische Notwendigkeiten (Nahrungsaufnahme, Paarung) über emotionale Lust-Unlust-Mechanismen und das dadurch ermöglichte Lernen geregelt wird (► Abschn. 11.4.2 und 11.4.3).

Es hat nicht an Überlegungen gefehlt, die vielfältigen emotionalen Erlebnisse, die uns bekannt sind, unter diesem Gesichtspunkt zu ordnen, inhaltlich zu strukturieren und ihre funktionale Bedeutung für das Verhalten von Lebewesen zu erfassen. Eine

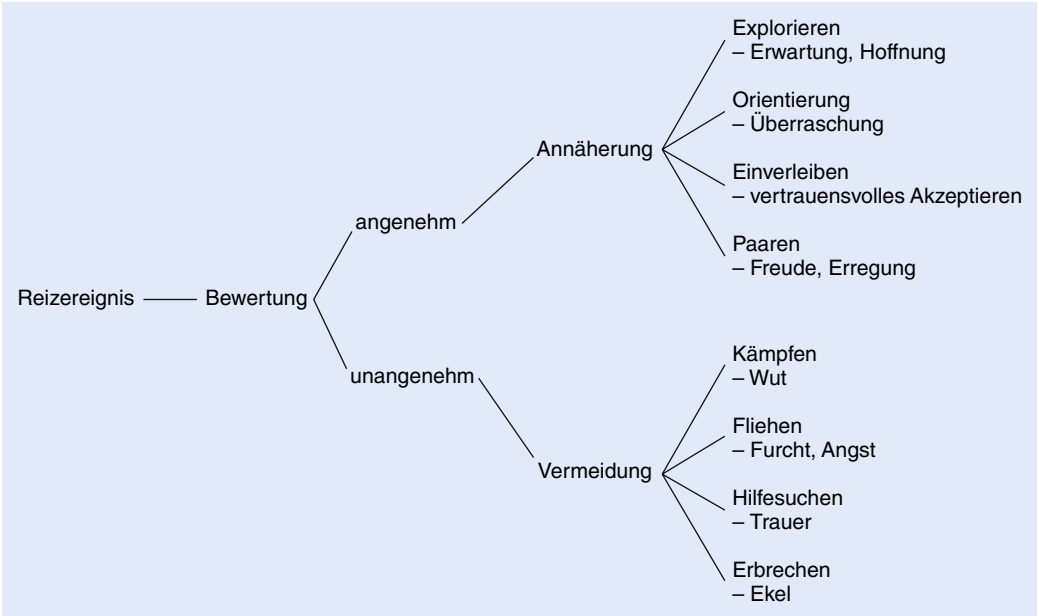


Abb. 12.1 Grundlegende Arten der emotionalen Auseinandersetzung mit der Umwelt, resultierende Verhaltensweisen und zugeordnete basale Emotionen. (Aus Spada 1990, S. 409, verändert nach Plutchik 1975, S. 17)

solche Zuordnung vielfach als primär betrachteter Emotionen zu den grundlegenden Arten unserer Auseinandersetzung mit der Umwelt wurde zum Beispiel von Plutchik (1975) vorgenommen (Abb. 12.1).

Ein wahrgenommener Sachverhalt wird zum Beispiel als angenehm (gut) oder unangenehm (schlecht) bewertet, was zur Annäherung oder Vermeidung führt und damit – wie bei Motivationen auch – zu einem Verhalten, das jedoch nach dem jeweiligen spezifischen Situationsanreizwert zum Beispiel zum Explorieren, Orientieren, Einverleiben oder Paaren führt oder bei Vermeiden zum Beispiel zu Kämpfen, Fliehen, Hilfesuchen oder Erbrechen. Die durch diese spezifischen Verhaltensweisen nach Plutchik (1980) identifizierbaren Emotionen sind in Abb. 12.1 (rechts) einander zugeordnet.

Die Darstellung zeigt zugleich, dass Emotionen in der Regel auch als Reaktionen auf positiv verstärkende Reize (Freude: angenehm, sympathisch – das heißt Annäherung) auftreten oder aber als Reaktionen auf aversiv bestrafende Reize (Angst, Wut: unangenehm, unsympathisch – das heißt Vermeidung) oder deren Unterbleiben (Erleichterung). Sie entsprechen damit dem **hedonistischen Prinzip**, das wir bereits bei Betrachtung der Lernprozesse kennengelernt haben.

Es spricht daher vieles dafür, dass die in ▶ Kap. 7 (Lernen) besprochenen neuronalen Verstärkungssysteme weitgehend mit den neuronalen Generatoren für Gefühle gleichzusetzen sind, denn letztere bestimmen hier (als belohnend oder aversiv erlebt) die Auftrittswahrscheinlichkeit der jeweiligen Reaktion wie auch der Einprägung von Gedächtnisinhalten.

Viele neuere emotionstheoretische Ansätze bevorzugen eine systemtheoretische Perspektive, bei welcher die verschiedenen einzelnen Komponenten einer Emotion als Miteinander in reziproker Wechselwirkung stehend betrachtet werden, die sich gegenseitig beeinflussen, wie das zum Beispiel im *Modell von Lazarus* angenommen wird, das wir in ▶ Abschn. 12.6.2 noch besprechen werden. Dabei stehen die Fragen nach der Natur und den spezifischen Mechanismen im Vordergrund, nach denen die einzelnen Komponenten der Emotion sich im Einzelnen beeinflussen. Ist zum Beispiel die Erregung des autonomen Nervensystems (unabdingbar) erforderlich für das Erleben einer Emotion, oder erleben wir beispielsweise Angst oder Freude auch ohne eine solche Aktivierung? Hängt die Stärke der erlebten Angst davon ab, ob wir bestimmte Gedanken haben oder ob wir einen bestimmten Gesichtsausdruck zeigen, wie es in der **Facial-Feedback-Hypothese** postuliert wird, der zufolge die Mimik auf die erlebte Emotion rückwirkt und die wir in ▶ Abschn. 12.4.3 ausführlicher besprechen. Beginnen wir zunächst mit der Frage nach dem Zusammenhang von Emotion und physiologischer Erregung.

12.1.3 Emotion und Erregung (physiologische Ebene)

Bei jeder starken Emotion kommt es zu physiologischen Erregungen. Einige von ihnen sind so offenkundig, dass wir sie sofort bemerken: In einer angstauslösenden Gefahrensituation merken wir zum Beispiel, wie sich unsere Muskeln verspannen (wir bekommen beim Autofahren den Fuß nicht von der Bremse), das Herz schlägt uns „im Halse", oder wir fühlen „Schmetterlinge im Bauch", und der Mund wird trocken. Darüber hinaus mobilisiert sich der Körper in zumeist weniger auffälliger Weise auch in anderen Bereichen, um Energien für den Einsatz bereitzustellen (siehe Orientierungsreaktion, ▶ Abschn. 5.1.7). Wie wir in ▶ Abschn. 2.2.2 gesehen haben, wird die Erregung über die beiden Teile des vegetativen (autonomen) Nervensystems reguliert (Tab. 12.1).

Über das **sympathische Nervensystem** (Sympathikus) werden bei starken Emotionen folgende Veränderungen ausgelöst, die jedoch nicht alle gleichzeitig erfolgen müssen:

1. Ansteigen von Blutdruck und Herzschlag,
2. Beschleunigung der Atmung,
3. Ansteigen des Blutzuckerspiegels,
4. Verlangsamung der Verdauung,

Tab. 12.1 Wirkung des vegetativen NS bei Emotionen. (Nach Myers 2008, S. 551)

Sympathikus (erregend)		Parasympathikus (hemmend)
Ausschüttung von Stresshormonen	Nebenniere	Hemmung der Stresshormonausschüttung
Beschleunigt	Herzschlag	Verlangsamt
Beschleunigt	Atmung	Verlangsamt
Pupillen erweitern sich (Ausdruck)	Augen	Pupillen verengen sich
Verringert	Speichelfluss	Vermehrt
Wird gehemmt	Verdauung	Wird aktiviert
Schweißnass	Haut	Trocken

5. Blutverteilung wird von Eingeweiden und Magen zum Gehirn und den Skelettmuskeln umverteilt (erleichtert das Laufen),
6. Ansteigen des Blutgerinnungsfaktors (um mögliche Wunden schnell zu schließen),
7. Vermehrte Schweißbildung (Angstschweiß und Reduktion von Drüsen- und Speichelfluss),
8. Erweiterung der Pupillen,
9. Aufrichten der Hauthaare (Gänsehaut).

So koordiniert unser Organismus ohne unsere bewusste Anstrengung automatisch die adaptive Vorbereitung auf Kampf oder Flucht. Wenn sich dann die **emotionale Erregung** legt, wird die Aktivierung des sympathischen Nervensystems abgelöst durch die des *parasympathischen Systems* (*Parasympathikus*), das auf Energierestitution ausgerichtet ist und den Körper wieder in den Normalzustand zurückführt. Dies geschieht vor allem durch **Hemmung** der Ausschüttung des Stresshormons **Adrenalin**. Doch da das im Blut bereits zirkulierende Adrenalin erst abgebaut werden muss, legt sich die erlebte Erregung nur langsam.

Diese Funktionen des autonomen Nervensystems werden durch die neuronale Aktivität bestimmter Hirnzentren gesteuert. Hierzu gehört vor allem der **Hypothalamus**, der, wie wir in ▶ Kap. 11 gesehen haben, auch für die biologischen Motivationen verantwortlich ist, wie auch Teile des **Limbischen Systems**. Von hier aus gehen die erregenden Impulse zu Kernen des Hirnstammes, von wo aus die autonomen Funktionen kontrolliert werden, die einerseits direkt die einzelnen Organe versorgen, die aber gleichzeitig andererseits indirekt über die Stimulierung der Nebennierenrindenhormone (Stresshormone wie Adrenalin und Noradrenalin) weitere körperliche Veränderungen veranlassen (▶ Abschn. 2.2.3 und 12.7).

Extrem starke, aber vor allem über längere Zeit aufrechterhaltene Erregung (zum Beispiel bei Dauerstress) kann zu körperlichen Schädigungen führen. In vielen Fällen ist die emotionale Erregung jedoch durchaus adaptiv. Zu wenig Erregung (wie bei Müdigkeit oder Langeweile) kann sich auf das Leistungsverhalten ebenso negativ auswirken wie ein zu hohes Erregungsniveau, während eine mittlere emotionale Erregung (emotionale Beteiligung) für das Gelingen guter Leistungen in den verschiedensten Bereichen unbedingt erforderlich ist (vgl. Yerkes-Dodson-Kurve; Abb. 5.26 und *Zusatztext online*).

Wenngleich wir die emotionale physiologische Erregung zunächst an den charakteristischen Beispielen von Angst und Furcht besprochen haben, bei denen sich der Organismus (gemäß unserer Phylogenie) auf Kampf oder Flucht (*fight or flight*) einstellt, laufen viele dieser Prozesse auch ab bei Freude oder sexueller Erregung. Demgegenüber führen Emotionen wie Kummer oder Enttäuschung in vielen Bereichen zu einem Aktivierungsverlust bis hin zu Ermattung oder Schlaf. Diese *parasymphatische Ruhestellung* wichtiger Körperfunktionen bietet auch eine Erklärung für den plötzlichen Voodoo-Tod, den Personen nach einer zutiefst erniedrigenden Terrorisierung durch eine Überreaktion des Parasymphatikus erleiden, die das Herz zum Stillstand bringen kann (Seligman 1974).

Unterschiedliche Emotionen werden offenbar auch in unterschiedlichen Bereichen des Cortex verarbeitet. Wenn wir zum Beispiel negative Emotionen wie Ekel empfinden, zeigt sich im EEG bei uns mehr Aktivität im rechten präfrontalen Cortex als im linken. Auch bei Menschen, die generell negativ eingestellt sind oder die zu Depressionen neigen, findet sich hier eine höhere messbare Aktivität (Harmon-Jones et al. 2002). Nach Borod et al. (1986) wird in dieser erhöhten rechtsfrontalen Aktivität eine Aktivierung des Meidungs- oder Rückzugssystems gesehen. Umgekehrt verlagert sich bei Menschen in positiver Stimmung oder bei freudiger Erregung (Glücksempfinden), wie in fMRI-Schichtaufnahmen und im EEG sichtbar eine gesteigerte Aktivität in den linken Frontallappen (Davidson 2003; Urry et al. 2004).

12.2 Frühe Theorien der Emotion

Auf der Basis dieses frühen Wissens entstanden schon Ende des 19. Jahrhunderts die ersten, heute klassisch zu nennenden physiologisch orientierten **Emotionstheorien**, die, wie wir noch sehen werden, zum Teil auch in jüngster Zeit wieder diskutiert werden.

12.2.1 James-Lange-Theorie

Lassen sich Emotionen auch aufgrund des physiologischen Erregungsmusters unterscheiden? Gibt es für die von uns erlebten unterschiedlichen Emotionen auch eindeutig differenzierende Erregungsunterschiede, die für die jeweils erlebten Unterschiede verantwortlich sind? Diese Fragen beschäftigten bereits William James (1884), den Pionier der psychologischen Forschung, der das Verhalten unseres Körpers an den Anfang der Emotionsentstehung setzte. Er ging davon aus, dass bestimmte instinktive Reaktionen, wie das Zittern oder Weglaufen angesichts einer Bedrohung, mit viszeralen Erregungen verbunden sind, die dann im Gehirn die Empfindung einer bestimmten Emotion hervorrufen. Die subjektive Wahrnehmung der körperlichen Veränderung ist dann die Emotion: Wir sind also ängstlich, weil wir zittern, oder mit dem bekannten Beispielsatz: „Wir sind traurig, weil wir weinen", und nicht umgekehrt: Wir weinen, weil wir traurig sind, wie wir landläufig argumentieren würden. Etwa zur gleichen Zeit war

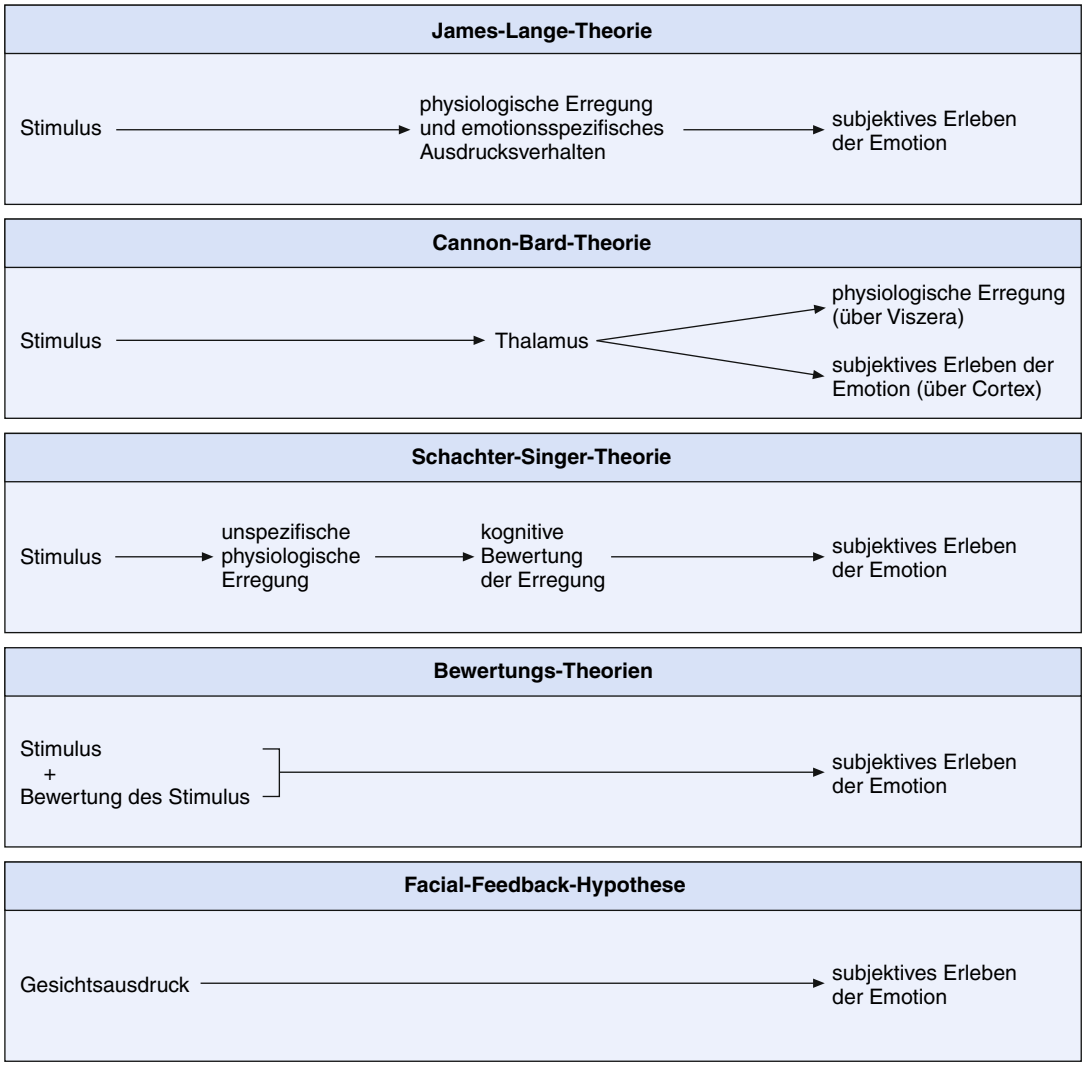


Abb. 12.2 Schematisches Grundmuster der wichtigsten Emotionstheorien, das die unterschiedlichen Beziehungen zwischen den verschiedenen Komponenten der Emotion verdeutlicht

auch der dänische Physiologie Carl Lange zu einem ähnlichen Ergebnis gekommen, nämlich dass vor allem die unterschiedliche Erregung des autonomen viszeralen Systems die Grundlage der unterschiedlichen Emotionen bildet. Der Kern dieser Aussagen wurde bekannt als die klassische **James-Lange-Theorie** der Emotion (Abb. 12.2).

Nach der James-Lange-Theorie wird von der Reizsituation zuerst eine körperlich-physiologische Reaktion ausgelöst, und das Empfinden gerade dieses erregenden Ereignisses ist die Emotion (James 1890).

12.2.2 Cannon-Bard-Theorie

Die James-Lange-Theorie wurde verschiedentlich und vor allem von dem Physiologen Cannon (1927) heftig kritisiert. Seiner Meinung nach waren die Reaktionen des Körpers nicht spezifisch genug. Auch häuften sich experimentelle Belege, die gegen diese Theorie sprachen. So zeigten zum Beispiel Versuchstiere selbst dann noch emotionale Reaktionen, wenn ihre Eingeweide chirurgisch vom zentralen Nervensystem getrennt worden waren. Und umgekehrt: Die Induktion der körperlichen Veränderungen, zum Beispiel die Auslösung der Aktivierung durch Injektion von Adrenalin, erzeugte nicht das Erleben einer echten Emotion.

Aufgrund solcher Ergebnisse formulierte Cannon (1927) eine alternative Hypothese, die nach einer Revision von dem Physiologen Philip Bard als **Cannon-Bard-Theorie** bekannt wurde. Sie geht von einer umgekehrten zeitlichen Folge von emotionaler Wahrnehmung und körperlicher Reaktion aus und sieht im **Thalamus-Hypothalamus-Gebiet** das Zentrum der Emotionsentstehung, von wo die eingehenden Signale der Sinnesreize sowohl zum Cortex als auch zu den Eingeweiden gehen und, vereinfacht formuliert, einerseits im Cortex zur Auslösung des emotionalen Erlebens führen, während sie gleichzeitig andererseits neuronale Impulse zu den Skelettmuskeln und den Eingeweiden senden und hier den körperlichen Ausdruck der Emotion hervorrufen.

Nach der Cannon-Bard-Theorie aktiviert die emotionsauslösende Reizsituation den Cortex und die körperlichen Reaktionen gleichzeitig, sodass diese auch gleichzeitig ablaufen.

12.2.3 Lindsleys Aktivationstheorie

Einen weiter reichenden und seinerzeit viel diskutierten, ebenfalls physiologisch orientierten Ansatz stellt die von Lindsley (1951) vorgebrachte Aktivationstheorie der Emotion dar, mit der er zugleich auch unser Schlaf-Wach-Verhalten zu erklären versuchte. Bei seinen Untersuchungen an der **Formatio reticularis** (FR), die er insbesondere an Katzen durchführte, stellte er unter anderem fest, dass eine operative Zerstörung des vorderen Anteils der FR, die einen Stimulationsverlust des Großhirns zur Folge hatte, zu Apathie, Lethargie oder Somnolenz (Schlaftrunkenheit) führt. Stimulation des unteren, caudalen Endes der Formatio reticularis führt dagegen zu körperlich sichtbaren und viszeralen emotionalen Reaktionen, die ihrerseits wieder zur Formatio reticularis und über den Hypothalamus zum Großhirn zurückgemeldet werden. Hierin sah er ein wesentliches Steuerzentrum der Emotion. So kommt nach Lindsley der Formatio reticularis und der engen Beziehung zwischen ihren Aktivitätszuständen und dem emotionalen Verhalten eine wichtige Rolle zu.

Hinzugefügt sei hier, dass diese wie auch andere einfache Erklärungsansätze zwar zumeist in den gängigen Lehrbüchern – so auch hier – als „Theorien" bezeichnet werden, doch sollte man sich dessen bewusst sein, dass sie weit davon entfernt sind, den Ansprüchen zu genügen, die an eine wissenschaftliche Theorie gestellt werden.

12.2.4 Emotion und emotionale Erregung

Auf dem Hintergrund dieser grundsätzlich unterschiedlichen Theorien wurden in der Nachfolgezeit mit inzwischen entwickelten, verfeinerten Methoden zur Messung autonomer Erregungszustände zahlreiche Experimente durchgeführt, die auch klären sollten, ob sich überhaupt die Unterschiede zwischen Emotionen durch unterschiedliche Reaktionen verschiedener physiologischer Systeme erklären lassen. Eine der bekanntesten Untersuchungen ist die von Ax (1953), der sich mit der physiologischen Unterscheidbarkeit von Ärger und Furcht befasste. In einem seiner Experimente erzeugte er bei seinen Versuchsteilnehmern durch gezielte Situationsmanipulation künstlich entweder Ärger oder Furcht und untersuchte in Blutproben, die er den Probanden entnahm, den Adrenalin- und Noradrenalinspiegel. So konnte er nachweisen, dass *Angstreaktionen* tatsächlich mit einer erhöhten Adrenalinaktivierung einhergehen, während *Ärgerreaktionen* eher zu einem erhöhten Noradrenalinspiegel führten. In ähnlicher Weise wurden auch Unterschiede in der autonomen Reaktionsweise bei anderen Emotionen gefunden, wie zwischen Ärger, Freude oder sexueller Erregung. Aber erst in den 1990er-Jahren brachte vor allem eine Studie von Levenson et al. (1990) klare Evidenz, dass es offenbar eindeutige Unterschiede in den autonomen Reaktionsmustern zwischen verschiedenen Emotionen gibt (► Exkurs 12.1). Allerdings ist damit nicht erwiesen, dass sich alle Emotionen in dieser Weise erklären lassen.

Zunächst schienen diese Ergebnisse für die James-Lange-Theorie zu sprechen, doch ist mit der möglichen Unterscheidbarkeit physiologischer Reaktionsmuster bei verschiedenen Emotionen noch nichts über den ursächlichen Zusammenhang gesagt, von dem die James-Lange-Theorie ausgeht. Auch belegen sie nicht, dass dies die einzigen Komponenten sind, die zur Differenzierung der Emotionen notwendig sind, und dass deren Wahrnehmung die Unterschiede zwischen den Emotionen ausmacht. Selbst wenn die autonome Aktivierung dazu beiträgt, einige emotionale Zustände zu unterschieden (was auch bisweilen bezweifelt wird; Cacioppo et al. 1993), so reichen diese statistisch doch sehr geringen Unterschiede sicher nicht aus, um alle bekannten Emotionen zu differenzieren.

Obgleich, wie wir gesehen haben, wider Erwarten einiges für den Ansatz der James-Lange-Theorie spricht, steht außer Zweifel, dass (wie bereits Cannon und Bard andachten) bei der Emotionsentstehung wesentlich auch die kognitive Bewertung beteiligt sein muss (Averill 1983). Ob wir den Mann hinter uns auf der dunklen Straße fürchten, hängt hauptsächlich davon ab, ob wir sein Verhalten als freundlich oder bedrohlich bewerten (► Abschn. 12.3.2 und 12.7.2)

12.3 Kognition und Emotion (kognitive Ebene)

Bei genauerer Betrachtung zeigt sich, wie wir im Eingangsbeispiel bereits sahen, dass sensorische Wahrnehmungen nur dann zu Emotionen führen, wenn wir die Reize für uns in bestimmter Weise als **persönlich bedeutsam** einschätzen. Der Sieg im Fußballmatch wird von uns auch nur dann mit freudiger Emotion begrüßt, wenn wir die Mannschaft als die unsrige betrachten. Wenn wir ein Ereignis erleben oder eine Nachricht hören, interpretieren oder bewerten wir sie automatisch in Hinsicht auf unsere persönliche Situation oder unsere persönlichen Ziele oder Erwartungen: Ich war nicht die oder der Beste, und das deprimiert mich. Oder: Ich war nicht bei den Schlechtesten, und das erfreut mich. Je nach den unterschiedlichen **Erwartungen** kann eine gleiche Leistung oder eine gleiche Situation (auch im Experiment) je nach unserer Bewertung unterschiedliche Emotionen auslösen. Diese Interpretation wird als **kognitive Bewertung** (*cognitive appraisal*) bezeichnet. Sie trägt sowohl dazu bei, welche Art von Emotion erlebt wird, als auch dazu, mit welcher Intensität sie auftritt. Das ist zunächst einmal die Kernaussage der **kognitiven Bewertungstheorien** (Lazarus 1991).

Art und Stärke einer empfundenen Emotion hängen wesentlich davon ab, wie die Situation von der Person wahrgenommen wird und welche persönliche Bedeutung sie ihr zuschreibt.

Im Gegensatz zu den als Erklärung herangezogenen autonomen Erregungsmustern variieren die möglichen Bedeutungen weit genug, um zwischen den vielfältigen emotionalen Empfindungen differenzieren zu können. Auch die generelle Beobachtung, dass wir die erlebte Motivation zumeist gut einordnen können – wir sagen zum Beispiel: „Ich bin wütend, weil er so unfair war" –, legt nahe, dass die kognitive Bewertung oft sogar ausreichend ist, um die Qualität der erlebten Emotion zu determinieren. Diese Überlegungen führten folgerichtig zu einem neuen experimentellen Ansatz. Wenn man Personen in einen neutralen Erregungszustand versetzt, sollte die Art und die Qualität ihrer Emotionen

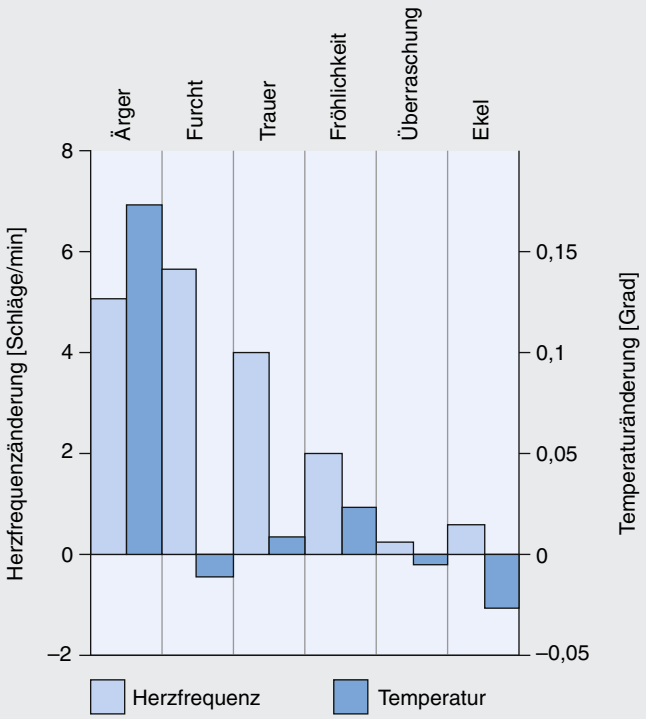
Exkurs 12.1

Genauer betrachtet: Nachweis verschiedener Erregungsmuster bei unterschiedlichen Emotionen

Um Unterschiede in dem autonomen Reaktionsverhalten bei unterschiedlichen Emotionen nachzuweisen, veranlassten Levenson et al. (1990) ihre Versuchsteilnehmer, sich in den **emotionalen Ausdruck** einer von insgesamt sechs Emotionen zu versetzen: Ärger, Furcht, Traurigkeit, Glücklichsein, Überraschung, Ekel. Sie gaben ihnen hierzu detaillierte Angaben, welche Gesichtsmuskeln sie in welcher Weise anspannen sollten. Während sie so den emotionalen Ausdruck für 10 s aufrechterhielten, wurden Herzschlag, Blutdruck sowie einige weitere Indikatoren der autonomen Erregung gemessen. Dabei zeigten sich bei einigen dieser Parameter differenzierende Unterschiede zwischen den Emotionen (◘ Abb. 12.3).

So war zum Beispiel der Herzschlag bei negativen Emotionen wie Ärger, Furcht oder Traurigkeit schneller als bei Glücklichsein, Überraschung oder Ekel. Auch gab es diesbezüglich weitere Unterschiede in den Temperaturmaßen. So zum Beispiel führten zwar Ärger und Furcht zu ähnlich starkem Herzklopfen und sind auch in anderen Maßen ähnlich, aber Ärger führt zu „Erhitzung", während Furcht uns eher erkalten lässt, was sich offenbar auch in Redewendungen widerspiegelt, dass wir vor Ärger einen „roten Kopf" bekommen oder das Blut in Wallung gerät, während wir vor Furcht eher „kalte Füße kriegen".

In einer weiteren, gleichartig angelegten Untersuchung, die Levenson et al. (1992) an dem Stamm der Minanghabau auf Westsumatra durchführten, zeigten sich die gleichen physiologischen Veränderungen, wenn auch nicht in ganz so starkem Ausmaß wie bei der ersten, an Amerikanern durchgeführten Untersuchung. Offenbar handelt es sich bei diesen einfachen physiologischen Reaktionsmustern um ein grundlegendes und weitgehend kultu*run*abhängiges universales Phänomen.



◘ **Abb. 12.3** Erregungsmuster von Herzschlag und Temperatur bei unterschiedlichen Emotionsausdrücken

allein von ihrer Bewertung der vorgegebenen (manipulierbaren) Situation abhängen. Die Ersten, die diesen Ansatz in eine experimentelle Untersuchung umsetzten, waren Schachter und Singer (1962). Ihr besonders in der Sozialpsychologie bekannt gewordenes Experiment wird in ▶ Exkurs 12.2 beschrieben.

Eine Reihe weiterer Untersuchungen (Schachter und Wheeler 1962), auch an Ratten (Singer 1961; Latané und Schachter 1962), deutet in die gleiche Richtung. Sie legen den Schluss nahe, dass in der Tat kognitiven psychologischen Variablen bei der Determination emotionaler Reaktionen auch im physiologischen Bereich eine entscheidende Bedeutung zukommt. Oder anders formuliert: Physiologische Veränderungen in der Körperperipherie führen erst nach kognitiver Bewertung ihrer emotionalen Bedeutung zu unterschiedlichen Emotionen.

Es muss jedoch angemerkt werden, dass der Ansatz viel Kritik erfahren hat und dass in einer späteren Studie, die das Experiment von Schachter und Singer (1962) replizieren sollte, keine Unterschiede in den verwendeten Verhaltensmaßen und den Selbsteinschätzungen zwischen einer Adrenalin-falschinformierten und einer Placebogruppe gefunden wurden (Marshall 1974). Möglicherweise sind demnach Emotionen doch nicht in dem Maße manipulierbar, wie es Schachter und Singer darlegten.

12.3.1 Zwei-Komponenten-Theorie von Schachter und Singer

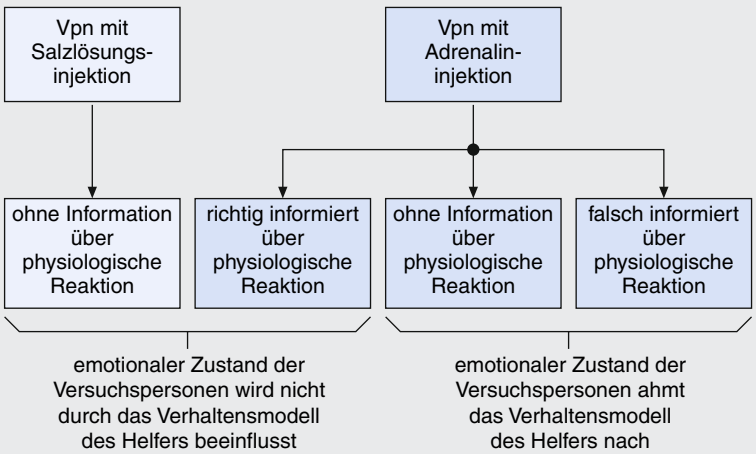
Wie die ausführlichere Darstellung des Experiments im ▶ Exkurs 12.2 erkennen lässt, lassen sich Emotionen auf der Basis einer induzierten, zunächst mehr oder weniger neutralen physiologischen Erregung qualitativ manipulieren. So ergibt sich

Exkurs 12.2

Experiment: Kognitive Bewertung emotionaler Erregung

In ihrem einfallsreichen Experiment manipulierten Schachter und Singer (1962) sowohl die physiologische Erregung ihrer Versuchspersonen durch Gabe von Adrenalin beziehungsweise eines Placebos als auch die Kognition über die Ursache ihrer Erregung.
Untersucht wurden freiwillige College-Studenten. Um die wahre Absicht der Untersuchung zu verschleiern, wurde jedem Teilnehmer mitgeteilt, dass er eine Injektion des neuen Vitaminpräparates „Suproxin" erhalten werde und dass man dessen Einfluss auf die visuelle Wahrnehmungsfähigkeit untersuchen wolle. In Wirklichkeit aber wurde Adrenalin (Experimentalgruppen) oder eine unwirksame Kochsalzlösung (Placebo-Kontrollgruppe) injiziert. Die Kognition der Versuchspersonen der Experimentalgruppen wurde dann durch eine weitere Information manipuliert. Eine Gruppe erhielt genaue, eine weitere Gruppe falsche und eine dritte Gruppe keine Informationen über die Wirkung der Injektion und den zu erwartenden Erregungszustand. Letztere blieben also ohne vorgegebene Erklärung für ihre physiologische Erregung. Nach der Injektion wurden die Personen in einer von zwei emotionsinduzierenden Weisen durch eine „andere Person", die in Wahrheit ein Helfer des Experimentators war, beeinflusst, während das Verhalten der Versuchspersonen durch eine Einwegscheibe beobachtet und protokolliert wurde. Zur Induktion von Euphorie musste der Helfer einer Reihe lustiger und wilder Spiele anregen, indem er mit Papierstücken spielte, „Flieger" daraus faltete und diese umherfliegen ließ.
Zur Induktion von Ärger beziehungsweise Wut beteiligte sich die „andere Person" zunächst an dem Ausfüllen der hier vorgegebenen Fragebögen, deren Fragen auch bei äußerst toleranten Personen Ärger hervorrufen mussten. Bald jedoch machte der Helfer ärgerliche Kommentare und geriet in immer stärkere Erregung, zerriss schließlich sogar den Fragebogen und verließ wutstampfend den Raum.
Nach dieser Provokation, die jeweils nach 20 min beendet war, hatten die Versuchspersonen zusätzlich zur Beobachtung die erlebte Intensität der induzierten Emotionen in Fragebogen und Selbstschilderungen zu beurteilen. Ferner wurde als zusätzliche Kontrolle der tatsächlichen Sympathikusaktivität auch die Herzschlagfrequenz gemessen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung, die hier nur zusammenfassend besprochen werden können, zeigten, dass die Versuchspersonen bei autonomer Aktiviertheit in beiden induzierten Situationen (Euphorie und Ärger) jeweils dann am stärksten die induzierte Emotion aufnahmen, wenn sie keine angemessene Erklärung erhalten hatten. Die erlebte und gezeigte Emotion war geringer, wenn sie keinerlei Informationen erhalten hatten. Der geringste Grad von Emotion fand sich in der richtig informierten Gruppe sowie bei den Versuchspersonen der Kontrollgruppe, die keinerlei Erregung verspürten. Nach Schachter und Singer (1962) erklären sich die berichteten Emotionen in der Experimentalgruppe aus der Kombination der erlebten *physiologischen Erregung*, die affektiv neutral war, mit der *kognitiven Einschätzung*, die durch die Situation induziert wurde und die die erlebte Erregung in Wut oder Fröhlichkeit verwandelte. Das heißt, bei einer gegebenen erhöhten neutralen Aktivität des sympathischen Systems, für die momentan keine passende kognitive Erklärung bereit ist, lässt sich die erlebte und im Verhalten ausgedrückte Emotion beim Menschen durch den Einfluss einer vorgegebenen Umweltsituation manipulativ steuern (eine schematische Zusammenfassung dieser Hauptergebnisse zeigt ◘ Abb. 12.4).

◘ **Abb. 12.4** Schema des Versuchsaufbaues



nach Schachter (1971) die Erfahrung einer Emotion aus dem **Zusammenwirken** sowohl der **physiologischen Erregung** einerseits als auch der **kognitiven Bewertung** andererseits. Beide sind notwendig, damit eine Emotion entsteht. Dies ist der Kern der von Schachter entworfenen Zwei-Komponenten-Theorie der Emotion.

Nach der Zwei-Faktoren-Theorie von Schachter haben Emotionen zwei unverzichtbare Anteile: physiologische Erregung und kognitive Bewertung. Um eine Emotion zu erleben, muss man also sowohl physiologisch erregt sein als auch diese Erregung kognitiv bewerten.

Dabei werden die Erregung und die kognitive Bewertung jedoch nicht unabhängig voneinander erlebt, vielmehr wird die Erregung (zum Beispiel „Mir zittern die Knie") der Bewertung („weil ich so wütend über sein Verhalten bin") direkt zugeschrieben, das heißt, die Erregung wird auf die Bewertung **attribuiert**.

Der Schachter-Singerschen Untersuchung wird heute trotz vielfacher Kritik eine grundlegende Bedeutung beigemessen, da sie die Aufmerksamkeit der bis dahin eher physiologisch orientierten Forschung nun auf die Rolle der kognitiven Interpretation bei der emotionalen Erfahrung lenkte. Die Untersuchung zeigte auch, dass einzelne Komponenten der Emotion unabhängig voneinander im Labor manipuliert und beobachtet werden können.

Exkurs 12.3

Experiment: Kognitive Abwehr situationsinduzierter Emotion

Als Außenreize verwendeten Lazarus et al. (1964)in ihren Experimenten einen Film, durch den gezielt Emotionen provoziert werden, wobei sie während der Darbietung die Stärke der Emotion sowohl über die Messung der Herzschlagfrequenz als auch über die elektrodermale Aktivation (EDA), also Erregungsmaße des sympathischen Systems, registrierten. Der Film beschreibt „Beschneidungspraktiken" australischer Eingeborener und zeigt dabei unter anderem operative Manipulationen am Penis von Jugendlichen in der Pubertät. Dies löst in der Regel heftige vegetative Reaktionen beim Betrachter aus. Im Experiment wurde sodann eine unterschiedliche kognitive Einstellung durch fortlaufende Kommentare erzeugt. Die Kommentare der Versuchsgruppe A beinhalteten eine Verharmlosung der Eingriffe und legten die Betonung auf die Freude, die der Junge empfindet, nun endlich zu den „Erwachsenen" des Stammes gezählt zu werden. Die Kommentare der Versuchsgruppe B stellten dagegen eine Intellektualisierung dar: Ein Anthropologe spricht ohne emotionale Beteiligung und beschreibt distanziert die Sitten fremder Völker. In der Kontrollgruppe C schließlich wurde der gleiche Film ohne einen Kommentar gezeigt.

Abb. 12.5 zeigt am Beispiel der EDA das wesentliche Ergebnis dieser Untersuchung: Die gleichen grausamen Handlungen erzeugen die geringste vegetative Erregung, wenn der Anblick der Handlungen von einem emotionslosen Kommentar begleitet wird, während die unkommentierte Darbietung die höchsten EDA-Werte und damit die höchste vegetative Erregung des sympathischen Systems hervorruft. Je nach der durch Instruktion vorgegebenen kognitiven Einstellung und der damit induzierten Bewertung der wahrgenommenen gleichen Handlung kommt es zu ganz unterschiedlich starker physiologischer Erregung.

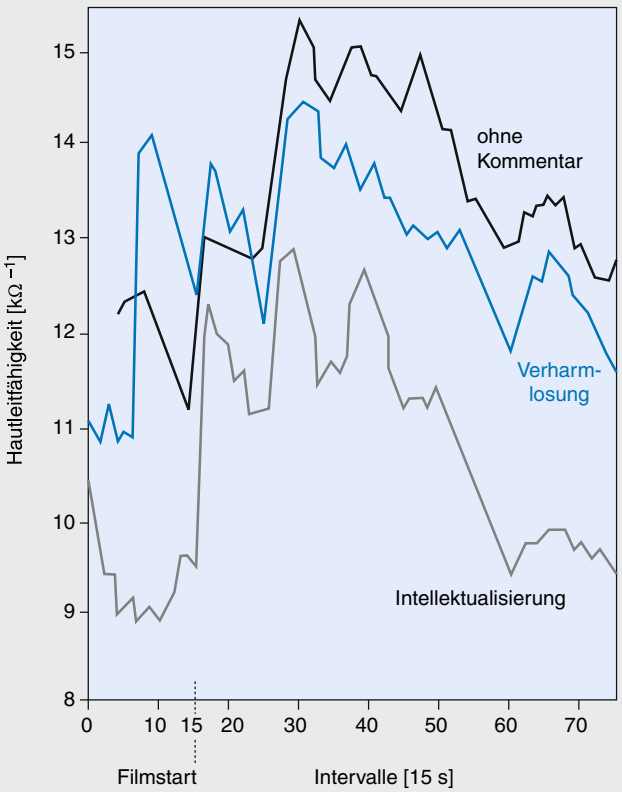


Abb. 12.5 Kognition, Emotion und physiologische Erregung. Gemessen wurde die *EDA* (elektrodermale Reaktion, Hautleitfähigkeit in 1/kΩ) während der Darstellung ein und desselben Filmes mit Beschneidungsszenen bei vorher verschieden instruierten Personen: Verharmlosung, Intellektualisierung und ohne Kommentar. Die Unterschiede zwischen den Reaktionskurven stellen die Wirkung der unterschiedlichen kognitiven Einstellungen auf die gemessene EDA-Erregung dar, die durch den Film ausgelöst wird. Intellektualisierung führt zu stärkerer Reduktion der emotionalen physiologischen Erregung

Es muss allerdings angemerkt werden, dass bei einer verfeinerten Wiederholung der Untersuchung die Ergebnisse nicht vollständig repliziert werden konnten (Marshall 1974) und dass es mehrfach Kritik an der Zwei-Komponenten-Theorie gegeben hat (Marshall und Zimbardo 1979; Reisenzein 1983).

Die Feststellung, dass derselbe physiologische Erregungszustand, je nach kognitiver Interpretation der Situation, einmal als die eine, im anderen Fall als eine völlig andere Emotion erlebt werden kann, konnte inzwischen in etlichen Experimenten bestätigt werden (Myers 2008, S. 555). Auch lassen sich physiologische Erregungszustände von einem Gefühl auf ein nächstes übertragen. So handeln in Wut auslösenden Situationen sexuell erregte Menschen feindseliger als andere, und umgekehrt kann durch Streit erzeugte Erregung nachfolgend die sexuelle Erregung verstärken (Palace 1995). Diese Beobachtung wird als *Übertragungseffekt* bezeichnet (vgl. auch ▶ Exkurs 12.5).

Ferner gibt es, wie bereits von Schachter vermutet, **Fehlattribuierungen** von Emotionen. Wenn wir der wahren Quelle der erlebten Erregung nicht gewärtig sind, kommt es vor, dass wir aufgrund anderer vorhandener sozialer Hinweisreize eine tatsächlich nicht zutreffende, falsche Ursachenzuweisung treffen, ohne daran zu zweifeln (White et al. 1981).

Tab. 12.2 Grundlegende primäre Emotionen und ihre auslösenden Ursachen. (Nach Plutchik 1980)

Emotion	Auslösende Situationsbewertung
Kummer, Schmerz	Verlust einer geliebten Person
Furcht	Drohung
Angst	Hindernis
Freude	Möglicher Ehepartner
Vertrauen	Gruppenmitglied
Ekel	Schauriges Objekt
Antizipation	Neues Territorium
Überraschung	Plötzlich neues Objekt

Tab. 12.3 Kategorisierungsprozesse. (Nach Roseman 1984)

	Tritt ein	Tritt nicht ein
Wünschenswert	Freude	Kummer
Nicht wünschenswert	Leid, Sorge	Erleichterung

12.3.2 Kognitive Bewertungstheorien

Bei unserer bisherigen Betrachtung ging es um die kognitive Bewertung der erlebten inneren physiologischen Erregung. Eine zweite Gruppe von **Bewertungstheorien** (*appraisal theories*) geht davon aus, dass unsere Bewertung einer *äußeren Situation* zu dem subjektiven Erleben einer Emotion und der damit verbundenen Erregung führt. Ein Untersuchungsbeispiel für diesen Ansatz sind die bekannten Studien von Lazarus und Alfert (1964). Sie untersuchten die Wirkung kognitiver Abwehrmechanismen auf durch Außenreize ausgelöste Emotionen (siehe ▶ Exkurs 12.3).

Dieses Beispiel macht zugleich deutlich, in welch hohem Maße unsere kognitive Bewertung in der Lage ist, rein physiologische Reaktionen zu verändern, im gegebenen Beispiel zu hemmen oder zu unterdrücken. Ausgehend von dieser Feststellung können wir uns auch eine Vorstellung machen von der Wirksamkeit, die unterschiedliche kognitive Einstellungen und Bewertungen, die wir im Laufe unserer frühkindlichen Sozialisation erlernt haben, auf unsere individuelle und auch psychophysiologische Reaktionsweise gleichartigen Außenreizen gegenüber haben.

Andererseits haben Bewertungstheorien dieses Ansatzes versucht, wesentliche Grundemotionen oder **primäre Emotionen** zu identifizieren, die generell durch die Bewertung bestimmter typischer Situationen ausgelöst werden. Nach dieser von Plutchik (1980) vertretenen Auffassung gibt es nur eine relativ kleine Anzahl „primärer" Emotionen, deren jede durch eine ganz spezifische, aber universelle Bewertung (*appraisal*) einer typischen Situation oder eines Ereignisses ausgelöst wird. Eine Liste solcher primären Emotionen und der sie auslösenden Bewertungen, wie sie von Plutchik zusammengestellt wurde, zeigt Tab. 12.2. Diese primären Emotionen finden sich durchgängig in allen menschlichen Kulturen, wenngleich die auslösenden bewerteten Situationen in den verschiedenen Kulturkreisen zum Teil unterschiedlich sind. Sie finden sich ferner aber auch – dem Ausdruck nach zu urteilen – bei allen höheren Tieren (▶ Abschn. 12.4.1).

Eine weitere Gruppe kognitiver Bewertungstheorien befasst sich mehr mit den **kognitiven Kategorisierungsprozessen**, die bei der Wahrnehmung von Ereignissen ablaufen, wobei es wiederum verschiedene Ansätze gibt. Ein solcher Ansatz befasst sich zum Beispiel mit der Spezifizierung grundlegender **Kategorien von Bewertungen** und den daraus folgenden emotionalen Konsequenzen. Zur Verdeutlichung betrachten wir das sehr vereinfachte Beispiel in Tab. 12.3, das das Zusammenspiel der beiden Kategorisierungsdimensionen „wünschenswert – nicht wünschenswert" und „tritt ein – tritt nicht ein" darstellt.

Je nach der möglichen Kombination von zwei dieser Kategorien resultiert eine bestimmte vorhersagbare Emotion. Wenn also ein wünschenswertes Ereignis (zum Beispiel gute Prüfungsnote) eintritt, führt dies zu erlebter Freude; wenn das erwartete Ereignis aber nicht eintritt, führt dies zu Kummer oder Enttäuschung und so weiter. Normalerweise kommt man jedoch, wie ersichtlich, nicht mit nur zwei Kategorisierungen aus. Nach Smith und Ellsworth (1987) werden zumindest sechs Dimensionen benötigt, um 15 unterschiedliche Emotionen zu charakterisieren.

Als Bewertungstheorien der Emotion wird eine Gruppe von Emotionstheorien verstanden, nach denen unsere *Bewertung* der jeweiligen äußeren Reizsituation bestimmt, welche Emotion wir erleben.

12.3.3 Emotion ohne Kognition

Nun scheint es aber neben den auf kognitive Bewertung zurückgehenden Emotionen auch emotionale Erlebnisse zu geben, die ohne eine kognitive Bewertung ablaufen beziehungsweise die einer solchen vorausgehen (Zajonc 1984). Als solche unmittelbaren Reaktionen auf Reize werden zum Beispiel unsere Vorlieben angeführt. Wir mögen Eiscreme, fühlen uns von lächelnden Gesichtern angezogen, wir ekeln uns vor einem Kadaver oder erleben Angst vor einer Schlange. Diese „spontanen Reaktionen" sind mit einer Gefühlsqualität besetzt, die unabhängig davon auftritt, was wir darüber denken.

Zajonc (1984) hat daher alle Emotionstheorien, nach denen vor Emotionsprozessen immer eine Bewertung steht, infrage gestellt. Aufgrund seiner Ergebnisse ist er der Auffassung, dass der Emotionsprozess und die Verhaltensreaktion unter den meisten Umständen zu schnell ablaufen, als dass vorher noch genügend kognitive Aktivität stattfinden könne. Nach Zajonc laufen kognitive Bewertung und emotionales Empfinden relativ unabhängig und parallel zueinander ab, und beides kann jeweils als Antwort auf einen Reiz zuerst auftreten. Diese **Theorie von Zajonc** hat die Diskussion und Forschung erneut angeregt.

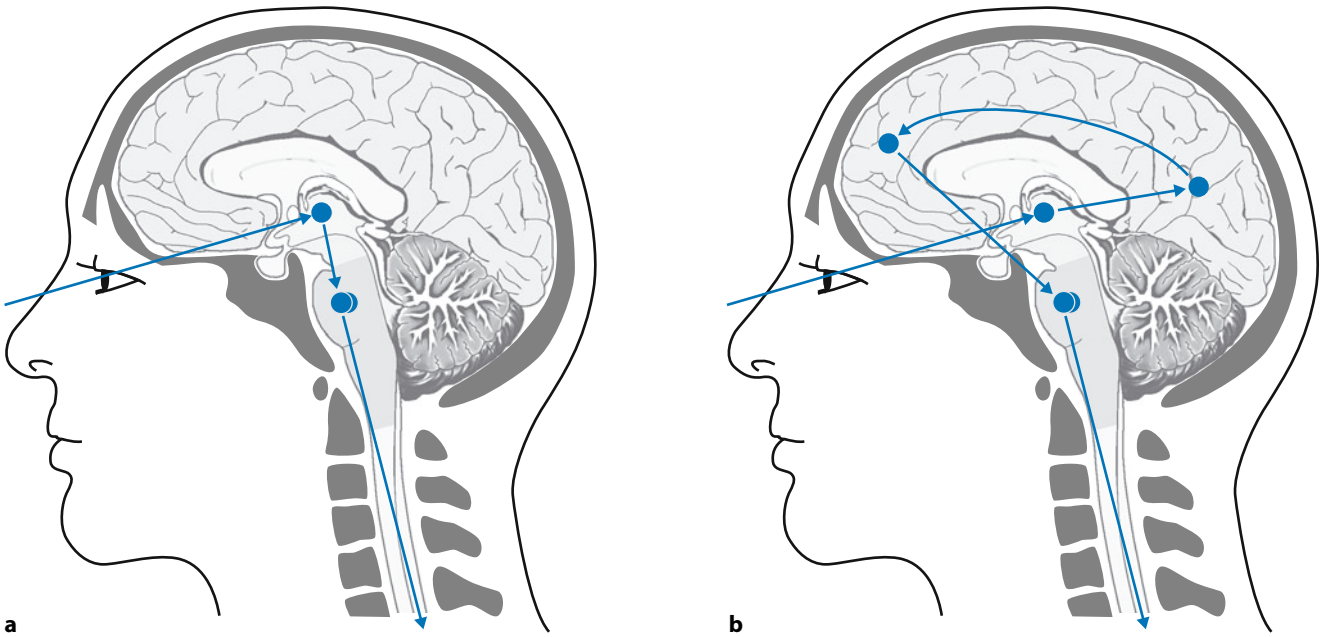


Abb. 12.6 Projektionsbahnen der Emotionen im Gehirn. Der sensorische Input kann entweder **a** direkt zur Amygdala (über den Thalanus) geleitet werden (*low road*, schnelle emotionale Reaktion), oder **b** über den sensorischen und den präfrontalen Cortex (*high-road*, langsamer mit kognitiver Feinabstimmung)

Zajonc konnte in langen Untersuchungsreihen, in denen er Versuchspersonen verschiedenste visuelle Reize (Zeichen, Buchstaben, Zahlen) mit einem Tachistoskop so kurzzeitig darbot, dass ein Erkennen unmöglich war, nachweisen, dass seine Versuchspersonen dennoch immer in der Lage waren, Referenzen (sympathisch – unsympathisch) anzugeben, ohne dass sie wussten, worum es sich handelte. Diese Präferenzen waren zudem konstant und verstärkten sich bei wiederholter Darbietung (Zajonc 1980; ebenso Murphy et al. 1995). In solchen Untersuchungen zum *subliminalen affektiven Priming* wurden Versuchspersonen gebeten, für verschiedene ihnen unbekannte chinesische Schriftzeichen anzugeben, wie sehr sie ihnen gefielen. Jeweils kurz vor der Präsentation des Schriftzeichens erschien für zehn Millisekunden ein freundliches oder ein ärgerliches Gesicht. Die Versuchspersonen tendierten zu einer positiveren Bewertung eines Schriftzeichens, wenn im Vorfeld ein freundliches Gesicht dargeboten wurde, obwohl die Kürze der Darbietung ein Erkennen des Reizes nicht erlaubte (Winkielman et al. 1997).

Diese Ergebnisse sprechen offenbar dafür, dass wir sogar kognitiv nicht erkannte und somit auch kognitiv nicht bewertete Reize emotional als angenehm oder unangenehm erleben (unbewusste Bewertung).

Seitens der Hirnforschung fanden sich in den letzten Jahren ebenfalls Anhaltspunkte, die diese zweite Möglichkeit der Emotionsentstehung unterstützen. Wie wir bereits dargestellt haben, stellen die **Mandelkerne** (Amygdalae) eine zentrale Stelle der Emotionsauslösung dar. Diese Strukturen erhalten normalerweise ihre Informationszuflüsse vom Cortex, die demzufolge auch kognitiven Verarbeitungen (Wertungen) unterliegen (vgl. Abb. 12.6). Zusätzlich zu diesen Bahnen wurden nun aber auch Zugänge gefunden, die von den Sinneskanälen ohne Umweg über den Cortex direkt zu den Mandelkernen führen (LeDoux 1989). Sie dürften die Basis für diese **präkognitiven Emotionen** darstellen. Wenngleich hier offenbar keine kognitiven Bewertungen vorliegen, weisen die obigen Beispiele darauf hin, dass doch primitive automatische Bewertungen (im Sinne von sympathisch – unsympathisch) der Reize stattfinden, die uns im Laufe der Evolution zu Eigen geworden sind. So betrachtet, hatte schon Lazarus (1991) argumentiert, beinhalten wohl alle Emotionen eine Art von Bewertung.

Nach dem von LeDoux (1996) vorgeschlagenen und heute weithin akzeptierten neuropsychologischen Modell können Emotionen also offenbar auf zwei Wegen entstehen. Reize aus der Umwelt erreichen über Auge, Ohr und andere Rezeptoren zunächst den Thalamus. Von hier werden sie zum einen über kurze monosynaptische Verbindungen ohne neocorticale Beteiligung zu den Mandelkernen weitergeleitet (Abb. 12.6a). Diese Abkürzung (*low road*) befähigt uns zu blitzschnellen, emotionalen affektiven Reaktionen, die wir bewusst nicht wahrnehmen (Dimberg et al. 2000). Zum anderen erfolgt parallel die Weiterleitung zu den Mandelkernen auch auf einem längeren Projektionsweg über den sensorischen und über den präfrontalen Cortex (*high road*). Dieser thalamisch-corticale Weg (Abb. 12.6b) ist länger und benötigt auch mehr Zeit, in der kognitive Feinabstimmungen erfolgen können, und die Situationsreize auf die verfolgten Ziele bezogen und kognitiv bewertet werden können. Dies führt zu länger anhaltenden Emotionen wie Zufriedenheit, Hilflosigkeit Ärger.

Von den Mandelkernen gehen andererseits mehr Nervenbahnen zum (sensorischen) Cortex (und dem Hippocampus), über die eine verstärkte, emotional bewertende Einflussnahme auf die Wahrnehmung möglich ist. So haben unsere Gefühle oft mehr Gewalt über unsere Gedanken als umgekehrt (LeDoux und Armony 1999). Wir zucken z. B. im dunklen Wald bei einem unerwarteten Geräusch von raschelnden Blättern zunächst ängstlich zusammen, bis unser Cortex schließlich entscheidet, ob tatsächlich ein wildes Tier oder nur der Wind in den Büschen die Ursache war, was nur im ersten Fall zum Erleben von Angst führt. Das zeigt, dass bewusste Kognitionen nicht unbedingt für Emotionen erforder-

lich sind. Seine Ergebnisse zur Lösung der diesbezüglichen alten Kontroversen unter Emotionspsychologen fasste LeDoux (1989) in acht Punkten zusammen (siehe *Zusatztext online*).

12.4 Emotionaler Ausdruck (motorische Ebene)

Emotionen werden natürlicherweise von **Ausdrucksverhalten**, insbesondere des Gesichts, begleitet, wodurch sie sich anderen Personen mitteilen. Diese **sozialkommunikative Funktion** des emotionalen Ausdrucks bei sozial lebenden Arten wurde schon von Darwin erkannt und von ihm in seinem klassischen Werk *The Expression of Emotion in Man and Animals* (Darwin 1872) einleuchtend begründet. Nach Darwin teilen sich handlungsrelevante innere Zustände vor jeder verbalen Kommunikation den Artgenossen in der Gruppe durch den Ausdruck mit. Diese **nonverbale Mitteilung** von emotionalen Zuständen, Bewertungen und daraus resultierenden Handlungsabsichten hat einen wichtigen Überlebenswert für die Spezies. So kann der plötzliche Ausdruck des Erschrecktseins die Artgenossen, zum Beispiel des Rudels, warnen, dass Gefahr droht. Wut oder Drohgebärden sagen uns, dass es zu einer aggressiven Auseinandersetzung kommen kann. In dieser Weise dient das Ausdrucksverhalten (zumindest im Tierreich) der effizienten und unblutigen Bereinigung von Dominanzstreitigkeiten und Rangfestlegungen in einer sozialen Gruppe.

Die Tatsache, dass Ausdrucksverhalten andererseits aber auch dann auftritt, wenn sich ein Lebewesen unbeobachtet fühlt, ließ vermuten, dass dem Ausdrucksverhalten neben dieser kommunikativen Funktion noch andere Funktionen zukommen. So dient Ausdrucksverhalten in vielen Fällen auch der Regulation emotionaler Zustände, zum Beispiel wenn wir uns „abreagieren" müssen (Spannungsabfuhr), wodurch die Intensität des emotionalen Erlebens verändert wird.

Darüber hinaus scheint drittens umgekehrt der emotionale Ausdruck – das **Ausdrücken von Emotionszuständen** – auch zum subjektiven Erleben der Emotion beizutragen, ähnlich wie physiologische Erregungsprozesse und kognitive Bewertung (qualitative Ausgestaltung der erlebten Emotion).

Auch gibt es neuere Ansätze, die ähnlich wie die James-Lange-Theorie davon ausgehen, dass der erlebte Gesichtsausdruck die Emotion hervorrufen kann, was wir gleich noch genauer besprechen werden.

Der emotionale Ausdruck hat (1) eine sozialkommunikative Funktion, er dient (2) der Regulation emotionaler Zustände und scheint umgekehrt (3) auch das emotionale Erlebnis zu unterstützen beziehungsweise auszulösen.

12.4.1 Universalität des Ausdrucks und seine kommunikative Funktion

Einige entscheidende grundlegende **Gesichtsausdrucksformen** scheinen eine universale, von allen verständliche Bedeutung zu haben, unabhängig von den jeweiligen Kulturen, in denen wir aufgewachsen sind.

Bereits Darwin, der von einer genetischen Grundlage des emotionalen Gesichtsausdruckes ausging, hatte empirische Methoden genannt und angewendet, um diese These zu belegen. Hierzu gehört seine Beobachtung, dass in der stammesgeschichtlichen Entwicklung eine Kontinuität der Gesichtsmuskulatur von den Säugern über die infrahumanen Primaten bis hin zum Menschen besteht. Und hier wie da dient offensichtlich die Mehrzahl der Gesichtsmuskeln ausschließlich der **Kommunikation** mimischen Ausdrucks. So konnten dann in neuerer Zeit überzeugende Beispiele auch einer Kontinuität **emotionaler Ausdrucksbewegungen** bei Primaten und Menschen beigebracht werden (zum Beispiel Chevallier-Skolnikoff 1973). Auch die bereits von Darwin verwendete Methode der Beobachtung bei gesunden oder blind-taub geborenen Kindern verschiedener Kulturen und Rassen brachte eine Fülle von Material zusammen, das in überzeugender Weise belegt, dass der emotionale Ausdruck universal ist und mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit eine genetische Basis hat (Eibl-Eibesfeld 1984).

Als einer der Ersten stellte Sylvan Tomkins (1962) die bedeutsame Rolle unmittelbarer, nicht gelernter affektiver Erregungen heraus. So reagieren Säuglinge auf laute Geräusche oder Atemschwierigkeiten mit dem Ausdruck der Furcht, ohne dass sie diese Reaktion vorher kognitiv bewertet oder gelernt haben könnten.

Um eine Ordnung in die Vielfalt möglicher Gesichtsausdrücke zu bringen, haben Psychologen versucht, Grundemotionen herauszufinden, die einfach und experimentell wiederholbar sind. Izard (1971) isolierte einige solcher **Basisemotionen** wie Freude, Interesse, Überraschung, Traurigkeit, Wut, Ekel, Zufriedenheit, Scham und Schuld. Andere Emotionen, wie zum Beispiel Liebe (= Freude + Interesse), erklären sich dann aus unterschiedlichen Kombinationen der Basismotive (vgl. *Zusatztext online*).

Bei Erwachsenen konnten Ekman und Friesen (1969b, 1971) belegen, dass die mimischen Ausdrucksmuster von sechs bis acht **Grundemotionen** in allen untersuchten unterschiedlichsten Kulturen (darunter auch zwei primitive Kulturen auf Borneo und Neuguinea) gleichwertig beurteilt wurden (▶ Exkurs 12.4). Aufgrund derartiger Untersuchungen geht man heute davon aus, dass wenigstens sechs grundlegende Emotionen weltweit auf gleiche Weise ausgedrückt und erkannt werden.

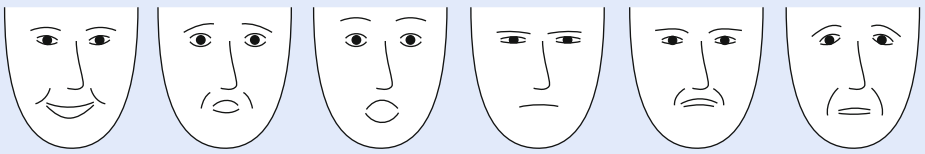
In den letzten Jahren wurde der kommunikativen Funktion des Emotionsausdrucks und seiner Wahrnehmung durch andere zunehmende Bedeutung zuteil. Seit einer grundlegenden Arbeit von Mayer et al. (1990) wird die Fähigkeit, eigene und fremde Gefühle treffend wahrzunehmen, zu verstehen und zu beeinflussen als **emotionale Intelligenz** bezeichnet. Dieser Begriff wurde insbesondere durch das gleichnamige Buch des Psychologen Goleman (1995) populär, der darin eine wesentliche Voraussetzung für den beruflichen Erfolg und für gute Führungspersönlichkeiten sieht. So hat sich das inzwischen ausgefeilte – aber im Grunde nicht neue und auf Thorndikes: „Soziale Intelligenz" (1920, nach Goleman, 2006) zurückgehende – Konzept in Kreisen der Wirtschaft weitreichend durchgesetzt und wird von Coaches und Trainern zur Schulung verwendet (mehr dazu in *Zusatztext online*).

Nicht verwechselt werden sollten diese Ausdrucksgebärden mit den **darstellenden Gesten** (Klages 1942), die vielfach eher kulturelle Übereinkünfte widerspiegeln. Schon zu Darwins Zei-

Exkurs 12.4

Genauer betrachtet: Ausdrucksbeurteilung – weltweit

Das Erkennen und Einstufen des emotionalen Gesichtsausdrucks wurde in verschiedenen Untersuchungen an unterschiedlichsten Bevölkerungsgruppen untersucht. Ekman und Friesen (1971) untersuchten in einer ihrer ersten Studie Studenten in den Ländern Japan, USA, Brasilien, Chile und Argentinien. Ihnen wurden Fotografien von Gesichtern zur Beurteilung des emotionalen Gesichtsausdrucks vorgelegt. Verwendet wurden Bilder, die aus einer Sammlung von über 3000 standardisierten Gesichtsaufnahmen ausgewählt waren. Die Auswahl der Bilder erfolgte auf der Basis der Tomkinsschen Annahme (Tomkins 1962) von wenigen Grundemotionen und deren Zuordnung zu mimischen Bewegungsmustern. Die ausgewählten Bilder sollten die Grundemotionen Glück/Zufriedenheit, Traurigkeit, Ärger, Furcht, Überraschung und Ekel ausdrücken. ◘ Abb. 12.7 zeigt die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie anhand schematisierter Gesichtsdarstellungen in den sechs Hauptemotionskategorien (vgl. Ekman 1976, S. 32; wo die Original-Gesichtsfotos dokumentiert sind). Wie zu ersehen ist, gibt es hohe Übereinstimmungen in den Zuordnungen der emotionalen Zustände zu dem vorgegebenen jeweiligen Gesichtsausdruck bei den hier ausgewählten fünf Kulturbereichen. In ähnlicher Weise wurden von Ekman und Friesen (1969b, 1978) auch die Angehörigen von einfachen Volksstämmen auf Borneo und Neuguinea untersucht, die auf der Zivilisationsstufe von Steinzeitmenschen lebten und kaum je Kontakt zu unserer westlichen Zivilisation hatten. Hier ergab sich sowohl bei Erwachsenen (n = 189) wie bei Kindern (n = 130) das gleiche Bild wie bei den amerikanischen Studenten. Offenbar können also Menschen auf der ganzen Welt die sechs Emotionen der obigen Liste anhand des Gesichtsausdrucks recht genau richtig zuordnen, wobei Kinder, die älter als fünf Jahre sind, dies etwa genauso gut machen wie Collegestudenten (Ekman, 2004: Gefühle lesen).



	Glück	Furcht	Überraschung	Zorn	Ekel Abscheu	Trauer
Japan	87	71	87	63	82	74
Brasilien	97	77	82	82	86	82
Chile	90	78	88	76	85	90
Argentinien	94	68	93	72	79	85
USA	97	88	81	69	82	73

◘ **Abb. 12.7 Beurteilungen von Gesichtsausdrücken.** Prozentanteile richtiger Zuordnungen von Gesichtsausdrücken zu Emotionswörtern in verschiedenen Kulturen. (Nach Ekman 1976, S. 32)

ten unterschied Engel (1844) „ausdrückende" von darstellenden („malenden") Gesten. Hierher gehören:

1. die sprachanalogen so genannten **Embleme**, die sich ohne Restbedeutung in Sprache übersetzen lassen, wie zum Beispiel das Schütteln des Kopfes als Verneinung;
2. die **Illustratoren**, das sind Gesten, die Begriffe veranschaulichen sollen und
3. die **Regulatoren**, das sind Gesten und Blickbewegungen, die zur Steuerung der verbalen Kommunikation in der Gruppe eingesetzt werden(Ekman und Friesen 1969b).

Sie alle sind in der Regel kulturspezifisch, obwohl es auch hier überraschende Ähnlichkeiten zwischen Kulturen gibt, die auf angeborene Bewegungsmuster hindeuten. So konnte Eibl-Eibesfeld (1967, 1973), der in verschiedensten Kulturen weltweit menschliche Mimik in definierten Situationen filmisch dokumentierte, belegen, dass einige, auch komplizierte, menschliche Ausdrucksformen, wie das mimische Flirtverhalten oder der Augengruß – mit Hochziehen der Augenbrauen und Anlächeln –, unabhängig von der jeweiligen Kultur bis ins Detail gehende Übereinstimmung zeigen.

Obgleich einige Gesichtsausdrucksformen und Gebärden angeborenermaßen mit bestimmten Emotionen verbunden sind, gibt es auch erlernte kulturspezifische Eigenarten. Sie beruhen darauf, dass jede Kultur ihre eigenen Regeln entwickelt, welche Emotionen in welcher Situation bis zu welchem Grad erlebt und ausgedrückt werden sollten. So ist es zum Beispiel in Europa nicht unüblich, dass sich auch Männer, wenn sie sich auf der Straße begegnen, umarmen oder küssen, um ihre Zuneigung auszudrücken, während solche Gesten in den USA tabu sind. In einigen südlichen Kulturen gehört es zum Ausdruck der Trauer um einen Verstorbenen, ein lautes Wehklagen und Weinen zu erheben. Derlei emotionale Ausdrucksformen werden oft von Menschen anderer Kulturkreise missverstanden.

12.4.2 Ausdruckslokalisationen im Gehirn

Die Diskussion darüber, ob emotionales Erleben der **rechten Hirnhemisphäre** zuzuordnen ist, wurde durch Untersuchungsergebnisse gestützt, die dafür sprechen, dass unsere Fähigkeit, emotionales Erleben am Gesichtsausdruck zu erkennen, in der rechten

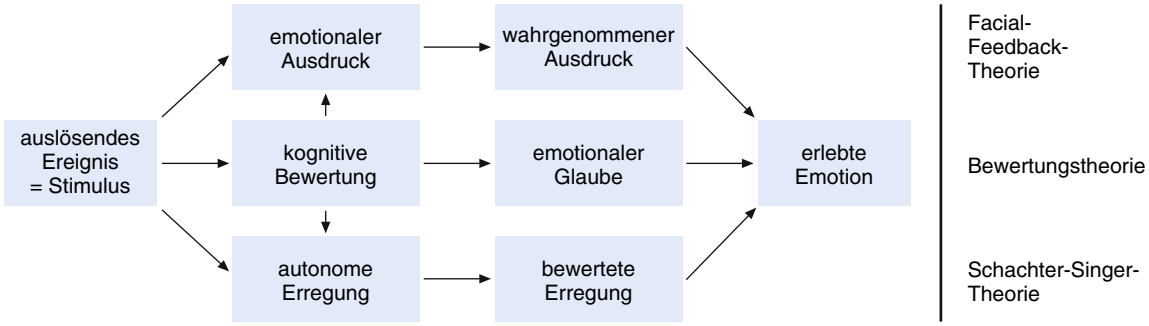


Abb. 12.8 Komponenten des emotionalen Erlebens und ihr mögliches Zusammenwirken gemäß der drei angegebenen Theorien bei der Entstehung der erlebten Emotion

Hemisphäre schneller abläuft als in der linken. Werden im Experiment Bilder eines emotionalen Gesichtsausdrucks tachistoskopisch im linken visuellen Feld präsentiert, das, wie wir wissen (siehe ▶ Kap. 2), in die rechte Hemisphäre projiziert, so wird der emotionale Ausdruck schneller erkannt, als wenn das Bild im rechten visuellen Feld dargeboten wird, das zur linken Hemisphäre projiziert. Auch haben Patienten mit rechts-hemisphärischen Hirnschäden mehr Schwierigkeiten, emotionale Gesichtsausdrücke zu erkennen, als solche mit links-hemisphärischen (Etcoff 1989). Doch zeigen sich diese Unterschiede nur bedingt, nämlich bei Läsionen im Temporallappen. Bei Läsionen im Frontallappen treten dagegen keine **Lateralisationsunterschiede** auf. Schädigungen im rechten oder linken Frontallappen führen zu gleich großen Beeinträchtigungen der Emotionswahrnehmung (Kolb und Taylor 1988).

Klare Unterschiede in der Lokalisation gibt es jedoch zwischen der Fähigkeit, den emotionalen Ausdruck eines Gesichtes zu erfassen, und der Fähigkeit, Gesichter wiederzuerkennen. Hirngeschädigte, die nicht mehr in der Lage sind, nahe Verwandte wiederzuerkennen, können trotzdem den emotionalen Ausdruck (Freude, Schmerz) des eigentlich bekannten Gesichts erfassen (Bruyer et al. 1983). Wie elektrische Hirnstimulationsuntersuchungen zeigten, wird die **Emotionserkennung** durch Stimulation eines bestimmten Bereichs im Temporallappen, und zwar der rechten Hemisphäre, unterbrochen, während die **Gesichtserkennung** bei Stimulation eines Bereichs zwischen Parietal- und Okzipitallappen gestört wird (Fried 1982).

Diese und weitere Untersuchungen sprechen dafür, dass das Erfassen des emotionalen Gesichtsausdrucks vornehmlich, wenn auch nicht ausschließlich, in bestimmten Arealen der rechten Hemisphäre abläuft, aber auch von der linken Hemisphäre unterstützt wird. Es handelt sich hierbei also nicht um eine eindeutige Lateralisation, wie wir sie bei der Sprachverarbeitung kennengelernt haben.

12.4.3 Wirkungen des emotionalen Gesichtsausdrucks: Facial-Feedback-Hypothese

Die Vorstellung, dass insbesondere der Gesichtsausdruck unsere erlebte Emotion beeinflussen oder anregen kann, ist unter der Bezeichnung **Facial-Feedback-Hypothese** bekannt geworden (Tomkins 1962). Sie geht davon aus, dass wir auch von dem Ausdruck der Gesichtsmuskulatur, ähnlich wie von der Erregung des autonomen Nervensystems, eine Rückmeldung (*feedback*) erhalten und dass diese zusammen mit den anderen Komponenten der Emotion gerade diese im Ausdruck dargestellte Emotion intensiviert. Und dafür gibt es viele Hinweise. So berichten Versuchsteilnehmer, die gebeten wurden, ihre Gesichtsausdrucksreaktionen auf vorgegebene emotionale Reize hin willentlich zu verstärken, eine deutlich stärkere Emotion zu verspüren, als Versuchsteilnehmer, die den Gesichtsausdruck nicht verstärkten. Dies gelingt in der Regel auch, wenn wir ein fröhliches Gesicht machen und dieses Lächeln für einige Sekunden aufrechterhalten. Dann beginnen wir uns fröhlicher zu fühlen. Wenn wir ein böses Gesicht machen und die Stirn runzeln, werden wir uns bald auch ärgerlich fühlen (Duclos et al. 1989). So können wir mit Reisenzein (1983) neben die kognitive Bewertung und die autonome Erregung als weitere emotionsaktivierende Komponente ferner den **emotionalen Ausdruck** setzen, wie in ◘ Abb. 12.8 veranschaulicht.

Auf diese Rolle des emotionalen Gesichtsausdruckes hatte auch schon Darwin hingewiesen. In seinem bereits zitierten Werk (Darwin 1872) schreibt er: „Die freie Expression einer Emotion durch den Verhaltensausdruck intensiviert diese […] Wer seinen gewalttätigen Gesten freien Lauf lässt, wird seine Wut verstärken“ (nach Myers 1998, S. 402).

Diese Beobachtungen konnten von Laird und Mitarbeitern (Laird 1974, 1984; Laird et al. 1989) in einer Reihe von Experimenten bestätigt werden. Sie baten ihre Studenten, willentlich ihre Gesichtszüge so zu verändern, dass sie den Ausdruck der einen oder anderen Grundemotion (Ärger, Furcht etc.) nachahmten. Wie sich zeigte, erlebten die Studenten dabei auch die entsprechenden Emotionen. Zum Beispiel berichteten sie, dass sie mehr Angst als Wut, Ekel oder Traurigkeit verspürten, wenn sie sich bemühten, den Gesichtsausdruck für Angst auszudrücken. Studenten, die entsprechend instruiert waren zu lächeln, fanden auch Cartoons humorvoller und lustiger, Düfte angenehmer und erinnerten sich an freudigere Erlebnisse als Studenten, die zum Stirnrunzeln aufgefordert worden waren.

Gleichartige Ergebnisse lassen sich auch erzielen, wenn man einen Bleistift entweder zwischen den Zähnen oder aber mit den Lippen festhält. Das Halten mit den Zähnen zwingt die Gesichtsmuskulatur zu einem Lächeln, während das Halten mit den Lippen eher mit Stirnrunzeln verbunden ist. Wie erwartet, wurden auch hier die Cartoons als lustiger eingestuft, wenn der Stift zwischen den Zähnen gehalten wurde (Strack et al. 1988).

Ein weiteres umfassendes Experiment haben wir bereits in ▶ Exkurs 12.1 kennengelernt. Es ist ebenfalls ein Beispiel dafür,

Exkurs 12.5

Experiment: Phoneme, Lächeln und Gefühle

Zajonc et al. gingen davon aus, dass wir beim Aussprechen des Phonems „ü" bestimmte Gesichtsmuskeln ausdehnen, die wir aber beim Lächeln kontrahieren. Wiederholtes Aussprechen von „ü" führe demnach zu einem negativen Gefühl. Um dieses zu testen, sollten die Versuchspersonen eine Geschichte laut vorlesen, die bei gleichem emotionalen Inhalt entweder viele Wörter mit „ü" oder keine Wörter mit „ü" enthielten. Bei der anschließenden Befragung, wie ihnen die Geschichte gefallen habe, schätzten die Teilnehmer mit der ü-Wörter-Version die Geschichte als unerfreulicher ein als die ohne ü-Wörter. Darüber hinaus wurde während des Lautlesens die Stirntemperatur gemessen als Hinweis auf die Hirntemperatur. Dabei zeigte sich ein Temperaturanstieg nur beim Lesen der Geschichte mit ü-Wörtern, nicht bei denen ohne ü-Wörter.

wie sich Emotionserlebnisse durch Nachstellen der Gesichtszüge hervorrufen lassen. Es zeigt aber zugleich einen Weg, über den diese Wirkung erfolgen kann, nämlich indirekt über das Ansteigen der autonomen Erregung, des Herzschlages und der Hauttemperatur.

Damit sind wir heute in gewissem Sinne bei einer Neuauflage der James-Lange-Theorie: „Wir sind fröhlich, weil wir lachen."

Ausdrucksverhalten dient nicht nur der Kommunikation von Emotion, sondern es verstärkt und reguliert auch die erlebte Emotion, indem es uns offenbar signalisiert, wie wir uns fühlen sollen.

12.4.4 Ausdrucksphysiologie

Auch über den physiologischen Weg, den diese Beeinflussung der erlebten Emotion durch Änderung der Gesichtszüge macht, hat man Überlegungen angestellt. Eine mögliche Erklärung geht davon aus, dass die Kontraktion jeweils bestimmter Gesichtsmuskeln den Blutfluss in den benachbarten Gefäßen verändert und dieser dann wiederum auf den Blutfluss im Gehirn einwirkt, was zu einer Veränderung der **Hirntemperatur** führen könnte. Dies wiederum könnte die Freisetzung bestimmter **Transmittersubstanzen** beeinflussen, die bei der corticalen Aktivität der Emotion eine Rolle spielen (Zajonc et al. 1989). Gestützt werden diese Überlegungen durch Experimente wie in ▶ Exkurs 12.5 dargestellt.

So zeigte das Experiment, dass der Gesichtsausdruck beim Aussprechen von „ü" sowohl zu einer Erhöhung der Gesichtstemperatur als auch zu negativem Empfinden führt (Zajonc et al. 1989).

12.5 Aggression als emotionale Reaktion

Emotionen beinhalten nicht nur ein generelles, typisches Ausdrucksverhalten, sie führen vielfach auch zu recht typischen Verhaltenstendenzen. Wir tanzen, lachen und spaßen vor Freude, wir jammern oder klagen, wir ziehen uns zurück vor Schmerz oder Kummer, und wir neigen zu aggressiven Reaktionen, wenn wir verärgert oder gar wütend sind. Unter solchen emotionsbezogenen Verhaltensweisen nimmt die Aggression wegen ihrer Sozialunverträglichkeit und den damit verbundenen möglichen weit reichenden Folgen eine besondere Stellung ein. So ist es nicht verwunderlich, dass sich auch die psychologische Forschung in besonderem Maße und unter sehr verschiedenen Gesichtspunkten – sozialpsychologischen wie biopsychologischen oder verhaltensgenetischen – mit Phänomenen der aggressiven Emotion befasst hat.

12.5.1 Mechanismen der Aggression

In seiner einfachsten und primitivsten Form zeigt sich aggressives Verhalten in Form des direkten Angriffs. Jemand greift eine andere Person tätlich an, schlägt sie mit der Faust, tritt mit den Füßen, beißt, wirft mit Steinen, schießt oder versucht in anderer Weise zu verletzen oder zu zerstören. Tiere lassen ihre *Aggressionsbereitschaft* durch **Drohverhalten** kenntlich werden, sie knurren oder zeigen die Zähne. Menschen empfinden Ärger oder Zorn, und wenn sie ihn nicht sogleich ausdrücken können, erleben sie zuallermeist „Rachegelüste" und versuchen zu einem späteren Zeitpunkt, in irgendeiner Weise Vergeltung zu üben.

Auch in unseren sogenannten zivilisierten Kulturkreisen, und hier nicht nur bei Kindern, treffen wir auf eine Art primitiver Vergeltungsgerechtigkeit – Auge um Auge, Zahn um Zahn –, die sich mit unseren ethischen Einstellungen oft nicht deckt, der wir aber doch – zumindest in erregten Situationen – zu folgen geneigt sind.

Ist schließlich eine direkte Aggression nicht möglich, kann sich bekanntlich die feindselige Aktion gegen irgendeinen Gegenstand oder eine völlig unbeteiligte Person richten. Nicht selten kommt es vor, dass wir im Büro von einem Ranghöheren „frustriert" werden, jedoch nichts erwidern, sondern vielleicht sogar noch ein Lächeln aufsetzen. Kaum zu Hause beklagen wir uns jedoch über das Essen, beschimpfen den (Ehe-)Partner oder Zimmergenossen wegen belangloser Dinge oder werden sogar tätlich aggressiv. Ein nettes Beispiel einer solchen durch Frustration hervorgerufenen emotional-aggressiven Abreaktion schildert ▶ Exkurs 12.6.

Fragen wir uns, wie es zu solchen aggressiven Handlungen kommt: Liegt es daran, dass wir von Natur aus aggressiv sind? Ist dem Tier, ist dem Menschen angeborenermaßen ein „Trieb" zur Aggression mitgegeben, der ausgelebt, abreagiert werden muss? – Eine Energie, die sich spontan erzeugt und bei mangelnder Gelegenheit zeitweise aufgestaut werden kann, in dem Sinne, wie es in der ethologischen Verhaltensforschung von Lorenz (1963, 1970) aus Tierstudien abgeleitet wurde?

Oder kommt es zu solchen aggressiven Handlungen, weil uns eine bestimmte Situation „frustriert" hat, weil wir unsere Intentionen oder Erwartungen nicht realisieren konnten, weil unser zielgerichtetes Verhalten blockiert wurde? Und führt schließlich Frustration eventuell aufgrund physiologischer Mechanismen „immer zu einer Form von Aggression" wie es in der **Frustrations-Aggressions-Theorie** von Dollard et al. (1939) formuliert

Exkurs 12.6

Genauer betrachtet: Das verflixte Geldstück

Belustigend und zugleich anschaulich demonstrativ ist eine Episode, die auf einem Treffen der American Psychological Association berichtet wurde und die wir dem Buch *Motivation und Emotion* von Young (1961, S. 541), entnehmen: „Ein Engländer, der in Eile war und die Untergrundbahn noch erreichen wollte, die bereits eingefahren war, steckte gerade sein Geldstück in den Münzautomat vor der Sperre. Dabei bemerkte er, dass sein Geldstück, das er gerade noch zwischen den Fingern hielt, ein Halbkronenstück war und nicht ein ‚Penny'. Er geriet in einen Konflikt, der sofortige Entscheidung verlangte: Er konnte das Geldstück fallen lassen und so den Zug noch erreichen, oder er konnte das Geldstück retten – mit dem Risiko, den Zug zu verpassen. Er wählte die letzte Möglichkeit. Langsam und mit Schwierigkeiten zog er das Geldstück vorsichtig aus dem Automaten zurück. Dann aber rutschte das Halbkronenstück, als es gerade fast ganz draußen war, aus seinen Fingern und fiel zurück in den Automaten. Er hatte beides verloren, das Geldstück und den Zug! Doppelt frustriert ging er den Bahnsteig entlang. Ein Stückchen weiter stand ein (völlig fremder) Mann, stellte einen Fuß auf eine Bank und schnürte sich den Schuh. Impulsiv und ohne Pause gab er dem Mann einen Tritt auf den Hosenboden und sagte: ‚Verdammt, Sie schnüren ständig Ihre Schuhe!'" – Und Young fährt fort: „Die Bemerkung war nicht gerade logisch, völlig irrational, aber die Reaktion gewährte eine Spannungsentlastung. Die durch die Frustration entstandenen aggressiven Impulse wurden auf einen unbeteiligten Passanten gerichtet (im Sinne einer *Übersprungshandlung*)."

Exkurs 12.7

Experiment: Manipulation aggressiver Emotion

Aufgrund von Voruntersuchungen wählten Flynn et al. (1970) eine Gruppe von Versuchstieren (Katzen) aus, die sich unter normalen Gegebenheiten durchaus mit den ihnen zugesellten Ratten vertrugen und sich ihnen gegenüber friedlich verhielten. Diesen Katzen wurden sodann im lateralen Hypothalamus stereotaktisch chronisch verbleibende Elektroden implantiert. Nachdem die Operation ausgeheilt war und die Tiere sich davon erholt hatten, zeigte ein weiterer Verhaltenstest, dass ihr friedfertiges Verhalten den Nagetieren gegenüber unverändert geblieben war. Dies änderte sich jedoch, wenn die Versuchstiere über die implantierten Elektroden elektrisch stimuliert wurden: Reizung mit schwacher Stromintensität führte zu einer gesteigerten Wachsamkeit. Die liegenden Tiere sprangen auf die Füße und begannen im Käfig umherzustreifen, wobei sie aber die Gegenwart der Ratte im Käfig ignorierten. Wurde die Intensität der elektrischen Stimulation bis zur *Angriffsschwelle* geringfügig erhöht, so stürzte sich die Katze in der Regel auf die Ratte und biss mit Heftigkeit in deren Nacken, wobei die Ratten gewöhnlich getötet wurden. Dieser Angriff verlief selektiv zielgerichtet auf möglichst naturgetreues „Rattenaussehen", wie die zumeist unterbleibende Reaktion auf andere, gleichzeitig angebotene Wahlobjekte wie Rattenattrappen, anästhesierte Ratten, Spielzeughunde, Schaumgummistücke oder den Experimentator zeigt (Levison und Flynn 1965; Flynn 1967). – Auch eine Hungermotivation scheint nicht im Spiel zu sein, denn wenn den Versuchstieren bei dem Experiment die Wahl zwischen frischem Fleisch und einer anästhesierten Ratte gegeben wurde, so wurde eindeutig nur die Ratte angegriffen (Flynn et al. 1970).

wurde (vgl. Miller 1941). Oder verhalten wir uns aggressiv, weil wir im Laufe unserer Erziehung durch entsprechende Vorbilder (vgl. die Ausführungen über Imitationslernen in ▶ Abschn. 7.6) gelernt haben, so zu reagieren, da wir dafür bekräftigt wurden, im Sinne der operanten Konditionierung (▶ Abschn. 7.4) und uns Aggression vielfach auch den Weg zu unseren Zielen oder anderen Befriedigungen freigemacht hat? Ist schließlich das lernpsychologische Modell der Aggressionsentstehung so aussagekräftig, dass wir es zum „zurzeit besten Erklärungsmodell" hierfür erheben können, wie Selg (1971) meint, während ein Trieb- oder Instinktkonzept von vornherein abzulehnen sei, da es geeignet erscheint, aggressive Verhaltensweisen entsprechend kultureller Selbstverständlichkeiten (Hofstätter 1963) als biologisch gegeben und unabänderbar zu betrachten?

Wenngleich solche Gesichtspunkte von nicht zu unterschätzender Bedeutung sind, so dürfen sie jedoch nicht zur Verschleierung der wissenschaftlich möglichen Erkenntnis führen und zum Maß aller Dinge erhoben werden – in dem Sinne: Was nicht sein darf, das nicht sein kann.

12.5.2 Manipulation aggressiver Emotion

Elektrische Hirnstimulation

Aufgrund einer Vielzahl von Hirnreizungsexperimenten, die bei verschiedenen Tierarten, aber auch beim Menschen durchgeführt wurden, ist bekannt, dass es relativ diskret umschriebene Areale im Hypothalamus gibt, die mit der Auslösung auf spezifische Ziele gerichteten Angriffsverhaltens verbunden sind. Wesentliche Einblicke in diese Zusammenhänge verdanken wir den Untersuchungen von Flynn und seinen Mitarbeitern an Katzen und Ratten (▶ Exkurs 12.7) Eine erste Fragestellung seiner Untersuchungen lautete: Lässt sich durch Stimulation bestimmter Punkte im Gehirn **aggressives Verhalten auslösen**, ist dieses zielgerichtet, oder resultiert daraus eine wahllose, affektive Attacke?

Wie die Untersuchungsergebnisse in ▶ Exkurs 12.7 zeigen, lassen sich zielgerichtete Angriffsreaktionen durch lokale Hirnstimulation auslösen. Sie scheinen jedoch ohne emotionale Beteiligung abzulaufen. Sie wurden daher als „Scheinangriffe", „gerichtete Attacken" oder „ruhige Beiß-Attacken" bezeichnet (Flynn 1967). Die beobachteten Resultate sehen jedoch recht anders aus, wenn die elektrische Stimulation in einem Nachbarareal, nämlich im medialen Hypothalamus, erfolgt. Hier resultieren „affektive Angriffe", die deutlich von der vorgenannten Angriffsform zu trennen sind. Die Tiere schlagen nach fast jedem greifbaren Objekt aus, dabei weiten sich die Pupillen, der Rücken wird gekrümmt, und die Haare stehen den Tieren zu Berge (Egger und Flynn 1963).

Gelegentlich können dabei auch gemischte Verhaltensweisen vorkommen, die sowohl Elemente der affektiven als auch der ruhigen Attacke enthalten. Bei einer exakten anatomischen Lokalisation der Elektroden in der einen oder anderen spezifi-

schen Region des Hypothalamus wird nur die eine oder die andere Form des Angriffs erhalten. Von besonderem Interesse ist hier eine weitere Unterscheidung dieser beiden nahe benachbart liegenden Hypothalamusareale.

Wie Fonberg (1969) bei Hunden zeigen konnte, lernen Tiere, bei denen durch Stimulation affektive Angriffe ausgelöst werden und die vornehmlich Wut und Angstreaktionen zeigen, in gleicher Weise die Stimulation zu vermeiden, wie wenn sie schmerzvoll oder unangenehm erlebt wird. Dagegen konnten solche Tiere, die auf die Stimulation hin gerichtete Attacken zeigten, nicht darauf konditioniert werden, die Hirnstimulation zu vermeiden. Ferner konnten Flynn und Mitarbeiter in diesen Arealen durch Elektrodenlokalisation deutlich auch Flucht- von Wutverhalten differenzieren. Bei ihren weiteren anatomischen und physiologischen Untersuchungen zur **Kartierung des „Angriffssystems“** im Gehirn konnten sie fernerhin zeigen, dass die zugehörigen Nervenbahnen das mediale Vorderhirnbündel posterior durchziehen und in einer spezifischen Region des Mittelhirntegmentums enden. Auch hier ließen sich ruhige Beißattacken auslösen, die jedoch von keinerlei Anzeichen besonderen autonomen Arousals begleitet waren, wobei es sich auch hier nicht einfach um die Beteiligung einer „Fressregion“ handelt, da die Tiere ein vorgesetztes Futter ignorieren, um eine anästhesierte Ratte anzugreifen (Bandler et al. 1972).

Die Resultate dieser Untersuchungen, die mit entsprechenden Effekten auch bei anderen Tieren durchgeführt worden sind (Panksepp 1971), lassen erkennen, dass die Beantwortung der eingangs gestellten Frage entschieden von der Elektrodenlokalisation abhängig ist. Geringere Unterschiede im Reizort sowie der Reizstärke bringen deutlich unterschiedliche Arten des aggressiven Verhaltens hervor. Sie belegen aber weiter, dass auch bei ausgewählt friedlichen Katzen, die den „natürlichen“ Beutetieren gegenüber keine aggressiven Reaktionen zeigen, in bestimmten Hirnarealen unterschiedliche und abgrenzbare aggressive Verhaltensreaktionen gewissermaßen **vorprogrammiert bereitliegen**, die, wie es scheint, normalerweise gehemmt, durch einen künstlichen Eingriff abgerufen oder aktiviert werden können.

Probleme zentralnervöser Aggressionssteuerung

Wenn wir auch noch weit davon entfernt sind, die bei solchen Verhaltensreaktionen im zentralen Nervensystem ablaufenden Mechanismen voll zu verstehen, so geben diese Untersuchungen, die nicht vereinzelt dastehen (vgl. zum Beispiel Bandler 1969), doch einen ersten Einblick und zeigen, dass aggressives Verhalten unabhängig von dem „natürlichen“ Verhalten und unabhängig von den Vorerfahrungen des Tieres pharmakologisch manipuliert werden kann.

Fraglich bleibt auch, ob es sich um ein „**Aggressionszentrum**“ handelt, denn die Stimulation der gleichen lateral hypothalamischen Bereiche (nicht Reizpunkte!), in denen gerichtete Attacken auslösbar sind, kann auch bei niedrigen Reizspannungen zu Fressverhaltensreaktionen führen (Hutchinson und Renfrew 1966). Es ist daher auch vermutet worden, dass die beobachtete Aggression nur (als Reaktion) auf einen verursachten Schmerz zurückzuführen ist, doch scheint dies zumindest nicht in jedem Fall zuzutreffen, da von gleichen Orten, die Töten oder Angriff bei Nichttöten auslösen, vermehrte Selbststimulation (vgl. ► Kap. 2) erhalten wird, was eher auf bekräftigende Eigenschaften dieser Stimulation schließen lässt (Panksepp 1971; Woodworth 1971).

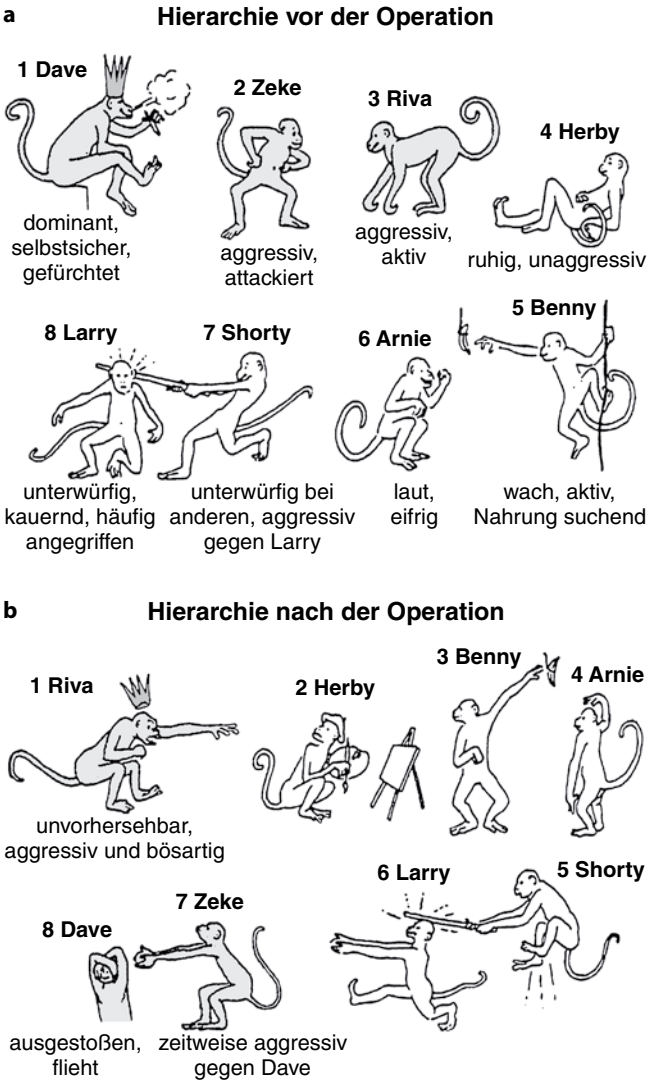


Abb. 12.9 Änderung der Dominanzhierarchie. Bildlich symbolisierte Dominanzhierarchie einer Kolonie von acht jugendlichen männlichen Rhesusaffen vor (**a**) und nach (**b**) beidseitiger Läsion der Mandelkerne (Nuclei amygdalae) zunächst bei Dave, dem Gruppenboss. Nach Zurücksetzen in die Gruppe verliert er seine Priorität und fällt auf das Ende der Ranghierarchie zurück. Ähnliche Folgen hat die Mandelkernentfernung auch bei Zeke, dem ursprünglich Zweithöchsten, während die gleiche Operation bei Riva eher zu stärkerer Aggressivität und damit Priorität führte. (Birbaumer und Schmidt 1999)

Aggressionen innerhalb einer Art sind sowohl bei Katzen als auch bei Affen mit elektrischen Reizungen verschiedener Gehirnareale hervorgerufen worden, was ebenfalls gegen die Annahme nur eines für jedes Aggressionsverhalten zuständigen Hirngebiets spricht.

Eine wesentliche Beteiligung kommt neben dem Hypothalamus vor allem dem Mandelkern (Nucleus amygdalae) sowie dem Mittelhirn zu, doch sind die Untersuchungsergebnisse über diese Hirnstrukturen noch recht widersprüchlich. Goddard (1964), der die Ergebnisse von 43 Studien über die Bedeutung der Amygdala zusammenfasst, kommt zu dem Resultat, dass die Amygdalaektomie (Ausschaltung), wenn sie vollständig gelingt, zu einer

Exkurs 12.8

Genauer betrachtet: Hirnstimulation und Aggression beim Menschen

Aufgrund der Erfahrungen, die in Tierversuchen gewonnen wurden, lag es für einige Forscher nahe, die Methoden des stereotaktischen Hirneingriffs auch beim Menschen für diagnostische und therapeutische Zwecke zu verwenden. Nach Delgado (1971) hat die Erfahrung die Sicherheit und Nützlichkeit eines langfristigen Elektrodeneinsatzes beim Menschen inzwischen bestätigt. In zahlreichen spezialisierten klinischen Zentren sind diese Verfahren bereits dazu benutzt worden, Menschen zu helfen, die unter epileptischen Anfällen, unfreiwilligen Bewegungen, nicht zu behandelndem Schmerz, Angstneurosen oder anderen Störungen des Gehirns litten.

King (1961) beschreibt den Fall einer Frau, die sich bedrückt und entfremdet fühlte. Sie sprach in einem extrem flachen und gleichmäßigen Ton und hatte während der Unterredungen einen leeren unveränderten Gesichtsausdruck. Eine Reizung der Amygdala mit 5 mA (Milliampere) änderte die Tonlage und induzierte einen ärgerlichen Gesichtsausdruck, dabei sagte sie: „Ich möchte von diesem Stuhl aufstehen! Lassen Sie das nicht zu! Tun Sie mir das nicht an! Ich will nicht gemein sein!" Als der Arzt sie fragte, ob sie ihn schlagen wolle, antwortete die Patientin: „Ja, ich möchte irgendetwas schlagen, ich möchte etwas holen und es einfach zerreißen. Nehmen Sie es, damit ich es nicht tue!" Sie gab dem Arzt dann ihren Schal. Man gab ihr einen Stapel Papier, und ohne ein Wort zu verlieren, zerfetzte sie es und sagte: „Ich mag mich nicht so fühlen." Als die Intensität der Reizung auf 4 mA reduziert wurde, verwandelte sich ihr Ausdruck in ein breites Lächeln, und sie erklärte: „Ich weiß, dass es blöd ist, was ich tue. Ich wollte von dem Stuhl aufstehen und laufen. Ich wollte irgendwas schlagen oder zerreißen, irgendetwas, nicht Sie, nur irgendwas. Ich wollte aufstehen und etwas zerreißen. Ich konnte mich nicht beherrschen." Wurde die Intensität wieder auf 5 mA erhöht, ergaben sich ähnliche Äußerungen, und die Patientin hob die Arme, als wolle sie jemanden schlagen (aus Delgado 1971, S. 123).

ausgesprochenen Zahmheit und Aggressionslosigkeit der Versuchstiere führt, auch dann, wenn die Aggressivität zuvor durch experimentelle Läsionen im Septum oder durch Elektrodenstimulation im Hypothalamus provoziert wurde. Die Möglichkeit der Aggressivität ist damit aber nicht ausgeschlossen, nur ist die *Auslöseschwelle* sehr viel höher.

Auch im Mittelhirn lässt sich durch elektrische Reizung aggressives Verhalten auslösen sowie durch Injektionen von Neuroleptika (zum Beispiel Imipramin) mittels Chemitroden Aggressivität dämpfen oder blockieren. Nach Flynn (1967) kommt dem Mittelhirn bei der Aggressionssteuerung eine notwendige Vermittlerrolle zu, indem es – durch den Hypothalamus aktiviert – für Auslösereize anderer Hirngebiete speziell aus dem limbischen Cortex empfänglich wird und daraufhin das aggressive Verhalten bewirkt. So wird angenommen, dass normalerweise die motorischen Mittelhirnkerne vom Hypothalamus erregt werden, der die entsprechenden vorangehenden sensorischen Reize integriert und verstärkt, während das Großhirn im Allgemeinen eine hemmende Funktion auf die subcorticalen Aggressionsstrukturen ausübt.

Ferner wurde deutlich, dass der Ausdruck der Aggression bei Tieren mit **sozialen Rangordnungen** entscheidend vom jeweiligen sozialen Rahmen abhängig ist. Im Gegensatz zu rein motorischen Bewegungen, die keine soziale Bedeutung haben, kann eine über Elektroden induzierte feindselige Haltung entweder gegen ein bestimmtes Gruppenmitglied gerichtet oder aber auch ganz unterdrückt werden, je nach der sozialen Stellung des gereizten Tieres innerhalb der Gruppe. So wurde in den aufwendigen und bekannten Untersuchungen von Delgado (1971) zum Beispiel das Oberhaupt einer Affenkolonie im Thalamus oder im zentralen Grau gereizt, was zu starker Aggression führte, die das Tier sofort und nur gegen ein anderes Männchen richtete, das einen Autoritätsrivalen darstellte, aber das ebenfalls anwesende Weibchen unbehelligt ließ, mit welchem es vornehmlich zusammensaß.

Umgekehrt kommt es andererseits bei amygdalaektomierten Tieren, deren Aggression reduziert ist, zu einem Statusverlust innerhalb der Gruppe, wobei dieser Verlust der sozialen Dominanz zugleich abhängig ist von den innerhalb der Gruppe historisch gewachsenen Dominanzverhältnissen. In ◘ Abb. 12.9a sind die Dominanzverhältnisse innerhalb der von Rosvold et al. (1954) untersuchten Affenkolonie vor und in ◘ Abb. 12.9b nach der beidseitigen Läsion der Mandelkerne symbolisiert. Zwei der operierten Tiere (Dave und Zeke) fielen an das untere Ende der sozialen Ranghierarchie zurück, während das drittranghöchste Tier (Riva) verstärkt aggressiv und dominant wurde. Wie in späteren Untersuchungen nachgewiesen wurde (Mirsky, in Pribram 1962), geht der Dominanzverlust jedoch im Wesentlichen auf einen Verlust der gelernten Diskriminationen zwischen den sozialen Stimuli zurück, deren Wiedererlernen die Dominanz wiederherstellt.

Psychochirurgie und Gewalttätigkeit

Wenn auch die meisten Untersuchungen dieser Art an Tieren durchgeführt wurden, so sprechen doch zahlreiche Befunde bei Patienten mit diagnostizierten lokalen Hirnschädigungen dafür, dass auch beim Menschen entsprechende neuronale Mechanismen vorliegen. Gewalttätiges Verhalten wird hier wesentlich vom Mandelkern gesteuert und ist, wie die Untersuchungen von Delgado (1969) sowie von King (1961) zeigten (▶ Exkurs 12.8), der Beeinflussung durch Hirnstimulation zugänglich. Auf dieser Grundlage entwickelte sich in den 1970er-Jahren die stereotaktische Hirnchirurgie, die nach den Arbeiten von Delgado (1969) dahin zielt, Patienten mit Hirnschädigungen die (technischen) Möglichkeiten zu geben, ihre eigene Hirntätigkeit in diesen Arealen zu kontrollieren, indem sie sich selbst beim Auftreten „eigentlich" unbeabsichtigter, krankhaft aggressiver Tendenzen („Ich fürchte, ich werde gleich etwas zerschlagen") elektrische, hemmende Hirnreize zuführen.

Neurochirurgische Eingriffe dieser Art zur Behandlung von primär verhaltensmäßigen und emotionalen Störungen werden auch als **Psychochirurgie** bezeichnet. Solche Methoden wurden in der Vergangenheit nicht zur Kontrolle extremer Gewalttätigkeit angewandt, sondern auch zum Beispiel in Fällen unerträglicher Schmerzen bei schweren Krebserkrankungen, bei schweren zur Debilität führenden Zwängen oder extremen Angstpsychosen. Solche Anwendungen bleiben zumeist aber nicht ohne Probleme. Dabei stehen nicht nur wissenschaftliche oder medizinische Probleme im Vordergrund, sondern vielmehr auch

moralische und ethische Fragen, die wir nicht vernachlässigen dürfen (neue Technologien in *Zusatztext online*).

Die bisherigen Ergebnisse der künstlichen zentralen Auslösung aggressiven Verhaltens legen eine Reihe wichtiger Schlussfolgerungen nahe, die wir uns anschließend vergegenwärtigen sollten: Das Säugetiergehirn scheint eine angeborene Organisation zu beinhalten, die jedes Individuum potenziell zur Ausführung destruktiver Attacken befähigt, unabhängig von aller vorherigen Lernerfahrung. Der Tatbestand, dass diese Mechanismen eine genetisch weitgehend vordeterminierte Organisation haben, lässt jedoch keinen Schluss darüber zu, wie oft und ob überhaupt dieses System benutzt werden wird. Ferner ist damit keineswegs eine mögliche Veränderung des Verhaltens aufgrund von Lernprozessen oder Erfahrung ausgeschlossen, im Gegenteil: Bei höheren Organismen sind an dem tatsächlich beobachtbaren Verhalten, wie dargelegt, Lernprozesse maßgeblich beteiligt. Doch ist dabei zu berücksichtigen, dass neuronale Verschaltungen vorliegen, sogenannte **Erbkoordinationen** im Sinne der Ethologie, die mögliches wohlkoordiniertes aggressives Verhalten beinhalten.

12.6 Angst als emotionale Reaktion

Es gibt viele Situationen in denen wir Angst empfinden können, und in denen wir aus Angst zu unsinnigen und hoffnungslosen Reaktionen neigen oder gar in Panik ausbrechen. Angst hat viele Gesichter. So ist auch dieser gängige Begriff nicht einheitlich definiert. Nach dem *Dorsch Lexikon der Psychologie* (2013) wird Angst wie folgt charakterisiert:

Angst

Angst ist eine starke emotionale Reaktion, die mit Beengung, Erregung und Verzweiflung verbunden ist, und bei starker Ausprägung zur Aufhebung der willens- und verstandesmäßigen Steuerung der Persönlichkeit führt (Wirtz 2013).

Angst wird andererseits nach der Freudschen Theorie auch gesehen als: eine intensive emotionale Reaktion, die durch eine vorbewusste Erkenntnis hervorgerufen wird, dass ein verdrängter Konflikt ins Bewusstsein zu geraten droht (Gerrig und Zimbardo 2008).

12.6.1 Biologische Grundlage der Angst

Es gibt auch hier unterschiedliche Ansätze/Modelle, Angst und das Entstehen von Angst zu erklären. Aus biologischer Sicht spricht vieles dafür, dass wir bereits mit prädisponierten Ängsten vor bestimmten Gefahrenquellen geboren werden. Gefahrenquellen, die schon früh in unserer stammesgeschichtlichen Entwicklung starke Bedrohungen darstellten, auf die wir von frühauf schnell und automatisch reagieren (Bereitschaftshypothese nach Öhman und Mineka 2001). Auch scheinen wir darauf vorprogrammiert zu sein, bestimmte Ängste schneller zu erlernen als andere. Affen, die im Labor aufgewachsen sind und keine Angst vor Schlangen kennen, lernen diese Angst allein durch das Ansehen von Videofilmen, auf denen Affen zu sehen sind, die ängstlich auf eine Schlange reagieren. Sie lernen dagegen nicht, sich vor Blumen zu fürchten, wenn in dem Videofilm der Angst auslösende Reiz (die Schlange) später in eine Blume verwandelt wird (Cook und Mineka 1991). Ähnlich lernen wir Menschen schnell Ängste vor Dingen, die für unsere Vorfahren bedrohlich waren, wie Schlangen, Spinnen oder Abgründe (Öhman und Mineka 2003). Aber wir haben keine solche Lernbereitschaft (*preparedness*) von der Evolution mitbekommen, die uns leicht entsprechende Angst vor den Gefahren der modernen Technik erlernen ließe, wie Bomben, Autos, Elektrizität oder globaler Erwärmung (McNally 1987, nach Myers 2008).

12.6.2 Erlernte Angst

Generell können wir Menschen vor fast allem Angst entwickeln. Angst vor den verschiedensten Tieren, vor Nachbarn, aber auch vor der Zukunft, vor dem eigenen Versagen, vor einem Publikum frei zu reden oder auch vor dem Tod. Viele solcher Ängste entwickeln sich durch Lernerfahrungen, die wir zum Teil bereits in früher Kindheit oder Jugend gemacht haben. Wie solche Konditionierungen aus behavioristischer Sicht ablaufen, haben wir in ▶ Kap. 7 unter anderem bei der Furchtkonditionierung des kleinen Albert besprochen. Ebenso gibt es hier auch Belege für ein Imitationslernen, wie oben dargelegt. Aus ähnlichen beängstigenden oder schmerzlichen Erfahrungen wie bei dem kleinen Albert kann sich die lange Liste menschlicher Ängste bis hin zu echten Angststörungen, wie Phobien vor den merkwürdigsten Situationen, entwickeln und unseren Handlungsspielraum massiv beeinträchtigen. Zu ihrer Behandlung wurden in der klinischen Psychologie verschiedene Therapieverfahren entwickelt, die hier jedoch nicht besprochen werden können.

Angst wird in der Persönlichkeitspsychologie auch als erworbene zeitstabile Verhaltensdisposition beschrieben, welche zu Verhaltensweisen führt, eine Vielzahl von (auch objektiv) kaum gefährlichen Situationen als bedrohlich wahrzunehmen. Zur Messung solcher Angst wurden verschiedene Testverfahren (Persönlichkeitsfragebogen) entwickelt, wie z. B. die Manifest Anxiety Scale (MAS) von Taylor (1953) zur Erfassung manifester Angst, der Test Anxiety Questionaire (TAQ) oder das State-Trait Anxiety Inventory (STAI) zur Erfassung von Angst als (Persönlichkeits-)Eigenschaft und Angst als situativer emotionaler Zustand.

12.7 Emotionaler Stress

In unserer modernen arbeitsteiligen Gesellschaft ist „Stress“ zu einer alltäglichen Erscheinung geworden. Viele Menschen fühlen sich ständig vom Stress verfolgt: auf dem Weg zur Arbeit, im Auto, im dichten Verkehr der Rushhour, am Arbeitsplatz, dem Vorgesetzten gegenüber, wenn dieser zudem noch unerwartet eintritt. Oder wir spüren den Stress, wenn besondere Leistungen von uns verlangt werden, etwa in Prüfungen oder bei öf-

fentlichen Auftritten. Auch ein unerwarteter Telefonanruf, der eine befürchtete oder ersehnte Nachricht bringt, führt zu einer plötzlichen Belastung, die wir am ganzen Körper spüren können: Die Herzschlagfrequenz nimmt zu, und der Blutdruck steigt, wir spüren das Herz im Halse schlagen. Es kommt zu peripheren Gefäßverengungen (Vasokonstriktion). Der „kalte Schweiß" steht uns auf der Stirn, der elektrisch messbare Hautwiderstand (EDA) fällt, und die im EEG messbare Ruheaktivität sinkt und kann bis zum Verschwinden reduziert sein. Stemme bezeichnete anlässlich der Fußballweltmeisterschaftsspiele 1974 in einem Interview den Erwartungsstress, dem die Spieler vor dem Spiel ausgesetzt sind, als ihren eigentlich schwersten Gegner, der zu Erwartungsneurosen und Blockierungen sowohl beim Laufen als auch beim Sprechen führen kann (Stemme 1974).

Stress

Stress ist ein Reaktionsmuster des Organismus auf noxische (schädigende) physische oder psychische Reizereignisse, die seine Bewältigungsfähigkeiten übermäßig belasten oder überschreiten.

12.7.1 Stress-Reaktionsmechanismen

Der Ausdruck „**Stress** stammt ursprünglich aus dem technischen Bereich, wo er eine Kraft bezeichnet, die auf ein Objekt einwirkt und dort eine vorübergehende oder bleibende Veränderung bewirkt (Lazarus 1967). Mit dieser Bedeutung führte Cannon (1915) den Begriff auch in der Physiologie ein. Selye (1946, 1950) hingegen, auf den das biologisch orientierte Stresskonzept zurückgeht, bezeichnet den auf ein Individuum einwirkenden schädigenden oder aktivierenden Einfluss als **Stressor**; Stress dagegen heißt nach ihm der (Erregungs-)Zustand, in den der Organismus durch den Stressor versetzt wird.

Stressor

Als Stressor wird ein Reizeinfluss bezeichnet, der auf den Organismus übermäßig einwirkt und bei diesem zu einer adaptiven Reaktion führt.

Aber nicht jeder Mensch reagiert in gleicher Weise auf die gleichen Äußerungen oder inneren Belastungen. Bei dem einen genügt schon das Läuten einer Glocke, um ihn nervös aufwachen zu lassen, der andere nimmt auch laute Geräusche oder persönliche Angriffe gelassen hin. Der Stressintolerante dagegen wird manches „in sich hineinfressen", ohne dass es zu einer befreienden Aktion oder zur Überwindung der Stresssituation durch mögliche Bewältigungsstrategien kommt, die man als **Coping** bezeichnet. Die dabei bisweilen nach außen zur Schau getragene Ruhe ist oft nur scheinbar, während es im Körper selbst bereits zur Entwicklung ernster somatischer Schädigungen kommen kann. So fanden Gordon und Chernya (1940), dass Stresssituationen je nach Begleitumständen entweder einen Anstieg oder eine Abnahme der Magensekretion bewirken. Bei einem Patienten stieg diese stark an, sobald er Heimweh bekam oder ärgerlich und ungeduldig mit den Versuchsleitern wurde. Nach Wolf (1965) tritt eine Hyperfunktion der Sekretion und der Magenmotilität bei aggressiven Gefühlen, bei Wut sowie bei Ärger auf. Solche Änderungen treten aber auch dann auf, wenn derartige Gefühle oder Konflikte unbewusst bleiben (Wolf und Welsh 1972). Psychische, psychosoziale und emotionale Stressbelastung, insbesondere im persönlichen Verantwortungsbereich, gehören heute auch zu den viel diskutierten Faktoren des Herzinfarktes. An der University of Washington in Seattle wurde eine *Punkteskala für Stressreize* des täglichen Lebens entwickelt (Tab. 12.4). Bei den dort untersuchten Personen zeigte sich, dass in der Gruppe mit 150 bis 199 Stresspunkten bereits 37 %, bei 200 bis 299 Stresspunkten schon 51 % und bei mehr als 300 Stresspunkten sogar 79 % der Untersuchten krank waren.

Bei der Reaktion auf Stress finden sich also **große individuelle Unterschiede**. Es gibt stressresistente Menschen, die auch eine Häufung von stressreichen Ereignissen ohne sonderlichen Schaden und ohne Zusammenbruch durchleben, während andere sogar bei augenscheinlich recht geringer Stressbelastung aus dem Gleichgewicht geworfen werden.

Diese große individuelle Unterschiedlichkeit liegt darin begründet, dass die meisten Stressoren sich nicht direkt auswirken, sondern weitgehend von unserer emotionalen und kognitiven **Bewertung** abhängen, und zwar der Stressoren einerseits und der eigenen **Ressourcen** andererseits. Diese Bedingungen werden auch als **Moderatorvariablen** bezeichnet.

Zu ihnen gehören

1. die kognitive **Bewertung des Stressors**. Wird er als Bedrohung oder als Herausforderung gesehen?
2. die kognitive **Bewertung der eigenen Ressourcen**. Welche Möglichkeiten stehen mir zur Verfügung; werden sie ausreichen?
3. die **emotionale Konstitution** der Person; eingefahrene physiologische und psychische Reaktionsweisen.

12.7.2 Kognitive Bewertung

Sowohl für das Erleben der Stressbelastung als auch für den erfolgreichen Umgang mit derselben ist die subjektive Bewertung des Stressors einerseits sowie die Bewertung unserer Ressourcen andererseits zumeist nicht weniger von Bedeutung als der tatsächliche Stressor selbst. Gehen wir von dem Eindruck oder der Überzeugung aus, dass der Stressor unser Handlungspotenzial überfordert, nehmen wir uns, ungeachtet der realen Schwere des Stressors, selbst einen Großteil der Kraft und versagen in Situationen, die wir objektiv hätten bewältigen können.

Sind wir dagegen in der Lage, eine Stresserfahrung eher als Herausforderung zu erleben oder zu verstehen, wie das vielfach bei Extremsportarten (zum Beispiel Bungee-Jumping, Wildwasser-Rafting) der Fall ist, kann das durchaus zu einer erfreulichen starken physischen und psychischen Aktivierung führen, verbunden mit Erfolgserwartungen und Steigerung des Selbstwertgefühls. Diese Art der Stressbelastung wird als **Eustress** bezeichnet (von griechisch *eu* für „gut", „schön").

Tab. 12.4 Punkteskala schwerer Lebensereignisse für Stressreize (Life Events Scale). (Nach Holmes und Rahe 1976)

Stresspunkte	Stresssituationen	Stresspunkte	Stresssituationen
100	Tod eines Ehepartners	29	Neuer Verantwortungsbereich im Beruf
73	Scheidung	29	Kinder verlassen das Elternhaus
65	Trennung vom Ehepartner	29	Ärger mit der angeheirateten Verwandtschaft
63	Gefängnisstrafe	28	Großer persönlicher Erfolg
63	Tod eines Familienangehörigen	26	Anfang oder Ende der Berufstätigkeit der Ehefrau
53	Eigene Verletzung oder Krankheit	26	Schulbeginn oder -abschluss
50	Heirat	25	Änderung des Lebensstandards
47	Verlust des Arbeitsplatzes	24	Änderung persönlicher Angewohnheiten
45	Eheliche Aussöhnung	23	Ärger mit dem Chef
45	Pensionierung	20	Änderung von Arbeitszeit und Arbeitsbedingungen
44	Krankheit in der Familie	20	Wohnungswechsel
40	Schwangerschaft	20	Schulwechsel
39	Sexuelle Schwierigkeiten	19	Änderung der Freizeitgewohnheiten
39	Familienzuwachs	19	Änderung der kirchlichen Gewohnheiten
39	Arbeitsplatzwechsel	18	Änderung der gesellschaftlichen Gewohnheiten
38	Erhebliche Einkommensveränderung	18	Änderung der Schlafgewohnheiten
37	Tod eines Freundes	16	Änderung der Häufigkeit familiärer Kontakte
36	Berufswechsel	15	Änderung der Essgewohnheiten
35	Streit in der Ehe	13	Urlaub
31	Aufnahme eines größeren Kredits	12	Weihnachten
30	Kündigung eines Darlehens	11	Geringfügige Gesetzesübertretungen

Für das Auftreten und die Art der Stressreaktion spielt die kognitive Bewertung des Stressors (oder der Situation) und der eigenen Ressourcen eine zentrale Rolle.

Nach dem **Stressmodell** von Lazarus (1966) werden diese beiden Bewertungsarten als aufeinanderfolgende Stufen der kognitiven Bewertung verstanden, die allerdings auch in gleichzeitigem Wechsel ablaufen können. Dies ist schematisch in Abb. 12.10 veranschaulicht.

1. **Primäre Bewertung** (*primary appraisal*): Sie beinhaltet die erste Einschätzung der Bedeutung eines auftretenden Stressors, zum Beispiel einer Anforderung oder Belastung: Was ist zu tun? Ist das gefahrvoll, reizvoll, belastend, schädlich? Darauf folgt die
2. **Sekundäre Bewertung** (*secondary appraisal*): Sie betrifft die Bewertung der persönlichen körperlichen, geistigen, materiellen und sozialen Ressourcen, die uns zur Bewältigung zur Verfügung stehen: Schaffe ich das? Kann ich das leisten?

Aus dem Ergebnis dieser Bewertungen resultiert dann der erlebte emotionale Stress: Angst, Schrecken, Bedrohung oder Freude. Diese Bewertungen werden auch während der Tätigkeiten zur Stressbewältigung fortgesetzt, und der Stress dauert an, solange keine effektive Bewältigungsstrategie gefunden ist. Dies kann, wie ersichtlich ist, zu dauerhaftem, **chronischem Stress** führen.

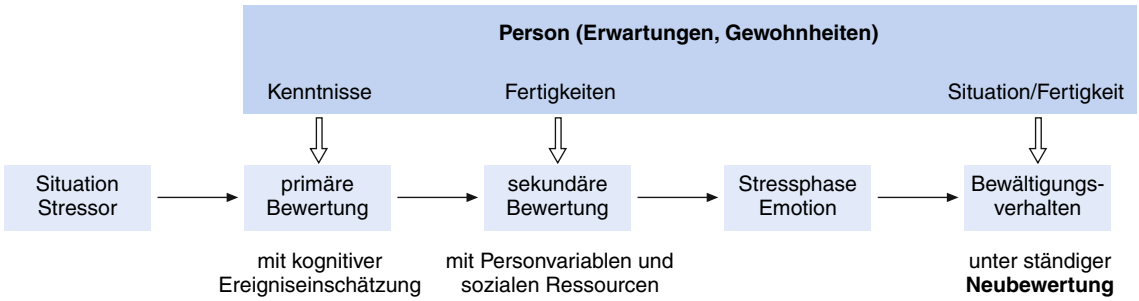


Abb. 12.10 Schematische Darstellung der kognitiven Stresstheorie von Lazarus (1991), in der mehrfache kognitive Bewertungsprozesse für den Verlauf der emotionalen Stressbelastung verantwortlich gemacht werden

Chronischer Stress

Der andauernde Erregungszustand, der resultiert, wenn die verfügbaren inneren und äußeren Ressourcen als nicht ausreichend für die Bewältigung der Anforderungen erlebt werden, wird als chronischer Stress definiert (Powell und Eagleston 1983).

Unter dem Gesichtspunkt der Bedeutung kognitiver Bewertungen erscheint allerdings die oben angeführte Liste stressvoller Lebensereignisse auch in etwas anderem Licht, denn auch diese Ereignisse unterliegen sicher einer kognitiven Bewertung. Doch es gibt durchaus Stressoren, die die meisten Menschen in wesentlich gleicher Weise als bedrohlich erleben.

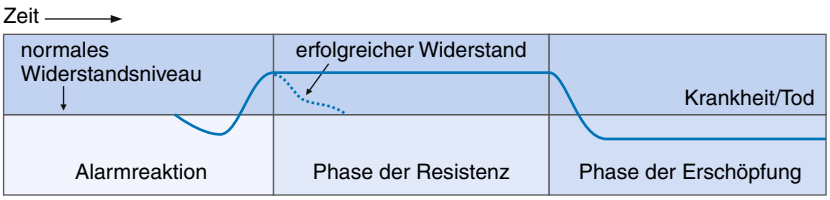
12.7.3 Allgemeines Anpassungssyndrom

Nach Selye (1950) bezeichnet Stress die natürliche unspezifische (adaptiv-protektive) Reaktion des lebenden Organismus auf verschiedenste äußere und innere Reize sowie auf körperliche und seelische Belastungen, die zu einer Störung des dynamischen Gleichgewichts, der physiologischen, biochemischen sowie psychologischen Prozesse führen. Der Körper reagiert mit einem Zustand der Anspannung, einer Art Bereitschafts- oder Alarmzustand. Die geistige Aufmerksamkeit, die Muskelarbeit sowie eine Vielzahl anderer Verhaltensweisen des Körpers sind in erhöhte Aktivität versetzt. Solange die Schwere der Stressoren sich innerhalb der Stresstoleranz des Individuums hält, kann sich der Organismus der Situation anpassen und sie auch längere Zeit ertragen. Je mehr jedoch der Stress die individuelle Stresstoleranz überschreitet, desto kürzer wird die Zeit bis zur Erschöpfung des Organismus sein. Lang und intensiv anhaltende Stressoren führen dann zu einer Reaktionssequenz, welche von Selye (1950) als **allgemeines Anpassungssyndrom** (**AAS**; ***general adaptation syndrome***, **GAS**) bezeichnet wurde. Es soll in drei Phasen verlaufen. Zunächst erfolgt die Alarmreaktion des Körpers. Auf sie folgt eine Phase des Widerstandes und der scheinbaren Anpassung, die schließlich zu einer Endphase der physischen Erschöpfung führt (Abb. 12.11).

Dieses globale Konzept hat jedoch inzwischen einige Kritik erfahren, insbesondere deshalb, weil dieses Syndrom nur unter extremen Stressorbedingungen zu beobachten ist. Die Belastungen des gewöhnlichen Alltags führen in der Regel zu individuell recht verschiedenartigen Anpassungssyndromen. Jedoch zeigt sich auch hier, wie es Selyes Konzept entspricht, dass der Organismus in nahezu stets gleichartiger Weise auf ein weites Spektrum verschiedener Belastungen reagiert, sei es Hitze- oder Kälteschock, wie er im Labor verwendet wird, oder seien es Reize, wie Infektionen, Sauerstoffmangel, Überarbeitung oder emotionale Konflikte. Ursprünglich und in der Mehrzahl der Fälle sind diese Stresssituationen des Körpers zweckvoll und adäquat. Jedoch reagiert insbesondere der Mensch auf Grund von Lernprozessen (vgl. ▶ Kap. 7) nicht nur beim Auftreten einer realen physischen Gefahr, sondern die gleichen Reaktionen können auch durch Drohungen, Vorstellungen und Symbole einmal erlebter Gefahren ausgelöst werden, was als **Erwartungsstress** bezeichnet wird. So konnten Shannon und Isbell (1963) nachweisen, dass allein die bloße Antizipation einer bestimmten, einmal erlebten Stresssituation zur Auslösung der physiologischen Stressreaktion mit signifikantem Anstieg der Nebennierenrindentätigkeit und der Ausschüttung von Hydrocortisol führte. Auch die vielfältigen sozioökonomischen Zwänge und emotionalen Konflikte unserer Gesellschaftsstrukturen gehören hierher. In vielen Fällen von „emotionalem Stress" erscheinen die automatisch ausgelösten Stressreaktionen durchaus inadäquat, unzweckmäßig und können bisweilen zu tatsächlichen Schädigungen führen. Nach Levi (1967) lassen sich schätzungsweise mindestens ein Drittel aller Krankheitsurlaube in vielen westlichen Ländern auf Stressreaktionen zurückführen, die durch diese Art von Reizeinflüssen verursacht sind.

Berufsbedingter Stress ist heute ein viel diskutiertes Thema der Gesundheitsorganisationen. Wie hoch allein die psychische Belastung in normalen Berufstätigkeiten sein kann, mögen folgende zwei Beispiele demonstrieren. Eine Belastung, wie sie durch individuelle Auftritte induziert wird, mag ein Beispiel aus einer von Becker-Carus (1973) an Showmastern des deutschen Fernsehens durchgeführten Untersuchung verdeutlichen. Die vom frei auf der TV-Bühne agierenden Showmaster mit Mikrosendern telemetrisch übertragene Herzfrequenz während der spielmäßig identischen Generalprobe und der Live-Sendung ist in Abb. 12.12 für die gesamte Spieldauer wiedergegeben. Sie zeigt deutlich den Verlauf und die enorme Pulsbeschleunigung mit Spitzen bis zu 160 Pulsen/min (Normalpuls bei etwa 71 Pulsen/min) und die damit verbundene Kreislaufbelastung von emotional bedingtem Stress.

a



b

Phase I: Alarmreaktion (wiederholt sich das ganze Leben lang immer wieder)	Phase II: Resistenz (wiederholt sich das ganze Leben lang immer wieder)	Phase III: Erschöpfung
• Schwellung der ZNS-Strukturen, die die Hormone der Nebennieren steuern • Schwellung der Lymphknoten • Erhöhung des Hormonspiegels • Reaktion auf spezifischen Stressor • Adrenalinausschüttung verbunden mit starker physiologischer Erregung und negativer Gefühlsbewegung • höhere Anfälligkeit gegenüber stärkerem Stressor (bei längerem Anhalten der stressauslösenden Situationen werden die langsameren Komponenten des AAS ausgelöst, beginnend mit Phase II)	• Schrumpfen der ZNS-Strukturen, die die Hormone der Nebennieren steuern • Lymphknoten bilden sich zu normaler Größe zurück • gleich bleibender Hormonspiegel • hohe physiologische Erregung • Gegenwirkung des parasympathischen Teils des ZNS • Fortbestehen des Stressors; Resistenz gegenüber weiteren Schwächungen • erhöhte Stressempfindlichkeit (bei anhaltendem schweren Stress werden hormonelle Reserven erschöpft, Ermüdung setzt ein, und der Körper tritt in Phase III ein)	• Erweiterung/Dysfunktion des Lymphsystems • Erhöhung des Hormonspiegels • Erschöpfung der adaptiven Hormone • Verminderung der Resistenz sowohl gegenüber den auslösenden als auch gegenüber den anderen Stressoren • Gemütsverfassung: oft depressiv • Krankheit • Tod

Abb. 12.11 Verlauf des allgemeinen Adaptationssyndroms (AAS beziehungsweise GAS) bei überstarker Stressbelastung in drei aufeinanderfolgenden Phasen. Nach einer Verminderung der körperlichen Resistenz (Schock) kommt es zu einer entgegenwirkenden *Alarmreaktion*, die die physiologischen Funktionen wieder auf ein normales Niveau zurückführt (*Widerstandsstadium*). Nach längerer Dauer der stressenden Situation kommt es schließlich zu einer Endphase der physischen *Erschöpfung* und letztlich irreversiblen Erkrankung. (Nach Selye 1950)

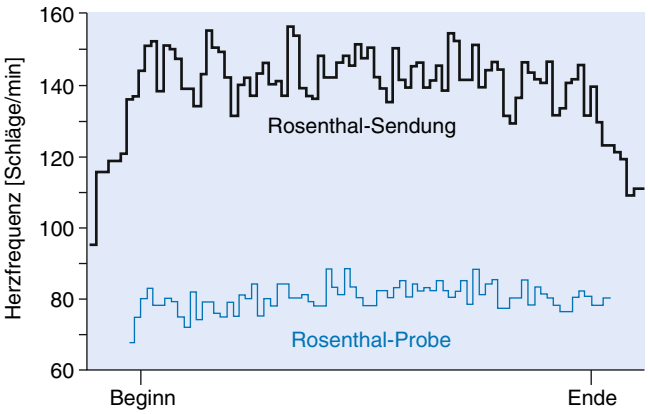


Abb. 12.12 Stressbelastung bei öffentlichem TV-Auftritt, gemessen an der Herzfrequenz während der Sendung. Hier: Hans Rosenthal in *Dalli Dalli*. *Schwarze Linie*: Live-Sendung, *graue Linie*: Generalprobe derselben Sendung

12.7.4 Konzepte der Stressverarbeitung

Es ist wohl als wesentliche Aufgabe einer disziplinübergreifenden Stressforschung anzusehen, Beziehungen zwischen dem nebeneinander und in Wechselwirkung miteinander ablaufenden kognitiven und motorischen sowie physiologisch endokrin und neuronal ablaufenden **Coping-Verhalten** aufzudecken, wie dies unter anderem in einem weit reichenden Stressprojekt zum „Phänomen Stress“ von Vester (1976) versucht wurde. Die Prozesse, die bei der Stressverarbeitung von Bedeutung sind, laufen auf unterschiedlichen Ebenen ab:

1. **auf der biologisch-physiologischen Ebene**, der auch die immunologischen Abwehrreaktionen des Körpers gegen Krankheit und Verletzung zugehören;
2. **auf der emotional-erlebnismäßigen Ebene**, auf der auch die Prozesse der folgenden Ebenen zum Ausdruck kommen;
3. **auf der psychologisch intraindividuellen und kognitiven Ebene**, der die erlernten und eingeschliffenen Verhaltensreaktionsweisen zugehören;
4. **auf der soziokulturellen Ebene**, der Gruppensituationen, Kultur- und Rechtsbedingungen (Konfliktlösungen) zuzurechnen sind.

Wenngleich zu diesem Themenbereich eine Vielzahl von Untersuchungen aus neuerer Zeit vorliegt, so sind unsere Vorstellungen über diese Zusammenhänge noch recht lückenhaft.

Jedes Coping-Verhalten richtet sich in irgendeiner Weise auf die Quelle der erlebten Stress-Situation. Der Handlungsimpuls

Exkurs 12.9

Genauer betrachtet: Psychologische Abwehrmechanismen

Bei den abwehrorientierten Reaktionen werden gewöhnlich zwei Typen unterschieden:

1. Coping-Mechanismen, die angeborenermaßen vorhanden zu sein scheinen, wie Weinen, wiederholtes Erzählen, Ausagieren, Belachen oder Verharmlosen oder Träumen und Albträumen.
2. Der zweite Typ besteht aus den auf Freud zurückgehenden **Abwehrmechanismen des Ich**. Einige der wichtigsten sind:

Rationalisierung: Es wird (mit Erfolg) versucht zu belegen, dass das eigene emotional ausgelöste Verhalten doch rational und gerechtfertigt und damit für einen selbst und sozial anerkennenswert ist, ohne dass wir uns dieser nachträglichen Begründung bewusst sind.
Projektion: Gedanken, Gefühle, Motivationen oder Wünsche, die wir in uns selber verspüren, aber nicht akzeptieren (die wir als unwürdig, schlecht oder gefährlich empfinden), werden anderen Personen in unserer Umgebung zugeschrieben, auf diese projiziert.
Verdrängung: Erlebte, aber (zumeist nach unserem Sittencodex) nicht annehmbare Motivationen (Gefühle), die demzufolge zur Angsterzeugung führen, werden automatisch aus unserem Bewusstseinsfeld verdrängt; sie werden unbewusst.
Reaktionsbildung: In manchen Fällen kann die Verdrängung nur dadurch aufrechterhalten werden, dass entgegengesetzte Gefühle oder Motivationen verstärkt ausgebildet werden (Abwehrhaltungen, Überfürsorge).
Verschiebung (Substitution): Das Ersetzen bestimmter unerwünschter oder unannehmbarer Motivationen oder Gefühle durch eher annehmbare Ziele, die zu ersteren eine gewisse Ähnlichkeit haben. Ein Sonderaspekt ist die **Sublimierung,** die das Ersetzen angenommener ursprünglicher, natürlicher Impulse durch sozial akzeptierte bezeichnet (Ehrgeiz als sublimierte Aggression).
Regression: Sie wird als Rückzug zu einem früheren Entwicklungsstadium verstanden, von dem nur unreifere Reaktionen erwartet werden, verbunden mit einem niedrigeren Anspruchsniveau.
Vermeidung der Wirklichkeit: Schutz des Selbst vor einer unerwünschten oder unerträglichen Realität durch Wahrnehmungsverweigerung. Man vergleiche hierzu die physiologisch untersuchten Prozesse der Wahrnehmungsabwehr (vgl. die Ausführungen über Wahrnehmungsabwehr und Verkennung in ▶ Kap. 5).
Fantasie: Befriedigung frustrierter Wünsche durch Erfüllung derselben in Fantasievorstellungen. Ferner
Apathie: Eine Tendenz zur Inaktivität, Indifferenz und zum Sichzurückziehen, die häufig auftritt, wenn aggressive Impulse im Zaum gehalten werden müssen. Sie führt auch zur Depression.
Während einerseits harmonische Konfliktlösungen, wie sie die progressive Anpassung des Menschen an die Realität darstellt, die Bedingungen einer normalen psychischen Entwicklung sind, kann andererseits eine ungünstige Lösung von Konfliktstress zum Ursprung mehr oder weniger pathologischer Verhaltensweisen (zum Beispiel neurotischer Störungen, siehe die Ausführungen über krankhafte Bewusstseinsveränderungen in Abschnitt) werden.

beziehungsweise die Aktivierungsreaktion wird als emotionaler Zustand, etwa als Angst, Frustration oder Aggression, erlebt. Das ausgelöste Coping-Verhalten richtet sich physiologisch und psychologisch in erster Linie auf die Wiederherstellung des entlasteten physischen wie psychischen Gleichgewichts, womit zunächst verhindert wird, dass der Stressor „emotionale Erregung" überstarke oder gar schädliche somatische Auswirkungen hat.

Coping bezieht sich auf den Versuch, den stressenden Anforderungen unserer Umwelt so zu begegnen, dass negative Konsequenzen vermieden werden. Die bekannten Bewältigungsstrategien lassen sich in zwei Gruppen unterteilen, nämlich in (1) problemzentrierte und (2) in emotionszentrierte Strategien:

1. Bei den **problemzentrierten Strategien** besteht das Ziel darin, das Problem zu lösen. Sie zielen darauf ab, den Stressor direkt oder die Beziehung zu ihm durch direkte Handlungen und problemlösende Aktivitäten zu verändern. Hierher gehören:
   (a) Kämpfen (Zerstören, Entfernen) oder Verringern der Bedrohung,
   (b) Flüchten, Sich-distanzieren,
   (c) Verhandeln oder Kompromisse schließen,
   (d) Folgen antizipieren und eigene Resistenz steigern.
2. Bei den **Emotionszentrierten Strategien** wird versucht, das durch den Stressor verursachte Unbehagen zu reduzieren, zum Beispiel durch Aktivierung anderer Gedanken und Gefühle oder Flucht in die Krankheit. Hierzu zählen (unterschiedlich sinnvoll):
   (a) Entspannungstechniken, z. B. Meditation, autogenes Training,
   (b) Drogeneinnahme, Alkohol,
   (c) ablenkende Fantasien, Träumereien,
   (d) unbewusste Abwehrmechanismen,
   (e) soziale Unterstützung durch Freunde oder Einrichtungen.

Bei diesen handelt es sich weniger um eine echte Problemlösung, denn der bedrohliche oder schädliche Stressor wird nicht beeinflusst und bleibt zumeist bestehen (mehr in *Zusatztext online*).

Coping

Bewältigungsstrategie zur Überwindung oder Befreiung aus einer Stresssituation. Prozess mit Anforderungen umzugehen, die als bedrohlich oder die eigenen Kräfte übersteigend wahrgenommen werden.

Die weitgehend unbewusst ablaufenden **Abwehrmechanismen** des Ich, wie Verdrängung, Rationalisierung oder Verleugnung der Realität, sind auch aus der Tiefenpsychologie bekannte Mechanismen zur Regulation von Emotionen. Sie schützen uns vor dem Leid innerer Ängste und führen uns zu weniger bedrohlichen Situationsbewertungen. Sie können allerdings auch zu Realitätsverkennungen und fehlangepassten Bewältigungsversuchen führen (vgl. Abschn. 5.2.8 und ▶ Exkurs 12.9).

12.8 Facetten der Emotion – ein Resümee

Wie wir aus den verschiedenen Forschungsansätzen gesehen haben, wird unser emotionales Erleben von einer ganzen Reihe von

Faktoren mitbestimmt, die in den unterschiedlichen Emotionstheorien Berücksichtigung finden (◘ Abb. 12.2).

Zu den die Emotion bestimmenden Faktoren zählen:

1. das subjektive Erleben der Emotion,
2. die Erregung des autonomen Nervensystems,
3. die kognitive Bewertung,
4. die frühe Konditionierung,
5. der emotionale Ausdruck,
6. die generellen Reaktionen auf die Emotion.

Starke Emotionen beinhalten in der Regel auch stärkere physiologische Erregung, die über das sympathische Nervensystem ausgelöst wird. Kognitive Bewertungen beeinflussen sowohl die Intensität als auch die Qualität einer Emotion. Einige, insbesondere einfache, Emotionen wie Furcht, Missfallen oder Vorlieben benötigen offenbar keine kognitive Bewertung. Angst vor Spinnen zum Beispiel bleibt auch dann erhalten, wenn wir sie kognitiv als harmlos bewerten. Angstreaktionen werden vielfach in der frühen Kindheit durch Konditionierung erlernt (siehe ► Exkurs 7.7 „kleiner Albert"). Der Gesichtsausdruck primärer Emotionen ist offenbar universell und wird in verschiedensten Kulturen gleich verstanden. Er beeinflusst zudem ebenfalls unser Emotionserleben. Emotionale Zustände beeinflussen in weiten Bereichen unser Handeln. Ereignisse, die zu unserer Emotion passen, werden besser erinnert. Insbesondere werden sie auch in gleicher emotionaler Lage leichter erinnert (siehe ► Abschn. 8.5.3, Kontexteffekte). Unter positiver Emotion beurteilen wir beispielsweise Personen oder Düfte positiver und schätzen Risiken geringer ein als bei negativer Emotion.

Kritisch hinterfragt

Wir haben gesehen, dass Emotionen nach Schachter und Singer zwei unverzichtbare Anteile haben. Um eine Emotion zu erleben müssen wir sowohl physiologisch erregt sein als auch eine kognitive Bewertung derselben haben. *Wir fragen kritisch,* erstens, stimmt das immer? Und zweitens, woher kommt dann diese Bewertung? Ist sie rein willkürlich? Hängt sie von unserer jeweiligen Stimmung ab? Oder sind äußere Faktoren, und wenn welche, dafür verantwortlich? Und woher kommt andererseits die Erregung? Verhält es sich nicht vielmehr so, dass die subjektive Einschätzung einer erlebten Situation (z. B. als bedrohlich, erfreulich, erhebend) zu einer innerlichen Erregung und Emotion führen, wie Lazarus et al. argumentierten? Welche dieser Ansichten konnten experimentell und in welcher Weise belegt werden? Oder treten Emotionen auch ohne kognitive Bewertung auf? Antworten dazu finden Sie im ► Abschn. 12.3 und 12.3.3.
Oder lernen Sie kritisch eine weitere Sicht dazu kennen, wie sich die einzelnen Erkenntnisse zu einem Verlauf zusammenfügen lassen, wie es in der noch wenig belegten aber plausiblen „Prüftheorie" der Emotionsentstehung dargelegt wird (*Zusatztext online* zu dieser Seite).

Kurzzusammenfassung

Emotionen werden in uns gewöhnlich durch eine äußere Reizsituation und deren kognitiven Gehalt ausgelöst. Funktionale Bedeutung haben Emotionen im Zusammenhang mit Motivation durch ihre Handlung steuernde Wirkung über das Lust-Unlust Erleben.

Emotionen und Motivation sind nur bedingt voneinander abgrenzbar. Emotionen sind eine „bewegende Erfahrung". Sie zeigen sich als eine Reaktion des ganzen Organismus. Diese umfasst (1) physiologische Erregung, (2) bewusstes kognitives Erleben und (3) Ausdrucksverhalten.

Auf der physiologische Ebene werden über das sympathische Nervensystem verschiedene körperlich Veränderungen ausgelöst. Besprochen werden die Wirkung von Stress und Dauerstress sowie Langeweile auch auf das Gelingen guter Leistungen.

Neuere emotionstheoretische Ansätze bevorzugen eine systemtheoretische Perspektive, bei welcher die verschiedenen einzelnen Komponenten einer Emotion als Miteinander in reziproker Wechselwirkung stehen.

Besprochen werden verschiedene *Theorien der Emotion*.

Nach der *James-Lange-Theorie* ist das beobachtbare emotionale Verhalten (z. B. Weinen) den anderen emotionalen Prozessen (z. B. sich traurig fühlen) vorgeordnet.

Nach der *Cannon-Bard-Theorie* aktiviert die emotionsauslösende Reizsituation den Cortex und die körperlichen Reaktionen gleichzeitig, sodass diese auch gleichzeitig ablaufen.

Nach *Lindsleys Aktivationstheorie* kommt der Formatio reticularis eine große Bedeutung als Steuerzentrum der Emotion zu. In diesem Zusammenhang wird die Bedeutung physiologisch unterschiedlicher Erregung auf das Emotionserleben diskutiert.

Kognition und Emotion. sensorische Wahrnehmungen und physiologische Erregungen führen nur dann zu Emotionen, wenn wir die Reize für uns in bestimmter Weise als persönlich bedeutsam einschätzen. Dazu wird die Zwei-Faktoren-Theorie von Schachter diskutiert. Je nach kognitiver Interpretation der Situation kann derselbe physiologische Erregungszustand einmal als die eine, im anderen Fall als eine völlig andere Emotion erlebt werden kann. Umgekehrt geht eine zweite Gruppe von Bewertungstheorien davon aus, dass unsere Bewertung einer äußeren Situation zu dem subjektiven Erleben einer Emotion und der damit verbundenen Erregung führt. Dagegensteht die Auffassung von Zajonc, dass der Emotionsprozess und die Verhaltensreaktion unter den meisten Umständen zu schnell ablaufen, als dass vorher noch genügend kognitive Aktivität stattfinden könne. Ergebnisse aus der Hirnforschung sprechen offenbar dafür, dass wir sogar kognitiv nicht erkannte und somit auch kognitiv nicht bewertete Reize emotional als angenehm oder unangenehm erleben (unbewusste Bewertung).

Der *emotionale Ausdruck* hat. wie dargelegt wird, mehrere Funktionen: Er ist sozialkommunikativ, er dient der Regulation emotionaler Zustände, er unterstützt das emotionale Erlebnis oder kann es auslösen. Besprochen werden die Universalität des Ausdrucks und seine kommunikative Funktion, die Ausdruckslokalisationen in der rechten Hirnhemisphäre, sowie die Wirkungen des emotionalen Gesichtsausdrucks auf die erlebte Emotion (Facial-Feedback-Hypothese).

Diskutiert wird, wie weit *Aggression* als emotionale Reaktion zu verstehen ist. Dabei werden die Mechanismen der Aggression besprochen. Drohverhalten als Aggressionsbereitschaft; Aggression als Folge erlebter Frustration, wie es die Frustrations-Aggressions-The-

orie ausführt; Aggression als Folge erlebter Konditionierung nach dem lernpsychologischen Modell der Aggressionsentstehung; Aggression als genetisch angelegte Verhaltensdisposition im Rahmen sozialer Rangordnungen.

Aggressive Emotionen lassen sich durch elektrische Hirnstimulation auslösen oder durch Pharmaka manipulieren. Auch gewalttätiges Verhalten kann so ausgelöst werden. Es wird wesentlich von den Mandelkernen im Gehirn gesteuert.

Als weitere emotionale Reaktion werden die Entstehung von *Angst* und ihre biologische Grundlage besprochen. Aus biologischer Sicht spricht vieles dafür, dass wir bereits mit prädisponierten Ängsten vor bestimmten Gefahrenquellen geboren werden. Andererseits können wir Menschen vor fast allem Angst entwickeln. Angst ist auch klassisch konditionierbar oder durch Imitationslernen übernommen werden.

Entstehung und Wirkung von *emotionalem Stress* werden erörtert. Stress wird verstanden als ein Reaktionsmuster des Organismus auf noxische (schädigende) physische oder psychische Reizereignisse, die seine Bewältigungsfähigkeiten übermäßig belasten oder überschreiten. Dabei gibt es große individuelle Unterschiede hinsichtlich Stresstoleranzen, wie auch unterschiedliche Bewältigungsstrategien (Coping). Für das Auftreten und die Art der Stressreaktion spielt die kognitive Bewertung des Stressors (oder der Situation) und der eigenen Ressourcen eine zentrale Rolle.

Es werden verschiedene Konzepte der Stressverarbeitung vorgestellt. Diese läuft auf verschiedenen Ebenen ab: (1) auf der biologisch-physiologischen, (2) der emotional-erlebnismäßigen, (3) der psychologisch intraindividuellen und kognitiven und (4) auf der soziokulturellen Ebene. Es werden problemzentrierte und emotionszentrierte Strategien besprochen. Hinzu kommen die weitgehend unbewusst ablaufenden Abwehrmechanismen des Ich.

Antworten auf die Einführungsfragen

1. Dieser Zusammenhang beschäftigt die Forschung seit langem. Klassische Ansätze gehen davon aus, dass das Empfinden eines Gefühls maßgeblich an die Wahrnehmung der physiologischen Veränderungen gebunden ist. So bestimmt der James-Lange-Theorie zufolge, das spezifische Muster der physiologischen Reaktion, und in der Zwei-Faktoren-Theorie von Schachter und Singer, die Interpretation der physiologischen Erregung, zu welcher Gefühlsempfindung es kommt. Auch motorisches Ausdrucksverhalten, wie das willentliche Annehmen eines emotionalen Gesichtsausdrucks, kann offenbar das zugehörige Gefühlserleben intensivieren (Facial-Feedback-Hypothese).
2. Untersuchungen, in denen sehr kurzzeitig dargebotene Bahnungsreize verwendet wurden, die nicht bewusst wahrgenommenen werden konnten, zeigen, dass „emotionale" Reize wie ein fröhliches Gesicht die Angenehm-unangenehm-Bewertung nachfolgender (sichtbarer) Reize beeinflusst, obgleich der Bahnungsreiz nicht bewusst erkannt wurde. Diese Befunde legen nahe, dass emotionale Reaktionen ohne Bewusstsein für das sie hervorrufende Ereignis auftreten können.
3. Auch wenn sich das emotionale Ausdrucksverhalten sicherlich in gewissem Ausmaß durch kulturelle Lernprozesse beeinflussen lässt, scheinen zumindest für bestimmte „Basisemotionen" auch in sehr unterschiedlichen Kulturen dieselben Gesichtsausdrücke verwendet zu werden. Passend hierzu fanden Ekman und Friesen (1969, 1978) in mehreren interkulturellen Vergleichsstudien eine hohe Übereinstimmung hinsichtlich der Zuordnung von Gesichtsausdrücken zu spezifischen Emotionen wie Freude, Angst oder Überraschung.
4. Verschiedene Ergebnisse sprechen für eine überlegene Rolle der rechten Gehirnhälfte bei der Verarbeitung von Emotionen. Beispielsweise werden emotionale Gesichtsausdrücke besser bei rechtshemisphärischer Darbietung als bei linkshemisphärischer Darbietung erkannt. Ebenso kommt es hierbei zu größeren Schwierigkeiten nach rechtshemisphärischen als nach linkshemisphärischen Schädigungen.
5. Befunde aus Tierversuchen zeigen, dass eine Stimulation verschiedener Hirngebiete – beispielsweise bestimmter Regionen des Hypothalamus – zu aggressivem Verhalten führen kann. Die spezifische Art des Verhaltens und insbesondere das Auftreten „emotionaler Begleiterscheinungen" ist dabei von den genauen Kontextfaktoren abhängig.

Fragen zur Wiederholung und Denkanstöße

1. Wie lassen sich Emotionen definieren und wie unterscheiden sie sich von dem Begriff der Motivation?
2. Was besagt die James-Lange-Theorie der Emotion und welche neueren Ansätze deuten in die gleiche Richtung?
3. Welche weiteren Emotionstheorien kennen Sie und was ist ihre Kernaussage?
4. Wie weit lassen sich verschiedene Emotionen auf unterschiedlich physiologische Erregungsmuster zurückführen?
5. Wie und wann konnte die Bedeutung der kognitiven Bewertung für das Auftreten emotionaler Erregung nachgewiesen werden?
6. Was sagt die Zwei-Faktoren-Theorie der Emotion von Schachter und inwieweit ließen sich deren Aussagen bestätigen?
7. Was versteht man unter Bewertungstheorien der Emotion?
8. Gibt es auch emotionale Erregung ohne Kognition? Wo kommt sie vor?
9. Wie weit und wann (immer?) äußert sich Emotion im Ausdrucksverhalten?
10. Welche Funktionen lassen sich dem emotionalen Ausdruck zuordnen?
11. Gibt es kulturunabhängige Grundemotionen, die sich in allgemein gültigen Ausdrucksformen äußern?
12. Welche Auswirkung hat der emotionale Gesichtsausdruck auf die erlebte Emotion und wie wurde dies überprüft?
13. Diskutieren Sie die Frage, ob und in welchem Ausmaß Aggression als emotionale Reaktion angeboren, auf erlittene Frustration zurückzuführen oder erlernt ist.
14. Wie weit lässt sich Aggressionsverhalten durch gezielte Hirnstimulation auslösen?

15. Inwieweit ist das durch Hirnstimulation auslösbare Aggressionsverhalten (bei Affen) von der sozialen Rangordnung abhängig?
16. Welche Moderatorvariablen werden bei der Auslösung von Stress unterschieden?
17. Charakterisieren Sie das von Lazarus entworfene Stressmodell zum Coping-Verhalten.
18. Welche Konzepte beziehungsweise Strategien der Stressverarbeitung kennen Sie?
19. Was versteht man unter psychologischen Abwehrmechanismen? Welche kennen Sie?

Literatur

Averill, J. R. (1983). Studies on anger and aggression: Implications for theories of emotion. *American Psychologist*, *38*, 1145–1160.

Ax, A. F. (1953). Physiological differentialtion of emotion states. *Psychosomatic Medicine*, *15*, 433–442.

Bandler Jr., R. J. (1969). Facilitation of aggressive behavior in the rat by direct cholinergic stimulation of the hypothalamus. *Nature*, *224*, 1035–1036.

Bandler, R. J., Chi, C. C., & Flynn, J. P. (1972). Biting attack elicited by stimulation of the ventral midbrain tegmentum of cats. *Science*, *177*(4046), 364–366.

Becker-Carus, C. (1973). Psychophysiologische Untersuchungen zur Streßbelastung bei Show-Mastern. Unveröffentl. Manuskript als Unterlage einer Story-Folge in: *Hör zu*, *Nr. 46–50*.

Birbaumer, N., & Schmidt, R. F. (1999). *Biologische Psychologie*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Borod, J. C., Koff, E., Lorch, M. P., & Nicholas, M. (1986). The expression and perception of facial emotion in brain damaged patients. *Neuropsychologica*, *24*, 169–180.

Bottenberg, E. H. (1972). *Emotionspsychologie. Ein Beitrag zur empirischen Dimensionierung emotionaler Vorgänge*. München: Goldmann.

Bruyer, R., LaTerre, C., Seron, X., et al. (1983). A case of prosopagnosia with some preserved covert remembrance of familiar faces. *Brain and Cognition*, *2*, 257–284.

Cacioppo, J. T., Klein, D. J., Bemston, G. G., & Hatfield, E. (1993). The psychophysiology of emotion. In M. Lewis & J. M. Haviland (Hrsg.), *The handbook of emotions* (S. 119–142). New York: Guilford.

Cannon (1927). The James-Lange theory of emotion: a critical examination and an alternative theory. *American Journal of Psychology*, *39*, 106–124.

Cannon, W. (1915). *Bodily Changes in Pain, Hinger, Fear and Rage. An Account of Recent Researches into the Function of Emotional Excitement*. New York, London: Appleton & Co.

Chevalier-Skolnikoff, S. (1973). Facial expression of emotion in nonhuman primates. In P. Ekman (Hrsg.), *Darwin and facial expression: A century of research in review* (S. 11–89). New York: Academic Press. 13.

Cook, M., & Mineka, S. (1991). Selective associations in the origin of phobic fears and their implications for behavior therapy. In P. Martin (Hrsg.), *Handbook of behavior therapy and psychological science: An integrative approach*. New York: Pergamon Press.

Darwin (1872). *The expression of emotion in man and animals*. New York: Philosophical Library.

Davidson, R. J. (2003). Affective neuroscience and psychophysiology: Towards a synthesis. *Psychophysiology*, *40*, 655–665.

Delgado (1969). Aggression and defense under cerebral radio control. In C. D. Clemente & D. B. Lindsley (Hrsg.), *Aggression and defense*. Los Angeles: University of California Press.

Delgado (1971). *Gehirnschrittmacher, Direktinformation durch Elektroden*. Frankfurt/M., Berlin: Ullstein.

Dimberg, U., Thunberg, M., & Elmehed, K. (2000). Unconscious facial reactions to emotional facial expressions. *Psychological Science*, *11*, 86–89.

Dollard et al. (1939). *Frustration and aggression*. New Haven: Yale University Press. Auch in: E. I. Magaree & J. E. Hokanson (Hrsg.), *Thedynamics of aggression*. New York: Harper & Row

Duclos, et al. (1989). Emotion-specific effects of facial expressions and postures on emotional experience. *Journal of Personality and Social Psychology*, *57*, 100–108.

Egger, & Flynn (1963). Effect of electrical stimulation of the hypothalamically elicited attack behavior in cats. *Journal on Neurophysiology*, *26*, 705–720.

Eibl-Eibesfeld (1973). The expressive behavior of the deaf- and blind-born. In M. von Cranach & I. Vine (Hrsg.), *Social communication and movement* (S. 163–194). New York: Academic.

Eibl-Eibesfeld (1967). *Grundriß der vergleichenden Verhaltensforschung*. München: Piper.

Eibl-Eibesfeld (1984). *Die Biologie des menschlichen Verhaltens. Grundriß der Humanethologie*. München: Piper.

Ekman, P. (1976). Ein Lächeln ist ein Lächeln ist ein Lächeln. *Psychologie heute*, *3*, 31–35. S. 32.

Ekman, P. (2004). Gefühle lesen - Wie Sie Emotionen erkennen und richtig interpretieren. München; Spektrum. Akademischer Verlag.

Ekman, P., & Friesen, W. V. (1969a). Nonverbal leakage and clues to deception. *Psychiatry*, *32*, 88–105.

Ekman, P., & Friesen, W. V. (1969b). The repertoire of nonverbal behavior: Categories, origins, usage, and coding. *Semiotica*, *1*, 49–98.

Ekman, P., & Friesen, W. V. (1971). Constants across cultures in the face and emotion. *Journal of Personality and Social Psychology*, *17*, 124–129.

Ekman, P. & Friesen, W. V. (1978). *The facial action code: A manual for the measurement of facial movement*. Palo Alto, CA: The Consulting Psychologists Press. [13]

Ekman, P., Sorensen, E. R., & Friesen, W. V. (1969). Pan-cultural elements in facial displays of emotion. *Science*, *164*, 86–88.

Engel, J. J. (1844). *Ideen zu einer Mimik. I, II. Johann Jacob Engels Schriften*. Bd. 7. Berlin: Mylius. 13, und Band 8

Etcoff, N. L. (1989). Asymetries in recognition of emotion. In F. Boller & J. Grafmann (Hrsg.), *Handbook of neuropsychology*, (Bd. 3, S. 363–402). Amsterdam: Elsevier

Flynn, J. P. (1967). The neural basis of aggression in cats. In D. C. Glass (Hrsg.), *Neurophysiology and emotion* Bd. 13 New York: Rockefeller University Press.

Flynn, J., Vanegas, H., Foote, W., & Edwards, S. (1970). Neural mechanisms involved in cat's attack on a rat. In R. F. Whalen, M. Thompson, M. Verzeano & N. Weinberger (Hrsg.), *The neural control of behavior*. New York: Academic Press.

Fonberg, E. (1969). The role of the hypothalamus and amygdala in food intake, alimentary motivation and emotional reaction. *Acta biologiae Experimentalis (Warsaw)*, *29*, 335–358.

Fried, M. (1982). Disadvantage, vulnerability, and mental illness. In D. L. Parron, F. Solomon & C. D. Jenkins (Hrsg.), *Behaviour, health risks, and social disadvantage*. Washington: National Academy Press.

Gerrig, R. J., & Zimbardo, P. G. (2008). *Psychologie*. München: Pearson.

Goddard, G. V. (1964). Function of the amygdalae. *Psychological Bulletin*, *62*, 89–109.

Goleman, D. (1995). *Emotional Intelligence. Why It Can Matter More Than IQ* (1. Aufl.). New York: Bantam. Deutsch 1957

Goleman, D. (2006). *Social Inteligence*. New York: Bantam Books.

Gordon, O. L., & Chernya, Y. M. (1940). Physiology of the gastric secretion in man. *Klnicheskaya Meditsina*, *18*, 63–71.

Harmon-Jones, E., Abrahamson, L. Y., Sigelman, J., Bohlig, A., Hogan, M. E., & Harmon-Jones, C. (2002). Proneness to hypomania/mania symptoms or depression symptoms and asymmetrical frontal cortical responses to an anger-evoked event. *Journal of Personality and Social Psychology*, *82*, 610–618.

Holmes, T. H., & Rahe, R. H. (1976). The social readjustment rating scale. *Journal of Psychosomatic research*, *11*, 213–218.

Holmes, T. H., & Rahe, R. H. (1976). The social readjustment rating scale. *Journal of Psychosomatic research*, *11*, 213–218.

Hofstätter, P. (1963). *Einführung in die Sozialpsychologie*. Stuttgart: Kröner.

Hutchinson, & Renfrew (1966). Stalking attack and eating behavior elicited from the same sites in the hypothalamus. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *61*, 360–367.

Izard, C. E. (1971). *The face of emotion*. New York: Appleton.

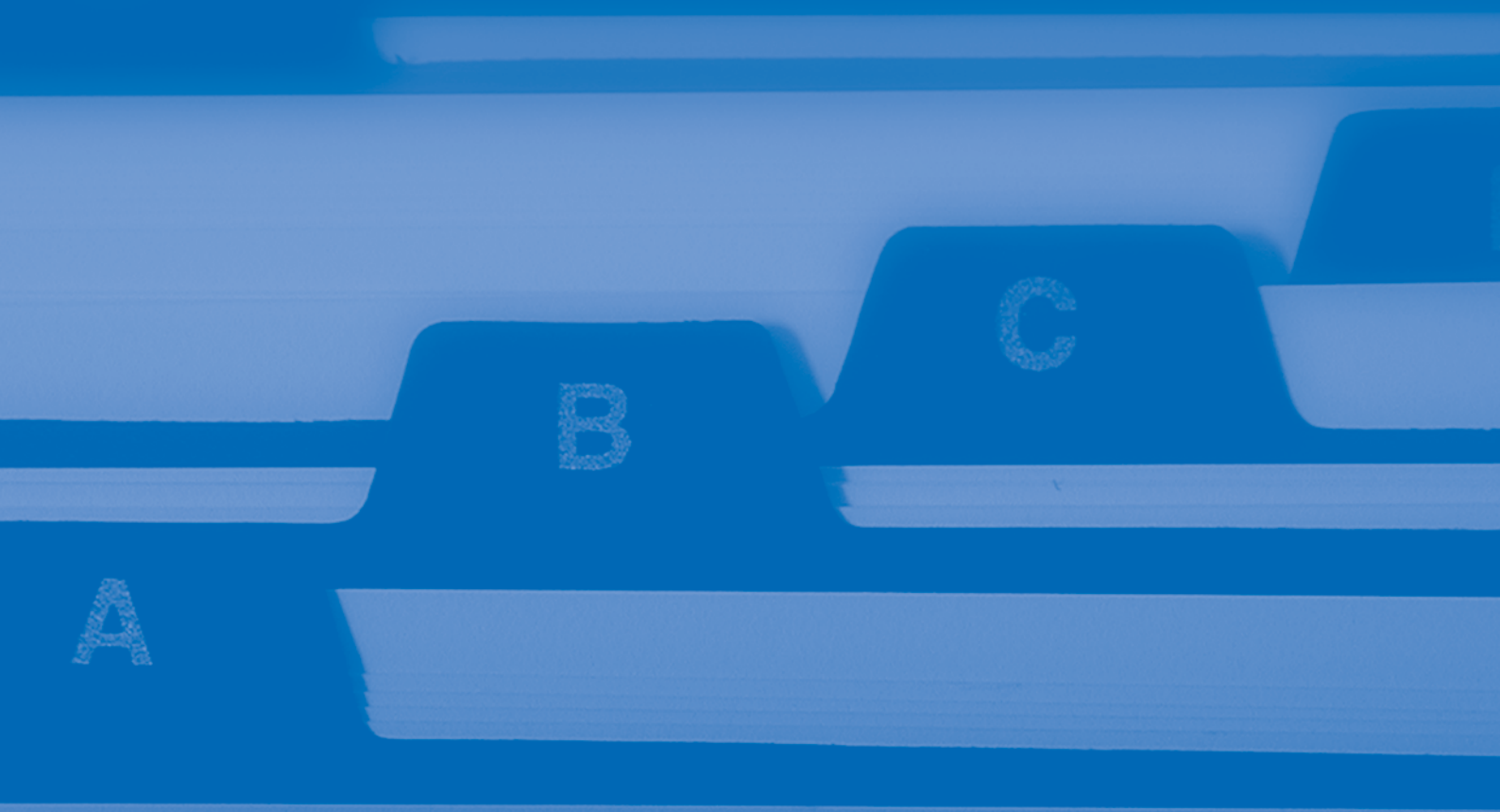
James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York: Holt, Rinehart & Winston. 2 Bände.
James, W. (1884). What is emotion? *Mind*, *9*, 188–205.
King, H. E. (1961). Physiological effect of excitation in the limbic system. In D. E. Sheer (Hrsg.), *Electrical stimulation in brain*. Austin: Univ. Chicago Press.
Klages (1942). *Vorschule der Charakterkunde*. Leipzig: Barth.
Kolb, B., & Taylor, L. (1988). Facial expression and the neocortex. *Society for Neuroscience Abstracts*, *14*, 219.
Laird, J. D. (1974). Self-attribution of emotion: The effects of expressive behavior on the quality of emotional experience. *Journal of Personality and Social Psychology*, *29*, 475–486.
Laird, J. D. (1984). The real role of facial response in the experience of emotion: A reply to Tourangeau and Ellsworth, and others. *Journal of Personality and Social Psychology*, *47*, 909–917.
Laird, J. D., Cuniff, M., Sheehan, K., Shulman, D., & Strum, G. (1989). Emotion specific effects of facial expressions on memory for life events. *Journal of Social Behaviour and Personality*, *4*, 87–98.
Latané, & Schachter (1962). Adrenalin and avoidence learning. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *65*, 369–372.
Lazarus, R. S., & Alfert, E. (1964). Short-circuiting of threat by experimentally altering cognitive appraisal. *Journal of abnormal social Psychology*, *49*, 195–205.
Lazarus, R. S. (1967). Stress theory and psychological research. In L. Levi (Hrsg.), *Emotional Stress*. Basel, New York: Karger.
Lazarus, R. S. (1991). Cognition and motivation in emotion. *American Psychologist*, *46*, 352–367. 819–834.
Lazarus, R. S. (1966). *Psychological stress and the coping process*. New York: McGraw-Hill.
LeDoux, J. E., & Armony, J. (1999). Can neurobiology tell us anything about human feelings? In D. Kahneman, E. Diener & N. Schwarz (Hrsg.), *Well Being. The foundations of hedonic psychology*. New York: Sage.
LeDoux, J. E. (1996). *The emotional brain: The mysterious underpinnings of emotional life*. New York: Simon & Schuster.
LeDoux, J. E. (1989). Cognitive-emotional interactions in the brain. *Cognition and Emotion*, *3*, 267–289.
Levenson, et al. (1992). Emotion and automic cervous system activity in an Indonesian Culture. *Journal of Personality and Social Psychology*, *62*, 927–988.
Levenson, Ekman, & Friesen (1990). Voluntary facial action generates emotion-specific nervous system activity. *Psychophysiology*, *27*, 363–384.
Levi, L. (1967). Biochemische Reaktionen bei verschiedenen experimentell hervorgerufenen Gefühlszuständen. In P. Kielholz (Hrsg.), *Angst: Psychische und somatische Aspekte*. Bern: Huber.
Levison, P. K., & Flynn, J. P. (1965). The objects attacked by cats during stimulation of the hypothalamus. *Animimal Behavior*, 217–220.
Lindsley (1951). Emotion. In S. S. Stevens (Hrsg.), *Handbook of experimental Psychology*. New York: Wiley.
Lorenz, K. (1963). *Das sogenannte Böse*. Wien: Borontha-Schoeler.
Lorenz, K. (1970). On aggression. In E. I. Megaree & J. E. Hokanson (Hrsg.), *The dynamic of aggression*. New York u. a.: Harper & Row.
Marshall, (1974) Cognitive, social and physiological determents of emotional states: A replication and extension. Stanford, Ca. (unveröffentlichte PhD Dissertation, Stanford University, zitiert nach Hilgard, Atkinson & Atkinson, 1975).
Marshall, G. D., & Zimbardo, P. G. (1979). Affective consequences of inadequately explained physiological arousal. *Journal of Personality and Social Psychology*, *37*, 970–988.
Mayer, J. D., DiPaolo, M., & Salovey, P. (1990). Perceiving affective content in ambiguous visual stimuli: A component of *emotional intelligence*. *Journal of Personality Assessment*, *54*, 772–781.
McNally, R. J. (1987). Preparedness and phobias: A Review. *Psychological Bulletin*, *101*, 283–303.
Miller, N. E. (1941). The frustration-aggression hypothesis. *Psychological Review*, *48*, 337–442.
Murphy, S. T., Monaham, J. L., & Zajonc, R. B. (1995). Additivity of nonconscious affect: Combined effects of priming and exposure. *Journal of Personality and Social Psychology*, *69*, 586–602.
Myers, D. G. (2008, 2014). Psychologie. Heidelberg, Springer.
Myers, R. E. (1998). *Psychology*. New York: Worth Publishers.
Öhman, A., & Mineka, S. (2001). Fears, Phobies, and preparedness: Towards an evolved module of fear and fear learning. *Psychological Review*, *108*, 483–522.
Öhman, A., & Mineka, S. (2003). The malicious serpent: Snakes as a prototypical stimulus for an evolved module of fear. *Current Directions in Psychological Science*, *12*, 5–9.
Palace, E. M. (1995). Modification of dysfunctional patterns of sexual response through autonomic arousal and false physiological feedback. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, *63*, 604–615.
Panksepp, J. (1971). Aggression elicited by electrical stimulation of the hypothalamus in albino rats. *Physiol. Behav.*, *6*, 321–329.
Plutchik, R. (1975). *Programmed learning aid for emotion*. Homewood: Irwin.
Plutchik, R. (1980). *Emotion. A psychoevolutionary synthesis*. New York: Harper & Row.
Powell, L. H., & Eagleston, J. R. (1983). The assessment of chronic stress in college students. In E. M. Altmaier (Hrsg.), *Helping students manage stress – new directions for student services*. San Francisco: Jossey-Bass.
Pribram, K. H. (1962). Interrelations of psychology and neurological disciplines. In Koch (Hrsg.), *Psychology: A study of science*. New York: McGraw-Hill.
Reisenzein, R. (1983). The Schachter theory of emotion: Two decades later. *Psychological Bulletin*, *94*, 239–264.
Roseman, I. J. (1984). Cognitive determinants of emotiom. A structural theory. In P. Shaver (Hrsg.), *Review of Personality and Social Psychology* (Bd. 5, S. 11–36). Beverly Hills: Sage.
Rosvold, H. E., Mirsky, A. F., & Pribram, H. K. (1954). Influence of amygdallectomy on social behavior in monkeys. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *47*, 173–178.
Rubinstein, S. L. (1971). *Grundlagen der allgemeinen Psychologie*. Berlin: VEB Volk und Wissen.
Schachter, S. & Singer, J. E. (1962) Cognitive, social and physiological determinants of emotional state. *Psych. Review.*, *69*, 379–399. In: C. G. Gross & H. P. Zeigler (Hrsg.), *Readings inphysiological psychology: Motivation.* New York u. a.: Harper & Row.
Schachter, S., & Wheeler, L. (1962). Epinephrine, chloropromazine and amusement. *Journal of abnormal social Psychology*, *56*, 121–128.
Schachter, S. (1971). *Emotion, obesity, and crime*. New York: Academic Press.
Selg, H. (1971). *Zur Aggression verdammt?* Stuttgart: Kohlhammer.
Seligman, M. E. P. (1974). Submissive death: Giving up on life. *Psychology Today*, May, 80–85.
Selye, H. (1946). The general adaptation syndrome and the diseases of adaptation. *J. clin. Endocr.*, *6*, 117–230.
Selye, H. (1950). *The physiology and pathology of exposure to stress*. Montreal: Acta.
Shannon, T. X. & Isbell, G. M. (1963) *Stress in dental patients: Effect of local anesthetic procedures.* Technical Report No. SAMTDR.– 63–29. United States Air Force School of Aerospace Medicine.
Singer,, J. E. (1961); *The effect of epinephrine, chloropromazine and dibenzyline upon the fright response of rats under stress and nonstress conditions*. University of Minnesota. (Unveröffentlichte PhD Dissertation, zitiert in: S. Schachter & J. E. Singer, 1962.)
Smith, C. A., & Ellsworth, P. C. (1987). Patterns of cognitive appraisal in emotion related to taking an exam. *Journal of Personality and Social Psychology*, *52*, 475–488.
Sokolowski, K. (2008). Emotion. In J. Müsseler (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie* (S. 337–384). Heidelberg: Springer (Spektrum).
Spada, H. (1990). *Lehrbuch Allgemeine Psychologie* (2. Aufl.). Bern: Huber.
Stemme (1974). Im Interview. *Der Spiegel*, *24. Juni 1974.*
Strack, E., Martin, L. L., & Strepper, S. (1988). Inhibiting and facilitating conditions of the human smile: A non-obtrusive test of the facial feedback hypothesis. *Journal of Personality and Social Psychology*, *54*, 768–777.
Taylor, J. A. (1953). A personality scale of manifest anxiety. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, *48*, 285–290.
Tomkins, S. S. (1962). *Affect, imagery, consciousness*. Bd. 1. New York: Springer.
Urry, H. L., Nitschke, J. B., Dolski, I., Jakson, D. C., Dalton, K. M., Müller, C. J., Rosenkranz, M. A., Ryff, C. D., Singer, B. H., & Davidson, R. J. (2004). Making a life worth living. Neural correlates of well-being. *Psychological Science*, *15*, 367–372.
Vester (1976). *Phänomen Streß*. Stuttgart: Deutsche Verlagsanstalt.

White, G. L., Fishbein, S., & Rutstein, J. (1981). Passionate love and the misattribution of arousal. *Journal of Personality and Social Psychology*, *41*, 56–62.
Winkielman, P., Zajonc, R. B., & Schwarz, N. (1997). Subliminal affective priming resists attributional interventions. *Cognition and Emotion*, *11*, 433–465.
Wirtz, M. A. (Hrsg.). (2013). *Dorsch – Lexikon der Psychologie*. Bern: Huber.
Wolf, S., & Welsh, J. D. (1972). The gastrointestinal tract as a responsive system. In N. Greenfield & R. A. Sternbach (Hrsg.), *Handbook of Psychophysiology*. New York: Holt, Rinehart & Wilson.
Wolf, S. (1965). *The stomach*. New York: Oxford University Press.
Woodworth, C. H. (1971). Attack elicited in rats by electrical stimulation of the lateral hypothalamus. *Physiological Behavior*, *6*, 345–353.
Young, P. T. (1961). *Motivation and emotion, a survey of the determinants of human and animal activity*. New York, London: Wiley & Sons.
Zajonc, R. B., Murphy, S. T., & Inglehart, M. (1989). Feeling and facial efference: Implications of the vascular theory of emotion. *Psychological Review*, *96*, 395–416.
Zajonc, R. B. (1980). Feeling and thinking: Preferences need no inferences. *American Psychologist*, *35*, 151–175.
Zajonc, R. B. (1984). On the primacy of affect. *American Psychologist*, *39*, 117–129.

Serviceteil

Glossar – 570

Stichwortverzeichnis – 585



© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017
C. Becker-Carus, M. Wendt, *Allgemeine Psychologie,* DOI 10.1007/978-3-662-53006-1

Glossar

Abrufreize (Rückrufreize) (*retrieval cues*) Reize oder Hinweise, die das Erinnern eines gelernten Inhalts erleichtern, der spontan nicht erinnert werden kann. Der Abruf wird verbessert, wenn die Hinweisreize (Kontexte) von Abruf- und Encodierungssituation übereinstimmen.

Absolutschwelle Reizintensität, bei der die Hälfte der Versuche (50 %) zum Entdecken des Reizes führt.

Abstraktionstheorien (*abstraction theories*) Theorien, nach denen ▶ Konzepte als abstrakte Beschreibungen ihrer zentralen (prototypischen) Kennzeichen repräsentiert sind. Gegensatz: ▶ Exemplartheorien.

Abwehrmechanismen des Ich Mentale (bewusste oder unbewusste) Strategien des Ich, um sich gegen erlebte Konflikte zu verteidigen oder zu schützen.

Acetylcholin (Ach) (*acetylcholine*) Häufigst vorkommender Neurotransmitter. In vielen Synapsen des Gehirns, des Rückenmarks und besonders des ▶ Hippocampus. Löst Muskelkontraktionen aus und hat eine Schlüsselrolle bei der Bildung neuer Gedächtnisinhalte.

Adaptationsleveltheorie (*adaptation level theory*) Sie besagt, dass wir die Stärke eines erlebten Reizes nicht allein nach seiner physikalischen Intensität beurteilen, sondern in Bezug auf ein durch Vorerfahrung gebildetes subjektives Adaptationsniveau.

Adäquater Reiz Diejenige Reizform, auf die ein Sinnesorgan optimal reagiert; denn auch nicht adäquate Reize können Erregungen des Sinnesorgans auslösen.

Affekt (*affect*) (1) Schnelle intensive emotionale Reaktion auf einen situativen Reiz, mit hoher Verhaltensbereitschaft (Sokolowski 2008). (2) Dimension zur Beschreibung der emotionalen Befindlichkeit. *Positiver Affekt* beinhaltet Interessiertheit, freudiges Engagement, Energie. *Negativer Affekt* beschreibt das Ausmaß negativen Angespanntseins. *Niedriger Affekt* ist gekennzeichnet durch Ruhe und Ausgeglichenheit (Dorsch 2013).

Aggression (*aggression*) Jedes körperliche oder verbale Verhalten, das mit der Absicht (Intention) ausgeführt wird, jemanden zu verletzen oder zu schädigen.

Aktionspotenzial (Nervenimpuls) Im ▶ Neuron ausgelöste kurzfristige elektrische Ladung (Potenzial), die das ▶ Axon entlang läuft und an der Zielsynapse die Ausschüttung eines ▶ Neurotransmitters verursacht. Es kann exzitatorisch (▶ EPSP) oder inhibitorisch (▶ IPSP) sein.

Aktive Encodierung (*effortful processing*) Verarbeitung von Informationen zur Eingabe in das Gedächtnissystem, z. B. durch Herstellen eines Bedeutungszusammenhangs.

Aktivierung (*activation*) In der Psycholinguistik aktivierter Zustand von Repräsentationen im Sprachprozess. Sie kann begrenzt, unbegrenzt oder kontinuierlich schwanken.

Amnesie (*amnesia*) Teilweiser Gedächtnisverlust, Gedächtnisausfälle.

Amygdala (Mandelkern) (*amygdala*) Zwei paarig angelegte mandelförmige Neuronenkerne, innerhalb beider Temporallappen, Teil des ▶ limbischen Systems, mit reziproken Verbindungen zu Thalamus, ▶ Hypothalamus und ▶ Hippocampus, Beteiligt an der der Entstehung von Emotionen bei der Bewertung von Umweltreizen, insbesondere an Furchtreaktionen.

Angeborener Auslösemechanismus (AAM) (innate releasing mechanism, IRM) Neurosensorischer (Filter-)Mechanismus, der angeborenermaßen bei einer spezifischen Reizsituation (Auslösereiz) selektiv die adäquate (biologisch sinnvolle) Verhaltensreaktion (Erbkoordination) auslöst.

Anreiz (*incentive*) Äußerer Reiz, auf den die ▶ Motivation gerichtet ist und der als Belohnung wirken kann. Erwartete Belohnung einer Handlung (Atkinson 2009).

Anschlussmotivation Das Bedürfnis nach Aufbau, Aufrechterhaltung oder Wiederherstellung einer positiven affektiven Beziehung mit anderen Personen oder Gruppen (Atkinson et al. 1954).

Anterograde Amnesie (vorwärts wirkende Amnesie) (*anterograde amnesia*) Erinnerungsverlust an Ereignisse, die im Anschluss an das die ▶ Amnesie auslösende Trauma stattfanden, während vorher gelerntes weitgehend erhalten bleibt. Gegensatz: ▶ retrograde Amnesie.

Aphasie (*aphasia*) Sprachstörung infolge Hirnverletzung kritischer Areale, die zumeist durch Schädigung der linken Gehirnhemisphäre entweder im Broca-Areal (gestörte Sprechfähigkeit) oder im Wernicke-Areal (gestörtes Sprachverständnis) entsteht.

Appetenzverhalten (*appetitive behaviour*) Such- und richtendes Verhalten, das den ▶ Erbkoordinationen zumeist vorausgeht und zumeist in hohem Maße durch Erfahrung modifizierbar ist (nach Craig 1918).

Appraisal-Theorien (*appraisal theories*) Sie sehen Emotionen als Ergebnisse unterschiedlich komplexer (bewusster und unbewusster) kognitiver Einschätzungsprozesse.

Arbeitsgedächtnis (*working memory*) Neuerer erweiterter Begriff für das ▶ Kurzzeitgedächtnis, der zudem die bewusste aktive Verarbeitung von Informationen sowie Vollzüge wie Urteilen, ▶ Lernen und Verstehen umfasst (nach Baddeley 2010). Dazu gehören auch Informationen aus dem ▶ Langzeitgedächtnis. Die kurze Behaltensdauer ist von der laufenden Bearbeitung (Rehearsal, ▶ Wiederholung) und der Vernetzung der Inhalte abhängig. Der klassischen Ansicht zufolge, hat es eine begrenzte Kapazität von bis zu 7 ± 2 Informationseinheiten (Chunks), wenn keine Prozesse der Aufrechterhaltung zur Anwendung kommen.

Artikulatoren (*articulators*) Sprechwerkzeuge, die zum Aussprechen notwendig sind (z. B. Kehlkopf, Mundhöhle, Nasenhöhle, Zunge, Lippen).

Assimilation (*assimilation*) Interpretation neuer Erfahrungen mithilfe von Begriffen der bereits existierenden Schemata.

Attribution (Attribuierung) Ursachenzuschreibung, der meist unbewusste Prozess, eingetretene Ereignisse (z. B. Erfolg oder Misserfolg) der eigenen Fähigkeit/Leistung zuzuschreiben („internal attribuieren") oder aber der Umwelt zuschreiben, „external attribuieren".

Attributionsstil Konsistentes, individuelles Muster der ▶ Attribution (Zuschreibung) von Ursachen und Gründen für Erfahrungen und Ereignisse unseres Lebens.

Aufgabenwechselkosten Leistungseinbußen, die beim (schnellen) Aufgabenwechsel auftreten im Vergleich zur repetitiven Bearbeitung derselben Aufgabe.

Aufmerksamkeit (*attention*) Die Fähigkeit, bestimmte Informationen für eine genauere Analyse auszuwählen und andere zu ignorieren.

Augendominanz Ausmaß, in dem ein ▶ Neuron durch die Stimulation eines Auges beeinflusst wird. Die Dominanz ist stark, wenn das Neuron nur auf

die Reizung eines Auges anspricht. Spricht es auf die Reizung beider Augen gleich gut an, besteht keine Dominanz.

Auslösemechanismen ► Angeborener Auslösemechanismus, ► Erlernter Auslösemechanismus.

Autokinetischer Effekt (*autokinetic effect*) Illusion einer Bewegung, wenn man einen ortsfesten Lichtpunkt in einem ansonsten völlig dunklen Raum längere Zeit beobachtet. Der Lichtpunkt scheint sich auf einmal zu bewegen.

Automatische Verarbeitung (*automatic processing*) Unbewusste Encodierung zufällig anfallender Informationen sowie auch gut gelernter Informationen (Wortbedeutungen).

Autonomes Nervensystem (vegetatives Nervensystem) Reguliert die Organfunktionen und kontrolliert das innere Milieu (s. auch ► peripheres Nervensystem).

Autostereogramm Stereogramm, das (bei einer bestimmten Augenfernein-stellung) eine dreidimensionale Wahrnehmung aufgrund der besonderen Struktur nur eines einzigen Bildes erzeugt.

Axon Der ausgedehnte Fortsatz einer Nervenzelle, der mit anderen Nerven-, Muskel- oder Drüsenzellen Synapsen bildet und der Potenzialweiterleitung dient.

Basis-Raten-Regel (*base-rate rule*) Diese Regel der Wahrscheinlichkeitstheorie besagt: Die Wahrscheinlichkeit, Mitglied einer bestimmten Klasse zu sein, ist umso größer, je größer der Anteil dieser Mitglieder (*base-rate*) an der Gesamtheit ist.

Bayes-Theorem (*Bayes' theorem*) Es schreibt vor, wie die A-priori-Wahrscheinlichkeit einer Hypothese mit der bedingten Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Ereignisses zu kombinieren ist, um die A-posteriori-Wahrscheinlichkeit der Hypothese zu bestimmen.

Befragung (*survey*) Indirektes Datenerhebungsverfahren, bei dem eine große (repräsentative) Stichprobe von Personen aus einer großen Grundgesamtheit mittels Fragebogen oder Interview befragt wird und die Daten nach bestimmten Regeln ausgewertet werden.

Begriff (*concept*) Mentale Gruppierung ähnlicher Gegenstände, Ereignisse, Personen oder Ideen.

Behaviorismus Sichtweise von der Psychologie (1) als einer objektiven Wissenschaft, (2) als einer Wissenschaft, die das Verhalten ohne Bezugnahme auf mentale Prozesse untersucht.

Beobachtungslernen (Lernen durch Beobachtung) ► Imitationslernen.

Bereitschaftspotenzial (*readiness potential*) Langsame negative rampenförmig ansteigende Potenzialverschiebung in frontalen Hirnbereichen (► evozierte Potenziale), die 500 – 1000 ms vor der Ausführung einer Willkürbewegung einsetzt (s. auch ► lateralisiertes Bereitschaftspotenzial).

Bestrafung (*punishment*) Vorgehen der instrumentellen Konditionierung, bei dem ein aversiver Reiz kontingent auf eine Reaktion erfolgt. Ein Ereignis, das zur Reduzierung des vorausgehenden Verhaltens führen kann.

Bewegungsnacheffekt (*motion aftereffect*) Scheinbare Bewegung (Illusion) eines ortsfesten Objekts, die auftritt, nachdem man zuvor für einige Zeit (1) eine Bewegung gesehen hat, (2) ein bewegungsinduzierendes Reizmuster angeblickt hat (Wasserfalltäuschung). Der Nacheffekt erfolgt in Gegenrichtung.

Bewegungsparallaxe Dieses monokulare ► Tiefenkriterium bezeichnet die unterschiedlich weite (und unterschiedlich schnelle) gegenseitige Verschiebung der Projektionsbilder weit entfernter und naher Objekte auf der ► Retina bei einer Kopf- oder Körperbewegung. Nahe Objekte scheinen sich schneller in Gegenrichtung zu bewegen als ferne. Der Unterschied der scheinbaren Bewegungsgeschwindigkeit gibt einen Indikator für Entfernung und räumliche Tiefe.

Bewertungstheorien (*appraisal theories*) Eine Gruppe von Emotionstheorien, die davon ausgehen, dass unsere Bewertung einer äußeren Situation zu dem subjektiven Erleben einer Emotion und der damit verbundenen Erregung führt.

Bewusste Verarbeitung (*effortful processing*) Form der Encodierung, die Aufmerksamkeit und bewusste Anstrengung erfordert.

Bewusstsein (*consciousness*) (1) Einerseits das wache Wissen um unser Erleben, um geistige und seelische Zustände, Wahrnehmungen und Gedanken sowie das Aufmerken auf einzelne Erlebnisse und andererseits das wache Wissen um unser von uns kontrolliertes und initiiertes Handeln. (2) Gesamtheit der unmittelbaren Erfahrung, die sich aus der ► Wahrnehmung von uns selbst und unserer Umgebung, unseren Kognitionen, Vorstellungen und Gefühlen zusammensetzt.

Biofeedback Verfahren, bei dem Informationen über einen kaum wahrnehmbaren physiologischen Zustand (wie Blutdruck, Muskelspannung) elektronisch aufgezeichnet und der Person rückgemeldet werden.

Biogene Motive ► Motive, die Verhaltens- und Wertungsdispositionen auf genetischer Basis bezeichnen (Schneider und Schmalt 1981).

Biologische Bewegung (*biological motion*) Die wahrnehmbare aktive Fortbewegung von Lebewesen, insbesondere die visuelle Darstellung menschlicher Bewegung. Untersucht wird unsere Fähigkeit, allein aus Lichtpunkten, die an markanten Stellen des sich bewegenden Körpers angebracht sind, die Bewegungseigenschaften eines Lebewesens/Menschen zu erkennen.

Blinder Fleck (*blind spot*) kleiner Bereich der ► Retina, an dem der Sehnerv das Auge verlässt und keine Lichtwahrnehmung möglich ist, weil hier keine Rezeptorzellen vorhanden sind.

Blockierung (*blocking*) Der Effekt beim Konditionieren, dass ein bereits gelernter Stimulus (CS1) bei gleichzeitiger Darbietung die Konditionierung eines weiteren Reizes (CS2) auf den gleichen unkonditionierten Reiz (US) verhindert.

Bottom-up-Verarbeitung (*bottom-up processing*) Aufsteigende, datengesteuerte Informationsverarbeitung. Wahrnehmungsanalyse, die von den sensorischen Daten der Umwelt ausgeht und aufsteigend zur Integration und abstrakten Repräsentation im Gehirn weiterführt.

Chaining (Kettenbildung) Bezeichnet den Aufbau einer Verhaltenskette, bei der, ausgehend von einer primär verstärkten Reaktion, jede Reaktion als konditionierter Verstärker für die jeweils vorangestellte Reaktion genutzt wird, die dabei zugleich zum diskriminativen Stimulus für die nachfolgende wird.

Chromosomen Im Zellkern liegende fadenförmige Strukturen aus DNA-Molekülen. In ihnen sind unsere ► Gene (Erbanlagen) codiert.

Chronischer Stress Der andauernde Erregungszustand, der resultiert, wenn die verfügbaren inneren und äußeren Ressourcen als nicht ausreichend für die Bewältigung der Anforderungen erlebt werden, wird als chronischer Stress definiert.

Chunking Das Organisieren einzelner Items in handhabbare und/oder vertraute Informationseinheiten (Chunks); geschieht vielfach automatisch.

Closed-Loop-Steuerung ► Programmsteuerung.

Cochlea (Schnecke) (*cochlea*) Spiralförmig aufgerollte, flüssigkeitsgefüllte knöcherne Röhre im Innenohr, über die die Schallwellen Nervenimpulse auslösen.

Constraint-based Modelle Sie gehen davon aus, dass von Anfang an alle verfügbaren Informationsquellen zur Entschlüsselung der syntaktischen Satzstruktur verarbeitet werden (parallele Verarbeitung).

Coping Bewältigungsstrategie zur Überwindung oder Befreiung aus einer Stresssituation. Prozess mit Anforderungen umzugehen, die als bedrohlich oder die eigenen Kräfte übersteigend wahrgenommen werden.

Corpus geniculatum laterale (CGL) Der Nucleus im Thalamus, der Signale vom Sehnerv erhält und von dem aus Fasern zum ▶ primären visuellen Cortex ziehen.

Cortex ▶ primärer visueller Cortex.

Corticaler Vergrößerungsfaktor (*cortical magnification factor*, bei der Netzhautrepräsentation im Cortex) Im Cortex konnten räumlich retinotrop organisierte Karten nachgewiesen werden, in denen den fovealen Regionen weit mehr Platz zugeordnet ist als den retinal peripheren Bereichen.

Crosstalk Anwendung einer aufgabenspezifischen kognitiven Operation auf Repräsentationen einer anderen, in zeitlicher Überschneidung durchzuführenden Aufgabe.

Deduktives Schlussfolgern (deduktives Denken) (*deductive reasoning*) Schlussfolgern in Situationen, in denen bei wahren Prämissen die Schlussfolgerung (Conclusio) mit Sicherheit wahr ist. Gegensatz: ▶ Induktion.

Dendriten Fortsätze am Zellkörper, die Signale von anderen ▶ Neuronen erhalten.

Denken Eine spezielle Form der Informationsverarbeitung, bei der eine aktive innere Beschäftigung mit sprachlichen Begriffen, bildlichen Vorstellungen und anderen mentalen Inhalten stattfindet, mit dem Ziel, neue Erkenntnisse zu gewinnen (aus Dorsch 2013).

Dezibel Physikalisches Maß für die relative Stärke eines Schalls, abgekürzt dB SPL (1/10 Bel, mit dem Zusatz SPL (*sound pressure level*) zur Abgrenzung von anderen gebräuchlichen dB-Maßsystemen). Gibt den ▶ Schalldruckpegel eines gegebenen Tones an.

Diskriminationslernen (*discrimination learning*) ▶ Lernen, auf verschiedene Stimuli auch unterschiedlich zu reagieren.

Direkte Beobachtung Beobachten und Erfassen von natürlich auftretendem Verhalten ohne Verwendung technischer Mess- oder Aufzeichnungsgeräte. Gegensatz: ▶ natürliche Beobachtung.

Distaler Reiz Im Wahrnehmungsprozess das physikalische Objekt in der Außenwelt. Gegensatz: ▶ proximaler Reiz.

DNA/DNS (Desoxiribonukleinsäure) (*desoxyribonucleic acid*) Komplexes schneckenförmiges Molekül, das die genetische Information enthält. Material, aus dem die ▶ Chromosomen bestehen.

Doppelaufgabenkosten (*dual task cost*) Leistungsbeeinträchtigung bei der Durchführung einer Aufgabe, wenn zusätzlich in zeitlicher Überlappung eine weitere Aufgabe bearbeitet wird.

Dorsaler Pfad Verarbeitungsroute visueller Information, die vom visuellen zum parietalen Cortex verläuft und vermutlich der Steuerung räumlicher Handlungsaspekte dient. Gegensatz: ▶ ventraler Pfad.

Double-Step-Aufgabe Reizlokalisierungsaufgabe, bei der eine Zielmarke, zu der eine Bewegung ausgeführt werden soll, in manchen Durchgängen während der Bewegung versetzt wird.

Dreifarbentheorie (*trichromatic theory*) Theorie der Farbwahrnehmung von Young und Helmholtz. Sie besagt, dass die wahrgenommene Farbe durch das Zusammenwirken von drei in der Retina gelegenen Farbrezeptortypen erzeugt wird, die je für einen Wellenlängenbereich besonders empfindlich sind, mit Sensitivitätsmaxima für Licht kurzer, mittlerer und längerer Wellenlänge (Rot-, Grün- und Blaurezeptoren), und nicht durch spezifische Rezeptoren für jede einzelne Farbe. Sie erklärt Farbenblindheiten durch das Fehlen eines oder mehrerer Rezeptortypen.

Echo, echoische Repräsentation Kurzzeitige Repräsentation für akustische Reize im sensorischen Gedächtnis.

Echoisches Gedächtnis (auditives Gedächtnis) (*echoic memory*) Kurzzeitiges ▶ sensorisches Gedächtnis für akustische Reize. Bei abgelenkter Aufmerksamkeit können Wörter oder Geräusche noch bis zu 3 oder 4 s erinnert werden. Die hier gespeicherten Inhalte werden als ▶ Echo bezeichnet.

EEG ▶ Elektroencephalogramm

Efferenzkopie Neuronales, meist motorisches Impulsmuster, das als Kopie der Erregungsefferenz an andere Strukturen des Zentralnervensystems zur Mitinformation gesandt wird.

Einortstheorie (*place theory*) Sie besagt, dass jede Tonhöhe je nur einen bestimmten Ort der Basilarmembran maximal in Schwingung versetzt. Genauer: Unsere Wahrnehmung der Tonhöhe erfolgt aufgrund der Stimulierung jeweils eines bestimmten Ortes auf der Basilarmembran, wo jeweils auch die Haarzellen für diese Frequenz besonders empfindlich sind.

Einstellung (auch: Erwartung) (*attitude*) Überzeugung oder Gefühl, das Menschen prädisponiert, in einer bestimmten Art und Weise auf Reize, Dinge, Menschen und Ereignisse zu reagieren.

Elektroencephalogramm Aufzeichnung der in den Gehirnzellen ablaufenden elektrischen Potenzialschwankungen („Summenpotentiale") mit Hilfe von an standardisierten Stellen angesetzten Elektroden.

Emergenz Ein System besitzt emergente Eigenschaften, wenn es Eigenschaften zeigt, die seine Bestandteile nicht besitzen.

Emergente Eigenschaften Eigenschaften, die sich aus der spezifischen Konfiguration elementarer Bestandteile ergibt und die sich aus den einzelnen Bestandteilen nicht „ableiten" lassen.

Emergenztheorie Sie besagt, dass die kognitiven Fähigkeiten des Menschen eine emergente Eigenschaft (▶ Emergenz) darstellen, die durch das kombinierte verhalten der ▶ Neurone entsteht, obgleich das einzelne Neuron sie nicht besitzt.

Emotion (*emotion*) Ein komplexes Muster von Veränderungen; es umfasst physiologische Erregung, Gefühle, kognitive Prozesse (Bewertungen) und Verhaltensreaktionen auf eine Situation, die als persönlich bedeutsam wahrgenommen wurde (Gerrig und Zimbardo 2008).

Empfindung (*sensation*) Erste Stufe im Wahrnehmungsprozess, bei dem unsere Sinnesrezeptoren Umweltreize aufnehmen und weiterleiten.

Encodierspezifität Das Prinzip, dass der spätere Abruf von Information verbessert wird, wenn die Hinweisreize (▶ Kontext) von Abruf- und Codierungssituation übereinstimmen.

Encodierung (*encoding*) in der Gedächtnisforschung (Gedächtnis) der mentale Prozess der (bewussten oder unbewussten) Einspeicherung von mentalen Inhalten in eine (oder mehrere) Gedächtniskomponente(n) zum Zweck der langfristigen Speicherung und des späteren Abrufs

Endorphine Den Opiaten ähnelnde ▶ Neurotransmitter, die wie Morphium schmerzreduzierend wirken.

End-State-Comfort-Effekt Tendenz, eine Handlung auszuwählen, die eine bequeme Endposition beinhaltet.

Engpass (kognitiver) Mentale Operation, die zum selben Zeitpunkt nicht für mehr als eine Aufgabe durchgeführt werden kann.

Epinephrin (Adrenalin) (*epinephrine*) Wichtiges Hormon, das durch das Nebennierenmark als Reaktion auf Stress ausgeschüttet wird. Wirkt wie der Sympathicus und führt zu allgemeinerErregung, erhöhte Pulsfrequenz und Blutdruck. Ist auch ein erregender ▶ Neurotransmitter.

Episodisches Gedächtnis (*episodic memory*) Verantwortlich für die Speicherung von Ereignissen. Es bezieht sich auf Informationen über persönliche Erlebnisse und Episoden.

EPSP (exzitatorisches postsynaptisches Potenzial) Erregendes ▶ Aktionspotenzial.

Erbkoordinationen (Instinktreaktionen) (*fixed action pattern*) Angeborene und ohne jede Erfahrung und Übung vollständig und offenbar automatisch ablaufenden Handlungselemente (nach K. Lorenz).

Erhaltenswiederholung (*maintenance rehearsal*) ▶ Wiederholung.

Erlernter Auslösemechanismus (EAM) (*learned releasing mechanism*) Durch Lernerfahrung entstandene Reiz-Reaktionsverknüpfung (Ethologie). (EAAM) Durch Erfahrung modifizierter Auslösemechanismus.

Erregungstransfer (*exitation transfer*) Erregungsreste aus einer gerade erlebten Situation führen in einer nachfolgenden emotionalen Situation zu einer Verstärkung der Erregung.

Ersparnismethode Gedächtnismessverfahren nach Ebbinghaus. Gemessen wird die Anzahl „gesparter Wiederholungen“ (gegenüber dem ersten Erlernen), wenn das Lernmaterial nach einer Vergessenspause wieder vollständig und in richtiger Reihenfolge gelernt wird.

Ethologie (*ethology*) (1) „Klassische“ vergleichende Verhaltensforschung, Wissenschaft vom Verhalten der Tiere. Teilgebiet der Zoologie. (2) Wissenschaft von den Sitten und Gebräuchen eines Volkes.

Evozierte Potenziale (ereigniskorrelierte Potenziale, EKPs) (*evoked potentials*) Komplexe Wellenform im EEG als Reaktion auf bestimmte Reize. Neben der Spontanaktivität des Gehirns (EEG) können innere oder äußere Reize typische Potenzialverläufe hervorrufen (evozieren). *Sensorische EKPs* folgen zeitlich unmittelbar auf den Sinnesreiz und sind am stärksten über den modalitätszugehörigen corticalen Arealen ausgeprägt. *Motorische EKPs* gehen der motorischen Reaktion unmittelbar voraus und sind am stärksten über dem motorischen Cortex. *Endogene EKPs* entstehen, wenn ein Ereignis für das Individuum irgendwie „bedeutungsvoll“ ist, und sind nicht so streng an das auslösende Ereignis gekoppelt.

Exekutive Funktionen Kontrollprozesse, die ein Individuum befähigen, seine Handlungsdurchführung in Situationen zu optimieren, die das Koordinieren und Tätigwerden mehrerer kognitiver Basisprozesse erfordern.

Exemplarstrategie (*exemplar strategy*) Klassifikationsstrategie, bei der bekannte Einzelbeispiele im Gedächtnis gespeichert und mit dem dazugelernten ▶ Begriff (dem ▶ Konzept) verbunden werden. Neue Objekte werden als zugehörig erklärt, wenn sie den gespeicherten Beispielen hinreichend ähnlich sind.

Exemplartheorien (*instance theories*) Exemplarbasierter Ansatz, nach dem unser Wissen über ▶ Konzepte durch den Abruf bestimmter Exemplare dieser Konzepte wirksam wird. Gegensatz: ▶ Abstraktionstheorien.

Experiment (*experiment*) Forschungsmethode, bei der der Forscher einen oder mehrere Faktoren (unabhängige Variablen) manipuliert, um deren Auswirkung auf eine Verhaltensweise oder einen (mentalen) Prozess (abhängige Variable) zu beobachten.

Explizites Gedächtnis (deklaratives Gedächtnis) (*explicite memory*) Gedächtnis für Fakten und Erfahrungen, die man bewusst wissen und „deklarieren“ kann.

Extinktion ▶ Löschung

Extrinsische Motivation ▶ Motivation, die uns bewegt, sich mit einer Sache um ihrer Konsequenzen willen und weniger ihrer selbst willen zu befassen. Gegensatz: ▶ intrinsische Motivation.

Farbkonstanz (*color constancy*) Phänomen, die Farbe von Gegenständen weitgehend unabhängig von den momentanen Lichtverhältnissen als konstant wahrzunehmen.

Fechnersches Gesetz Dieses psychophysische Grundgesetz besagt, dass die erlebte Empfindungsstärke (E) eines Reizes proportional zum Logarithmus der physikalischen Intensität (S) des Reizes wächst.

Feedback-Steuerung ▶ Regelung.

Feedforward-Steuerung ▶ Programmsteuerung.

Fertigkeiten (*skills*) Komplexe menschliche Verhaltensweisen wie Fahrrad- oder Autofahren, Schreibmaschineschreiben, Jonglieren, Musizieren oder der Gebrauch von Sprache und Schrift. Fertigkeiten beinhalten in der Regel wahrnehmungsbezogene kognitive sowie motorische Prozesse, die durch einen langsamen Übungsprozess zu zunehmend besseren Leistungen integriert werden.

Figur-Grund-Beziehung (*figure-ground*) Organisation des Gesichtsfeldes in Objekte (Figuren), die sich von ihrer restlichen Umgebung abheben (Grund).

Formatio reticularis (*reticular formation*) Neuronales Netz im Hirnstamm, das eine wichtige Rolle bei der Steuerung der Erregung spielt.

Formkonstanz Phänomen, die Form eines bekannten Objekts unabhängig vom Blickwinkel als gleichbleibend wahrzunehmen.

Fovea centralis (Sehgrube) Punkt des schärfsten Sehens im Zentrum der ▶ Retina, der nur ▶ Zapfen enthält.

Freie Reproduktion (*free recall*) Reproduzieren eines Gedächtnisinhalts ohne besondere Hinweisreize oder Abrufhilfen.

Freilaufender Rhythmus (*free running rhythm*) Rhythmen, die unter konstanten Bedingungen, ohne äußere ▶ Zeitgeber autonom und mit der ihnen eigenen Periode verlaufen.

Frequenz (*frequency*) Anzahl von vollständigen Schwingungen, die einen bestimmten Punkt in einem vorgegebenen Zeitraum durchlaufen (z. B. pro Sekunde).

Frequenzdispersion Ein aus mehreren Tönen (Wanderwellen) bestehendes Schallereignis wird nach dem Ortsprinzip entlang der Basilarmembran aufgespreizt.

Funktionale Fixierung (*functional fixedness*) Die Tendenz, wahrgenommene Objekte im Sinne ihrer üblichen Funktion kognitiv zu repräsentieren, wodurch das Erfassen auch anderer möglicher Funktionen erschwert oder gar verhindert wird.

Funktionale MRT (fMRT, funktionale Magnet-Resonanz-Tomografie) (*functional magnetic resonance imaging, fMRI*) Computergesteuertes Abtastverfahren, das starke Magnetfelder und Impulse im Radiowellenbereich nutzt,

um Funktionen (Blutfluss) auf Gehirn- und Körperquerschnitten sichtbar zu machen.

Funktionalismus (*functionalism*) Philosophische Position, wonach psychische Prozesse zwar auf materiellen Prozessen beruhen, aber eigenen Gesetzmäßigkeiten folgen und somit nicht auf materielle Prozesse reduzierbar sind.

Garden-Path-Modell Es baut bei der Satzanalyse (dem ▶ Parsing) zuerst ausschließlich auf syntaktischen Informationen auf (serielles Modell).

Gate-Control-Theorie Sie besagt, dass im Rückenmark eine neuronale Schranke („Tor", *gate*) besteht, die Schmerzen aufhält oder zum Gehirn durchlässt. Vom Gehirn ausgehende absteigende Signale können hier neuronale Mechanismen aktivieren, wodurch einlaufende Schmerzsignale blockiert werden.

Gedächtnisspanne (*memory span*) Anzahl der Informationseinheiten, die ein Individuum nach einmaliger Darbietung fehlerfrei und in richtiger Reihenfolge reproduzieren kann.

Gegenfarbentheorie (*opponent-process theory*) Sie besagt, dass der Farbeindruck auf dem Zusammenwirken antagonistischer Rot-Grün-, Blau-Gelb- und Schwarz-Weiß-Einheiten beruht, die jeweils in entgegengesetzter Weise auf ein Gegenfarbenpaar reagieren (z. B. Rot stimuliert, Grün hemmt). Da beides zugleich nicht möglich ist, können ein rötliches Grün und ein gelbliches Blau nicht vorkommen.

Gene (*genes*) Biochemische Bausteine der Vererbung, Segmente der DNA, die an der Proteinsynthese beteiligt sind.

Generalisationsgradient (*generalization gradient*) Bei der klassischen Konditionierung die Tendenz, auch auf Reize zu reagieren, die dem konditionierten Reiz (CS) ähnlich sind, wobei diese Tendenz mit zunehmender Unähnlichkeit schwächer wird.

Generatorpotenzial (Rezeptorpotenzial) Das in einer Rezeptorzelle auf einen Reiz hin erfolgende lokale Potenzialgefälle, das bei genügender Stärke zur Entstehung weitergeleiteter ▶ Aktionspotenziale führt.

Genom (*genome*) Gesamtheit der in einem Organismus vorhandenen Erbanlagen.

Geschwindigkeits-Genauigkeits-Austausch Verzögerung einer Reaktion zugunsten ihrer Genauigkeit oder Beschleunigung einer Reaktion auf Kosten erhöhter Fehlerhaftigkeit.

Gesetz von Ebbinghaus Jede Vergrößerung des Lernmaterials macht eine unverhältnismäßig große Steigerung der Lernzeit notwendig.

Gestaltpsychologie Eine Anfang des 20. Jahrhunderts von deutschen Psychologen ausgehende Schulrichtung (Ansatz der Wahrnehmungspsychologie), die sich mit der ganzheitlichen Wahrnehmung von Objekten befasste und dazu allgemeine Grundprinzipien („Gestaltgesetze") der Wahrnehmungsorganisation erstellte. „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile."

Gitter (*grid*)-Technik (Gitterverfahren) Semiprojektives Verfahren zur Erhebung von Motiven („TAT zum Ankreuzen", da Inhaltskategorien deckungsgleich).

Grammatik (*grammar*) System von Regeln in einer Sprache, nach denen alle korrekten Sätze einer Sprache gebildet werden, und so das Verstehen ermöglichen.

Graphem Distinkte Einheit eines Schriftsystems. Es stellt in etwa die schriftliche Entsprechung eines ▶ Phonems dar.

Größenkonstanz (*size constancy*) Phänomen, die Größe eines bekannten Objekts unabhängig von seiner Entfernung (und damit unabhängig von der Größe seines Retinabildes) als gleich (konstant) wahrzunehmen.

Habituation (Gewöhnung) (*habituation*) Die allmähliche Abschwächung einer Verhaltensreaktion auf einen Reiz, die auftritt, wenn der Reiz mehrfach nacheinander wiederholt wird. Einfache (meist unbewusste) Lernform. Bei mehrfacher Wiederholung eines unbedeutenden Reizes kommt es zu einer graduellen zentralnervös bedingten Abschwächung (bis zum Ausbleiben) der motorischen oder sensorischen Reaktionsbereitschaft.

Handlungen Handlungen sind motorische Aktivitaten, um einen angestrebten Zielzustand zu verwirklichen.

Handlungssteuerung Bezeichnet die Vorbereitung und Planung eines zielgerichteten Verhaltens.

Haptik (*haptics*) (1) Gesamtheit der Tastwahrnehmungen ohne visuelle Kontrolle, insbesondere zur Erkennung dreidimensionaler Objekte und Oberflächenbeschaffenheiten, wobei mehrere Systeme (Hautsinne, Motorik, Propriozeption und Kognition) zusammenarbeiten. (2) bezeichnet die Exploration von Gegenständen mittels des Tastsinnes. Von besonderer Bedeutung sind hierbei typische Abtastbewegungen von Hand und Fingern.

Hawthorne-Effekt (*Hawthorne effect*) (1) Verzerrender Einfluss bei experimentellen Untersuchungen. Nicht die durchgeführte experimentelle Manipulation wirkt sich auf die abhängigen Variablen aus, sondern allein die Tatsache, dass eine Untersuchung durchgeführt wird. (2) Positiver Einfluss sozialer Zuwendung im Betrieb auf die Arbeitsleistung.

Hebbsche Regel Fundamentales Prinzip neuronaler Plastizität, das auch dem ▶ Lernen zugrunde liegt. Es gilt für ▶ Hebb-Synapsen, die die Eigenart haben, bei simultaner Erregung ihre Verbindung zu verstärken. Kurzform: „Neurone, die gemeinsam feuern, verbinden sich."

Hebb-Synapsen Synapsen, deren simultane Aktivierung zu einer funktionellen und anatomischen Verstärkung ihrer Verbindung durch Stoffwechseländerungen und/oder Wachstumsprozesse führt.

Helligkeitskonstanz (*lightness constancy*) Phänomen, bekannte Objekte/Oberflächen unabhängig von Veränderungen ihrer Beleuchtung als gleichbleibend hell wahrzunehmen.

Hick und Hyman (Gesetz von) Logarithmischer Anstieg der Reaktionszeit mit der Anzahl der Wahlalternativen.

Hippocampus (*hippocampus*) Paariges phylogenetisch altes neuronales Zentrum in den Temporallappen mit Verbindungen zu ▶ Amygdala und Assoziationscortex; wichtig für Lern- und Gedächtnisprozesse.

Holzwegeffekt (*garden path effect*) Wird bei Mehrdeutigkeiten aufgrund von Verarbeitungspräferenzen eine Satzanalyse eingeschlagen, die sich letztlich als falsch erweist, führt dies zu Verstehensverzögerungen, die auch bewusst spürbar sein können. Das Verarbeitungssystem wurde auf den Holzweg geführt (*was led up to the garden path*).

Homöostase (*homeostasis*) Von W. Cannon (1915) beschriebenes Prinzip (Tendenz), einen ausgeglichenen und konstanten inneren Gleichgewichtszustand aufrechtzuerhalten (z. B. Blutzuckerspiegel, Kernkörpertemperatur).

Hormone Körpereigene Botenstoffe, die von endokrinen (innersekretorischen) Drüsen gebildet und über den Blutstrom transportiert werden und an den Zielzellen (Organen) spezifische Reaktionen auslösen (Regulierung z. B. von Körperwachstum, Nierenfunktion, Geschlechtsausbildung).

Hypnogramm Grafische Darstellung der Abfolge der verschiedenen Schlafstadien und Schlafphasen einer Nacht.

Hypothalamus (*hypothalamus*) Neuronale Struktur unterhalb (*hypo*) des Thalamus. Steuerung lebenserhaltender Funktionen (Körpertemperatur, Essen, Trinken), beeinflusst das endokrine System und ist an der Emotionserregung beteiligt.

Hypothese (*hypothesis*) Aus Beobachtungen oder einer Theorie abgeleitete überprüfbare Behauptung.

Ideomotorische Hypothese Annahme, dass Willkürhandlungen durch die Antizipation ihrer sensorischen Konsequenzen ausgelöst werden.

Ideomotorische Kompatibilität Reiz-Reaktions-Beziehung, bei der die zu gebende Reaktion dem zu beantwortenden Reiz stark ähnelt, zum Beispiel das Nachsprechen von Wörtern.

Ikonisches Gedächtnis (visuelles Gedächtnis) (*iconic memory*) Kurzzeitiges ▶ sensorisches Gedächtnis für visuelle Eindrücke. Die hier gespeicherten Inhalte werden als Ikon bezeichnet. Sie bestehen nur etwa 0,5–1 s.

Imitationslernen (Lernen durch Nachahmung) ▶ Lernen von neuen Verhaltensweisen durch die Beobachtung bestimmter Modelle, deren Verhalten (gleich oder später) nachgeahmt wird.

Implizites Gedächtnis (prozedurales Gedächtnis) (*implicit memory*) (1) Das Behalten unabhängig von bewusster Erinnerung. Speichert unser „Können". (2) Verfügbare Gedächtnisleistung (oft eine Leistungsverbesserung) ohne bewusste Erinnerung an die gemachte Erfahrung.

Implizites Lernen (*implicit learning*) Unabsichtliche Lernprozesse, wobei meist nicht bewusst wird, dass wir Wissen erwerben. Das Lernen läuft beiläufig ab (inzidentelles Lernen) und kann unbewusst bleiben (nicht verbal berichtbar) und trotzdem Verhalten beeinflussen (nach Dorsch 2013).

Induktion (vom lateinischen *inducere* für „hinführen") Bezeichnet in der Logik den Schluss, der von einem oder wenigen Fällen (dem Besonderen) auf alle Fälle einer Gesamtheit (das Allgemeine) schließt.

Induktives Schlussfolgern (induktives Denken) (*inductive reasoning*) Das Schlussfolgern in Situationen, in denen die abgeleiteten Schlüsse nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit aus den Prämissen folgen. Gegensatz: ▶ deduktives Schlussfolgern.

Induzierte Bewegung (*induced motion*) Die Scheinbewegung eines Objekts, die ausgelöst wird durch die wahrgenommene Bewegung eines weiteren Objekts (z. B. scheinbare Bewegung des Mondes hinter vorbeiziehenden Wolken). Ein kleines stationäres Objekt, das sich (im Film) innerhalb einer großen sich bewegenden Fläche (Hintergrund) befindet, erscheint bewegt, während der Hintergrund zu ruhen scheint.

Innere Uhr (Zirkadianoszillator) Angeborener endogener Rhythmusgeber. Er bestimmt für eine Reihe von Körper- und psychischen Funktionen die ▶ zirkadiane Rhythmik. Zentral hierfür sind im Gehirn die suprachiasmatischen Kerne des ▶ Hypothalamus (hier wird über spezielle Rezeptoren in den Augen das Schlaf-Wach-Verhalten angepasst/synchronisiert), sowie der Locus coeruleus im dorsalen Ponsbereich und das Corpus pineale (Zirbeldrüse).

Instinkt(-handlung) (1) Verhaltensweisen, die vollkommen ohne Erfahrung schon beim erstmaligen Ausführen beherrscht werden (Darwin 1871). (2) „… ein hierarchisch organisierter nervöser Mechanismus, der auf bestimmte vorwarnende, auslösende und richtende Impulse, sowohl innere, wie äußere, anspricht und sie mit wohl koordinierten lebens- und arterhaltenden Bewegungen beantwortet" (Tinbergen 1956).

Integrative Wiederholung (*integrativ rehearsal*) oder elaboriertes Wiederholen angenommener Prozess, durch den der Informationstransfer vom Kurzzeit- in das Langzeitgedächtnis erfolgt

Intrazelluläre Proteinbiosynthese Eiweißsynthese innerhalb von Nervenzellen. Sie ist erforderlich in der Gedächtniskonsolidierungsphase (Übergang von flüchtigerer KZG-Spur in dauerhafte LZG-Speicherung). Ihre Hemmung verhindert die dauerhafte Einprägung und Wiedergabe von Information.

Intrinsische Motivation ▶ Motivation, sich einer Sache oder Tätigkeit um ihrer selbst willen zu widmen. Gegensatz: ▶ extrinsische Motivation.

Introspektion Beobachtung und Registrierung der eigenen Wahrnehmungen, Gedanken und Gefühle.

Inverse Modellierung Bestimmung der zur Ausführung einer geplanten Bewegung notwendigen motorischen Kommandos.

IPSP (inhibitorisches postsynaptisches Potenzial) Hemmendes ▶ Aktionspotenzial.

Kategorisierung (*categorization*) Prozess der Zuordnung von Objekten zu einem ▶ Konzept.

Klassische Konditionierung (*classical conditioning*) Form des ▶ Lernens, bei der der Organismus durch wiederholte, zeitlich kontingente Darbietung von einem zunächst neutralen Reiz (CS) und einem bereits eine Reaktion auslösendem (unkonditionierten) Stimulus (US) eine Assoziation (Verknüpfung) zwischen diesen bildet, sodass der CS die Reaktion schließlich auch allein auslöst.

Koartikulation Veränderung der Aussprache eines Sprachlauts in Abhängigkeit von darauffolgenden Lauten.

Kognitive (Land-)Karte (*cognitive map*) Mentale Repräsentation der eigenen oder einer anderen Umgebung im Gedächtnis. Eine (hypothetische) mentale Repräsentation des Handlungsraumes beziehungsweise der Lernsituation, die Informationen über die verschiedenen Ereignisse derselben umfasst. So verhalten sich Ratten nach der Erkundung eines Labyrinths, als hätten sie eine solche Landkarte des Labyrinths entwickelt.

Kognitive Neuropsychologie (*cognitive neuropsychology*) Ansatz, der die Untersuchung der kognitiven Funktionen bei hirngeschädigten Patienten einschließt, zum besseren Verständnis normaler Kognition.

Kognitive Neurowissenschaft (*cognitive neuroscience*) interdisziplinärer Ansatz, der das Ziel hat, menschliche Kognition durch die Verbindung von Information vom Verhalten und von Hirnfunktionen zu verstehen (Eysenck und Keane 2010).

Kognitive Psychologie (*cognitive psychology*) Ansatz, der das Ziel hat, menschliche Kognition durch die Untersuchung des Verhaltens zu verstehen.

Kognitiver Engpass Mentale Operation, die zum selben Zeitpunkt nicht für mehr als eine Aufgabe durchgeführt werden kann.

Kompatibilität, ideometrische Reiz-Reaktions-Beziehung, bei der die zu gebende Reaktion dem zu beantwortenden Reiz stark ähnelt, zum Beispiel das Nachsprechen von Wörtern.

Kompatibilität, Reiz-Reaktions- Übereinstimmung zwischen Attributen eines Reizes und der auf den Reiz auszuführenden Reaktion, zum Beispiel, wenn linksseitig dargebotene Reize mit linksseitigen Tastendrücken und rechtsseitig dargebotene Reize mit rechtsseitigen Tastendrücken zu beantworten sind (räumliche Übereinstimmung)

Konditionierte Verstärker (sekundäre Verstärker) (*conditioned reinforcer*) Reize, die durch vorangegangene Assoziation mit einem Verstärkerreiz selbst verstärkend wirken.

Konjunktionsregel der Wahrscheinlichkeitstheorie Sie besagt, dass die Wahrscheinlichkeit einer Aussage (▶ Proposition) nicht geringer sein kann als die Wahrscheinlichkeit, die sie in Verbindung mit einer anderen Aussage hat.

Konnektionistische Modelle (*connectionist models*) Modelle kognitiver Prozesse, die ein Netzwerk von Verbindungen (*connections*) zwischen Merkmalsknoten annehmen, die erregend oder hemmend wirken können.

Konstanzmethode Psychophysische Methode, bei der mehrere Reizkonfigurationen mit unterschiedlicher Ausprägung einer Merkmalsdimension wiederholt in zufälliger Reihenfolge dargeboten werden.

Konstruktives Gedächtnis (*constructive memory*) Bezeichnung für die Eigenart unseres Gedächtnisses, Erinnertes aus den gespeicherten Repräsentationen neu zu rekonstruieren, das somit nicht unbedingt zutreffend sein muss.

Kontext Alle Elemente einer Kommunikationssituation, die das Verständnis einer Äußerung bestimmen (Bußmann 2002).

Kontexteffekte (*context effects*) Gelernte Information wird im gleichen ▶ Kontext besser erinnert als bei einem Kontextwechsel. Prinzip der ▶ Encodierspezifität.

Kontiguität (*contiguity*) Das bei der ▶ klassischen Konditionierung nach Pawlow notwendige Auftreten zweier Reize in großer zeitlicher und räumlicher Nähe.

Kontingenz (*contingency*) Verlässliche Vorhersage bei der ▶ klassischen Konditionierung. Sie ist gegeben, wenn der unkonditionierte Reiz (CS) den unkonditionierten Reiz (US) verlässlich (mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit) vorhersagt.

Konzept Nichtsprachliches Wissen im ▶ Langzeitgedächtnis über Objekte, Zustände, Geschehnisse oder Handlungen.

Konzeptualisierung Nichtsprachlicher vorbereitender Prozess bei der Sprachproduktion, bei dem ein intendiertes ▶ in das Arbeitsgedächnis gebracht und zur Formulierung vorbereitet wird.

Korrelationskoeffizient (*correlation coefficient*) Statistische Maßzahl, die das Ausmaß und die Richtung des Zusammenhangs (der Übereinstimmung) zwischen zwei oder auch mehr Merkmalsvariablen angibt (−1.0 = maximale negative Korrelation, 0 = keinerlei Beziehung, +1.0 = maximale positive Korrelation).

Kritische Perioden (*critical periods*) Zeitabschnitte im Leben eines Individuums, in denen für einen normalen Entwicklungsverlauf bestimmte Ereignisse, zumeist eine bestimmte Stimulation, eintreten müssen. – (*Spezifisch:* Zeitabschnitte, innerhalb derer eine kognitive Fähigkeit erworben werden muss, wenn sie später in normalem Ausmaß beherrscht werden soll).

Kurzzeitgedächtnis (KZG) (*short-term memory*) (1) Komponente des Gedächtnissystems mit beschränkter Kapazität (z. B. sieben Ziffern einer Handynummer), das erfasste Informationsinhalte nur für kurze Zeit festhält (um sie dann abzuspeichern oder zu vergessen). (2) Das Behalten kleiner Gedächtnismengen über sehr kurze Zeit (wenige Sekunden bis Minuten).

Langzeitgedächtnis (LZG) (*long-term memory*) Relativ zeitüberdauernder (von Minuten bis lebenslang) und unbegrenzt aufnahmefähiger Speicher des Gedächtnissystems, der Wissen, Fertigkeiten und Erfahrungen umfasst. Die langfristige Konsolidierung von Gedächtnisinhalten erfolgt offenbar im Wesentlichen über die cerebrale Proteinbiosynthese.

Late-closure-Prinzip Das Anbinden an die zuletzt verarbeitete Phrase.

Latentes Lernen (*latend learning*) Ein ▶ Lernen, das zunächst nicht gezeigt wird, aber demonstriert und sichtbar werden kann, sobald dafür eine Bekräftigung erfolgt bzw. ein Anreiz besteht, das Gelernte zu zeigen.

Laterale Hemmung Neuronale Verschaltung im Wahrnehmungsbereich, bei der neuronal benachbarte Elemente gehemmt werden und damit zu einer Kontrastverstärkung führen. In der Netzhaut sind die Horizontal- und Amakrinzellen daran beteiligt.

Lateralisiertes Bereitschaftspotenzial (LRP) Asymmetrische Ausprägung des ▶ Bereitschaftspotenzials, wenn eine Bewegung mit einem einseitigen Körperteil ausgeführt wird. Die Negativierung fällt in diesem Fall stärker an Elektroden aus, die kontralateral zum zu bewegenden Körperteil angebracht sind.

Leistungsmotivation (*achievement motivation*) Ausmaß des Strebens nach herausragenden Leistungen verbunden mit dem Wunsch nach Kontrolle und schnellem Erreichen eines hohen Standards (Myers 2008). Das Verlangen etwas Bedeutsames zu erreichen. Streben nach Erfolg.

Lemma (*lemma*) Repräsentation im mentalen Lexikon, in der die syntaktisch-strukturellen Eigenschaften eines ▶ Wortes (wie Wortklasse, Genus) codiert sind.

Lernen (*learning*) Relativ permanente Veränderung des Verhaltens als Folge von vorausgehender Erfahrung (Atkinson et al. 2000; Myers 2008). Genauer: Änderung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens bestimmter Verhaltensweisen in bestimmten Reizsituationen (oder des Verhaltenspotenzials), wobei es sich um eine direkte Folge früherer Begegnungen mit dieser oder einer ähnlichen Reizsituation handelt (vgl. Angermeier 1972).

Lernen am Erfolg Im Gegensatz zur Pawlowschen ▶ klassischen Konditionierung wird dieses Lernen nicht als eine Assoziation zwischen zwei Reizen verstanden, sondern als eine Reiz-Reaktions-(SR-)Assoziation, wobei diese Verbindung zwischen einem Stimulus (S) und der ausgewählten Reaktion (R) des Organismus durch Bekräftigung verstärkt wird (Gesetz des Effekts).

Lexikalische Entscheidung (*lexical decision task*) Aufgabe, bei der Personen so schnell wie möglich entscheiden, ob eine Buchstabenfolge (gesprochene Lautfoge) ein ▶ Wort ist oder nicht.

Lexikalisches Konzept (*lexical concept*) Abgeleitete Einheit aus einem oder mehreren ▶ Konzepten, für die eine Repräsentation im ▶ mentalen Lexikon vorhanden ist.

Limbisches System Ringförmig neurales Gebiet, das u. a. den ▶ Hippocampus, die ▶ Amygdala und den ▶ Hypothalamus umfasst. Es ist wesentlich an der Regulation von Emotionen, motivationalen Bedürfnissen und vegetativen Organfunktionen sowie Gedächtnisprozessen beteiligt.

Loci-Technik Behaltenstechnik, bei der die zu erinnernden Einheiten bildhaft mit einer bekannten räumlichen Sequenz, den Orten entlang eines Weges (*Loci)*, verknüpft werden, die dann als Hinweisreize für den richtigen sequenziellen Abruf dienen.

Löschung (Extinktion), Abschwächung bezeichnet bei der klassischen Konditionierung das Verschwinden einer konditionierten Reaktion, wenn dem CS kein US mehr folgt (bei der operanten Konditionierung, wenn die gelernte Reaktion nicht mehr bekräftigt wird.

Luzides Träumen (*lucid dreaming*) Traumerleben mancher Menschen, bei dem der Träumende, wie wachend, in das Traumgeschehen eingreifen oder auch Fragen stellen und den Verlauf beeinflussen kann.

Macht (*power*) siehe Machtmotivation.

Machtmotivation Das Bedürfnis nach Einfluss und Überlegenheit, nach Stärke und Dominanz, andere Menschen zu beeindrucken, zu kontrollieren (McClelland 1975).

Magnet-Resonanz-Tomografie (MRT) (auch Kernspin-Tomografie) (*magnetic resonance imaging, MRI*) Computergesteuertes Abtastverfahren, das starke Magnetfelder und Impulse im Radiowellenbereich nutzt, um Bilder von Gehirn und Körperquerschnitten zu erzeugen.

Mangelmotivationen Sie veranlassen uns, unser physisches oder psychisches Gleichgewicht wiederherzustellen.

Maskierung (*masking*) Unterdrückung der Wahrnehmung eines Reizes (z. B. visuell, auditorisch) durch einen zusätzlich kurz vor und/oder danach dargebotenen Reiz (den Maskierungsreiz) (s. auch ▶ Rückwärtsmaskierung).

McGurk-Effekt Einfluss visueller Information auf akustische Sprachwahrnehmung.

Meiose Die der Keimzellbildung vorausgehende Zellkernteilung, bei der der übliche (diploide) Chromosomensatz zum halbierten (haploiden) Chromosomensatz reduziert wird.

Membranpotenzial Elektrische Spannung an einer Membran, die auftritt, wenn sie verschieden konzentrierte Elektrolytlösungen voneinander trennt.

Mentale Rotation (*mental rotation*) Das vorgestellte Drehen eines mentalen Bildes um seine eigene Achse.

Mentales Lexikon (*mental lexicon*) Speicher des sprachlichen Wissens im ▶ Langzeitgedächtnis, in dem alle verfügbaren Informationen über ein ▶ Wort abgelegt sind. Dieses lexikalische Wissen umfasst die Regeln der Phonologie, der Morphologie, der Syntax sowie der Orthografie.

Mentales Modell (*mental model*) Räumlich-bildliche Vorstellung einer im Text dargestellten Begebenheit.

Merkmalsdetektor (*feature detector*) Ein ▶ Neuron im Gehirn, das vornehmlich auf ein bestimmtes Merkmal der Reizvorlage anspricht.

Merkmalstheorie, Merkmalsanalyse (*feature analysis*) Theorie zur Mustererkennung, die annimmt, dass wir einfache Merkmale extrahieren, um Muster oder Objekte zu erkennen.

Methode der Schlüsselbegriffe Behaltenstechnik, bei der eigentlich beziehungslose Elemente (▶ Wörter) bildhaft mit bekannten Schlüsselbegriffen assoziiert werden, was das Auffinden/Erinnern erleichtert.

Minimal-Attachment-Prinzip Das Vermeiden aller möglicherweise unnötigen Knoten.

Mitose Die der Zellteilung vorausgehende Zellkernteilung, bei der jede Tochterzelle den vollständigen (diploiden) Chromosomensatz erhält.

Mittel-Ziel-Analyse (*means-ends analysis*) Heuristische Strategie beim Problemlösen, die darauf basiert, Zwischenziele zu setzen, um die Differenz zwischen dem aktuelle Zustand und dem Zielzustand zu reduzieren (Unterschiedsreduktion).

Modus ponens (*modus ponens*) Regel der bedingten Aussagenlogik. Sie erlaubt das Schließen einer Konsequenz aus den gegebenen Prämissen (Antecedens). Wenn die Aussage (Proposition): „Wenn A, dann B" (1. Prämisse) gegeben ist und die Proposition A gilt (2. Prämisse), können wir auf B schließen (Konklusion), dass auch B gilt.

Modus tollens (*modus tollens*) Regel der bedingten Aussagenlogik. Sie erlaubt eine Schlussfolgerung, z. B. wenn die Proposition „A impliziert B" wahr (gegeben) und die Aussage „B" falsch ist, dann kann geschlossen werden, dass auch das Antecedens „A" falsch ist, da es das falsche B impliziert.

Morphem (*morpheme*) Die kleinste bedeutungstragende Einheit. *Hase* zum Beispiel ist ein Morphem, das ein Objekt bezeichnet, und *-te* ein Morphem, das die Vergangenheitsform anzeigt. Aber auch Artikel (der, die, das) und Präpositionen (an, auf) sind Morpheme, da sie eine Bedeutung tragen.

Morphologie Sie umfasst die Regeln der Wortbildung einer Sprache (z. B. Aufbau aus Wortstamm, Präfix und Suffix) sowie der Flexion (Beugung, also Konjugation und Deklination).

Motiv (1) etwas, das den Organismus zu einer Handlung anreizt oder das der Handlung eine beständige Richtung gibt, wenn der Organismus einmal in Tätigkeit ist. (Atkinson et al., 1993) Motiv (2) eine Bewertungsdisposition, durch die bestimmt wird, ob und wie stark vorhandene Reize (Situationen, Ereignisse, Tätigkeiten, erwarteter Zielzustand) Anreizcharakter zu einer Handlung erhalten.

Motivation bezieht sich generell auf das Ingangsetzen, Steuern und Aufrechterhalten von körperlichen und psychischen Aktivitäten (Zimbardo). Motivation bezeichnet das auf emotionaler und neuronaler Aktivität (Aktivierung) beruhende Streben des Menschen nach Zielen oder wünschenswerten Zielobjekten. Die Gesamtheit der Beweggründe (Motive), die zur Handlungsbereitschaft führen, nennt man Motivation. Die Umsetzung von Motiven in Handlungen nennt man ▶ Volition oder Umsetzungskompetenz. (Wikipedia, Mai 2014)

Motorische Transformation Umsetzung motorischer Kommandos in Bewegungen.

Mutation (*mutation*) Zufallsfehler bei der Genreplikation (bei der Zellteilung), der zu einer Anlageveränderung führt.

Natürliche Beobachtung (Feldbeobachtung) (*naturalistic observation*) Beobachten und Erfassen von natürlich auftretendem Verhalten ohne experimentelle Manipulation oder Kontrolle der Variablen. Gegensatz: ▶ direkte Beobachtung.

Negative Verstärker (*negative reinforcer*) Reize, die, wenn sie nach einer Reaktion entfernt werden, zu einer Bekräftigung und damit zu einer höheren Auftretenswahrscheinlichkeit der Reaktion führen. Beispiele hierfür sind das Abschalten von starkem Lärm, grellem Licht oder das Entziehen von Zuwendung und Aufmerksamkeit (nicht zu verwechseln mit ▶ Bestrafung!). Gegensatz ▶ Positive Verstärker.

Negative Verstärkung (*negative reinforcement*) Zunahme der Häufigkeit eines Verhaltens, wenn negative Reize nicht mehr oder schwächer dargeboten werden.

Neglekt (*neglect*) Medizinisch-neurologisches Störungsbild, charakterisiert durch die Nichtbeachtung von Reizen, die sich auf der kontralateralen Seite der zugrunde liegenden Hirnschädigung befinden. Es gibt visuelle, auditorische, somatosensible, olfaktorische, motorische wie auch repräsentationale Formen. Die Reize bleiben nicht erkannt und nicht beantwortet.

Neuron (Nervenzelle) (*neuron*) Grundeinheit des Nervensystems, bestehend aus Zellkörper (Soma) und ihren Fortsätzen: dem efferenten ▶ Axon und den afferenten ▶ Dendriten.

Neuronenensembles (*cell assemblies*) Funktionelle Einheiten des zentralen Nervensystems. Diese ▶ Zellverbände umfassen etwa 1000 bis 10.000 Zellen.

Neurotransmitter Chemische Botenstoffe, die an Synapsen bei Erregung präsynaptisch freigesetzt werden und nach Überqueren des synaptischen Spalts postsynaptisch erregende oder hemmende Potenziale (▶ EPSP bzw. ▶ IPSP) auslösen. Bekannte Transmitter sind ▶ Acetylcholin, Dopamin, ▶ Epinephrin, Norepinephrin, Serotonin.

Non-REM-Rebound Verlängerung der Schlafstadien S3 und S4 (Tiefschlaf) nach längerem Gesamtschlafentzug.

Non-REM-Schlaf (NRM-Schlaf) Die Schlafphase, in der keine schnellen Augenbewegungen auftreten (Tiefschlafphase), charakterisiert durch langwelliges EEG (▶ Elektroencephalogramm) und durch weniger oder keine Traumaktivität.

Normierung, Standardisierung (*standardization*) Die einheitliche Festlegung der Beobachtung, Registrierung und Messung.

Nozizeption (*nociception*) Schmerzwahrnehmung.

Olfaktion (*olfaction*) Geruchssinn.

Open-Loop-Steuerung ▶ Programmsteuerung.

Operante Konditionierung (*operant conditioning*) (1) Form des ▶ Lernens, bei der ein Verhalten zunimmt, weil ihm ein Verstärker folgt, oder abnimmt, weil ihm z. B. eine ▶ Bestrafung folgt (Myers 2008). (2) Der Organismus lernt eine dreifache ▶ Kontingenz: Eine bestimmte Reaktion in einer bestimmten Reizsituation wird von einem Reinforcement gefolgt (J. R. Anderson 2000).

Operationale Definition Eine Sache (ein Konstrukt) wird nur insoweit definiert, als sie sich durch Angabe von Operationen oder Messverfahren empirisch fassen lässt. Als Problem bleibt, dass es dementsprechend mehrere operationale Definitionen für ein komplexes Konstrukt geben kann. Vermieden wird dagegen die Mehrdeutigkeit alltagssprachlicher deskriptiver Begriffe.

Ortsbasierte Selektivität Die Ausrichtung eines visuellen Aufmerksamkeitsfokus auf einen bestimmten Bereich des Gesichtsfeldes, wodurch es zu überlegenen Leistungen in der Reaktion auf in diesem Bereich dargebotene Reize kommt.

Paradoxer Schlaf (*paradoxical sleep*) ▶ REM-Schlaf.

Parsing Analyse der syntaktischen oder grammatikalischen Struktur eines Satzes.

Periodizitätstheorie Dieser Theorie zufolge wird die Tonfrequenz durch die gleich hohe Frequenz der erzeugten Nervenimpulse codiert und ermöglicht so die Tonhöhenwahrnehmung.

Peripheres Nervensystem Gesamtheit der Nerven außerhalb von Gehirn und Rückenmark. ▶ autonomes Nervensystem.

Perseveration Wiederholung eines zuvor gezeigten, mittlerweile situationsunangemessenen Verhaltens.

Perzept (*percept*) Resultat des Wahrnehmungsprozesses; das, was das Individuum wahrnimmt. Die Wahrnehmungshypothese.

PET ▶ Positronen-Emissions-Tomografie,

Pheromone Körpereigene Duftstoffe, die der innerartlichen Kommunikation dienen.

Phi-Phänomen ▶ Stroboskopische Bewegung, die erscheint, wenn Lichtreize in bestimmter kurzzeitiger Abfolge aufleuchten.

Phon (*phon*) Maßeinheit für die subjektiv empfundene Lautstärke, bezogen auf den Pegel des Normaltones von 1000 Hz. Die Phonskala reicht von 0 Phon (Hörschwelle) bis etwa 130 Phon (Schmerzschwelle).

Phonem (*phoneme*) (1) Kleinste sprachliche Lauteinheit in einer gesprochenen Sprache, deren Veränderung zu einer Veränderung der Bedeutung der Äußerung führen kann (Anderson 1996). (2) Kleinste lautliche Einheit mit bedeutungsunterscheidender Funktion. (3) Bündel von phonologischen Merkmalen (Zwitserlood 2008).

Phonologie (*phonology*) Die Regeln der Lautbildung und Regeln der Prosodie (Betonungsmuster, Intonation, Sprachrhythmen) einer Sprache.

Phonologische Schleife (*phonological loop*) Ein von Baddeley im ▶ Arbeitsgedächtnis angenommenes Subsystem, in dem akustische und artikulatorische Information verarbeitet und erhalten wird. Visuell präsentierte sprachliche Information wird beim Lesen in einen artikulatorischen Code übersetzt und so ebenfalls hier gespeichert (subvokales Wiederholen, Rehearsal).

Phrase (*phrase*) Satzeinheit; eine Gruppe von Wörtern, die zusammen eine Idee ausdrücken (z. B. ein altes Buch = Nominalphrase).

Placeboeffekt (*placebo effect*) Ergebnis eines Experiments, einer Behandlung, bei denen die Wirkung ausschließlich durch die Erwartung einer Wirkung zustande kommt.

Positionseffekt ▶ serieller Positionseffekt.

Positive Verstärker (*positive reinforcers*) Reize, die zu einer Stärkung oder höheren Auftretenswahrscheinlichkeit einer vorausgegangenen Reaktion oder Verhaltensweise führen. Futter oder Wärme sind positive Verstärker für Tiere; Aufmerksamkeit, Lob oder Geld sind gebräuchliche Verstärker bei Menschen. Gegensatz ▶ negative Verstärker.

Positronen-Emissions-Tomografie (PET) (*positron emission tomography*) computerbasiertes bildgebendes Verfahren (nach Injektion einer radioaktiven Substanz) zur Messung des Blutflusses an definierten Stellen des Gehirns, um damit die neuronalen Aktivitäten des lebenden Gehirns zu kartographieren. Es hat eine gute räumliche, aber eine schwache zeitliche Auflösung.

Post-error slowing Verlängerung der Reaktionszeit, nachdem ein Fehler gemacht wurde.

PQRST-Methode Technik zum Lesen und Erarbeiten von Informationen aus Lehrbüchern, mit den Schritten: Vorschau (***P**review*), Fragen (***Q**uestion*), Lesen (***R**ead*), Wiederholen (***S**elf recitation*) und anschließendem **T**est.

Pragmatisches Wissen (*pragmatics*) Wissen über die Art, wie Sprache in der realen Welt gebraucht und verstanden wird, auch unter Berücksichtigung der intendierten (nicht literarischen) Bedeutung (*meaning*), z. B. Metaphern.

Prägung (*imprinting*) Meist in der frühen Jugend erfolgende Lernprozesse, die an sensible Phasen der Verhaltensentwicklung gebunden sind und zu überdauernden (oft irreversiblen) Verhaltensänderungen führen.

Primacy-Effekt ▶ serieller Positionseffekt.

Primäre Emotionen (Basisemotionen) (*primary emotions*) Relativ kleine Anzahl (2 bis 11) von Emotionen, die generell jede durch eine ganz spezifische, aber universelle Bewertung (*appraisal*) einer bestimmten typischen Situation oder eines Ereignisses ausgelöst wird (nach Plutchik 1980).

Primärer visueller Cortex Das auch als Area striata bezeichnete Areal im Hinterhauptlappen, das Signale vom ▶ Corpus geniculatum laterale erhält.

Primäre Triebe ▶ Trieb.

Priming (*priming*) Befund, dass die vorangehende Darbietung relevanter oder ähnlicher Reize die Verarbeitung nachfolgender Reize erleichtert. Vielfach unbewusst erfolgende Aktivierung spezifischer Assoziationen im Gedächtnis aufgrund von Vorerfahrungen mit den betreffenden Informationen, wodurch ▶ Wahrnehmung, Erinnern oder Reagieren in bestimmter Hinsicht sensibilisiert werden.

Proaktive Hemmung Vorwärtswirkende Gedächtnishemmung eines ersten gelernten Materials (z. B. Liste von Wörtern) auf das Wiedererinnern eines später gelernten Materials.

Proaktive Interferenz Hemmende Wirkung eines vorausgegangenen Lernmaterials auf Lernen und Behalten neuer Information. Gegensatz: ▶ retroaktive Interferenz.

Problemlösestrategien Strategien, die zur Lösung von Problemen dienen. Besonderes Interesse erfuhren solche, bei denen das Problem in Teilziele zer-

legt wird (s. auch ▶ Mittel-Ziel-Analyse, Unterschiedsreduktion, Rückwärtssuche).

Programmsteuerung Steuerungsform von Bewegungen, die anhand eines vor Bewegungsbeginn festgelegten Planes, ohne Berücksichtigung sensorischen Feedbacks, erfolgt.

Proposition (*proposition*) (1) (Abstrakte) Bedeutungseinheit, die eine Beziehung zwischen ▶ Konzepten, Gegenständen oder Ereignissen ausdrückt. Sie wird auch als kleinste Wissenseinheit bezeichnet. (2) Kleinste Wissenseinheit, die eine eigenständige Aussage bildet und die als wahr oder falsch kategorisiert werden kann. Sie besteht aus einem Prädikat und in der Regel aus mehreren Argumenten.

Propositionales Netzwerk (*propositional network*) Darstellungsform, bei der die Beziehungen innerhalb und zwischen ▶ Propositionen als Netzwerk angeordnet sind.

Propriozeption (*proprioception*) Über Propriozeptoren in Muskeln, Sehnen und Gelenken vermittelte Wahrnehmung der Bewegung und Stellung der eigenen Körperteile sowie Kontrolle der Körperhaltung.

Prosodie (*prosody*) Satzmelodie, hervorgerufen durch Betonung, Intonation, Frequenz, Geschwindigkeit und Pausen beim Sprechen.

Protein Organisches Molekül aus einer Vielzahl miteinander verbundener Aminosäuren, deren gefaltete und gedrehte Struktur ihm viele Funktionen ermöglicht.

Proteinsynthese Bildung von Proteinen (Eiweißmolekülen); findet an den Ribosomen in der lebenden Zelle statt.

Proximaler Reiz Projiziertes Abbild (die ankommende Reizenergie) auf dem Sinnesorgan (z. B. Netzhautbild). Gegensatz: ▶ distaler Reiz.

Prozedurales Gedächtnis ▶ implizites Gedächtnis.

Psychoanalyse (*psychoanalysis*) (1) Von Freud begründete Disziplin (Persönlichkeitstheorie), in der die Untersuchung unbewusster Konflikte, die für unser Verhalten und unsere Motive bestimmend sind, im Vordergrund steht. (2) Name eines Verfahrens zur Untersuchung seelischer Vorgänge, die sonst kaum zugänglich sind. (3) Darauf aufbauend, Behandlungsmethode neurotischer Störungen.

Psychologische Refraktärperiode (PRP) Verzögerte Ausführung einer Aufgabe, wenn der zu bearbeitende Reiz sehr kurzzeitig nach einem anderen Reiz dargeboten wird, der gemäß einer anderen Aufgabe zu bearbeiten ist.

Psychologischer Test (*psychological test*) Verfahren zur Messung psychologisch bedeutsamer Merkmale oder Eigenschaften mit dem Ziel einer quantitativen Bestimmung der untersuchten Merkmalsausprägung.

Psychophysik Untersuchung der Beziehungen zwischen den physikalischen Merkmalen von Reizen und unserem psychischen Erleben dieser Reize (äußere Psychophysik nach Fechner. Innere Psychophysik: Beziehung der Seele zu körperlichen Innenwelt). Heute meist auf die Untersuchung der sensorischen Reaktionen auf physikalische Stimulation eingeschränkt.

Querdisparation Tiefenhinweis, der sich aus einer Abweichung der beiden Netzhautbilder bei der Betrachtung eines Gegenstands ergibt. Seine „Verrechnung" im Zentralnervensystem ermöglicht uns eine räumliche, plastische Wahrnehmung (stereoskopisches oder 3-D-Sehen).

Reafferenzprinzip Rückführung efferenter motorischer Kommandosignale (▶ Efferenzkopie) und Verrechnung dieser mit afferenten Signalen, um das Bild der Umwelt bei Körperbewegungen stabil zu halten.

Reaktionsausführung Ausführung einer Bewegung aufgrund der ▶ Wahrnehmung eines Reizes.

Reaktionsauswahl Prozesse der Zuordnung eines wahrgenommenen Reizes zur zugehörigen Reaktion in einer Wahlreaktionsaufgabe.

Reaktionsgeneralisation Tendenz, dass bei der Konditionierung einer bestimmten Reaktion andere Reaktionen mit aktiviert und mit konditioniert werden; die Reaktion generalisiert.

Recency-Effekt ▶ serieller Positionseffekt.

Reduktionismus (*reductionism*) Der Versuch, psychologische Phänomene auf biologische Strukturen und Prozesse zurückzuführen.

Reflex Ungelernte, unwillkürliche (gleichartig verlaufende) Reaktion (Bewegung, Drüsensekretion, Gefäßverengung) auf einen spezifischen Reiz, z. B. Kniesehnenreflex.

Reflexbogen (Reflexbahn) Er besteht aus afferenter Nervenfaser vom Rezeptor zum Zentralnervensystem, einem oder mehreren Interneuronen und der efferenten Nervenfaser zum Erfolgsorgan, z. B. Kniesehnenreflex.

Regelung Steuerungsform von Bewegungen, die zur Minimierung von Soll-/Ist-Wert-Abweichungen sensorisches Feedback berücksichtigt.

Rehearsal ▶ Wiederholung.

Reine Töne Sie bestehen aus Schallwellen einer einzigen Frequenz. Klänge beziehungsweise Töne unterschiedlicher Klangfarbe enthalten Schallwellen mehrerer Frequenzen; Geräusche dagegen enthalten praktisch alle Frequenzen des Hörbereichs.

Reizdiskrimination (*discrimination*) (1) In der ▶ klassischen Konditionierung die gelernte Fähigkeit, den konditionierten Reiz von anderen Reizen zu unterscheiden, die keinen konditionierten Reiz anzeigen. (2) Der Organismus lernt, auf Reize, die dem ursprünglich konditionierten Reiz ähnlich sind, nicht mehr mit der konditionierten Verhaltensreaktion zu reagieren. Die Diskriminationsfähigkeit wird geschärft.

Reizgeneralisation (*generalization*) Nach erfolgter Konditionierung zeigen Reize, die dem konditionierten Reiz (CS) ähnlich sind, entsprechend ihrem Ähnlichkeitsgrad die Tendenz, die Reaktion ebenfalls auszulösen: Die Wirksamkeit des CS generalisiert auf ähnliche Reize.

Reizidentifikation Prozesse der Encodierung diskriminativer Merkmale eines Reizes.

Reiz-Reaktions-Kompatibilität Übereinstimmung zwischen Attributen eines Reizes und der auf den Reiz auszuführenden Reaktion, zum Beispiel wenn linksseitig dargebotene Reize mit linksseitigen Tastendrücken und rechtsseitig dargebotene Reize mit rechtsseitigen Tastendrücken zu beantworten sind (räumliche Wiederholung).

Reliabilität (*reliability*) Zuverlässigkeit, mit der ein Testverfahren das zu messende Merkmal genau misst. Messgenauigkeit. Reliabilität ist dann gegeben, wenn eine Messwiederholung zu konsistenten Resultaten führt.

REM-Rebound Tendenz zur Verlängerung der REM-Schlafphasen nach längerem REM-Schlafentzug oder auch Gesamtschlafentzug.

REM-Schlaf Schlafphasen mit schnellen Augenbewegungen (*rapid **e**ye **m**ovements*), in denen zumeist lebhaft geträumt wird, bei allgemeiner Muskelentspannung und gleichzeitiger Aktivitätszunahme des ▶ autonomen Nervensystems. Daher auch paradoxer Schlaf genannt.

Retina (Netzhaut) Lichtempfindliche innere Schicht des Auges, in der die ▶ Stäbchen und ▶ Zapfen (Fotorezeptoren) sowie Neuronenschichten enthalten sind, in denen die Verarbeitung der visuellen Information beginnt.

Retroaktive Hemmung Rückwirkende Gedächtnishemmung eines zweiten gelernten Materials (z. B. Liste von Wörtern) auf das Behalten des erstgelernten. Gegensatz: ▶ proaktive Hemmung.

Retroaktive Interferenz Hemmende Wirkung nachfolgender Lerninhalte auf vorher Gelerntes. Gegensatz: ▶ proaktive Interferenz.

Retrograde Amnesie (rückwärts wirkende Amnesie) (*retrograde amnesia*) Erinnerungsverlust an Ereignisse, die vor einem die ▶ Amnesie auslösenden Trauma stattfanden. Gegensatz: ▶ anterograde Amnesie.

Reverberatorische Neuronenkreise (Kreisverbände) (*reverbaratory circuits*) Kreisförmig geschlossene Erregungsverläufe in durch erregende Synapsen miteinander stärker verbundenen Nervennetzen, wodurch ein Erregungsmuster (eines Engramms) hier einige Zeit zirkulieren und erhalten bleiben kann.

Rezeptives Feld Der jedem inneren ▶ Neuron des visuellen Systems zugeordnete Bereich von Rezeptorzellen der ▶ Retina, dessen Reizung zu einer bestimmten Reizantwort dieses Neurons führt.

Rezeptor (1) Proteinmolekül, das für einen bestimmten chemischen Stoff empfindlich ist, mit ihm bindet, um eine Wirkung auszulösen (Rezeptormolekül). (2) Spezialisierte, für bestimmte Reizarten empfindliche Zelle, die mit afferenten ▶ Neuronen verbunden ist (Sinnesrezeptor). (3) Ungenauer auch Bezeichnung für das Organ, das solche Zellen enthält.

Rezeptorpotenzial ▶ Generatorpotenzial.

Rückschaufehler (*hindsight bias*, auch: *I knew-it-all-along effect*) Tendenz, bei Erhalt einer Nachricht über den Ausgang eines Ereignisses retrospektiv die Eintrittswahrscheinlichkeit zu überschätzen.

Rückwärtsanalyse (*working backward*) Strategie beim Problemlösen, bei der man sich vom Zielzustand zum aktuellen Zustand zurückarbeitet.

Rückwärtshemmung (*backward inhibition*) Angenommene Hemmung des ▶ Task-Sets einer zuvor bearbeiteten Aufgabe beim Wechsel auf eine andere Aufgabe.

Rückwärtsmaskierung (*backward masking*) die Beeinträchtigung der Identifikation eines Testreizes durch einen in kurzem zeitlichen Abstand folgenden Maskierreiz.(s. auch ▶ Maskierung).

Ruhepotenzial (*resting potential*) Elektrische Spannung (Polarisation) an der Membran zwischen Zellinnerem (–) und -äußerem (+) eines Neurons, das vorliegt, wenn kein ▶ Aktionspotenzial weitergeleitet wird.

Sakkadische Suppression Eingeschränkte Aufnahme visueller Reize beim Ausführen einer Blickbewegung.

Schall Hörbare Druckschwankungen eines elastischen Mediums, zumeist Luft oder Wasser.

Schalldruck Frequenzabhängig als Lautstärke empfunden. Der minimale ▶ Schalldruckpegel, der zur Wahrnehmung eines Tones nötig ist, bezeichnet seine Hörschwelle. Die Hörschwelle ist frequenzabhängig.

Schalldruckpegel (*sound pressure level, SPL*) Bezeichnung der Schallstärke, gemessen in dB SPL.

Scheinbewegung (*apparent motion*) ▶ stroboskopische Bewegung, ▶ Phi-Phänomen.

Schema Kognitive Repräsentation einer Klasse von Objekten, Personen, Ereignissen oder Situationen. Es ist ein Wissensbündel, das Generalisierungen encodiert. Schemata beeinflussen sowohl Prozesse des Encodierens in das ▶ Langzeitgedächtnis als auch Prozesse des Abrufs.

Schlaf Periodischer, natürlicher, reversibler Verlust des Wachbewusstseins.

Schlafzyklus (*sleep cycle*) Bezeichnung für den wiederholten regulären Schlafverlauf vom Leichtschlaf (Stadium 1) über die Stadien 2, 3, 4 und zurück zum ▶ REM-Schlaf, mit einer Dauer von etwa 90–110 min.

Schlüsselreiz (Auslösereiz) (*sign stimulus*) Einzelreiz oder Reizmuster, der oder das bei ▶ Wahrnehmung eine bestimmte, meist angeborene Verhaltensweise auslöst.

Schlussfolgerndes Denken ▶ deduktives Schlussfolgern, ▶ induktives Schlussfolgern.

Schmerzempfindung Zu dieser tragen sowohl sensorische, affektive, vegetative und motorische wie auch kognitive Komponenten bei.

Segmentierung (*segmentation*) Aktiver Prozess der Worterkennung, durch den der kontinuierliche Sprachstrom in einzelne ▶ Wörter unterteilt wird.

Sekundäre Triebe ▶ Motivationen, die durch entsprechende Konditionierung erlernt werden können. Gegensatz: primäre Triebe ▶ Trieb

Selbstwirksamkeit (*self efficacy*) Subjektive Einschätzung, dass man das verfolgte Ziel, die Leistung, durch eigene Leistung erreichen zu können.

Selektive Aufmerksamkeit (*selective attention*) Konzentration des Bewusstseins auf einen bestimmten Stimulus, z. B. beim Cocktailpartyeffekt. Allgemeiner: Sammelbegriff für Prozesse der Auswahl von Informationen für eine bevorzugte Verarbeitung.

Semantik (*semantics*) (1) Gesamtheit der Regeln in einer Sprache, durch die wir aus ▶ Morphemen, ▶ Wörtern und Sätzen die Bedeutung ableiten. (2) Wissenschaft von der Bedeutung.

Semantisches Gedächtnis (*semantic memory*) Encodiert allgemeines Wissen (Faktenwissen) in Relation zu anderen Wissensbeständen und nicht in Relation zur eigenen Person.

Semantisches Wissen In semantischen oder propositionalen Netzwerken repräsentiertes Wissen.

Sensitivierung (*sensitization*) Prozess, bei dem der Organismus lernt, eine Reaktion auf einen Reiz zu intensivieren, wenn diesem ein bedrohlicher oder schmerzhafter Reiz folgt.

Sensorisches Gedächtnis (*sensory buffer*) Unmittelbare, flüchtige Zwischenspeicherung sensorischer Informationen. Es besitzt eine sehr hohe Kapazität, die alle eingehenden Informationen registriert, und zwar vor jeglicher Selektion oder kategorialer Zuordnung. Es handelt sich also um ein präkategoriales Gedächtnis (Crowder und Morton 1969). Die Repräsentation ist originalgetreu. Die Gedächtnisdauer ist extrem kurz.

Serieller Positionseffekt (*seriell position effect*) siehe Positionseffekt, serieller.

Shaping Die Veränderung des Verhaltens durch stufenweise Annäherung, das heißt in aufeinanderfolgenden kleinen Schritten, wobei jeder Schritt eine weitere Annäherung an die erwünschte Leistung bedeutet.

Signalentdeckungstheorie (*signal detection theory, SET*) Sie geht davon aus, dass die ▶ Wahrnehmung (Entdeckung) eines schwachen Reizes nicht allein von dem sensorischen Prozess (Signalstärke und Zufallsrauschen) abhängig ist, sondern auch von dem individuellen Entscheidungsprozess (bei dem Erwartung, Erfahrung, ▶ Motivation, Antworttendenz oder Aufmerksamkeit mitspielen) mitbestimmt wird. Sie ermöglicht, aus dem Antwortverhalten in einem Signalentdeckungsexperiment sowohl Maße für die Sensitivität als auch für den Response Bias (das Entscheidungskriterium) zu berechnen.

Simon-Effekt Räumlicher Kompatibilitätseffekt, wenn die Reizposition für die instruierte Aufgabe ohne Belang ist.

Skripte (*scripts*) Besondere Form von Schema. Sie beinhalten die stereotypisierten Verhaltenssequenzen in bestimmten bekannten Situationen, z. B. die üblichen Verhaltensabfolgen bei einem Restaurantbesuch.

Soziogene Motive ▶ Motive, für die eine genetische Basis derzeit nicht überzeugend nachgewiesen werden kann (Schneider und Schmalt 1981).

Spiegelneurone (*mirror neurons*) ▶ Neurone im Stirnlappen, die reagieren, wenn bestimmte Tätigkeiten entweder selbst ausgeführt oder bei jemand anderem beobachtet werden. Dieser Vorgang des Spiegelns eines Verhaltens bei einem anderen Menschen trägt zur Nachahmung und Erlernen von Sprachen und Empathie bei.

Spontanerholung (*spontaneous recovery*) Spontanes Wiederauftreten einer zuvor gelöschten konditionierten Reaktion (CR) nach einer Ruhephase.

Sprachlaute ▶ Phoneme.

Stäbchen (*rods*) Photorezeptoren in der ▶ Retina, die achromatische Empfindungen (schwarz-weiß/hell-dunkel) bewirken und für das periphere Sehen sowie das Nachtsehen (skotopisches Sehen) erforderlich sind.

Stereoskopisches Sehen (Stereopsis) (*stereoptic vision*) Die binokulare Wahrnehmung räumlicher Tiefe und Entfernung eines Objekts (1) aufgrund der überlappenden Sehfelder beider Augen und der damit verbundenen ▶ Querdisparation oder (2) aufgrund der Darbietung entsprechend verschobener Bilder getrennt für beide Augen (3-D-Brillen).

Stereotyp (*stereotype*) (1) Verallgemeinernde, nicht unbedingt richtige, übergeneralisierende Überzeugung über eine Gruppe von Individuen. (2) Eine Menge von Inferenzen (oft von Vorurteilen) über die Persönlichkeits- oder Körpermerkmale einer ganzen Klasse von Personen.

Stevenssche Potenzfunktion Sie besagt, dass die Erlebnisstärke (E) zu einer (jeweils bestimmten) Potenz der Reizintensität (S) proportional ist.

Stimmung (*mood*) Länger dauernder, schwacher emotionaler Zustand, bei dem ein Objektbezug oder Auslöser nicht notwendig vorhanden sein muss.

Stimulus Onset Asynchrony (SOA) Zeitlicher Abstand des Darbietungsbeginns zweier aufeinanderfolgend dargebotener Reize.

Stress Reaktionsmuster des Organismus auf noxische (schädigende) physische oder psychische Reizereignisse, die seine Bewältigungsfähigkeiten übermäßig belasten oder überschreiten.

Stressor Reizeinfluss, der auf den Organismus übermäßig einwirkt und bei diesem zu einer adaptiven Reaktion führt.

Stroboskopische Bewegung (*stroboscopic motion*) Scheinbewegung, Bewegungstäuschung, die bei sukzessiver Darbietung diskreter Reizmuster resultiert (Filmvorführung).

Stroop-Effekt Verlangsamte Farbbenennung, wenn der dargebotene Reiz aus einem Farbwort besteht, das eine andere Farbe benennt (z. B. das Wort BLAU in roter Farbe).

Strukturalismus (*structuralism*) Auf W. Wundt und Schüler zurückgehende psychologische Richtung, die besonderen Wer darauf legt, dass psychische Einheiten in besonderer Art verbundene (strukturierte) Elemente sind. Gegensatz zum gleichzeitig herrschenden ▶ Funktionalismus.

Syllogismus (*syllogism*) Schlussfolgerungsfigur, in der aus Prämissen eine Conclusio logisch abgeleitet wird. Kategorialer Syllogismus, wenn es sich dabei um Kategorien handelt.

Synapse Verbindungsstelle zwischen präsynaptischem Endknopf und postsynaptischer Membran eines nachgeschalteten ▶ Neurons, das die Impulse über den synaptischen Spalt erhält.

Syntax (*syntax*) Regeln, nach denen in einer Sprache ▶ Wörter zu sinnvollen Sätzen aneinandergereiht werden.

Task-Set Einstellung des kognitiven Systems, die die Ausführung einer spezifischen Aufgabe auf einen dargebotenen Reiz erlaubt.

Texturgradient (*texture gradient*) Hinweisreiz für unmittelbare Tiefenwahrnehmung. Die nach hinten (oben) zunehmend dichtere Packung der Strukturelemente einer Oberfläche. Sie lässt diese perspektivisch erscheinen.

Theorie (*theory*) Auf Prinzipien gestütztes Erklärungsmodell, das Beobachtungen in einen Zusammenhang stellt und Vorhersagen ermöglicht

Tiefenkriterien Informationen über die räumliche Tiefe und Beobachtungsentfernung, die zum überwiegenden Teil aus den zweidimensionalen Abbildungen realer Szenen auf den Netzhäuten beider Augen entnommen werden können. Weiter werden unterschieden: bewegungsinduzierte, binokolare, monokulare und okulomotorische Tiefenkriterien.

Tip-of-the-Tongue-Phänomen Gedächtnisphänomen, bei dem das gesuchte Wort „auf der Zunge" liegt, es aber zu einem bestimmten Zeitpunkt nicht erinnert werden kann.

Tonhöhe (*pitch*) Die Höhe oder Tiefe eines Tones hängt von der Frequenz ab.

Top-down-Verarbeitung (*top-down-processing*) Diese absteigende, konzeptgesteuerte Informationsverarbeitung findet statt, wenn wir Wahrnehmungen durch höhere mentale Prozesse gesteuert interpretieren, z. B. aufgrund unserer Erfahrungen oder Erwartungen.

Transduktion (*transduction*) Umwandlung einer Energieform in eine andere. Im Bereich der ▶ Wahrnehmung die Umwandlung von Reizenergien (wie Lichtreize, Töne Gerüche) in Nervenimpulse, die über mehrere synaptische Verschaltungen zum Cortex weitergeleitet werden, wo sie interpretiert werden können.

Transmission Über die Gehörknöchelchen erfolgende mechanische Verstärkung des Schallschwingungsdruckes.

Trieb (primäre Triebe) (*drive, primary drive*) (1) Eine aus dem Körperinneren kommende, konstant wirkende Kraft, ohne bewussten Zweck, die ohne Mitwirkung des Bewusstseins und des Denkens zustande kommt, dann aber bewusst erlebt wird und uns zu Handlungen bewegt oder antreibt (motiviert) (S. Freud 1915). (2) Das Erleben eines autogen entstehenden Dranges, wobei zumeist auch eine Zielvorstellung gegeben ist (nach Rohracher).

Triebreduktionstheorie (*drive-reduction theory*) Annahme, dass ein physiologisches Bedürfnis eine Erregung erzeugt (einen ▶ Trieb), der den Organismus motiviert, das Bedürfnis zu befriedigen. Die Abnahme der Triebspannung (Triebreduktion) wird psychologisch als Triebbefriedigung erlebt (Hull 1943).

Übersprungshandlung (*displacement activity*) In Konflicktsituationen auftretende irrelevante oder deplatzierte Handlung, die keiner der beiden aktuellen, im Widerstreit stehenden Handlungsbereitschaften zugeordnet werden kann.

Unbewusstes (*unconsciousness*) (1) Laut Freud ein Bereich der menschlichen Psyche für meist inakzeptable Gedanken, Wünsche Gefühle und Erinnerungen. (2) In der neueren (kognitiven) Psychologie Begriff für eine Form der Informationsverarbeitung, derer wir uns nicht bewusst sind.

Unterschiedsschwelle Reizintensität, bei der die Hälfte der Versuche (50 %) zum Entdecken eines Reizunterschieds führt.

Utilization Behaviour Durch habituelle Handlungen dominiertes Verhalten nach Hirnschädigung.

Validität (Gültigkeit) (*validity*) Grad der Genauigkeit, mit der ein Test dasjenige Merkmal (beziehungsweise das Verhalten), das es messen soll oder zu messen vorgibt, tatsächlich misst (Lienert 1961).

Ventraler Pfad Verarbeitungsroute visueller Information, die vom visuellen zum temporalen Cortex verläuft und vermutlich dem Erkennen von Objekten und Reizmerkmalen dient. Gegensatz: ▶ dorsaler Pfad.

Veränderter Bewusstseinszustand (*altered states of consciousness*) „Eine derartige qualitative Veränderung des Gesamtmusters psychischen Funktionierens, dass das eigene Bewusstsein sich radikal von der Art unterscheidet, wie es‚normalerweise' funktioniert" (Tart 1972).

Verarbeitungstiefe (*depth of processing*) Nach dieser Theorie wird das Gedächtnis für Informationen verbessert, wenn diese auf einer tieferen Analyseebene verarbeitet werden.

Verdrängung (*repression*) In der psychoanalytischen Theorie ein Prozess, durch den Gedanken, Gefühle, Erinnerungen, die Angst auslösen, aus dem Bewusstsein „verdrängt" werden (wichtigster, Abwehrmechanismus).

Verhaltensgedächtnis Entspricht dem ▶ impliziten Gedächtnis oder ▶ prozeduralen Gedächtnis, in dem unser „Können" gespeichert ist.

Verlustaversion (*loss aversion*) Die Tendenz, gegenüber potenziellen Verlusten sensitiver zu sein als gegenüber potenziellen Gewinnen.

Verstärker (*reinforcer*) Bei der ▶ operanten Konditionierung jedes Ereignis, das die Wahrscheinlichkeit einer Verhaltensweise erhöht (verstärkt), auf die es folgt

Vigilanz (Wachsamkeit, Daueraufmerksamkeit) Nach Mackworth Zustand der Bereitschaft, kleine zufallsverteilte Veränderungen in der Umwelt zu erkennen und darauf zu reagieren.

Visuell-räumlicher Notizblock (*visuo-spatial sketchpad*) Ein von Baddeley im ▶ Arbeitsgedächtnis angenommenes Subsystem, in dem visuelle Wahrnehmungen und Vorstellungen verarbeitet werden sollen.

Volition (*volition*) Das Verwirklichen von Zielen. Sammelbegriff für die Prozesse und Phänomene, die sich auf die konkrete Realisierung von bereits gesetzten Zielen im Handeln beziehen.

Wachstumsmotivationen ▶ Motivationen, die uns veranlassen, über unser bisheriges Tun und Handeln hinauszuwachsen.

Wahrnehmung (*perception*) Die Integration und Interpretation von sensorischer Information ▶ Empfindung.

Wahrnehmungskonstanz (*perceptual constancy*) Phänomen, Objekte als unverändert wahrzunehmen (mit gleichbleibender Form, Größe, Farbe, Helligkeit), auch wenn die Bilder auf der ▶ Retina sich bei jeder Bewegung oder veränderter Beleuchtung ändern (▶ Formkonstanz, ▶ Größenkonstanz, Ortskonstanz, ▶ Helligkeitskonstanz, ▶ Farbkonstanz).

Wahrnehmungsökologischer Ansatz Geht von der ▶ Wahrnehmung in natürlichen (ökologischen) Umwelten aus und hebt die wichtige Rolle der Bewegung des Beobachters hervor, die zur direkten Erfassung invarianter Information führt (▶ Texturgradient, Muster optischen Fließens, Horizontverhältnis).

Wanderwelle In Abhängigkeit von der Frequenz sich entlang der Scala Media (Basilarmembran) bildende Welle (ähnlich wie Wellen an einem horizontal gehaltenen Seil), die für jede Schallfrequenz charakteristische Maxima und Minima bildet.

Wanderwellen der Basilarmembran Diese erzeugen über eine minimale Relativbewegung der Basilar- gegen die Tektorialmembran eine Deflexion der Haarzellenzilien, was zur Auslösung von Rezeptorpotenzialen führt.

Wasserfalltäuschung Ein Bewegungsnacheffekt. Objekte die man anblickt, nachdem man einen nach unten stürzenden Wasserfall längere Zeit (1 min) angeschaut hat, erscheinen in entgegengesetzter Richtung bewegt.

Webersches Gesetz Der eben merkliche Unterschied (*just noticible difference*, jnd) zweier Reize (ΔS) steht in konstantem Verhältnis zur absoluten Größe des Standardreizes (S).

Wechselkosten Leistungseinbußen bei der Durchführung einer Aufgabe, wenn im direkten Vorfeld eine andere Aufgabe bearbeitet wurde.

Wiedererkennen (*recognition*) Erinnerungsfähigkeit beim Abruf von Gedächtnisinhalten bei Vorgabe von Erinnerungsreizen. Identifizieren vorher gelernter Items wie beim Multiple-Choice-Test.

Wiederholung (Rehearsal) (*rehearsal*) Bewusste aktive (erhaltende) Wiederholung von Informationen, um sie im Bewusstsein zu behalten oder aber für die Speicherung zu encodieren.

Wissensgedächtnis Gedächtnis, in dem unser verbalisierbares „Faktenwissen" gespeichert ist.

Wissensrepräsentation (*knowledge representation*) Sie wird angenommen, um zu erklären, wie verschiedene Arten von Informationen encodiert und verarbeitet werden (Anderson 1996).

Wording-Effekt Er besagt, dass das Antwortverhalten der Befragten entscheidend durch die Wortwahl wie auch die Fragenformulierung des Fragenden beeinflusst wird.

Wort (1) (Freie, überlieferte) Zuordnung von Sprachlauten oder einer Buchstabenfolge zu einer Bedeutung oder einem ▶ Konzept. (2) Abgeschlossene sprachliche Einheit, die Bedeutung besitzt und aus einem oder mehreren ▶ Morphemen besteht (Atkinson 2001).

Wortform Repräsentation der lautlichen oder orthografischen Zusammensetzung eines ▶ Wortes.

Wortlängeneffekt Befund, dass die Anzahl der im ▶ Arbeitsgedächtnis kurzzeitig behaltbaren Wörter von ihrer Länge abhängig ist.

Zapfen (*cones*) Fotorezeptoren in der ▶ Retina, die vorwiegend in der ▶ Fovea centralis vorkommen. Sie reagieren am besten bei heller Beleuchtung (fotopisches Sehen) und sind insbesondere für das chromatische Sehen (Farben) sowie des Erkennen von Details zuständig.

Zeitgeber In der Rhythmusforschung (vornehmlich) ein Lichtreiz, der unterschiedliche ▶ zirkadiane Rhythmen eines Lebewesens synchronisiert. Bereits Lichtreize von 15–60 min, im Extrem ein einzelner heller Lichtblitz, genügen, um zirkadiane Rhythmen mit einem veränderten oder vorgegebenen Tageslauf in Übereinstimmung zu bringen (Borbély 1987).

Zellverband (Zell-Ensemble) (*cell-assembly*) Verbund jener Zellen, deren Aktivität zur Speicherung und Wiedergabe eines Engramms notwendig ist (nach D. O. Hebb).

Zentrale Exekutive (*central executive*) (1) Angenommenes übergeordnetes Kontrollsystem im Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley, für die Manipulation der kurzfristig gespeicherten Inhalte zuständig. (2) Wird auch zur Erklärung von Bewusstseinsphänomenen herangezogen.

Zirkadiane Rhythmik (Periodik) (*circadian rhythm*) Regulär beständiger Rhythmus zyklischer Körperfunktionen in einem ca. 24-stündigen Zyklus, der von einer inneren biologischen Uhr (▶ innere Uhr) festgelegt wird (z. B. Körpertemperatur, Wachzustand, Konzentrationsfähigkeit).

Zwei-Faktoren-Theorie (*two-factor theory*) Sie besagt, dass eine spezifische Emotion dann entsteht, wenn erstens eine bestimmte physiologische Erregung vorliegt, und zweitens deren Ursache in einer wahrgenommenen emotionsauslösenden Situation gesehen wird (kognitive Bewertung).

Zwei-Speicher-Theorie (*dual memory theory*) Gedächtnismodell, bei dem ein ► Kurzzeitgedächtnis (KZG) mit begrenzter Kapazität und ein praktisch unbegrenztes ► Langzeitgedächtnis (LZG) unterschieden werden, wobei neue Inhalte über das KZG in das LZG encodiert werden.

Zwei-Stufen-Theorie der Farbwahrnehmung (*two stage color theory*) In Übereinstimmung mit der ► Dreifarbentheorie werden hier drei Typen von ► Zapfen angenommen, an die sich, übereinstimmend mit der ► Gegenfarbentheorie, antagonistische Rot-Grün- und Blau-Gelb-Verarbeitungsprozesse anschließen. Die Theorie lieferte auch weiterreichende Erklärungen für andere Sinnessysteme.

Stichwortverzeichnis

3-D-Bild 108
3-D-Brille 108
γ-Aminobuttersäure 40

A

abhängige Variable 22
Abruf 370, 371, 383, 384, 429
– Aktivationsprozess 383
– aus dem mentalen Lexikon 429
– Suchprozess 370, 371, 383
Abrufhilfe 381
Abrufhinweis 378, 379, 380
– Definition 380
Abrufmethoden (Langzeitgedächtnis) 379
Abrufmodelle 383
Abrufprozess 399
Abrufreiz-Problem 380
absolute Bewegung 139
absolute Wahrnehmungsschwelle 76, 77
absolute Wahrnehmungsschwelle (Gehör) 161
Absolutschwelle 77, 78, 79, 80
– Definition 78
Absorptionsmaxima 103
– der Zapfenpigmente 103
Abstraktion 455
Abwehrmechanismen 215, 233, 563
– neurotische 233
Acetylcholin 37, 39, 40, 45
– -Antagonist 40
ACTH 46, 47
active memory 391
Adaptation 77, 88
– der Zapfen 88
– sensorische 77
adaptation level theory 83
Adaptationseffekt 82, 83
Adaptation (Sehen) 87
Adaptationsleveltheorie 83
Adaptationsniveau 83
Adaption (taktile Wahrnehmung) 184
adäquater Reiz 76
– Definition 76
additive Farbmischung 101
Adenin 61
Adenohypophyse 46
Aderhaut 85
Adipositas 508. *Siehe* Fettleibigkeit
Adipsie 504
Adrenalin (Epinephrin) 41, 250, 543, 545
adrenocorticotropes Hormon (ACTH) 250. *Siehe* ACTH
Affektbilanz 491
Affekte 189
affektive Hemmung 386
afferent 33
Aggression 554, 555, 556, 557, 564
– Mechanismen 554
Aggressionsbereitschaft 554
Aggressionssteuerung 556
Aggressionszentrum 556
aggressive Emotion 555
– Manipulation 555
aggressives Verhalten 555, 556
Aggressivität 67, 557
Agonist (Transmitter) 40
Aha-Erlebnis 336, 347
Ähnlichkeits-Klassifikations-Modell 83
Akkommodation 84, 85, 107
Akquisition (Konditionierung) 298, 299
Aktionsbäume 470
Aktionspotenzial 35, 36
– Definition 36
– zeitlicher Verlauf 36
Aktivation 229
– und Leistung 229
aktive Aufmerksamkeitssteuerung 219
aktive Encodierung 372
– Definition 372
Aktivierung (activation) 44, 50, 222, 253, 271
– Abruf 383
– Ausbreitung 380
– Indikatoren 44
– Interaktive 134
– Modell 429
– motorischer Reflexe 222
– Prozesse 383
– Schwelle 279
– Theorie 545
– von Bewusstsein 227
– von Leistung 229
– von Schemata 279
Aktivitätszyklus 237
Akupunktur 41, 190
akustische Encodierung 365, 367
akustische Encodierung (Langzeitgedächtnis) 373
akustische Wahrnehmungsskala 161
akuter Schmerz 188
Akzentuieren (sharpening) 399
Aldosterol 47
Alkoholismus 67
Allele 60
Allgemeine Psychologie 2, 27, 28
– Definition 2
allgemeines Anpassungssyndrom (AAS) 561, 562
– Verlauf 562
Alpha-Aktivität 237
Alpha-Wellen 236
alveolare Laute 441
amakrine Zellen 86
ambient vision 123
Ambiguität 434
Amboss 163
ambulatorisches Sehen 123
ambulatory vision 123
Ameisensäure 175
Ames'scher Raum 120
Ammenschlaf 205
Amnesie 393, 394. *Siehe* Gedächtnisverlust
– anterograde 393
– retrograde 393
Amphetamine 41
Amygdala 550, 556, 557. *Siehe* Mandelkern
Amygdalaektomie 556, 557
analoges Denken 452
Analogiebildung 474
Androgene 512
Androstenon 179
angeborener Auslösemechanismus (AAM) 63, 150, 295, 488, 489
– Definition 489
angeborener endogener Rhythmusgeber 241
Angriffsreaktionen 555
Angst 525, 542, 553, 558, 565
– als emotionle Reaktion 558
– Definition 558
– erlernte 558
– vor Misserfolg 525
Ängstlichkeit 67
Angstneurose 233
Animalseele 4
Ankerreize 82, 83
– Adaptationseffekte 82
Anosmie 175
Anreiz 490, 492, 506, 525
– Definition 525
– von Erfolg 525
– von Misserfolg 525
Anreiztheorie (positive-incentive-theory) 506
Anschlussbedürfnis 518
Anschlussmotivation 519
– Definition 519
Antagonist (Transmitter) 40
Antecedens 7, 462
anterograde Amnesie 393
Antizipation sensorischer Handlungskonsequenzen 272
antizipatorische Homöostase 241, 250
antizipierte Affekte 525
Antrieb 490
– sekundärer 490
Antwortverhalten 82
Apathie 563
Aphagie 503, 504, 505
Aphasie 57
– Broca- 57
– Definition 57
– Wernicke- 57
Aplysia 314, 315, 406
Appetenzverhalten 488
Appetitanreiz 507
Appetitzügler 509
ARAS (aufsteigendes retikuläres Aktivierungssystem) 50, 222
Arbeitsgedächtnis 364, 365, 366, 368, 370
– Abruf von Inhalten 370
– Behaltensdauer 370
– Definition 365
– Encodierung 365
– nach Baddeley 366
– Speicherkapazität 368, 370
– Suchzeit 370
Arbeitsgedächtnis (working memory) 356
Area striata 93, 114, 141
Ärger 545, 547
Aroma 172, 173
Aromawahrnehmung 173
Artikulation 441
Artikulationsart 440
Artikulationsort 440
Assimilieren 399

Assoziationsareale 55
– Definition 55
– frontale 55
– posteriore 55
Assoziationsfasern 51
– Definition 51
Assoziationslernen 294, 348
assoziative Konditionierung 312
Asthmaanfälle 298
asymmetrische Aufgabenwechselkosten 283
attention 198
attentional capture 214
attenuation model 203
Attraktivität 513
– gegengeschlechtliche 513
Attrappenversuche 488
Attribuierung 312
Attribution 529, 530, 531
– externale 529
– internale 529
– und Motivation 529, 530, 531
Attributionsstil 530
– Definition 530
attributionstheoretische Leistungsmotivations-theorie 529
Attributionstheorien 529, 533
auditive Mustererkennung 167
auditives System 193
auditive Worterkennung 428
auditorische Raumrepräsentanz 171
auditorischer Cortex 54, 166, 167, 168, 171
– Antwortprinzip spezieller Neurone 171
Aufgabenwechsel 281, 283, 284, 286
Aufgabenwechselkosten 282, 283
– asymmetrische 283
– Definition 282
– Erklärungsmodelle 283
Aufmerksamkeit 198, 199, 200, 206, 208, 209, 210, 222, 223, 228
– bewusste 198
– objektbasierte 209
– selektive 198, 199, 200, 210, 222
– visuelle 206, 208
– wache 228
Aufmerksamkeitsanalyse 202
Aufmerksamkeitsausrichtung 212
Aufmerksamkeitsbereich 201
aufmerksamkeitskontrollierte Handlungssteue-rung 279
Aufmerksamkeitssteuerung 198, 202, 205, 214, 217, 219
– aktive 219
– passive 219
– späte Selektion 202
Aufmerksamkeitssteuerungsstörung 224
Aufmerksamkeitssysteme 222, 223
Aufmerksamkeitszuwendung 205, 208
aufsteigendes retikuläres Aktivierungssystem (ARAS) 222
Aufwachen 237
Auge 84
– Querschnitt 84
Ausdrucksbeurteilung 552
Ausdruckslokalisationen im Gehirn 552
Ausdrucksphysiologie 554
Ausdrucksverhalten 551, 554
Auslösemechanismus 148, 150, 488, 489
– durch Erfahrung veränderter 489
Auslöser 150, 151, 513
– übernormaler 150, 151
Auslösereiz 488, 514
Auslöseschwelle (Aggressivität) 557
Aussage 463
– bedingte 463
Aussagenstruktur 463
Auszahlungsmatrix 83
autokinetischer Effekt 139
automatic processing 372
automatische Bewegungssteuerung 279
automatische Encodierung 372
– Definition 372
automatische Koordination konkurrierender Reaktionsschemata 279
autonome Funktionen 329, 330
autonomes Nervensystem 44, 45
Autostereogramm 110
aversive Konditionierung 327
aversiver Stimulus 303
Axon 34, 35, 36
– markhaltiges 36
Axonhügel 36

B

babbling stage 442
Backward Inhibition 284
Balz 515
Basalganglien 51
basic rest activity cycle 237
Basilarmembran 163, 164, 165
– Wanderwelle 165
Basisemotionen 551
Basis-Raten-Regel 465, 482
– Definition 465
Bauchrednereffekt 191
Bayes-Theorem 465, 482
Bedarfslage (need) 495
Bedeutsamkeitsveränderung 232
bedingte Aussage 463
Bedürfnis 487, 490, 491, 495, 518, 520, 521, 522
– nach Anschluss oder Zugehörigkeit 518
– nach Zugehörigkeit 520
– nichtbiologisches 521
– vizerogenes 522
Bedürfnishierarchie 522, 523
Befragung 26
Befragungsmethoden 26
Befriedigung 318
Begabungstest 27
begrenzte Rationalität 478
Begriff 453
Begriffsbildung 456
Begriffserwerb 455
Behaltensdauer (Arbeitsgedächtnis) 370
Behaltenskurve im Kurzzeitgedächtnis 369
Behaltensleistung 372, 373, 385, 389, 390, 400
behavior analysis 7
Behaviorismus 7
behavioristischer Ansatz 7, 28
– Definition 7
Beißattacken 556
Békésys Modellexperiment zur Hörfunktion 165
Belohnung 531
– extrinsische 531
Belohnungsmacht 526
Belohnungszentren 521
Benzodiazepine 41
Benzylacetat 175
Beobachtung 25, 26, 345
– direkte 25, 26
– indirekte 25
– naturalistische 25
– natürliche 26
– teilnehmende 25
Beobachtungshypothese 16
Beobachtungslernen 342, 348
Beobachtungsmethoden 25
Bereitschaftspotenzial 265
– lateralisiertes 265
Bergsteigen 469
Berühren 186
Berührungsrezeptoren 185
Bestrafung 320, 321, 324, 326, 327
Bestrafungsmacht 526
bevorzugte Aufmerksamkeitszuwendung 144, 145
Bewegung 137, 138, 139, 140, 141, 142
– absolute 139
– biologische 139, 140
– induzierte 138
– reale 139
– relative 139
– stroboskopische 137
Bewegungsdetektor 140, 141
– Verschaltungsprinzip 141
Bewegungsgradient 143
bewegungsinduzierter Tiefenhinweis 106
Bewegungsnacheffekt 139, 141
Bewegungsparallaxe 106, 107
Bewegungssinn 191
Bewegungssteuerung 279
Bewegungswahrnehmung 137, 142
Beweisführung 17
– Regeln 17
Bewertungskategorien 549
Bewertungstheorien (appraisal theories) 549
– kognitive 549
bewusste Aufmerksamkeit 198
Bewusstheitsgrad 225
Bewusstsein 198, 223, 225, 226, 227, 228, 229, 256
– als philosophisches Problem 226
– Definition 223
– empirisches 225
– Klarheit 228
– phänomenales 226
– reines 225
– Weite 228
Bewusstseinmodus 228
Bewusstseinsforschung 227
Bewusstseinsgrade 198
Bewusstseinsinhalt 223, 227
Bewusstseinskapazität 200
Bewusstseinslage 220, 228
Bewusstseinsmodus 228
Bewusstseinsschwelle 225
Bewusstseinsspaltung 233, 234
Bewusstseinsstörungen 233
Bewusstseinsveränderung 231, 233, 235
– krankhafte 233
Bewusstseinsvorgänge 236
Bewusstseinszustand 225, 230, 231, 232, 234
– veränderter 225, 230, 231, 232

Bezugssystem 83
bilateral distribution advantage 286
bildgebende Verfahren 460, 461, 481
bildhaftes Denken 452, 455, 457, 458
– Definition 457
– Neuropsychologie 458
bildliche Repräsentation 458
Bildvorlage von Biederman 136
Bilinguale 445, 446
Bilingualismus 445
bimanuelle Koordination 273
bimodale Reize 192
binaural 169
Bindungsverhalten 519, 520
– physiologische Aspekte 519
– soziale Aspekte 520
binokular 94
binokulare Disparität 108
– Definition 108
– und Querdisparation 108
binokulare Rivalität 227
binokularer Tiefenhinweis 105, 107
bioelektrische Aktivität 216
Biofeedback 329
– Definition 329
biogene Motivation 486
biogenes Motiv 487
biological constraints 331
biologische Bewegung 140
biologische Einschränkungen 295
biologische Uhr 242
Biopsychologie 5, 6
biopsychologischer Ansatz 7, 28
Bit 200
Bittergeschmack 180
Blätterpapille 180
Blau-Gelb-Blindheit 103
blinder Fleck 85, 86
– Demonstrationsversuch 86
Blindheit 98
– corticale 98
Blindsight 98
Blitzlichterinnerungen 385
Blockierung (Konditionierung) 309, 310, 311
Boten-RNA 63
Bottom-up-Prozess 89, 133
Bottom-up-Verarbeitung, 135
Botulin 40
Break-off-Phänomen 231
Broca-Aphasie 57
Broca-Areal 55, 56, 57
Brückenhirn 49
Brutpflegetrieb 519
Brutpflegeverhalten 520
Bulbus olfactorius 174, 177
Bunkerexperiment 242

C

Calciumchlorid 182
Campher 175
Cannon-Bard-Theorie 544, 564
case histories 26
Catecholamine 47
causa efficiens 5
causa finalis 5
causa formalis 5
causa materialis 5
Cerebellum 49
cerebrale Lateralisation 59, 68
cerebrale Metabolismusrate (rCMR) 460
cerebrale Proteinbiosynthese 413
– Blockierung 413
cerebraler Blutflusses (rCBF) 460
cerebraler Cortex 52
Cerebrum 52
Cerveau-isolé 246
Chaining 329
– Definition 329
charakteristische Frequenz (best frequency) 166
chemische Codierungssysteme 40
chemische Sinne 170
Chemorezeptoren 76, 171
Chiasma opticum 54
Chinin 179
Chininsulfat 182
Chlorpromazin 41
Cholecystokinin (CCK) 500
Chorda tympani 180
Chromosomen 60
chronischer Schmerz 188
chronischer Stress 560, 561
– Definition 561
Chronobiologie 240
Chunk 126, 368
Chunking 368, 370, 399, 400, 401
– Definition 401
Chunk-Theorie 338
Cineol 175, 176
clock-dependent alerting process 249
Closed-Loop-Kontrolle 266
CO_2-Chemosensibilität 238
Cocain 41
Cochlea. *Siehe* Hörschnecke
Cocktailparty-Phänomen 199
Codierung der Geschmacksqualitäten 179
Codierungsformen 365
Codierungssystem 400, 401
Colliculus inferior 49, 167, 170
Colliculus superior 49, 171
Commitment 528
consciousness 198, 223
Constraint-based-Modelle 435, 447
Constraints 295
Coping 559, 562, 563, 565
– Definition 563
Corpus callosum 52
Corpus geniculatum laterale 51, 90, 91, 95
– Organisationsprinzip 95
Corpus geniculatum mediale 167
Cortex cerebri. *Siehe* Großhirnrinde
Cortexneurone 93
Cortexschnitt 147
– während verschiedener Reifungsprozesse 147
corticale Blindheit 98
corticale Zellen 140
cortical spreading depression (CSD) 406
Corticoide 47
cortisches Organ 163
– Querschnitt 163
Cortisol 47
CRH-ACTH-Nebennierenrinden-Achse 46
Crossing-over 61
Crosstalk 277, 278
– Leistungsbeeinträchtigungen 278
Crosstalk-Theorien 277
Cueing-Experiment 213
Cues 105, 131
Cyclophosphamid 307, 308
Cytosin 61

D

Dämmerungssehen 86
Dämpfungsmodell 203
Datenerhebungsverfahren 25
Dauerstress 543
Dauerwachsein 255
Deduktion 462, 463
Deduktionsschluss 462
deduktiv 18
deduktiver Schluss 18
deduktives Denken 462, 463, 481
– Definition 462
Dehnungsreflex 265
deklaratives Gedächtnis 394
deklaratives Wissen 337
deliberate practice 339
Delta-Aktivität 237
Delta-Wellen 236
Dendrit 34
Denken 55, 452, 455, 457, 458, 460, 462, 463, 479, 480, 481, 482
– analoges 452
– bildhaftes 452, 455, 457, 458, 481
– deduktives 462, 463, 481
– diskursives 452
– induktives 462, 482
– logisches 462
– motorisches 452
– produktives 452
– propositionales 452, 460
– unbewusstes 479
Denkpsychologie 462
Denkveränderungen 232
dependent variable 22
Depolarisation 35
Deprivation 231
– sensorische 231
Design 23
– mit mehreren unabhängigen Variablen 23
deskriptive Theorie 476
Desoxyribose 61
Desynchronisation 242, 243, 244
– der zirkadianen Periodik von Wachen und Schlafen 244
– erzwungene 243
Detektorneuron 93
Dezibel 161
dichotisches Hören 199, 202, 203
Dichromat 102
Diencephalon 50
differenzielles Reinforcement 301
dimensionsbasierte Selektivität 212, 213
dioptrischer Apparat 84
diploider Chromosomensatz 60
Diskrimination 322
– innerer Reize 322
Diskriminationslernen 321
Diskriminationstraining 322
diskriminative Belohnung 321
diskriminativer Stimulus 321, 328

diskursives Denken 452
Disparität 108
– binoklulare 108
Dispersionstheorie 165
Dispersionstheorie der akustischen Wahrnehmung 168
Dissoziation 389, 541
distaler Reiz 75
Distanzcues 131
Diversität 61
dizygot 67
DNA (Desoxiribonucleinsäure) 61, 62
DNA-Doppelhelix 62
DNA-Replikation 62
DNS. *Siehe* DNA (Desoxiribonucleinsäure)
dominant 60
Dominanz 557
Dominanzhierarchie 556, 557
– Änderung 556, 557
Dominanzstreben 527
Dopamin 40
Doppelaufgaben 281
Doppelaufgabenkosten 274, 275, 276, 277
– Definition 275
Doppelbilder 108
Doppelblind-Studien 21
dorsaler Pfad 268
Double-Step-Aufgabe 267
Dreieck von Penrose 4
Dreifarbentheorie 102
Dreiwortstadium 443
Drogen 40, 41
Drogentoleranz 307
Drohverhalten 554
Druckrezeptoren 184
Drucksinneszellen 42
Druckvibration 184
Druckwahrnehmung 183
Druckwelle 160, 164
duale Hypothalamustheorie des Hungers 504, 505
Dual-route-Modell 431, 446
dual-task costs 275
duftblind 175
Duftklassen 175
Dunkeladaptation 88, 89
– Verlauf 88
Dunkeladaptationskurve 88
dunkeladaptierte Empfindlichkeit 88

E

EAAM (durch Erfahrung erweiterte angeborene Auslösemechanismen) 150, 151
Ebbinghaussche Vergessenskurve 357, 358
Echo 362
echoisches Gedächtnis 362
Echoortung 170
Echounterdrückung 170
Effektgesetz 318
efferent 33
Efferenzkopie 118
effortful processing 372
eidetische Vorstellung 367
Eigenbewegung 148
Eignungstest 27
Einbildungseffekte 397
einfache corticale Zellen 94
– Definition 94
Einortstheorie 164
Einortstheorie der Tonhöhenwahrnehmung 168, 169
einsichtige Handlung 334
Einsichtslernen 335, 336
Einstellungen 12
Einstellungen zur Sexualität 519
Einstellungseffekt bei der Wahrnehmung 14, 16
Einstellungs- oder Erwartungseffekt 13
Einwortstadium 443
Eisberg-Analogie 10
Elaboration 375, 403, 404, 405
– kognitive 403
elaboriertes Wiederholen 387
Elektrodermale Aktivität 216
Elektroencephalografie 216
Elektromyografie 216
Elektrookulografie 216
Elementenpsychologie 124
eliminativer Materialismus 3
Embleme 552
Embryonalentwicklung 48
Emergenztheorie 3
Emmert'sches Gesetz 116
– Definition 116
Emotion 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 554, 555, 564, 565
– aggressive 555, 565
– Bewertungstheorien 549
– Definition 541
– Erregungsmuster 546
– Fehlattribuierungen 548
– funktionale Bedeutung 541, 542
– Funktionen 541
– Grund- 551
– kognitive Abwehr 548
– ohne Kognition 549
– präkognitive 550
– primäre 549
– Projektionsbahnen im Gehirn 550
– und Erregung 542
– und Motivation 540
– Wirkung des vegetativen Nervensystems 543
emotionale Ausdrucksbewegungen 551
emotionale Auseinandersetzung 542
emotionale Empfindungen 74
emotionale Erregung 543, 545, 547
– kognitive Bewertung 547
emotionale Intelligenz 551
emotionale Konditionierung 303
emotionaler Ausdruck 232, 551, 553, 564
– Veränderungen 232
emotionale Reaktionsweisen 540
emotionaler Erregungszustand 541
emotionaler Stress 558
emotionales Erleben 553
Emotionen 385
– und Langzeitgedächtnis 385
Emotionsentstehung 550
Emotionserkennung 553
Emotionspsychologie 540, 541
Emotionsskalen 541
Emotionstheorien 543, 544, 545, 549
– Cannon-Bard-Theorie 544
– James-Lange-Theorie 543
– Lindsleys Aktivationstheorie 545
– Theorie von Zajonc 549
Emotionszentren 343
emotionszentrierte Strategien 563
Empathie 343
Empfindung 480
– emotionale 480
Empfindungen 76
– der Haut 76
– der Organe 76
Empfindungsgröße 81
– und Reizstärke 81
Empfindungskorrelat 220
Empfindungsstärke 80
– und Reizintensität 80
empirische Überprüfbarkeit 16
Empirist 144
Encéphale-isolé 246
Encephalisation 48
Encodierspezifität 373, 381, 382
– Definition 382
Encodierung 366, 367, 370, 372, 373, 440
– aktive 372
– akustische 373
– automatische 372
– im Langzeitgedächtnis 370
– phonologische 440
– prozedurale 367
– semantische 367, 372
– visuelle 367, 366, 367, 372, 373
encoding by meaning 372
endokrine Drüsen 45, 46
endokrines System 46
– Definition 46
Endolymphe 163
Endorphine 41, 190
End-State-Comfort-Effekt 266
energetisches Motivationsmodell der Instinktorganisation 489
Engramme 408, 409, 410
enterozeptiv 182
Entfallen 382, 383
Entfernungswahrnehmung 117
Enthemmungseffekt 345
Entscheidung 475, 482
– unter Risiko 475
– unter Sicherheit 475
– unter Unsicherheit 475
Entscheidungsbaum 476
Entscheidungsdenken 479
Entscheidungsfindung 475, 478, 479, 482
Entscheidungsforschung 479, 480
Entscheidungsprozess 478
Entscheidungsprozessphasen 478
Entscheidungstheorien 475
– Typen 475
entspannte Wachheit 228
Entspannungsphase 516
Epinephrin (Adrenalin) 41
Epiphyse 50
episodischer Buffer 365
episodisches Gedächtnis 375, 394, 395
– Definition 395
EPSP 37, 38
Erbe-Umwelt-Frage 59
Erbe-Umwelt-Interaktionismus 68
Erbe-Umwelt-Kontroverse 64
Erbkoordinationen 558
ereigniskorreliertes Potenzial 436

Erfolg 529
Erfolgsanreiz 525
Erfolgsbedürfnis 525
Erfolgsmotiv 525
Erfolgsmotivation 531
erfolgsmotiviert 525
Erfolgswahrscheinlichkeit 525
Ergebnis-Folge-Erwartungen 494
ergotrop 44
Erhaltenswiederholungen 387
Eriksen-Flankierungsaufgabe 207
Erinnern 396, 397
– von Nichtereignissen 397
Erinnerung 396
– falsche 396
Erinnerungshilfe 381
Erinnerungsleistung 415
Erkennungsschwelle (Geruch) 175
Erlebnisprozesse 11
Ermüdung 229
– körperliche 229
– psychische 229
Erregbarkeit 301
– generalisierte 301
Erregung 228, 542, 545, 546, 547
– emotionale 545, 546, 547
Erregungsleitung 36
Erregungsphase 516
Erregungszustand 541, 548
– emotionaler 541
Error-related Negativity 285
Error-Signal 509
Ersparnismethode 357
Erwartungen 331, 335, 341, 491, 492
Erwartung-mal-Wert-Modell 492
Erwartungsemotionen 523
Erwartungsstress 561
Erwartungswert 492
Erwartung-Wert-Einstellungen 493
erweitertes konnektionistisches Netzwerk 132
Essigsäure 175
Estradienol 179
Ethologie 10, 487, 489
Euphorie 547
Eustress 559
evozierte Potenziale 144, 145, 219, 220, 221
exekutive Funktionen 279
– Definition 279
exekutive kognitive Kontrolle 279
exekutive Kontrollprozesse 279
Exemplarstrategie 455
Exemplartheorie 454, 461
Experimente 117
– von Holway und Boring 117
– von Ziegler und Leibowitz 117
experimentelle Analyse des Verhaltens 319
experimentelles Design 22
Experiment von Sperling 362
Expertenmacht 527
Expertise 338, 340
– perzeptuelle 338
Expertiseerwerb 337
Expertiselernen 339
explicit reasoning 338
explizit 389
explizites Gedächtnis 375, 389
– Definition 389
explizites Lernen 337, 389
Explorationsbewegungen 186
– haptische 186
Explorationsverhalten 520, 532
externer Kontext 382
Exterozeption 183
exterozeptiv 181
Extinktion 224, 324
Extinktion (Konditionierung) 298, 301, 304, 305
– Definition 305
Extinktionsresistenz 306, 327
Extinktionstraining 306
extrapyramidale motorische Systeme. 49
extrastriäre visuelle Areale 93
extrinsische Belohnung 531
extrinsische Motivation 530, 531
– Definition 531
exzitatorische postsynaptische Potenziale. *Siehe* EPSP

F

Facial-Feedback-Hypothese 542, 553
Fadenpapille 180
Fähigkeiten (Skills) 337
– Erwerb 337
Fallstudien 9, 26
falsche Erinnerungen 396
falsche Schlüsse 15
Falsifizierung 16
Familiengeruch 178
Fantasie 563
Farbabgleichexperiment 101
Farbadaptation 114, 115
– im Selbstversuch 114
Farbcodierung 102
farbenblind 102
Farbenblindheit 61
Farbensehen 87
farbiges Nachbild 103
Farbkonstanz 113, 114
Farbmischung 101
– additive 101
– subtraktive 101
Farbraum 100, 101
Farbrezeptoren 98, 105
Farbwahrnehmung 97, 98, 102, 114, 152
– Dreifarbentheorie 102
– Umwelteinfluss 114
– Unterschiedsschwelle 97
Farbwahrnehmungswelten 105
Fechner'sches Gesetz 80
– Definition 80
Feedback 337
Feedbacksteuerung 266
Feedforward-Steuerung 266
Fehlattributionen 519
Feldstudie 21, 22
Fernsehwerbung 298
Fertigkeiten (Skills) 336
– Definition 336
– erlernen 336
Fetisch 514
Fettleibigkeit 496, 503, 506, 507
Fettzellen 508, 509
Figur 124
Figur-Grund-Demonstration 128
Figur-Grund-Effekt 125
Figur-Grund-Trennung 124, 125
Figur-Grund-Unterscheidung 124
Figur-Grund-Wahrnehmung 127
– Vorlagen 127
Filialgeneration 59
Fixierung 474, 475
– funktionale 474, 475
Flankierreiz 207, 210
Flankierungsinterferenz 207
Flaschenhalsmodell 199, 200, 202, 276, 277, 278
flashbulb memories 385
Fließmuster 123
FLMP-Modell (fuzzy logical model of perception) 133
Flucht 324, 543
Fluchtlernen 331
Fluchtreaktion 295, 327
Fokussierung 84
follikelstimulierendes Hormon (FSH) 512
formale Logik 463
Formatio reticularis 49, 50, 51, 218, 221, 227, 246, 545
– Stimulation 221
Formkonstanz 116
Formwahrnehmung 145
Fotorezeptoren 76, 85
Fovea centralis 84, 87, 93
Frage 26
– geschlossene 26
– offene 26
Fragebogenkonstruktion 26
Fragebogentechnik 26
Fragestellung 18
Framing 477
– Definition 477
Framing-Effekt 477
– Definition 477
freie Reproduktion 379, 388
freilaufender zirkadianer Rhythmus 241, 242
Frequenzcodierung 165
Frequenztheorie 168
Fresszentrum 505
Freud'scher Versprecher 10, 230
Freuds Traumtheorie 252, 253
Friederici-Modell 437
Fröhlichkeit 67
Fröhlich'sches Syndrom 503
frontale Assoziationsareale 55
Frontallappen 53
Frühaufsteher 244
frühe Selektion 202
Frustrations-Aggressions-Theorie 554, 565
Fühlen 79
– absolute Schwelle 79
funktionale Fixierung 474, 475
– Definition 475
funktionale MRT 460
funktionaler Reduktionismus 6
Funktionskreis 331, 332, 489
Furcht 491, 545
Furchtreaktion 302
– konditionierte 302
Fürsorgeverhalten 519, 520
– Einflüsse 519
Fuzzy-Logik 133

G

GABA 40, 41, 506
GABA-Agonist 41
Ganzfeldbewegung 96
Garden-Path-Modell 434, 435, 446
Gate-Control-Theorie 190
Gedächtnis 355, 356, 359, 360, 361, 362, 364, 365, 368, 373, 375, 387, 388, 389, 391, 393, 394, 395, 397, 398, 399, 405, 428
– Arbeits- 364, 365, 368
– deklaratives 389, 394
– echoisches 362
– episodisches 375, 394
– explizites 375, 389
– ikonisches 361, 362
– implizites 375, 389, 391, 393
– Interferenz 359, 360
– Isolierungseffekt 359
– konstruktives (constructive memory) 395
– konzeptuelles 428
– Kurzzeit- 356, 364, 365, 368, 369
– Langzeit- 356, 365
– neurobiologische Basis 405
– prozedurales 375, 389, 391, 394
– Reproduzieren 388
– semantisches 375, 394
– sensorisches 356, 361, 362, 365
– sensorisches (sensory buffer) 356
– System 355, 356
– und Schemata 397, 398, 399
– Zwei-Speicher-Modell 387
– Zwei-Stufen-Theorie 388
Gedächtnisbildung 410
– molekulare 410
Gedächtnisfarbe 114
Gedächtnisforschung 6, 357, 380, 415
Gedächtnisinhalt 382, 383, 385, 404
– Abrufmodelle 383
– Entfallen 383
– Interferenz 382
– motivationales Vergessen 382
– Nichtauffindbarkeit 382, 385
– Nichtzugänglichkeit 382, 383
– Organisation 404
– Zerfall 382
Gedächtniskonsolidierung 254, 412
Gedächtnisleistung 357, 374, 400, 401, 415
– Verbesserung 400
Gedächtnismodell 357
Gedächtnisorganisation 376
Gedächtnisprozess 355, 356
– Abruf 355
– Codierung 355
– Speicherung 355
– Stufen 356
Gedächtnispsychologie 361, 375
Gedächtnisspanne 364, 368, 369
– Definition 368
– und Wortlängeneffekt 369
– unmittelbare 368
Gedächtnisspeicherung 414
– integratives Gesamtschema 414
Gedächtnisstruktur 377
Gedächtnissysteme 386, 394
Gedächtnisverlust 373, 386
Gefühle 479, 480, 481, 482
– als Entscheidungskriterium 479, 481
Gegenfarbenmechanismen nach Hering 103
Gegenfarbenneuron 104
Gegenfarbentheorie 103, 104
– Schaltdiagramm 104
– von Hering 103
gegengeschlechtliche Attraktivität 513
Gegenkonditionierung 306
Gegenstandserkennung 187
Gehirn 13, 48, 49, 51, 550, 552
– ältere Strukturen 49
– Ausdruckslokalisationen 552
– embryonale Entwicklungsstufen 48
– Frontalschnitt 51
– Projektionsbahnen der Emotionen 550
Gehirnentwicklung 48
Gehör 158, 161, 166
– absolute Wahrnehmungsschwelle 161
Gehörknöchelchen 163
Geistseele 4
gekreuzte Querdisparation 108
gelber Fleck 87
Gelenkrezeptoren 191
Gene 60, 62
– Operator- 62
– Struktur- 62
Generalisation 320, 321, 455
Generalisationsdekrement 306
Generalisationsgradient 300, 321
Generalisierbarkeit 18
generalisierte Erregbarkeit 301
generalisierte konditionierte Verstärker 323
genetische Einflüsse 67
– auf psychische Eigenschaften 67
genetischer Code 61
Genetisches Potenzial 63
Genexpression 63
Genkopplung 61
Genmanipulation 63
Genotyp 60
geometrisch-optische Täuschungen 118
geometrisch-optische Täuschungsvorlage 111
Geone 134
Geon-Entdeckbarkeit 135
Geraniol 175
Geruch 76, 173, 178
– MHC-assoziierte 178
Geruchscodierung 176, 177
Geruchserkennung 177
Geruchsleistung 177
– und Alter 177
Geruchsprisma 175
Geruchsprofil 174, 176
Geruchsqualitäten 175
Geruchsrezeptoren 173
Geruchsrezeptorzellen 174
Geruchsschwelle 172
Geruchssinn 170, 171
Geruchssystem 174
Geruchswahrnehmung 172, 173, 174, 175, 177, 193
– Erkennungsschwelle 175
– Leistungsvermögen 177
– Unterschiedsschwelle 175
– Wahrnehmungsschwelle 175
Gesamtschlafdruck 251
Geschlechtschromosomen 61
geschlechtsgebundene Merkmale 61
– Vererbung 61
Geschlechtsidentität (gender identity) 512
Geschmack 76, 173, 508
– und Übergewicht 508
Geschmacksareale 180
Geschmacksaversion 307
– konditionierte 307
Geschmacksaversionskonditionierung 313, 314
Geschmacksbewertung 500, 501, 508
– Einfluss auf Speiseaufnahme 508
Geschmackscodierung 179, 181
Geschmacksfaktoren 497, 500
Geschmacksknospe 179, 180
– Querschnitt 180
Geschmackspräferenz 509
– gelernte 509
Geschmacksprofil 181
Geschmacksqualität 179
Geschmackssinneszellen 180, 181
– molekulare intrazelluläre Mechanismen 181
– Transduktion 181
Geschmacksstoffe 182
Geschmacksverstärker 179
Geschmackswahrnehmung 179
Geschwindigkeits-Genauigkeits-Austausch 285
Gesetz 125, 126, 127, 128, 129
– der Ähnlichkeit 126, 129
– der Geschlossenheit 126, 128
– der guten Fortsetzung 126, 129
– der guten Gestalt 125, 128
– der Nähe 125, 128
– der Prägnanz 128
– der Vertrautheit 126
– des gemeinsamen Schicksals 126, 129
– des Sehens nach Metzger 127
Gesetz der kausalen Determiniertheit 17, 29
Gesetz des Effekts 317, 490
Gesetz von Ebbinghaus 359
Gesetz von Hick und Hyman 269
Gesichtererkennung 211
Gesichtsausdruck 551, 552, 553
– Beurteilung 552
Gesichtsausdrucksformen 551, 552
Gesichtserkennung 553
Gesichtsmuskulatur 551, 554
Gestaltdetektor 141
– Grundprinzip 141
Gestaltgesetze 125, 126, 138
– der Wahrnehmung 125
Gestaltpsychologie 124, 125
Gesten 551
Gewalttätigkeit 557
Gewichtszunahme 507, 508, 509
– und Gene 507, 509
Gewohnheitsstärke 490
Gewöhnung. *Siehe* Habituation
Gittertechnik 524
Gleichgewicht 76
Gliazellen 34
Glucocorticoide 518
Glucorezeptoren 503
Glucose 182
Glucosesensoren 500
Glucosespiegel 500
Glucostatentheorie 503
Glutamat 40, 179
Goldhamster 178
– Sexualpheromone 178
Gonaden 512

gonadotrope Hormone 46
gonadotrope Releasing-Factoren 512, 513
Gonadotropine 512, 513
Go/NoGo-Aufgabe 228
graded capacity sharing 275
Grammatik 422, 424
grammatikalisches Wissen 443
– Erwerb 443
Grammatikerwerb 445
– kritische Periode 445
Grapheme 423
– Definition 423
Greifbewegung 267
Greifhandlungen 266
Grenzmethode 78
– Vorgehensweise 78
grooming 520
Größe 105, 106
– gewöhnte 105
– relative 105, 106
Größen-Distanz-Invarianz 116, 118
– Korrekturmechanismus 118
– nach Emmert 116
Größenkonstanz 115, 117
– -Experiment 115
Größentäuschung 122
Großhirn 52
Großhirnrinde 52, 53
– Seitenansicht 53
Grundemotionen 549, 551
Grundgeruchsqualitäten 175
Grundgeschmacksqualitäten 179
Gruppenbewusstsein 225
Guanin 61
Guided Search Theory 214
gustatorisches System 170, 181, 182
Gütekriterien 26
Gyrus angularis 56
Gyrus cinguli 52
Gyrus postcentralis 53
Gyrus praecentralis 53

H

Haarfollikelrezeptoren 185
Haarzellen 163, 164, 165, 166
– Innervation 166
– Tuningkurve 166
Habitgedächtnis 392
Habituation 150, 218, 219, 293, 294, 295, 296, 315
– bei Aplysia 315
– Definition 296
Habituationslernen 294, 295
Halluzinationen 232, 233
Hammer 163
Hand-Auge-Koordination 149
Handlung 264, 266, 272, 286, 334, 488, 489
– Definition 264
– einsichtige 334
– Greif- 266
– instinktive 488
– Leerlauf- 488
– Übersprungs- 489
Handlungsbereitschaft 205, 486, 532
Handlungs-Chaos 200
Handlungs-Ergebnis-Erwartungen 494
Handlungskonflikt 207
Handlungsmotivation 486
Handlungsplan 264
Handlungsplanung 265
Handlungs-Situations-Erwartungen 494
Handlungssteuerung 264, 265
– Definition 264
– Modelle 264
Handlungsüberwachung 284
Handrückziehreflex 42
haploid 60
Haptik 186
haptische Explorationsbewegungen 186
haptische Wahrnehmung 186, 187
– Definition 186
haptisch-somatisches System 182
Haupteffekt 23
Hauptneuronentypen 93
Haut 183, 184
Hautleitfähigkeit 216
Hautsinne 181, 182
Hawthorne-Effekt 21
Hebb-Regel 316, 406
Hebb-Synapse 316, 317, 406, 408, 409
hedonistisches Prinzip 542
Helicotrema 163, 164
Helladaptation 88
helladaptierte Empfindlichkeit 88
Hell-Dunkel-Adaptation 88
Hell-Dunkel-Neurone 92
Helligkeit 112
– relative 112
Helligkeitskonstanz 111, 112, 113
– Definition 112
– Demonstrationsversuch 112
– und relative Helligkeit 112
Helligkeitskontrast 112
Helligkeitskontrasterkennung 90
Hemisphäre 59
– linke 59
– rechte 59
Hemisphären 56, 59
hemisphärische Asymmetrien 56
hemisphärische Spezialisation 59
Hemmung 39
– postsynaptische 39
– präsynaptische 39
Hemmungseffekt 345
Hermann-Gitter 94
Heroin 307
Herstellungsmethode 79
Herzschlag 546, 547, 559
heterozygot 60
HHN-System 68
hierarchische Gedächtnisstruktur 377
hierarchische Netzwerkstruktur 376
hierarchische Strukturierung 376
Hilflosigkeit 327, 330, 331
– gelernte 330, 331
Hindsight-Bias 14, 28
Hinterstrangsystem 44
Hippocampus 51, 52, 394
Hirnanhangdrüse. *Siehe* Hypophyse
Hirnchirurgie 557
Hirnhemisphären 57
– Funktionsuntersuchung 57
Hirnrinde 48
Hirnschädigung 224
– einseitige 224
Hirnstamm 49
Hirnstimulation 557
– und Aggression 557
Hirnstimulationsstudien 54
Hirntemperatur 554
Hobbits- und Orcs-Problem 467, 469
Hoden 512
Höhe 105, 106
– relative 105, 106
Holzweg-Modell 434
Holzwegphänomen 434
Homöostase 241, 250, 494, 495, 496
– antizipatorische 241, 250
– Definition 496
– Temperatur- 496
Homöostasemodell 511
– der Verhaltenssteuerung 511
homöostatische Motivation 494, 495, 532
homöostatisches Motivationsmodell 490
homozygot 60
Hörbahn 166, 167, 193
– Verlauf 167
Hören 76, 79, 158, 165, 169, 170, 199, 202, 203
– absolute Schwelle 79
– Békésys Modellexperiment zur Hörfunktion 165
– dichotisches 199, 202, 203
– Neuronale Signalverarbeitung 170
– räumliches 170
Hörfläche 161
Horizontverhältnis 106
Hormone 44, 46
– Definition 46
– gonadotrope 46
Hörnervenfasern 166
Horopter 107, 108
Hörrinde 54, 167
Hörschnecke 162, 163, 164
– Tonotope Karte 164
Hörschwelle 161
Hörstrahlung 167
Hörtheorien 168, 169
Hörzentrum 54
Hull'sches Modell 490
humanistische Psychologie 11
humanistischer Ansatz 12
Hunger 496, 501, 502, 504, 505, 506
– duale Hypothalamustheorie 504, 505
Hungergefühl 497, 498, 501, 507, 509
– Entstehung 498
– und Magenkontraktion 498
Hungermotivation 496, 497, 498, 499, 503, 507, 508, 509, 510
– genetische Faktoren 507
– Regelkreis 510
– Steuerung 508
Hungermotivationszentren 504
Hungersignal 509
Hydrocortisol 561
hyperkomplexe corticale Zellen 95, 96
Hyperopie 84
Hyperphagie 503, 506
Hypersäule 96, 97
Hypnogramm 238
Hypnotoxin 249
Hypophagie 503
Hypophyse 46, 51, 68

Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse 47
Hypophysenvorderlappen 46
Hypothalamus 46, 50, 51, 496, 497, 500, 502, 503, 506, 543, 544, 557
– lateraler 506
– Motivationszentren 502, 503
– ventromedialer Kern 503
Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-System. *Siehe* HHN-System
Hypothese 15, 16
– experimentelle 16
Hypothesenbildung 15
Hypothesen-Erwartungs-Theorie 129
hypothetische typische Nutzenfunktion 476
Hysterien 233
hysterische Bewusstseinsspaltung 233, 234
hysterische Neurose 233

I

Ich-Bewusstsein 225
Identifikation 345
– mit dem Modell 345
identische Reduplikation 60
Identitätslehre 226
ideomotorische Hypothese 271
ideomotorische Kompatibilität 271
Ikon 362
ikonisches Gedächtnis 361, 362
Illusionen 233
Illustratoren (Gesten) 552
image scanning 458
Image Tracing Task 458
Imitationslernen 342, 343, 344, 347
– Aneignungsphase 344
– Ausführungsphase 344
– Experiment 343
– Grundprinzipien 344
– TV-Gewalt 347
Immunkonditionierung 308
Immunsuppression 308
– Konditionierung 308
implicit reasoning 338
implizit 389
implizites Gedächtnis 375, 389, 391, 393
– Definition 391
implizites Lernen 337, 391
imprinting. *Siehe* Prägung
independent variable 22
Individualbewusstsein 225
Induktion 464, 466
– Definition 464
– fortschreitende 466
– unvollständige 464
– vollständige 464
Induktionsphase 231
induktiv 18
induktiver Schluss 18
induktives Denken 462, 482
induzierte Bewegung 138
– Definition 138
Inferenz 396, 438
Informationsabruf 381
Informationsaufnahme 74
Informations-Chaos 200
Informationsmacht 527
Informationstheorie 9
Informationsverarbeitung 8, 41, 148, 238
– visumotorische Koordination 148
infradianer Rhythmus 240
inhibitorische (negative) postsynaptische Potenziale. *Siehe* IPSP
Initiierung von Handlungen 272
innate releasing mechanism 150
Innenohr 163, 164
– Schallübertragung 164
innere Erlebnisse 20
innere Uhr 242, 248
Instinkt 487, 488
– menschlich sozialer 488
instinktive Handlungen 488
instinktive Verhaltensweisen 488
Instinktkonzept 489
Instinktorganisation 489
– Motivationsmodell 489
Instinktreaktionen 488
– Auslösereiz 488
Instinktverhalten 489
instrumentelle Konditionierung 317
integratives Motivationsmodell 510
integrative Wiederholung 387
Intelligenz 551
– emotionale 551
Intentionalität 226
Intentionalitätsproblem 226
interaurale Intensitätsdifferenz 169
interaurale Laufzeitdifferenz 169
Interferenz 337, 360, 361, 383, 385
– proaktive 360, 361, 383
– retroaktive 360, 361, 383, 385
Interferenzaufgaben 281
Interferenzeffekte 384
Interferenz (Gedächtnis) 359, 360
Interferenz (Gedächtnisinhalt) 382
interhemisphärische Kontrolle 286
intermittierende Verstärkung 325
interner Kontext 382
Interneuron 35
Intervallplan 326
Interview 26
– standardisiertes 26
Interviewleitfaden 26
Intimität 518
intragastrische Selbstinjektion 499
intrinsische Motivation 530, 531
– Definition 531
Introspektion 7, 8, 20
intuitives Denken 452
Invariantenbildung 119, 200
Inzest 517
inzidentelle Information 372
inzidentelles Lernen 337
Ionenkanäle 35
IPSP 37, 38
IQ-Testwerte 69
Isolationsstudien 240
Isolierungseffekt 359
Isophone 161
Isovaleriansäure 179
Ist-Wert 495

J

Jacobsonsches Organ 178
James-Lange-Theorie 543, 544, 545, 554, 564
Jetlag 243, 245
Joch-Kontrolle 331
Jugendaggressivität 346
Julesz-Stereogramm 109
just noticible difference 79

K

Käferdetektor 141, 150
Kaliumchlorid 179
Kälterezeptoren 189
– Entladungsfrequenz 189
Kaltrezeptoren 187
Kampf 543
Kampfer 176
Kaspar Hauser 64
Kaspar-Hauser-Experimente 145
kategoriale Syllogismen 462
kategoriale Wahrnehmung 427
Kategorisierung 453, 454
Kategorisierungsarten 455
Kategorisierungsprozesse 549
Katharsishypothese 346
Kausalbeziehung 25
Kausalität 4
Kausalitätswahrnehmung 142
Keimzellen 60
Kettenkonditionierung 328, 329
Kettenproblem 465
Kindchenschema 151
Kinsey-Report 516, 517
Kippbild 124
– Rubins 124
Kippfigur 125
Kitzelempfinden 188
Kitzeln 188
K-Komplexe 236
Klangfarbe 160
Klarheit 105
– relative 105
Klassifikation 373, 375
– Gedächtnisprozess 373, 375
klassische Konditionierung 293, 296, 297, 298, 300, 304, 306, 309, 312, 316
– Anwendungsbeispiele 306
– Blockierung 309
– Definition 297
– Gesetzmäßigkeiten 298
– Lernkurven 298
– Modelle 312
– Phasen 298
Kleinhirn 49
Kniesehnenreflex 42, 222
Knoten (Netzwerk) 132, 133
Koartikulation 266, 427
Kognition 8, 13, 564
– Definition 8
kognitive Bewertung 545, 549
kognitive Bewertungstheorien 545, 549
kognitive Elaboration 403
kognitive Expertise 337
kognitive Karte 340, 341
– Definition 341

kognitive Kontrolle 285
kognitive Landkarte 129, 458
kognitive Motivationsmodelle 521, 532
kognitive Motivationstheorien 526, 528
kognitive Neuropsychologie 13
kognitive Neurowissenschaft 4, 7, 12, 13
– Definition 7
kognitiven Wende 526
kognitive Ökonomie 453
kognitive Psychologie 8, 9
kognitiver Ansatz 9, 28
kognitive Regeln 312
kognitives Netzwerk 376
kognitive Umstrukturierung 473
kognitive Verarbeitungsprozesse 74
kognitive Wende 225
kognitive Wende der Psychologie 8
kognitiv strukturierte Lerntheorie 347
Kohärenzmuster 410
Kohlrausch-Knick 88
Kohortenmodell 429, 446
Kollaterale 34
Komparator 495
komplementäres Nachbild 104
Komplementärfarbe 103
Komplementarität 226
komplexe corticale Zellen 94, 95
– Definition 95
Komponententheorie 181
Konditionierbarkeit 332
konditionierte Alarmreaktion 304
konditionierte Erwartung von Nahrung 507
konditionierte Furchtreaktion 302, 304
konditionierte Geschmacksaversion 307
konditionierte Reaktion 297
konditionierter Reflex 296
konditionierter Reiz 297
konditionierte Übelkeit 307
konditionierte Umgebungsreize 507
konditionierte Verstärker 322, 323
– Definition 323
Konditionierung 7, 293, 294, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 310, 312, 313, 314, 316, 317, 319, 321, 322, 327, 329, 342, 348, 408, 409, 410, 491, 507
– assoziative 312
– aversive 327
– der Immunsuppression 308
– des Immunsystems 307, 308
– emotionale 303
– Gegen- 306
– Geschmacksaversions- 313, 314
– höherer Ordnung 301, 302
– Ketten- 329
– klassische 293, 296, 297, 298, 300, 304, 306, 312, 316
– Nahrungsaufnahme 507
– operante 294, 317, 319, 321, 322, 348
– Pawlowsche 408
– prädiktionsbasierte 310
– Rückwärts- 299
– Simultan- 299
– Spuren- 299
– stellvertretende operante 342
– Verhaltens- 303, 305
– verzögerte 299
– zweiter Ordnung 302
Konditionierungsbeispiele 298
Konditionierungsmuster 299
Konditionierungsreize 299
Konjunktionsregel der Wahrscheinlichkeitstheorie 465
Konklusion 462
konnektionistische Modelle 132
konnektionistisches Netzwerk 132, 133
– Aufbau 132
konnektionistisches Netzwerkmodell 280
konsensuale Validierung 230
Konsequenz 462
Konsolidierung 409, 410, 412, 413, 414
– im Schlaf 374
Konsolidierungsphase 406
Konsolidierungstheorie (Langzeitgedächtnis) 373
Konsonanteneinteilung nach Artikulationsart 441
Konstanzmethode 78
konstruktives Gedächtnis (constructive memory) 395
konstruktivistischer Ansatz 129
Kontext 375, 377, 381, 382, 437
– externer 382
– interner 382
Kontexteffekt 129, 381, 382, 385
Kontextreiz 381
Kontiguität 309, 324
– Definition 309
Kontiguität (Konditionierung) 299
kontingente Bestrafung 321
kontingente Verstärkung 321
Kontingenz 309, 323
– Definition 309
– Häufigkeitsfaktor 323
– Zeitfaktor 323
Kontingenzpläne 324
Kontingenzprinzip 324
kontinuierliche Verstärkung 325
Kontrast 103, 112
– Helligkeits- 112
– Simultan- 103, 112
– Sukzessiv- 103
Kontrastneurone 92
Kontrast-Täuschung 121
Kontrastverschärfung 90
Kontrollfunktion 281
Kontrollgruppe 23
kontrolliertes Experiment 21, 23
Kontrollschrankentheorie 190
Kontrollüberzeugung 530, 533
Kontrollverlust 231
konvergente Forschung 6
Konvergenz 107
Konvergenzschaltung (Sehen) 87
Konvergenz (Sehen) 87
Konversionshysterie 234
Konversionsreaktion 234
Konvexitätsdetektor 150
Konzept 341, 453, 454
– abstraktes 341
– Definition 453
– konkretes 341
Konzeptbildung 453
Konzepterwerb 455
Konzeptualisierung 438
Konzeptualisierungsprozess 440
konzeptuelles Gedächtnis 428
Kooperationsprinzip 441
Körperbewegung 76
Körperschema 232
– Veränderungen 232
Korrekturprinzipien 111
Korrelat der Handlungsintention 220
Korrelation 24, 25
Korrelationskoeffizient 24
Korrelationsmethode 24
Korrelationstafel 15, 24
Korrelationsverfahren 25
Kortisol 250, 527
Kraftsinn 191
Kriterium 25
kritische Merkmalstheorie 453, 454
kritische Perioden 444
– Definition 444
kritische Periode (Wahrnehmungsentwicklung) 146, 147
kritische Sehperiode 147
Künstliche Intelligenz 9
Kurzzeitgedächtnis 312, 356, 364, 365, 366, 368, 369, 391, 412, 413, 415
– als aktiviertes Langzeitgedächtnis 390, 391
– Behaltenskurve 369
– Chunking 368
– Definition 365
– Encodierung 365
– Verarbeitung 368
Kurzzeitgedächtnis (short-term memory) 356

L

labiale Laute 440
Labyrinthlernen 340
Labyrinthsystem 191
Lallstadium 442, 446
– erstes 442
– zweites 442
Langzeitgedächtnis 356, 357, 364, 365, 370, 372, 373, 375, 377, 379, 385, 413, 414
– Abruf 379
– Abrufhinweis 379
– Abrufmethoden 379
– akustische Encodierung 373
– Definition 365
– Einfluss von Angst 385
– emotionale Faktoren 385
– Encodierung 370, 373
– Encodierungsformen 372
– Konsolidierungstheorie 373
– Speicherung 373
– visuelle Encodierung 373
Langzeitgedächtnis (long-term memory) 356
Langzeitpotenzierung 407
Langzeitspeicherung 391, 410
– und Konsolidierung 410
Late-closure-Prinzip 434
– Definition 434
latentes Lernen 340, 341, 344
laterale Hemmung 94
laterale Hemmung (Sehen) 90
lateraler Hypothalamus 506
lateralisiertes Bereitschaftspotenzial 265, 271
Laute 440
Lautstärke 160
Lautstärkepegel 161

Lautunterschiede 424
Lebenstrieb 490
Leerlaufhandlungen 488
legitimierte Macht 527
Leib-Seele-Dualismus 3
Leib-Seele-Monismus 3
Leib-Seele-Problem 3, 226
Leichtschlaf 228
Leistung 523, 525
Leistungsbedürfnis 526
Leistungsbeeinträchtigungen 278
– bei Crosstalk 278
Leistungsfähigkeit 9
Leistungsmotiv 522, 523
Leistungsmotivation 521, 522, 524, 525, 526, 533
Leistungsmotivationssystem 530
Leistungsmotivationstheorie 529
Leistungstest 27
Leistungszuwachs 337
Leitungsbogen 33, 41
Lemma 440
– Definition 440
Lemmainformationen 440
Lemmaverarbeitung 440
Lernbereitschaft 313
Lerndisposition 292, 313, 332, 335
– artspezifische 313, 332
– individualspezifische 335
Lerneffekt 345
– durch Beobachtung 345
– Enthemmungseffekt 345
– Hemmungseffekt 345
Lernen 292, 293, 294, 295, 317, 321, 335, 336, 337, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 347, 348, 358, 359, 381, 382, 391
– am Erfolg 317
– am Modell 342
– Assoziations- 294
– assoziatives 348
– aus Verhalten 292
– Beobachtungs- 348
– Definition 293
– Diskriminations- 321
– Einsichts- 335, 336, 348
– explizites 337, 389
– Flexibilität 292
– Habituations- 294, 295
– Imitations- 342, 344
– implizites 337, 391
– inzidentelles 337
– kognitive Aspekte 335
– kognitives 294
– kontextabhängiges 381
– Labyrinth- 340
– latentes 340, 341, 344
– massiertes 358
– Modell- 294, 343, 345, 347
– neuer Verhaltensweisen 317
– Orts- 341
– perzeptuelles 339
– Positionseffekt 359
– soziales 342
– verbales 294
– Verhaltensänderung 293
– verteiltes 358
– von Begriffen 342
– von Signalen 293
– zustandsabhängiges 382
Lernerfahrung 150
Lernerwerb 348
Lernkurven 358
Lernphase 335, 344
– Aneignungsphase 344
– Ausführungsphase 344
Lernprozess 293, 410
– Flussdiagramm zum Verlauf 293
lernpsychologisch ausgerichtetes Motivationskonzept 490
Lernstoffmenge 359
– und Lernzeit 359
Lernstrategien 399
Lerntheorie 347
– kognitiv strukturierte 347
– sozialkognitive 347
Leseschwäche 67
lexikalisches Wissen 428
– Definition 428
Lexikalisierungsgrad 432
LH-Syndrom 504, 505
Lichttherapie 244
Lidschlagkonditionierung 305
limbisches System 51, 52, 175, 543
– Definition 52
– Sagittalschnitt 52
Lindsleys Aktivationstheorie 545, 564
lineare Schaltung (Sehen) 87
Linearperspektive 105
Linguistik 9
linguistischer Determinismus 422
linguistische Relativitätshypothese 422
Linse 84
Lipogenese 506
Lipostatentheorie 504
Listentrennungseffekt 361
Loci-Technik 401, 402
Locus coeruleus 49, 245, 246
Locus raphé 49
Logik 462, 463
– formale 463
logisches Denken 462
Lokationskonstanz 117, 118
Löschung 304
Löschungsresistenz 325
LSD (Lysergsäurediäthylamid) 41
Luftperspektive 105
luteinisierendes Hormon (LH) 250, 512, 514
luzides Träumen 252

M

Mach'sche Bänder 90, 93
Macht 526, 527
– Belohnungs- 526
– Bestrafungs- 526
– Definition 526
– Experten- 527
– Informations- 527
– legitimierte 527
– personalisierte 527
– sozialisierte 527
Machtmotiv 527
– Messung 527
– und Testosteronausschüttungen 527
Machtmotivation 526, 527, 533
– physiologische Grundlagen 527
Machtquellen 526, 527
Machttypen 527
Mackworth-Clock-Test 228
Magen 500
– Dehnungsreize 500
Magenkontraktion 497, 498
– und Hungergefühl 498
Magnetencephalografie 436
Magnet-Resonanz-Tomografie (MRT) 54, 460
magnozelluläre Schichten 92
maintenance rehearsal 368
Makrosmat 174
Makula. *Siehe* gelber Fleck
Mandelkerne 51, 52. *Siehe* Siehe Amygdala
Mangelerscheinungen 509
Mangelmotivationen 522
Maskierung 160, 362, 363
– Definition 160
– rückwirkende 362, 363
Maslows Bedürfnishierarchie 11, 522, 523
massiertes Lernen 358
– Lernkurven 358
M-Bahn 92
McGurk-Effekt 191, 427, 428
meaningful unit 368
Mechanismen der Reizselektion 205
Mechanorezeption 181
Mechanorezeptoren 76, 184
Medulla oblongata 49
Mehrfachtätigkeiten 272
mehrfaktorielles Design 23
Mehrphasen-Sättigungsprozess 501
Mehr-Stock-Problem 334, 335
Meinungsumfrage 26
Meiose 60, 61
– Definition 61
Meissner-Körperchen 185
Melanopsin 87
Melatonin 50, 248
Membranpotenzial 35
memory span. *Siehe* Gedächtnisspanne
Mendelsche Gesetze 60
Mendelsche Vererbung 60
Menschenseele 4
mentale Repräsentation 335
mentale Rotation 457, 459
mentale Schnappschüsse 372
mentales Lexikon 428, 445
– bei Bilingualen 445
– Definition 428
mentales Modell 438
– zum Textverstehen 438
mental model of reality 8
mental workbench 365
Merkel-Zellen 184, 185
Merkmale des Umfeldes 129
Merkmalsintegrationstheorie 131, 132
– Verarbeitungsstufen 132
Merkmalssuchaufgabe 212
Mesencephalon 48, 49
Messenger-RNA (mRNA) 63
Messergebnis 24
– grafische Darstellung 24
Messoperation 19
Messwert 20, 24
– Streuung 24
Metencephalon 49
Methode der Rückwärts-Analyse 471

Methode der Schlüsselbegriffe 402
Methode der Unterschiedsreduktion 468
Methode des teilweisen Berichtens 362
Methode des vollständigen Berichtens 362
Methoden 21, 22
– Versuchsplanung 21
Methodenlehre 18
Methoxyestratetraene 179
MHC-assoziierte Gerüche 178
Mikrosmat 174
Mikrozyklen 237
Mimese 202
Mimetika 40
Mimik 551, 552
mind 3, 4
Minimal-attachment-Prinzip 434
– Definition 434
mirror neurons 265
Misserfolg 529
Misserfolgsmotiv 525
Misserfolgsmotivation 531
misserfolgsmotiviert 525
Mitose 60
– Definition 60
Mittelhirn 557
Mittelohr 162
Mittelwertbildung 20
Mittel-Ziel-Analyse 467, 469, 470
– Flussdiagramm 469
Mnemotechniken 399, 400, 401, 402, 403, 405
– Chunking 400, 401
– Elaboration 403
– Loci-Technik 401
– Methode der Schlüsselbegriffe 402
– PQRST-Methode 405
– Visualisieren 401
Modell 264, 285, 345
– der Handlungssteuerung 264
– der kognitiven Kontrollprozesse 285
Modell interaktiver Aktivierung 134
Modell leistungsorientierten Verhaltens 525
Modelllernen 294, 342, 343, 345, 347
– Grundprinzipien 343
– Haupteffekte 345
– von Gewalt 345
Modell nach Wagner 312
Moderatorvariable 559
Modifizierung durch Lernen 411
Modus ponens 463
Modus tollens 463
momentaner Aufmerksamkeitsbereich 199
Mondtäuschung 120, 121
Monismus 3
Monitoring 440
Monochromat 102
monokularer Tiefenhinweis 105, 106
monozygot 67
moralische Entwicklung 522
Morpheme 422, 423
– Definition 423
Morphin 189, 190
Morphologie (Sprache) 424
Moschus 175
Motiv 486, 487, 492, 494
– biogenes 487
– Definition 487, 492
– soziales 492
– soziogenes 487, 494
Motivation 486, 487, 491, 494, 495, 496, 510, 511, 515, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 528, 530, 531, 532, 533, 564
– als intervenierende Variable 487
– biogene 486
– biologische 494
– Definition 487
– durch Zielsetzung 528, 533
– extrinsische 530, 531
– homöostatische 494, 495, 532
– Hunger- 496
– intrinsische 530, 531
– Leistungs- 521, 522, 524, 525, 533
– Macht- 526, 533
– nichthomöostatische 495, 532
– psychologische 494
– sekundäre 491
– sexuelle 510, 515
– soziogene 486
– theoretische Ansätze 486
motivationales Bedürfnis 487
motivationales Vergessen 382
motivationale Wirkbeziehungen 532
Motivationen 67, 494
motivationsbedingtes Essen 503
Motivationsforschung 487, 489, 491, 492, 494, 526
Motivationskonzept 490
Motivationsmodell 489, 490, 510, 521, 532
– der Instinktorganisation 489
– homöostatisches 490
– kognitives 521, 532
Motivationsprozess 493
– Modellschema 493
Motivationspsychologie 487, 531
Motivationsstärke 523
Motivationssteuerung: unter dem Einfluss kultureller Faktoren 518
Motivationstendenz
– resultierende 525
Motivationstheorie 522, 526, 528
– kognitive 526, 528
– nach Maslow 522
Motivationszentren des Hypothalamus 502, 503
Motivhiearchie 522
motiviertes Vergessen 386
Motoneuron 35, 265
motorischer Cortex 53
motorisches Denken 452
motorisches Sprachzentrum 56
MT-Neuron 141
Müller-Lyer-Täuschung 19, 121, 122
multi-attribute utility theory 478
Multi-Motivgitter 524
multiple Persönlichkeit 233
Multiple Sklerose 36
Münsterbergs Bericht 13
Muskelspindeln 191
Muster des optischen Fließens 123
Mustererkennung 168
mütterliches Verhalten 519
Muttersprache 443
Myelin 34
Myopie 84

N

Nachahmungslernen 346
– bei Tieren 346
Nachbild 103, 104, 116
– beim Sukzessivkontrast 116
– komplementäres 104
Nachfolgeprägung 332
Nachtarbeit 243
Nachtschichtarbeit 250
Nachtschichtwachheit 250
– und Wachstumshormonausschüttung 250
Nahpunkt 84
Nahrung 497
– Geschmacksfaktoren 497
Nahrungsaufnahme 497, 501, 509
– homöostatische Regelung 509
– Regulation 501
Nahrungsdeprivation 503
Na^+-K^+-Pumpe 36
Naloxon 190
Nativismus-Empirismus-Debatte 68
Nativist 144
Natriumchlorid 182
Natriumoleat 173
natürliche Objekte 134
– Erkennung 134
N-Back-Aufgabe 281
Nebennierenhormone 47
Necker-Würfel 126, 130
need achievement 523, 524
negatives Priming 204
negative Verstärker 320
Neglect 224, 481
Neocortex 48
Nerv 34
Nervenfaser 34
– markhaltige 34
– marklose 34
Nervengase 40
Nervensystem 32, 33, 35, 43, 44, 45, 68, 542, 543
– autonomes 44, 45
– Erregungsleitung 35
– Parasympathicus 44
– parasympathisches 543
– peripheres 33, 43
– Signalübertragung 32
– somatisches 43
– Struktur 33
– Sympathicus 44
– sympathisches 542
Nervenzelle 34. *Siehe auch* Neuron
Nervus acusticus 166
Nervus glossopharyngeus 180
Nervus statoacusticus 166
Nestgeruch 178
Netzhaut. *Siehe* Retina
Netzhautbild 107, 111
– korrespondierende Netzhautpunkte 107
– Verschiebung 111
Netzhautpunkte 107
– korrespondierende 107
Netzwerk 132, 133, 376
– erweitertes konnektionistisches 132
– konnektivistisches 132, 133
– propositionales 376
– semantisches 376

Neugierverhalten 520, 521, 532
– diversives 521
– spezifisches 521
Neuigkeitsbevorzugung 294
neuroendokrines System 44, 68
Neuroendokrinologie 47
neurokognitive Methoden 436
neurokognitives Stufenmodell 435, 436
Neuromimetika 41
Neuron 6, 34, 35, 36, 38, 68, 90, 92, 93, 104, 111, 152, 343
– Axon 34
– Dendrit 34
– Detektor- 93
– Formenvielfalt 35
– Gegenfarben- 104
– Hell-Dunkel- 92
– Inter- 35
– Kontrast- 92
– Moto- 35
– OFF-Zentrum- 90
– ON-Zentrum- 90, 92
– querdisparationsempfindliches 111
– Schema 34
– sensorisches 34
– Spiegel- 343
– Summation von EPSP und IPSP 38
– visuelles 90
– Zellmembran 35
neuronale Habituation 315
neuronale Netzwerke 41
neuronale Objekterkennung 89
neuronale Sensitivierung 315
Neuronale Signalverarbeitung (Hören) 170
neuronale Verarbeitung 90
– in höheren Zentren 90
neuronale Verschaltungen 55
– Plastizität 55
Neuronenensembles 41
Neuronenkreise 406
Neuropeptid Y 506
Neurophysiologisches Modell nach Sokolov 218
Neuropsychologie 13, 458, 460
– bildhaften Denkens 458
– des propositionalen Denkens 460
neuropsychologische Erkenntnisgewinnung 6
neuropsychologischer Ansatz 6
Neurorezeptoren 37, 38, 40
Neurose 233
– Angst- 233
– hysterische 233
– Zwangs- 233
neurotische Abwehrmechanismen 233
Neurotransmitter 37, 38, 39, 40, 41
– Acetylcholin 39, 40
– Adrenalin 41
– Agonist 40
– Antagonist 40
– Definition 37, 39
– Dopamin 40
– GABA 40, 41
– Glutamat 40
– Noradrenalin 40, 41
– Serotonin 40
– Übersicht 40
neutraler Monismus 3
Newtons Prismenversuch 101
Nichtauffindbarkeit (Gedächtnisinhalt) 382, 385
Nichteinprägung 382
Nichterinnerer 252
nichthomöostatische Motivation 495, 532
Nichtzugänglichkeit (Gedächtnisinhalt) 382, 383
Nikotin 182
Nivellieren (leveling) 399
Non-REM-Rebound 255
Non-REM-Schlaf 237, 254
nonverbale Mitteilung emotionaler Zustände 551
Noradrenalin (Norepinephrin) 40, 41, 45, 506, 545
normative Theorie 476
Nozizeption 181
Nozizeptoren 188
Nucleoproteine 410
Nucleotid 411
Nucleotidbasen 61, 62
Nucleus cochlearis 167
Nucleus geniculatis 167
Nucleus mesensephalicus lateralis dorsalis 171
Nucleus paraventricularis 506
Nucleus solitarius 180
Nucleus suprachiasmaticus (SCN) 248
Nukleinsäuren 411
Nullhypothese 16
Nutzenfunktion 476, 477

O

obere Olive 167, 170
Oberflächenschmerz 188
Oberflächenstruktur (Sprache) 424
objektbasierte Aufmerksamkeit 209
Objekterkennung 130, 135
Objekterkennungsstadien 89
objektive Registrierung 20
Objektivität 16, 18, 19
Objektprägung 332
Objektwahrnehmung 124
Oddity-Learning 456
OFF-Antwort 91
OFF-Zentrum-Neuron 90, 92
Ohr 160, 162
– Aufbau 160, 162
okuläre Dominanzsäule 96, 97
okulomotorischer Tiefenhinweis 107
Okzipitallappen 53
Olfaktion. *Siehe* Geruchswahrnehmung
olfaktorischer Cortex 174
olfaktorisches System 170
ON-Antwort 91
ON-OFF-Neuron 167
On-Off-Oszillator 246
ON-Zentrum-Neuron 90, 92
Open-Loop-Kontrolle 266
operante Konditionierung 294, 317, 319, 321, 322, 324, 330, 348
– autonomer Funktionen 330
– Kontingenzpläne 324
operationale Definition 19, 20
Operator 467
– Auswahl 467
Operatorgene 62
Operatorverfügbarkeit 474
Opiate 41
Opiatrezeptoren 190
Opponenteneinheit 103
Opponent-Process-Model 249
opponent-process theory 103
Opsin 102
optisches Auseinanderfließen 143
optisches Fließen 143
orbitofrontaler Cortex 175, 177
Orgasmus 514, 516
Orgasmusphase 516
Orientierungsreaktion 217
– Teilprozesse 217
Orientierungssäule 96
ortsbasierte Selektivität 206
– Definition 206
ortsbasierte Verarbeitungsselektivität 206
Ortslernen 341
Ortsprinzip der Wanderwelle 164
Östrogen 46, 512
ovales Fenster 163
Ovarien 512
Overconfidence-Effekt 13, 15
overte Verhaltensreaktion 7
Ovulationshemmer 46
Oxytocin 519

P

Pacini-Körperchen 185
Parabelt 168
Paradigma der operanten Konditionierung 321
paradoxer Schlaf 237
Parallaxenverschiebung 106
parallel distributed processing 132
Parallelisierung 23
Parallelverarbeitung 435
Paralyse 40
Parasympathikus 44, 543
Parentalgeneration 59
Parietallappen 53
Parsing 433, 434, 437
– Definition 434
partieller Verstärkungseffekt 325
partielle Verstärkung 325
parvozelluläre Schicht 92
passive Aufmerksamkeitssteuerung 219
Patellarsehnenreflex 42, 222
Paukenhöhle 163
Pawlow-Konditionierung 408
Pawlow'scher Versuch 296, 297
Pawlows Experimentiereinrichtung 296
Payoff-Matrix 82, 83
P-Bahn 92
PC-Rezeptoren 185
PDP-Modelle 132
perceptual motor coordination 148
Perilymphe 163
Periodenverkürzung 243
Periodizitätstheorie der Tonhöhenwahrnehmung 168, 169
Perseveration 282
Perseverationstendenz 78
Persönlichkeitsmerkmal 529
Perzept 75, 158, 177
Perzeption 75, 126, 129, 131
perzeptuelles Lernen 339
Perzeptwandel 130
PET-Scan 458, 460, 461

Pfad 268
Pflanzenseele 4
phänomenale Bewusstseinsinhalte 223
phänomenales Bewusstsein 226
Phänomenbereich 18
Phänotyp 60
Phasenstrukturbaum 433
phasischer Schmerz 188
Pheromone 178
– Definition 178
Pheromonkommunikation 178
Philosophie des Geistes 226
Phobien 233
phobisches Objekt 233
Phon 161
Phoneme 167, 422, 423, 443
– Definition 423
– Verlernen der Unterscheidbarkeit 443
Phonemrepräsentation 429
Phonemunterschiede 424
Phonetik 440
Phonologie 424, 440
phonologische Dyslexie 431
phonologische Encodierung 440
phonologische Schleife 365
photosensitive Retinal Ganglion Cells 87
Phrasen 422, 424, 432
Phrasenstruktur 425
Phrasenstrukturbaum 432
Phrasenstrukturregeln 432
Pilzpapille 180
Pinealkörper (Corpus pineale) 50
Placebo-Effekt 21, 306
Plateauphase 516
pleiotrop 60
Poggendorf'sche Täuschung 122
polygen 60
Pons 49
Ponzo-Täuschung 19, 118, 120
Pop-out 212
Positionseffekt 359
Positionssäule 96
positive Verstärker 320
Positronen-Emissions-Tomografie (PET) 460
posteriore Assoziationsareale 55
Post-Error Slowing 285
postresorptive Sättigung 500
postselektionale Phase 478
postsynaptische Hemmung 39
postsynaptische Membranrezeptoren 39
Potenzgesetz der Übung 339
Potenzial 144, 145, 436
– ereigniskorreliertes 436
– evoziertes 144, 145
PQRST-Methode 405
prädiktionsbasierte Konditionierung 310
Prädiktor 25, 310
Prädisposition 64
präformierter Schlüsselreiz 149
pragmatisches Wissen 433
Prägnanzgesetz 125
Prägung 150, 332, 334
– Definition 334
– Nachfolge- 332
– Objekt- 332
Prägungsexperimente 333
präkognitive Emotionen 550
Präkonditionierung 312
– sensorische 312
Prämisse 462
präresorptive Sättigung 497
präselektionale Phase 478
präsynaptische Hemmung 39
Präzedenzeffekt 170
Präzisionshypothese 192
preferential looking method 145
Premack-Prinzip 324, 325
Preparedness 313, 332
Presbyopie 84
pRGC. *Siehe* photosensitive Retinal Ganglion Cells
Primacy-Effekt 359, 387, 388
Primärdaten 20
primäre afferente Hörnervenfasern 166
primäre Emotionen 549
primäre Hörrinde. *Siehe auch* auditorischer Cortex
primärer auditorischer Cortex 167, 168
– tonotope Organisation 168
primärer gustatorischer Cortex 180
primärer Trieb 491
primärer visueller Cortex 93
primäre sensorischen Zentren 53
Primärgerüche 175
Primer-Pheromone 178
Priming 204, 379, 380, 393
– negatives 204
Priming-Effekt 380, 391
Prinzip der Ähnlichkeit 138
Prinzip der Dominanz 476
Prinzip der guten Fortsetzung 138
Prinzip der Invarianz 476
proaktive Interferenz 360, 361
– Definition 361
probabilistischer Funktionalismus 129
Probehandeln 347
Problem 466, 467, 470, 471, 472
– geometrisches 472
– gut definiertes 467
– Hobbits- und Orcs- 467
– schlecht definiertes 467
– Turm-von-Hanoi- 470, 471
Problemlösen 466, 473
– zielgerichtetes 466
Problemraum 466
Problemrepräsentation 473
Problemrepräsentationsaufgaben 472
problemzentrierte Strategien 563
produktives Denken 452
Progesteron 512
Programmsteuerung 265
Projektion 563
Projektionsareale 53
Prolaktin 520
Proposition 422, 424, 425, 426
– Definition 424
propositionales Denken 452, 460
– Neurophychologie 460
propositionales Netzwerk 376, 425
propositionale Wissensrepräsentation 480
Propriozeption 181, 187
propriozeptiv 181
Propriozeptoren 191
Prosencephalon 48
Prospekttheorie 476, 477
Protanopie 103
Proteinbiosynthese 411, 412, 413
– Blockierung 412, 413
– Schema 411
Proteine 62, 411
Proteinsyntheseblocker 412
Prototyp 377, 454
Prototypentheorie 454, 461
proximaler Reiz 75
prozedurale Encodierung 367
prozedurales Fertigkeitengedächtnis 391
prozedurales Gedächtnis 375, 389, 391, 394
prozedurales Wissen 337, 392
Prozess 229, 230
– nicht bewusster 229
– unbewusster 230
– unterbewusster 229
Prozesspfad 268
psychischer Zustand 189, 228
– und EEG-Korrelate 228
psychoaktive Drogen 40
psychoaktive Pharmaka 41
Psychoanalyse 10, 11
psychoanalytischer Ansatz 9, 10, 28
Psychochirurgie 557
psychodynamisches Modell 10
psychodynamische Theorien 10
Psycholinguistik 446
Psychologie 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 12, 18, 19, 205
– als wissenschaftliche Forschungsmethode 12
– Definition 2, 4
– Gegenstand und Ziele 2
– Geschichte 2
– humanistische 11
– kognitive 8, 9
– kognitive Wende 8
– Konzepte 5
– Methoden 18, 19
– S-R- 7
– Werbe- 205
psychologische Methodenlehre 18
Psychologische Refraktärperiode 276
psychologischer Test 27
Psychophysik 77
Psychophysisches Grundgesetz 80
psychotope Drogen 41
Pubertät 512
Pupille 84
Puromycin 412
Pygmalion-Effekt 21

Q

Qualia 223, 226
Qualiaproblem 226
Qualitätsumschlag 180
Quasi-Experiment 22
Querdisparation 94, 107, 108, 109, 110, 111
– gekreuzte 108
– und binokulare Disparität 108
– ungekreuzte 108
Querdisparität 108
– Definition 108
Querschnittslähmungen 43
Quotenplan 325, 326

R

race-based processing 435
Ranvier-Schnürring 34
Raphé-Kerne 246
RA-Rezeptoren 185
Rasterhypothese der Traumentstehung 253, 254
Rating 26
Rationalität 478
– begrenzte 478
räumliches Auflösungsvermögen (Druck) 184
räumliches Hören 170
räumliche Summation 87
räumliche Unterschiedsschwelle (Druck) 184
Raumlokalisation 171
Raumrepräsentanz 171
– auditorische 171
Rauschverdopplung 172
Reafferenz 118
Reafferenzprinzip 118, 148, 187
– Funktionsschaltbild 118
Reaktion 297
– konditionierte 297
Reaktionsausführung 269
Reaktionsauswahl 269
Reaktionsbildung 563
Reaktionsgeneralisation 301
reaktionsspezifische Taubheit 217, 218
Reaktionszeit 269, 425, 430
– zur Erkennung von Phonemen 430
reale Bewegung 139
reasoning 462
Recency-Effekt 359, 388
Redundanzvorteil 192
Reduplikation 62
Reflex 222, 296
– Kniesehnen- 222
– konditionierter 296
Reflexbogen 41
Reflexionsgrad 101
Refraktärphase 517
Regelgröße 495
Regelkreis 495
– mit negativer Rückkopplung 495
Regeln der bedingten Logik 463
Regelung 266
Regression 563
Regulatoren (Gesten) 552
Rehearsal 312, 365
Reichers Experiment zur Buchstabenerkennung 133
reine Töne 160
Reinforcement 297, 301
– differenzielles 301
Reiz 9, 75, 76, 89, 207, 210, 214, 297, 381, 488, 511, 513, 523
– adäquater 76
– Auflösungsvermögen 89
– Auslöse- 488
– distaler 75
– Flankier- 207, 210
– konditionierter 297
– Kontext- 381
– proximaler 75
– Schlüssel- 488
– sexueller 513
– situativer 523
– subliminaler 214
– unkonditionierter 297
Reizarten 76
Reizattraktivität 513
Reizauswahl 205
Reizdarbietung im Experiment von Michotte 142
Reizdiskrimination 301, 302
Reizgeneralisierung 300, 301, 316
Reizidentifikation 269
Reizmerkmalsdimension 212
Reiz-Reaktions-Kompatibilität 269
Reiz-Reaktions-Matrix 82
Reiz-Reaktions-Verbindungen 313
Reiz-Reaktions-Zuordnungen 270
Reizselektion 205, 209. *Siehe* Selektion
Reizüberflutung 231
Reizverarbeitungsstörung 214
rekonstruktiv 26
relative Bewegung 139
relative Helligkeit 112
Releasing-Hormone 46
Reliabilität 19, 21
REM-Deprivation 253, 254
REM-Rebound 255
REM-Schlaf 236, 237, 238, 239, 245, 247
– Definition 239
– Entzug 255
– physiologische Besonderheit 238
– rapid eye movements 235
Renin 250
Replizierung 19
Repräsentation 335, 340
– mentale 335, 340
Repräsentativität 18
Reproduktion 388
– freie 388
Reproduzierleitung 358
Reptiliengehirn 48
Rescorla-Wagner-Modell 312
Re-Test-Reliabilität 21
Retikulärformation 50
Retikulärsystem 222
Retina 84, 85, 86, 87
– Fokussierung des Lichtes 85
– Schematischer Querschnitt 86
– Schichten 85
– Verteilung von Stäbchen und Zapfenrezeptoren 87
Retinaatrophie 146, 147
Retinabild 115
– Größe 115
Retinal 86, 102
retinohypothalamischer Trakt 248
retinotope Organisation 91
retroaktive Interferenz 360, 361, 385
– Definition 361
retrograde Amnesie 393
retrospektiv 26
reverberatorische Neuronenkreise 406
reverberatorischer Erregungskreis 406
reversible decortication 406
rezeptives Feld 90, 91, 92, 95, 96, 97, 184, 185
– Ausrichtung 95
– berührungsempfindlicher Neurone 185
– Definition 90
– Einzelzellableitungen 91
– Organisation 96
Rezeptorblocker 40
Rezeptoren 34, 74, 75, 76, 184, 185, 187, 190, 191
– Berührungs- 185
– Druck- 184
– Gelenk- 191
– Haarfollikel- 185
– Kalt- 187
– Mechano- 184
– Opiat- 190
– PC- 185
– Propriozeptoren 191
– RA- 185
– SA- 184
– SA-II- 185
– Vibrations- 185
– Warm- 187
Rezeptorpotenzial (Sehen) 86
Rezeptorproteine 177
Rezeptorproteine (Riechen) 174
Rezeptortypen 76, 185
Rezeptorverdoppelung 407
Rezeptorzellen 89, 176
– Neuronale Verschaltungsprinzipien 89
– Reaktion auf verschiedene Geruchsstoffe 176
rezessiv 60
reziprokes Interaktionsmodell 246, 247
Rhodopsin 85, 86, 115
Rhombencephalon 48
Rhythmus 240, 241, 242
– freilaufender zirkadianer 241, 242
– infradianer 240
– ultradianer 240
– zirkadianer 240
Rhythmusgeber 241
– angeborener endogener 241
Rhythmusverschiebungen 245
Ribonukleinsäure. *Siehe* RNA (Ribonucleinsäure)
Richtcharakteristik 169
Riechen 79
– absolute Schwelle 79
Riechrezeptoren 174
Riechschleimhaut 174
Riechzellen 174
Rindenfelder 52
Risikobereitschaft 476
Ritual 515
– Paarungsverhaltens 515
RNA (Ribonucleinsäure) 63, 411
Rollenlernen 342
Rosenthal-Effekt 20
Rot-Grün-Blindheit 103
Rubikon-Modell 529
Rubin'sche Vase 124, 125
Rückenmark 43
Rückenmarkbahnen 44
Rückenmarksquerschnitt 33
Rückgewinnung der elementaren Teilkörper 135
Rückschaufehler 14, 28
Rückwärts-Analyse 467, 471
Rückwärtskonditionierung 299
rückwirkende Maskierung 362, 363
Ruffini-Körperchen 185
Ruhepotenzial 35
rundes Fenster 163
running span procedure 369

S

Saccharin 182
Saccharose 182
SA-II-Rezeptoren 185
Sakkade 267
sakkadische Suppression 267
saltatorische Erregungsleitung 36
Salventheorie 168
Salzsäure 182
SA-Rezeptor 184
Sättigung 497, 500
– postresorptive 500
– präresorptive 497
Sättigungsdetektoren 497
Sättigungserlebnis 497
Sättigungsgefühl 502
Sättigungsgrad 499
Sättigungsprozess 501
Sättigungssensoren 497, 500
Sättigungssignale 507
Sättigungszentrum 506
Satz 426
Satzverarbeitung 435, 446
Satzverarbeitungsmodelle 433
Satzverstehen 432, 435, 446
Säugetiergehirn 48
Scala media 163, 164
Scala tympani 163, 164
Scala vestibuli 163, 164
Schachexperte 338, 339
Schall 159, 160
– Definition 160
– physikalische Merkmale 159
Schalldruck 161
Schallempfindung 161
Schallfrequenz 166
– Aufspreizung 166
Schallquellenlokalisation 169, 170
Schallübertragung im Innenohr 164
Schallwelle 159, 160
Schaltkreise 41
Schärfe des Sehens 87
Scheinbewegung 136, 137, 138
Scheinkontur 124
Scheinwirksamkeit 21
Schema 397, 398, 399
– Aktivierung durch Begriffe 399
– und Gedächtnis 397, 398, 399
Schichtarbeit 243, 244
Schielen 108, 147
Schizokinese 306
Schlaf 228, 234, 235, 236, 237, 239, 245, 250, 254, 256, 374, 384
– aktivierter 228
– Definition 234
– endokrine Aktivität 250
– Gedächtniskonsolidierung 254
– Konsolidierung von Gedächtnisinhalten 374
– Non-REM- 237, 254
– paradoxer 237
– REM- 235, 236, 237, 239, 245
– Tiefschlafphasen 236
– und Lernen 384
Schlafbedürfnis 249
Schlafbereitschaft 249, 251
Schlafdauer 238, 240
Schlafdeprivationsexperimente 254
Schlafentzug 249, 254, 255
– selektiver 255
Schlafforschung 234, 235
Schlafphasen 49, 235, 238
– Hypnogramm 238
Schlafphasenverteilung 239
Schlafrestriktion 255
Schlafrhythmik 245
– Steuerung 245
Schlafrhythmus 239
– polyphasischer 239
Schläfrigkeit 228
Schlafspindeln 236
Schlafstadien 235, 236, 237
– Charakteristika 237
– elektrische Hirnaktivität 236
Schlafsteuerung 240, 246
– subcorticale 246
Schlaftheorien 249
– Opponent-Process-Model 249
– Zwei-Prozess-Modell 249
Schlafuntersuchung 235
Schlaf-Wach-Rhythmus 239, 244, 245, 246, 249
– und Lebensalter 239
Schlaf-Wach-Verhalten 242, 243
– Einfluss des Zeitgebers 243
– im Bunkerexperiment 242
Schlaf-Wach-Zyklus 248, 249
Schlafzustand 234
Schlafzyklus 237
Schluckbewegungen 499
– und Sättigung 499
Schlüsselreiz 150, 488, 489
– Definition 150
schlussfolgernde Deduktion 463
schlussfolgerndes Denken 462
Schmecken 79, 173
– absolute Schwelle 79
Schmerz 188, 343
– akuter 188
– chronischer 188
– viszeraler 188
Schmerzäußerung 189
Schmerzbewertung 189
Schmerzempfindung 189
– sensorische 189
Schmerzerleben 189
Schmerzgedächtnis 189
Schmerzschwelle (Hören) 161
Schmerzwahrnehmung 188, 189
Schutzverbände 518
Schwann'sche Scheide 34
Schwänzeltanz 346
Schwellenübergang 78
second order conditioning 301
Seele 3, 4
– aristotelisches Verständnis 4
Seelenbegriff 2
Segmentierung (Sprache) 427
Sehbahnen 54
Sehen 76, 79, 86, 87, 108, 123, 127
– absolute Schwelle 79
– Adaptation 87
– ambulatorisches 123
– Dämmerungs- 86
– Gesetze nach Metzger 127
– Sensitivität 87
– stereoskopisches 108
– Umgebungs- 123
Sehen: stereoskopisches 109
Sehnerv 54
Sehnervenkreuzung 54
Sehpigmente 85, 102, 103
Sehrinde 54, 90, 93
– retinotope Organisation 93
Sehrindenschädigung 98
Sehschärfe 87
Sehschärfenbestimmung 145
– bei Kleinkindern 145
Sehschwäche 147
– durch Schielen 147
Sehwinkel 115
– und retinale Bildgröße 115
Sehwinkelvergrößerung 143, 144
Sehzentrum 54, 55
Sekundärdaten 20
sekundärer Antrieb 490
sekundärer auditorischer Cortex 167
sekundärer Trieb 491
sekundäre Verstärker 323
Selbstaktualisierung 11
Selbstrezitationsstufe 405
Selbstunwirksamkeit 530
Selbstverwirklichung 522
Selbstwirksamkeit 530
selective attention 198
selektionale Phase 478
selektive Aufmerksamkeit 198, 199, 200, 205, 221
– Definition 198
selektiver Schlafentzug 255
selektive Züchtung 64
selektive Zuchtwahl 64, 65, 67
Selektivität 206, 212, 213
– dimensionsbasierte 212, 213
– ortsbasierte 206
Semantik 424, 433
semantische Encodierung 367, 372
semantisches Gedächtnis 375, 394, 395
– Definition 395
semantisches Netzwerk 376, 425
semantisches Wissen 377, 433
Sensation 75
Sensibilität 182
– somatosensorische 182
– viszerale 182
sensible Phase 332
Sensitivierung 294, 296, 316
– Definition 296
– Mechanismen 316
Sensitivität 76
Sensitivität (Sehen) 87
sensomotorische Kopplungen 148
sensorische Adaptation 77
sensorische Deprivation 145, 231
sensorische Empfindung 75
sensorische Präkonditionierung 312
sensorischer Speicher 203
sensorische Schmerzempfindung 189
sensorisches Gedächtnis 356, 361, 362, 363, 365
– Definition 365
– Kapazität 362
– Speicherdauer 361
– Speicherkapazität 361, 363
sensorisches Gedächtnis (sensory buffer) 356
sensory deprevation experiments 145

serielle Positionskurve 388
serieller Positionseffekt 359, 388
– Definition 359
serielle Verarbeitung 435
Serotonin 40, 41, 506
Set-Point 497, 506
Set-Point-Hypothese 509
sexual flush 516
Sexualhormone 513
– Schema zum Wirkungsverlauf 513
Sexualität 510, 512, 515, 516, 519, 532
– aus biologischer Sicht 510
– aus psychologischer Sicht 510
– Einstellung 519
Sexualverhalten 518
sexuelle Befriedigung 511
sexuelle Differenzierung 511
sexuelle Erregung 510, 512, 513, 532
– Anreiz 513
– Definition 513
sexuelle Identität 511
sexuelle Motivation 510, 515
sexueller Reaktionszyklus 515, 516
Sexueller Reaktionszyklus 517
sexuelles Skript 518
sexuelle Verhaltensweisen 514
Shadowing 203
Shaping 328
– Definition 328
Sherif'sches Experiment 139
Shuttle-Box 327
Sicherheitswert 302
Signalentdeckungstheorie 81, 82
Signal für Sicherheit 309
Simon-Aufgabe 270
Simon-Effekt 270
simultane Raumschwelle 184
Simultankonditionierung 299
Simultankontrast 103, 112
Simultankontrastphänomen 104
Sinne 75
– Eigenschaften 75
Sinnesmodalitäten 79
– Weber-Konstante 79
Sinnesorgane 76
Situations-Ergebnis-Erwartungen 494
situativer Reiz 523
Skinner-Box 319
Skript 397, 518
– sexuelles 518
Sokolov'sche Modell der Orientierungsreaktion 203
Soll-Wert 495, 517
– sozialer 517
somatische Nervensystem 43
somatischer Schmerz 188
somatosensorischer Cortex 53, 184
somatosensorische Sensibilität 182
Somatosensorisches System 181
somatosensorische Wahrnehmungsbereiche 183
somatotope Empfindungsentsprechung 53
somatotope Projektion 53
somatotropes Hormon (STH) 46
Sonogramm 427
sound pressure level 161
soziale Akzeptanz 520
soziale Normen 517
soziales Lernen 342
soziales Motiv 492, 510
sozialkognitive Lerntheorie 342, 347
Sozialverhalten 520
soziogene Motivation 486
soziogenes Motiv 487
Spannung 228
späte Selektion 202, 204
Spatial-Cueing 207
Speicherdauer 361
Speicherkapazität 361, 363, 368
– begrenzte 368
Spektralfarben 101
Spektrogramm 162
– der menschliche Sprache 162
Spektrum des Sichtbaren 77
Spiegelneuron 265, 343
split-brain 56, 57
Split-Brain-Patienten 57, 58, 59
Split-Span-Paradigma 199
Spontanerholung 298, 305
– Definition 305
Sprache 162, 422, 424, 426, 427, 432, 434, 444, 446
– Erlernen einer neuen Sprache 444
– Fehlinterpretation 434
– Grundeinheiten 422
– Oberflächenstruktur 424
– Segmentierung 427
– Spektrogramm 162
– Tiefenstruktur 424
– Variabilität 427
Spracheinheiten 423
Sprachentwicklung 442, 444, 445, 447
Spracherwerb 332, 442, 444
– kritische Periode 444
Sprachfähigkeit 442
Sprachgewirr 201
Sprachmustererkennung 167
Sprachproduktion 422, 423, 425, 426, 438, 446
Sprachproduktionsforschung 438, 439
Sprachproduktionsprozess 439
Sprachpsychologie 446
Sprachverarbeitung 55
Sprachverstehen 422, 423, 425, 426
– Ebenen 426
Sprachwahrnehmung 446
Sprachzentrum 56
Spurenkonditionierung 299
S-R-Psychologie 7
Stäbchen 84, 85, 86, 87, 89
– Konvergenzschaltung 89
– Verteilung 87
Stäbchenadaptation 88
Standardisierung 20
Starpatienten 144
Statolith 119
steady state 495
Steigbügel 163
Stellglieder 495
Stellungssinn 191
stellvertretendes operantes Konditionieren 342
Stereopsis 108
– Definition 108
Stereoskop 108
stereoskopisches Sehen. *Siehe auch* Stereopsis
Stereotyp 397
– Definition 397
Stereozilien 163, 164
Sternberg-Paradigma 371
Steuerung 266
Stevens'sches Potenzgesetz 80
– Definition 80
Stichlingsbalz 515
Stimmung 488
Stimuluskontrolle 321
Stimulus Onset Asynchrony 276
Stimulus-Response-Psychologie 7
Stimulus-Response-Schema 486
Störgeräusch 160, 172
Störgröße 495
Strabismus 147
Strategie 455, 466, 467
– des Hypothesentestens 455
– Exemplar- 455
– Such- 467
– Versuch-Irrtums- 466
Streifenzylinder 146
Stress 558, 559, 560, 561, 565
– berufsbedingter 561
– chronischer 560
– Definition 559
– emotionaler 558
– Erwartungs- 561
– Eu- 559
Stressbelastung 559, 560, 561, 562
– bei öffentlichem TV-Auftritt 561, 562
– kognitive Bewertung 559, 560
Stressindikatoren 44
Stressintoleranz 559
Stressor 559, 561
– Definition 559
Stressreize 559, 560
– Punkteskala 559, 560
Stressresistenz 559
Stresstheorie von Larus 560, 561
Stressverarbeitung 562, 563
– Konzepte 562, 563
stroboskopische Bewegung 137
– Definition 137
Stroop-Effekt 280, 284
Strukturgene 62
Strukturierung 376
– hierarchische 376
subjektivistischer Ansatz 10, 11, 12, 29
Sublimierung 563
subliminaler Reiz 214
Substanzdualismus 3
subsynaptische Membran 37
subtraktive Farbmischung 101
Suchprozess 370, 371
– interner 370
Suchstrategien 467
Suchzeit (Arbeitsgedächtnis) 370
Suggestion 397
sukzessive Approximation 328
Sukzessivkontrast 103
Superposition 106
Supervisory Attentional System (279
Survey 26
Syllogismus 462
Sympathikus 44, 542, 543
Synapse 36, 316, 406, 408, 409
– Hebb- 316, 406, 408, 409
synaptisches Endknöpfchen 34
synaptische Übertragung 36, 37

Synästhesie 232
syntaktisches Wissen 432, 433
Syntax 424
systematische Variation 470
Systeme der Aufmerksamkeitszuweisung 222

T

Tabubereich 517
Tagesperiodik physiologischer Parameter 241
taktil-haptische Wahrnehmung 193
Task-Set 282
Tastpunkte 183
Tastscheiben 184
Tastwahrnehmung 183
Taubheit 158, 217, 218
– reaktionsspezifische 217, 218
Täuschung 118, 120, 121, 122, 139
– Kontrast- 121
– Mond- 120
– Müller-Lyer- 121, 122
– Poggendorf'sche 122
– Ponzo- 120
– Wasserfall- 139
– Zöllner'sche 122
Tectum 49
Tegmentum 49
Teilziele 466, 469, 470
Tektorialmembran 163
Telencephalon 51
Temperaturhomöostase 496
Temperaturregulierung 496
Temperatursensibilität 188
Temperaturwahrnehmung 187
Template 338
Template-Theorie 338, 339
temporal bedingte Reaktion 299
Temporallappen 53, 54
Test 27
– Begriffsverwendung 27
– psychologischer 27
Testkonstruktion 27
Testosteron 46, 512, 527
– und Macht 527
Texturgradient 105, 106, 123
Textverarbeitung 437, 438, 447
Textverstehen 437, 438
– Inferenz 438
– mentales Modell 438
Thalamus 50, 544
Thalidomid 63
Thematischer Apperzeptionstest (TAT) 523, 524
Theorie 16, 476
– deskriptive 476
– normative 476
– Prospekt- 476
Theoriebildung 16, 17
Theorie der gelenkten Suche 214
Theorie der Signalentdeckung 82
Theorie der Verarbeitungstiefe 389, 390
Theorie des optimalen Erregungsniveaus (optimal arousal level) 491
Theorie des Sehwinkelgrößenvergleichs 121
Theorien 275, 276
– multipler Ressourcen 275
– zentraler Verarbeitungsengpässe 276
Theorie von Zajonc 549
Theory of Mind 343
Thermorezeption 181, 187. *Siehe auch* Temperaturwahrnehmung
Thermorezeptoren 76, 187, 189
– Antwortverhalten 189
Theta-Aktivität 236, 237
Thiamin-Mangelkost 509
Thorndikes Gesetz des Effekts 317, 318
Thymin 61
Tiefenhinweis 105, 106, 107
– bewegungsinduzierter 106
– binokularer 107
– monokularer 105, 106
– okulomotorischer 107
– Querdisparation 107
Tiefenschmerz 188
Tiefensensibilität 191
Tiefenstruktur (Sprache) 424
Tiefenwahrnehmung 148
Tiefschlaf 228
Tiefschlafphasen 235, 236
Tierseele 4
Tip-of-the-tongue-Phänomen 230, 356, 383
Todestrieb 490
token economies 323
Tonhöhe 160
tonischer Schmerz 188
tonotope Karte 164
Tonotopie 167
Top-down-Prozess 89, 133, 202
Top-down-Verarbeitung 135
Top-down-Verbindungen 134
TOTE-Prinzip 266, 492, 493
TRACE-Modell 429, 430, 446
Tractus olfactorius 174
Trancezustand 231
Tranquilizer 41
Transduktion 160, 180, 181
Transduktion (Sehen) 84
Transfer-RNA (tRNA) 63
Transkription 63
Translation 63
Transmission 160
Transmitter 412, 554
Traumarbeit 252
Träume 248, 250, 252, 253
– Traum der französischen Bonne 253
Träumen 250, 252
– luzides 252
Traumentstehungshypothese 253
Traumerinnerungen 254
Traumschlaf 235
Traumtheorien 252
Treatment 23
trial and error 317
Trichromat 102
Trieb 486, 487, 489, 490, 491, 532
– Lebens- 490
– primärer 491
– sekundärer 491
– Todes- 490
Triebbefriedigung 490
Triebbegriff 490
Triebreduktionshypothese 490
Triebreduktionstheorie 490
Triebtheorie 489, 490
Tritanopie 103
Trommelfell 163
Tuningkurve 166
Turm-von-Hanoi-Problem 470, 471
TV-Gewalt 347
– und Imitationslernen 347

U

Übelkeit 307
– konditionierte 307
Überbewertungs-Effekt 28
Übergewicht 508. *Siehe auch* Fettleibigkeit
Übergewichtige 507. *Siehe auch* Fettleibigkeit
Überlebensvorteil 518
übernormaler Auslöser 150, 151
Übersprungshandlung 489, 555
Übertragungseffekt 548
ultradianer Rhythmus 238, 240
Umami-Geschmack 179
Umgebungssehen 123
Umweltbedingungen 66
– Einfluss auf Lernleistungen 66
Umweltfaktoren und Vererbung 66
unabhängige Variable 22
Unaufmerksamkeits-Blindheit 210
Unaussprechlichkeit 232
Unbewusste 230
– Definition 230
unbewusster Prozess 9, 230
unbewusstes Denken 479
unconsciousness 230
ungekreuzte Querdisparation 108
unilateraler Neglect 224
unkonditionierte Reaktion 297
unkonditionierter Reiz 297
unmittelbare Gedächtnisspanne (memory span) 368
unterbewusster Prozess 229
Unterbewusstsein 225
Untergewichtige 508
Unterschiedsschwelle 76, 78, 79, 80
– Definition 78
Unterschiedsschwelle (Geruch) 175
Ursachenattribuierung 530
Ursachenattributionen 529
Ursachenzuschreibung. *Siehe* Attribution

V

Vagusnervs 49
Valenz 492
Validität 21
Variable 22, 23
vegetatives Nervensystem 44, 543
– emotionale Erregung 543
velare Laute 441
Venn-Diagramm 464
ventraler Pfad 268
Verarbeitung 435
– parallele 435
– serielle 435
Verarbeitungsmodule 96
Verarbeitungsselektivität 206
– ortsbasierte 206
Verarbeitungstiefe 389, 390
verbales Denken 452
verbales Lernen 294

Verb Bias 435
Verbundreiz 311
Verdeckung 310
Verdeckung (Interposition, Superposition) 105
Verdrängung 215, 386, 563
Vererbung 59
Vergessen 382, 386, 414, 415
– motivationales 382
– motiviertes 386
– Ursachen 382
Vergessenskurven 359
Verhalten 319, 518, 519, 520, 555, 556
– aggressives 555, 556
– experimentelle Analyse 319
– Explorations- 520
– Fürsorge- 519
– mütterliches 519
– Neugier- 520
– sexuelles 518
Verhaltensanalyse 324
Verhaltensänderung 293
– durch Lernen 293
Verhaltensgedächtnis 389
Verhaltensgenetik 59
Verhaltenskonditionierung 303, 305
Verhaltenskontrast 327
Verhaltenssteuerung 44, 511
– durch das neuroendokrine System 44
– integratives Homöostasemodell 511
Verhaltensweise 486
Verifizierung 16
Verjüngungserlebnis 232
Verkennung 215
Verknüpfungsregeln 463
Verlustaversion 476, 480
Vermeidungslernen 327
Vermeidungsreaktion 310, 327
Vermeidungsverhalten 327
Verschiebung 563
Verstärker 320, 322, 323
– generalisierte konditionierte 323
– konditionierte 322, 323
– negative 320
– positive 320
– sekundäre 323
Verstärkersystem 510
Verstärkung 297, 301, 319, 320, 324, 325, 511
– intermittierende 325
– kontinuierliche 325
– partielle 325
– Prinzipien 320
Verstärkungspläne 325
Versuch-Irrtums-Strategie 466
Versuchsleitereffekt 20
Versuch und Irrtum 317
verteiltes Lernen 358
– Lernkurven 358
Verzerrung 20
verzögerte Konditionierung 299
Vibrationsrezeptoren 185
Vierfelder-Schema zur Ursachenattribuierung 530
Vierhügelplatte 49
Vigilanz 228
visual capture 192
Visualisieren 401
visuelle Aufmerksamkeit 206, 208
visuelle Encodierung 367, 366, 367, 372, 373
visuelle Klippe 149
– Versuchsanordnung 149
visuelle Modalität 192
visueller Cortex 54, 93, 95, 96, 97
– Organisationsprinzip 95
– Säulenorganisation 96
visuelle Reizinformationen 269
– Verarbeitung 269
visuelle Reizverarbeitung 105
– Zweistufenmodell 105
visuelle Restriktion 148
visuelles Abtasten 458, 459
visuelles Neglect 458
visuelles System 55
visuelle Suchaufgaben 211, 212
visuell evoziertes Potenzial 145
visuelle Worterkennung 429, 431
– interaktives Aktivationsmodell 429
visuell-räumlicher Notizblock 365, 367
visumotorische Koordination 148
viszeraler Schmerz 188
viszerale Sensibilität 182
viszerogenes Bedürfnis 522
Vitalseele 4
Vitamine 509
VMH-Nucleus 505
VMH-Syndrom 504, 505
Vokale 441
Volition 528, 529, 533
Volitionsforschung 529
Vomeronasalorgan 178
Von-Restorff-Effekt 360
Voodoo-Tod 543
vorbewusster Bereich 9
Vorbildmacht 527
Vorhersagbarkeit 309, 330
Vorhersage 309
– verlässliche 309
Vorhersagekraft 453
Vorstellungsaufgabe 459

W

Wachbewusstsein 228, 231, 234
wache Aufmerksamkeit 228
Wachheit 228, 256
– entspannte 228
Wachsamkeit 249
Wachsamkeitsminderung 231
Wachstumshormon 46, 250
Wachstumsmotivationen 522
Wahnzustände 233
Wahrheitswerte 463
– Zuordnung 463
Wahrnehmung 8, 75, 108, 124, 125, 131, 158, 173, 186, 187, 191, 193, 199, 200, 215, 217, 427
– als aktiver Prozess 8
– des Aromas 173
– Effekt des räumlichen Umfeldes 131
– Einfluss von Wertvorstellungen 215
– Flaschenhalsmodell 200
– Gestaltgesetze 125
– haptische 186, 187, 193
– Hören 158
– kategoriale 427
– multimodale 191
– Objekt- 124
– räumlicher Tiefe 108
– Sensibilisierung 217
Wahrnehmungsabwehr 215
Wahrnehmungsaufgabe 459
wahrnehmungsbezogene Wissensrepräsentation 455
Wahrnehmungseindruck 227
Wahrnehmungsempfindung 75
Wahrnehmungsentwicklung 145, 146, 151
– kritische Periode 146
Wahrnehmungshypothese 129
Wahrnehmungskonstanz 111, 116, 152
– Definition 111
Wahrnehmungskonstruktion 131
Wahrnehmungslernen 144
wahrnehmungsökologischer Ansatz 123
– Definition 123
Wahrnehmungspsychologie 6
Wahrnehmungsraster 177
Wahrnehmungs-Reaktions-Kopplung 148
Wahrnehmungsrezeptoren 77
Wahrnehmungsschwelle 76, 77, 81, 180, 322
– absolute 77
– relative 180
Wahrnehmungsschwelle (Druck) 183
Wahrnehmungsschwelle (Geruch) 175
Wahrnehmungstäuschung 19
Wahrnehmungsveränderungen 232
Wahrnehmungsvermeidung 215
Wahrnehmungsvermögen 79
– hohe Sensibilität 79
Wahrscheinlichkeit 17, 465
Wahrscheinlichkeitsaussagen 465
Wallpapille 180
Wanderwelle 164, 165
– der Basilarmembran 165
– Ortsprinzip 164
Warmrezeptoren 187, 188, 189
– Entladungsfrequenz 189
Warum-Frage 4, 5
– Begründungen 5
Was-Pfad 268
Wasserfalltäuschung 139, 141
Was-System 167
Weber-Konstanten 79
Weber-Quotient 81
Weber'sches Gesetz 79, 80
– Definition 79
Wechselwirkungseffekt 23
Wechselwirkungstheorie 3
Wechsler-Intelligenztest 69
weiße Substanz 52
Weltwissen 437
Werbepsychologie 205
Wernicke-Aphasie 57
Wernicke-Areal 56
Wernicke-Geschwind-Modell 56
Wesensglieder 226
Wiedererkennen 379
Wiedererkennungsleistung 358
Wiederholung 387
– elaborierte 387
– Erhaltens- 387
– integrative 387
Wie-Pfad 268
willentliche Erkenntnissuche 205
Wirklichkeitsvermeidung 563
Wisconsin Card Sorting Test 282

Wissen 337, 377, 428, 432, 433, 437, 443
– deklaratives 337
– grammatikalisches 443
– lexikalisches 428
– pragmatisches 433
– prozedurales 337
– semantisches 377, 433
– syntaktisches 432, 433
– Welt- 437
Wissensgedächtnis 389, 392
Wissensorganisation 375, 376
Wissensrepräsentation 452, 453, 455
– wahrnehmungsbezogene 455
Wording-Effekte 20
working memory 364, 365
Wort 426
– Definition 426
Wortbedeutung 428, 437
Worterkennung 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432
– auditive 428
– visuelle 429, 431
Worterkennungsmodelle 428
Worterkennungsprozess 428, 446
Worterkennungstheorien 428
Wörterknoten 133
Wortformspeicher 445
Wortformverarbeitung 440
Wortlängeneffekt 368, 369
Wortschatzentwicklung 444
Wortteilerkennung 431
Wortüberlegenheitseffekt 133, 134
Wortverarbeitung 425
Wo-System 167
Wut 547

X

X-Chromosom 61

Y

Y-Chromosom 61
Yerkes-Dodson'sche Regel 228
Young-Helmholtz-Dreifarbentheorie 102

Z

Zajonc-Theorie 549
Zapfen 84, 85, 86, 87, 89
– lineare Schaltung 89
– Verteilung 87
Zapfenadaptation 88
Zapfenpigmente 103
Zapfentypen 102
Zeitbewusstsein 225
Zeitgeber 242, 243, 248
Zeitumstellung 245
Zeitwahrnehmung 232
– veränderte 232
Zellkern 34
Zellkörper (Soma) 34
Zellmembran 35
– Depolarisation 35
Zellverband 406
Zentrale Exekutive 365
Zentralnervensystem 33, 42, 49
– Organisation 42
– Strukturen 49
Zerfall (decay) 382
Ziel 528
– Definition 528
Zielbewegungen 267
Zielbindung 528
Zielrealisierung 529
Zielsetzung 528
Ziliarmuskel 84
Zirkadiane Rhythmik 241
– Definition 241
zirkadianer Rhythmus 240
Zitronensäure 182
Zöllner'sche Täuschung 122
Zufallsstereogramm 108, 109
Zungenpapillen 179, 180
Zustand 490
– gleichbleibender (steady state) 490
zustandsabhängiges Lernen 382
Zuwendung 519
Zuwendungsbedürfnis 491
Zwangshandlungen 233
Zwangsideen 233
Zwangsneurose 233
Zwangsrituale 233
Zwangsvorstellungen 233
Zwei-Faktoren-Theorie von Schachter 547
Zwei-Prozess-Modell von Borbély 249, 251
Zwei-Seile-Problem 475
Zwei-Speicher-Modell 387
Zwei-Speicher-Theorie 387
Zweisprachigkeit 445
Zweistufenmodell der visuellen Reizverarbeitung 104, 105
Zwei-Stufen-Theorie 388, 405
Zweitsprache 445
Zweitspracherwerb 445
Zweiwortstadium 443
Zwillinge 67, 68, 69
– eineiige 67
– IQ-Werte 69
– zweieiige 67
Zwillingsforschung 66
Zwillingsstudien 507
– zur Fettleibigkeit 507
Zytoplasma 34