

GEO kompakt Nr. 15

Die Grundlagen des Wissens



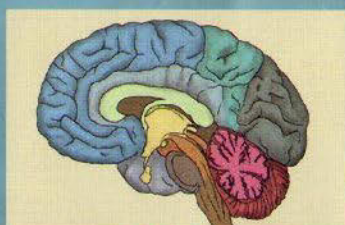
Wie wir denken

Das Gehirn: Intelligenz, Gefühl, Bewusstsein



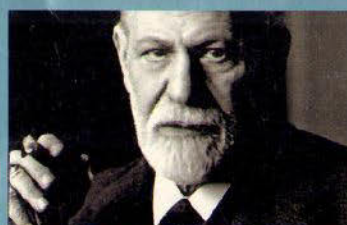
FREUDE:

Wie Emotionen uns steuern



ANATOMIE:

Die Architektur des »Ich«



DAS UNBEWUSSTE:

Hatte Freud doch recht?



BEGABUNG:

Was bringen IQ-Tests?

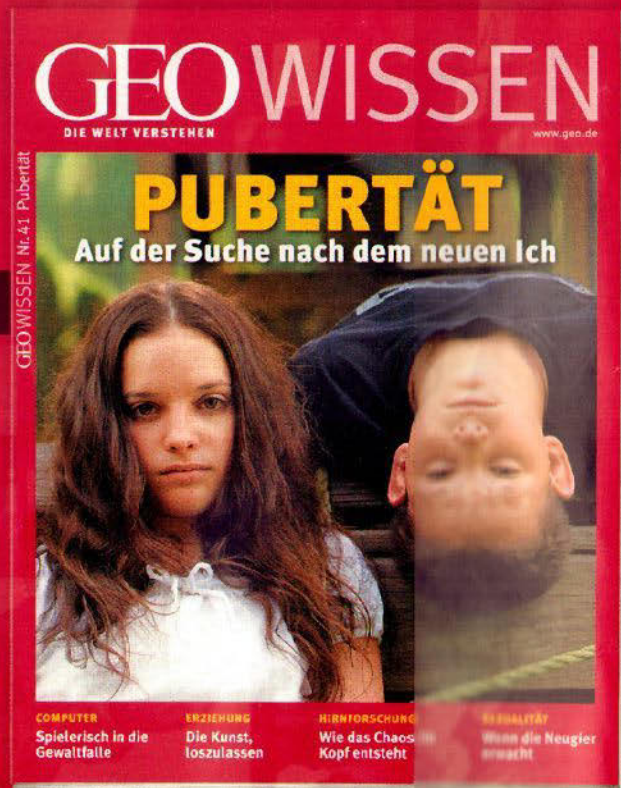
Jetzt im Handel



Wie der Alltag einfach bleibt, wenn das Kind kompliziert wird: **die Pubertät.**

Katja Rebbe

Heft 8,50 € – mit DVD 14,95 €



www.geo.de

Die Welt verstehen mit GEO

Das Denken Mit Hightech und über das Wunder Gehirn	6
Hirn erfand und es zur entwickelte	26
die einzelnen Hirnregionen nesorgane verarbeiten	29
h Gall glaubte vor 200 Jahren, n der Kopfform	50

Liebe Leserin, lieber Leser,

Christina Santhouse ist acht Jahre alt, als Ärzte beschließen, ihr das halbe Hirn zu entfernen.

Das Mädchen leidet unter einer seltenen Krankheit, die dazu führt, dass die rechte Hemisphäre seines Denkorgans chronisch entzündet ist. Bis zu 150-mal am Tag wird Christina von epileptischen Anfällen geschüttelt; die Mediziner sagen ihr ein Leben im Rollstuhl voraus und auch, dass sie früher oder später ihre Geisteskraft verlieren wird.

In einer 14-stündigen Operation öffnen ihr Chirurgen der Johns-Hopkins-Universitätsklinik in Baltimore den Kopf und entnehmen ihr nach und nach das halbe Großhirn – bis im rechten Teil des Schädels ein faustgroßes Loch klafft.



Selbst nach chirurgischer Entfernung des halben Denkorgans können Menschen fast normal leben

Zehn Jahre später macht Christina Santhouse ihren Highschool-Abschluss und schreibt sich auf der Universität ein.

Sie ist besser als die Mehrzahl ihrer Mitschüler, kann Auto fahren und hat es zum Captain ihres Bowlingteams gebracht. Nur mit der Beweglichkeit ihres linken Arms und Knies hat sie etwas Probleme; zudem ist ihr Blick nach links eingeschränkt.

Fälle wie dieser lassen den Laien staunen und verblüffen selbst Mediziner. Offenbar können Menschen, denen in jungen Jahren das halbe Hirn entfernt worden ist, ohne größere Handicaps leben: Das kindliche Denkorgan ist nach Erkenntnis der Neurowissenschaftler so flexibel, dass die noch vorhandene Hemisphäre fast alle Funktionen der herausoperierten Hirnhälfte mit übernimmt.

Das Gehirn ist eben nicht jener fest verdrahtete Computer, mit dem es oft verglichen wird, sondern ein ungemein dynamisches System, in dem Nervenzellen immer neue Verknüpfungen bilden, immer neue Netze formen.

Von unserer Geburt an verändern sich die 100 Milliarden Neurone in unserem Kopf ununterbrochen, Tag für Tag, Stunde für Stunde, ja sogar Sekunde für Sekunde. Jeder Gedanke,

jeder Sinnesindruck, jede Erinnerung im Gedächtnisspeicher hinterlässt Spuren im Hirn, prägt es, wandelt es, lässt es reifen und hilft einem, sich in seiner Umwelt zurechtzufinden.

Das vorliegende Heft bietet Ihnen einen Einblick in die – darin sind sich die meisten Forscher einig – komplexeste Struktur des Universums. Es erklärt Ihnen, wie das Gehirn vor mehr als 500 Millionen Jahren entstanden ist (wohl zuerst bei einem Wurm), wie es sich im Verlauf der Evolution langsam ausformte und weiterentwickelte – und wie es beim modernen *Homo sapiens* funktioniert: wie es dessen Körperfunktionen steuert und Sinneswahrnehmungen verarbeitet, wie es Gefühle erzeugt und Erinnerungen festhält, wie es den Menschen immer wieder eine flüchtige Balance finden lässt zwischen den Kräften des Bewussten und des Unbewussten.

Die wunderbare Komplexität der grauen Masse in unserem Kopf



Das Konzept dieser Ausgabe hat der Biologe und GEOkompakt-Redakteur Dr. Henning Engeln erarbeitet

Und es feiert jene Mediziner, die über den Mut und das Können verfügen, sich in diesen Kosmos in unserem Kopf vorzuwagen, um beispielsweise einen lebensbedrohlichen Tumor in Zehntelmillimeterarbeit herauszuoperieren.

Ärzte wie den Hamburger Oliver Heese, einen 38-jährigen, bescheidenen, ungemein sympathischen Neurochirurgen, den mein Kollege Malte Henk im OP-Saal erlebte, als er einem Patienten die Hoffnung auf ein neues Leben schenkte.

Nach dem Eingriff gestand Heese dem GEO-Reporter, dass er bei jeder Operation aufs Neue ehrfürchtig werde angesichts der wunderbaren Komplexität dieser grauen Masse in unserem Kopf.

Vielleicht geht es Ihnen nach der Lektüre dieses Heftes ja ähnlich.

Herzlich Ihr

Michael Steyer



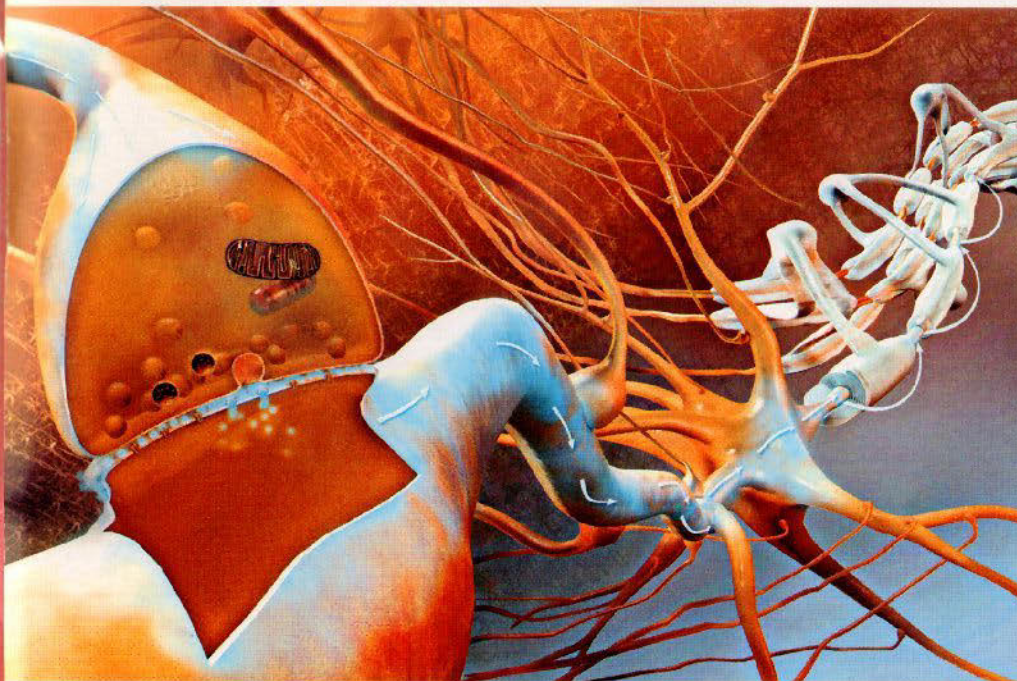
Bear-
ungen?
Schlafs. **Seite 42**



Die Macht, die uns lenkt. Das Gehirn arbeitet meist unbewusst. Was bedeutet das für unseren Alltag? **Seite 102**



Expeditionen in das Labyrinth des Denkens. Wie es Ärzten und Forschern gelingt, immer tiefer ins Gehirn zu blicken. **Seite 6**



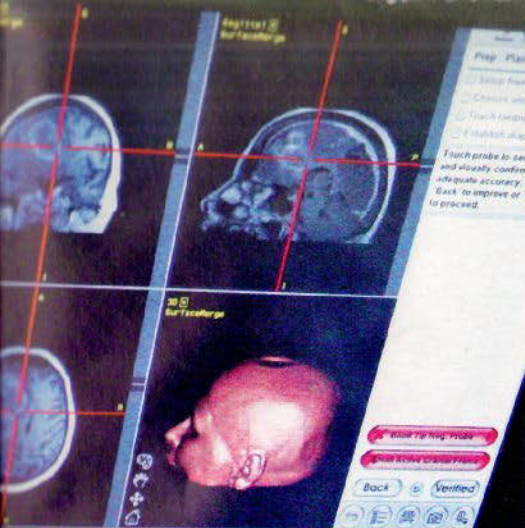
Feuerwerk der Neurone. Abermillionen Impulse jagen ständig durch das Gehirn, wenn wir denken, erkennen oder unseren Körper bewegen. In den Nervenzellen fließen die Signale elektrisch, von Zelle zu Zelle aber werden sie chemisch, über Synapsen, übertragen. **Seite 90**



»Der Wille ist nicht frei!« Sondern aus Sicht mancher Neurobiologen eine nützliche Illusion, die uns hilft, zu überleben. **Seite 116**

Die Erfindung des »Ich«. Auf welche Weise Nervenzellen das Bewusstsein und subjektive Empfindungen erzeugen. **Seite 78**





Ich fühle, also bin ich. Ob Liebe, Freude, Trauer, Angst oder Hass – Gefühle sind wie ein Kompass, der uns leitet. **Seite 36**

BILDESSAY: Expeditionen in das Labyrinth des Denkens Mit Hightech und psychologischen Experimenten erkunden Forscher das Wunder Gehirn **6**

WIE DAS GEHIRN AUFGEBAUT IST

Die Geburt des Geistes Wie die Natur das Gehirn erfand und es zur komplexesten Struktur unseres Universums entwickelte **26**

Architektur des Gehirns Welche Funktionen die einzelnen Hirnregionen haben und wie sie die Informationen der Sinnesorgane verarbeiten **29**

Kartograph des Schädels Der Arzt Franz Joseph Gall glaubte vor 200 Jahren, Charakter und Intelligenz erkennen zu können: an der Kopfform **50**

Feuerwerk der Neurone Wie Sinne und Gehirn eine gefährliche Situation erkennen und die Reaktion des Körpers steuern **90**

Zellen, die uns menschlich machen Forscher entdeckten Hirnzellen, die zur Nachahmung und zum Mitgefühl befähigen **100**

WIE DAS GEHIRN FUNKTIONIERT

Was ist Intelligenz? IQ-Tests sollen helfen, begabte Kinder und Bewerber für Jobs zu erkennen. Doch wie verlässlich sind die Testverfahren? **20**

Ich fühle, also bin ich Forscher versuchen zu ergründen, wie und wo Emotionen im Gehirn entstehen – und was deren biologischer Zweck ist **36**

Die rätselhafte Welt der Träume Weshalb wir schlafen und träumen, ist noch nicht genau bekannt. Hat es mit Regeneration, Lernen, Erinnern zu tun? **42**

Die Archive im Kopf Erinnerungen machen einen Menschen erst zu einem Individuum mit einer eigenen Geschichte – und einer Zukunft **54**

Die Erfindung des »Ich« Forscher versuchen zu enträtseln, wo und wie Bewusstsein, Individualität und Ich-Gefühle im Gehirn entstehen **78**

Die Macht, die uns lenkt Wie unbewusste Sinneseindrücke und Erfahrungen heimlich unser Handeln und unsere Entscheidungen beeinflussen **102**

»Der Wille ist nicht frei!« Interview mit dem Philosophen und Neurologen Henrik Walter über Entscheidungen, Verantwortlichkeit und Freiheit **116**

Sieben Rätsel der Neurowissenschaften Die Grenzen der Erkenntnis **132**

Wenn Blinde sehen Menschen, die das Augenlicht verloren haben, können dennoch ein enormes visuelles Vorstellungsvermögen entwickeln **136**

WIE ÄRZTE DAS GEHIRN BEHANDELN

Die Hirnwerker Höchstes ärztliches Können ist nötig, wenn Chirurgen einen Patienten am Gehirn operieren **62**

Operation mit dem Eispickel Durch brutale Schnitte ins Gehirn vermeinte ein amerikanischer Neurologe, Geistesranke heilen zu können **126**

RUBRIKEN

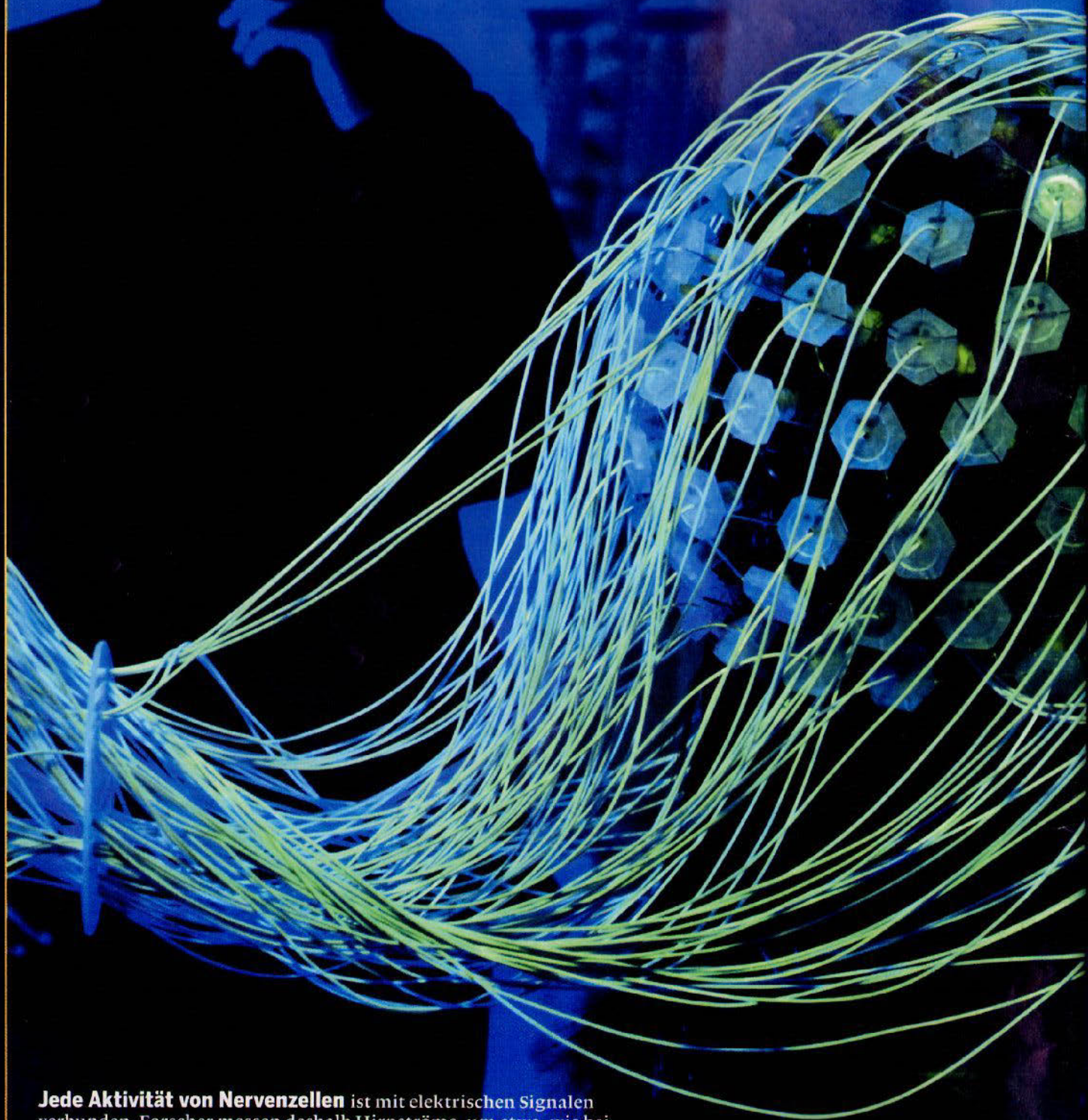
Martensteins Welt Intelligente Darmbakterien und das Phänomen Sprache **148**

Kompakt erklärt: Glossar der wichtigsten Begriffe, Register, Zeitleiste **150**

Impressum, Bildnachweis **153**

Vorschau Warum glaubt der Mensch? **154**

Wichtige Begriffe sind durch **blaue** Schriftfarbe hervorgehoben und werden im **Glossar** ab Seite 150 kurz definiert. **Alle Fakten und Daten** in dieser Ausgabe sind vom GEO-Verifikationsteam auf ihre Richtigkeit überprüft worden.



Jede Aktivität von Nervenzellen ist mit elektrischen Signalen verbunden. Forscher messen deshalb Hirnströme, um etwa, wie bei diesem Versuch, zu lokalisieren, wo im Gehirn Gefühle entstehen



Expeditionen in das Labyrinth des Denkens

Text: Henning Engeln

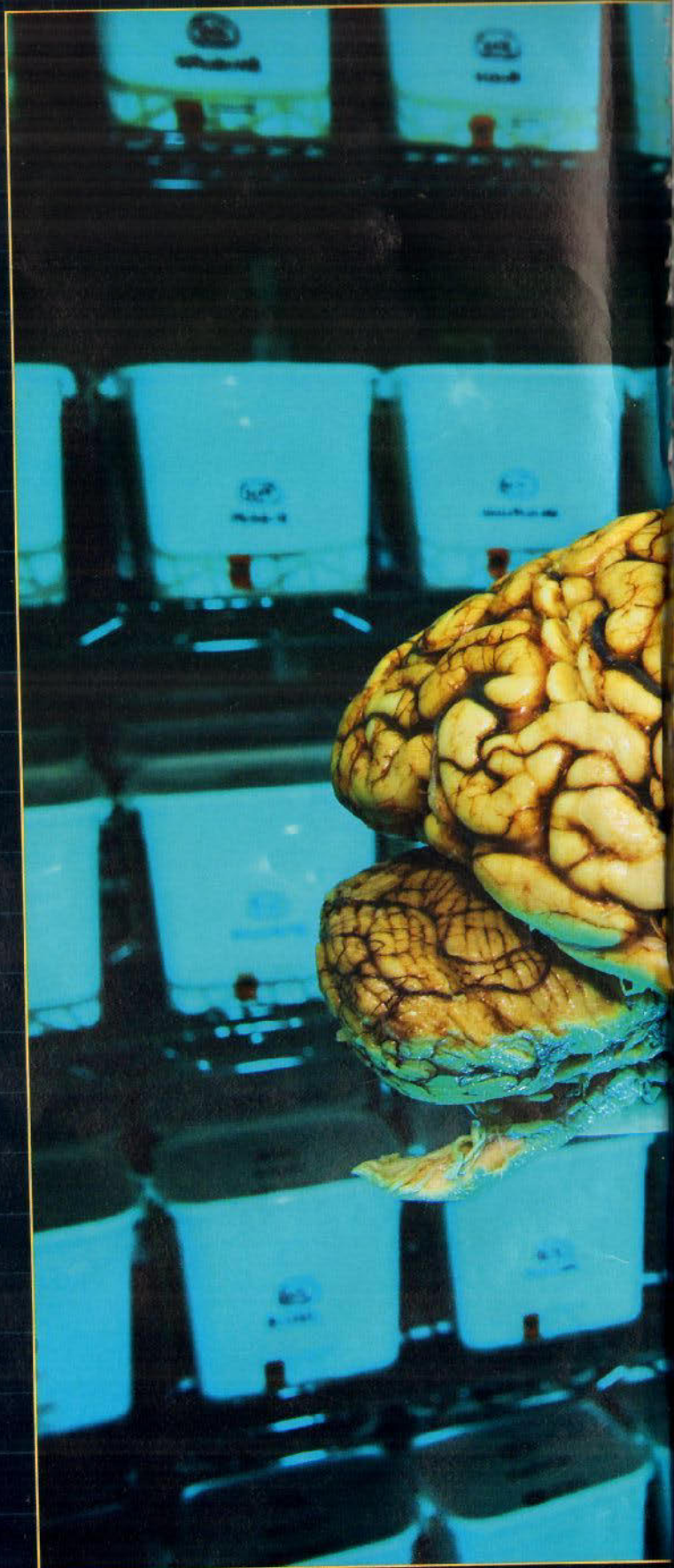
Nichts ist komplexer und rätselhafter als die Welt der 100 Milliarden Nervenzellen, die unser Gehirn formen. Dieses Organ lässt uns die Wirklichkeit erkennen, zaubert Farben, Düfte und Gefühle hervor, verarbeitet Millionen Sinneseindrücke, steuert unseren Körper und erzeugt auf geheimnisvolle Weise Bewusstsein und Ich-Gefühl. Um die Arbeitsweise des Gehirns zu verstehen, leiten Neurobiologen mit Elektroden Ströme von der Kopfhaut ab, schauen Patienten mit Tomographen ins Schädelinnere und denken sich raffinierte psychologische Tests aus. Auch wenn die Forscher das Gehirn noch längst nicht begreifen – sie haben schon eine Menge Verblüffendes über seine Funktion herausgefunden



Die Gehirne von Säugetieren – hier Schnitte von Rattengehirnen – sind im Prinzip ähnlich gebaut. Bei Menschen aber ist die Großhirnrinde besonders ausgeprägt (großes Bild rechts)

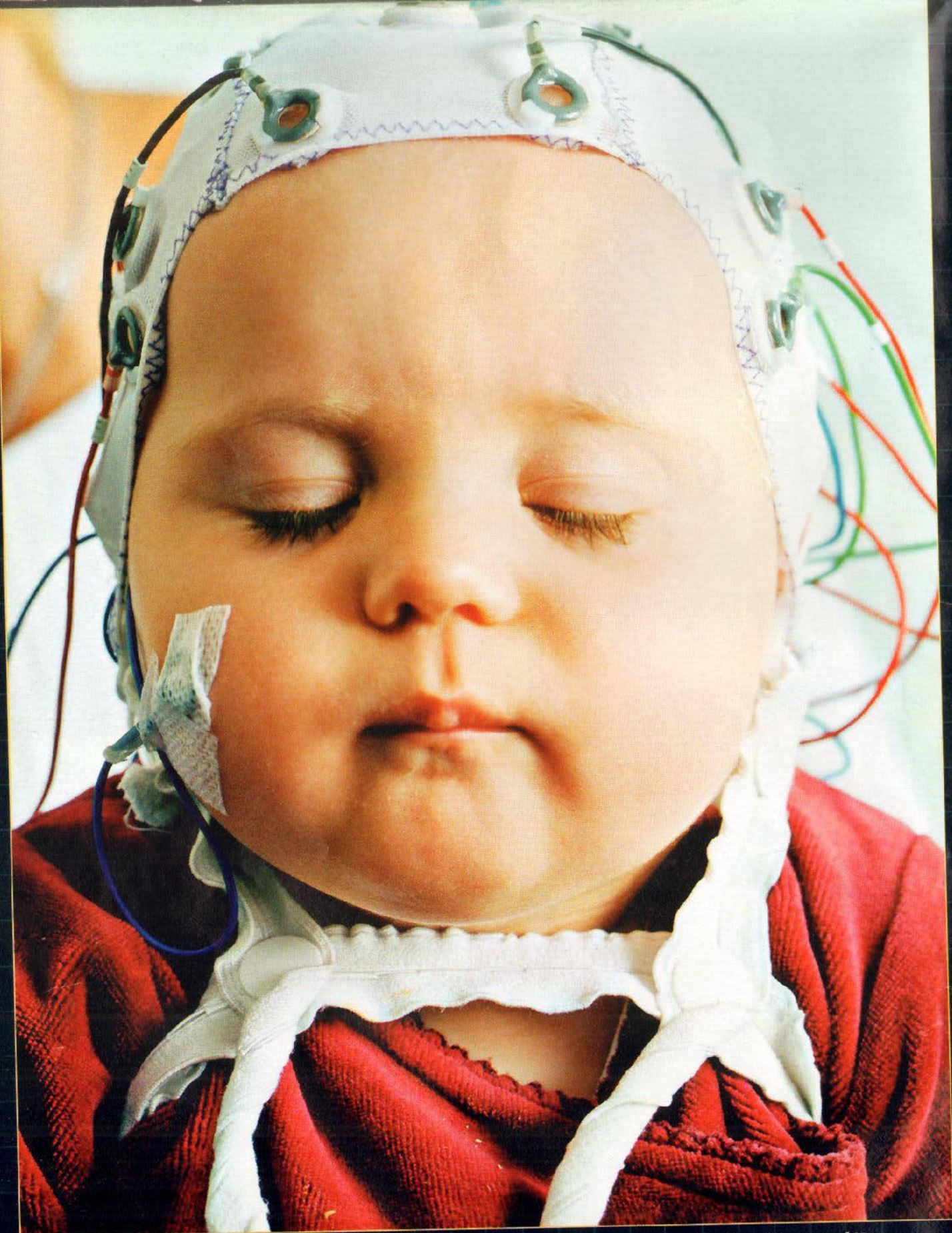


Die Verästelungen der Kleinhirnrinde, hier die eines Affen, vergrößern die Hirnoberfläche und schaffen mehr Platz für Nervenzellen



Die walnussförmige Großhirnrinde des Menschen bringt unter anderem Bewusstsein und Intelligenz hervor, das Kleinhirn (im Bild links unten) koordiniert Bewegungen





Vom Kopf eines neun Monate alten Jungen leiten Forscher des Max-Planck-Instituts für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig die Hirnströme ab. Derart ermittelte Hirnstromkurven unterscheiden sich beispielsweise für bekannte und unbekannte Wörter. Die Wissenschaftler versuchen so herauszufinden, wie Kinder Sprache erwerben

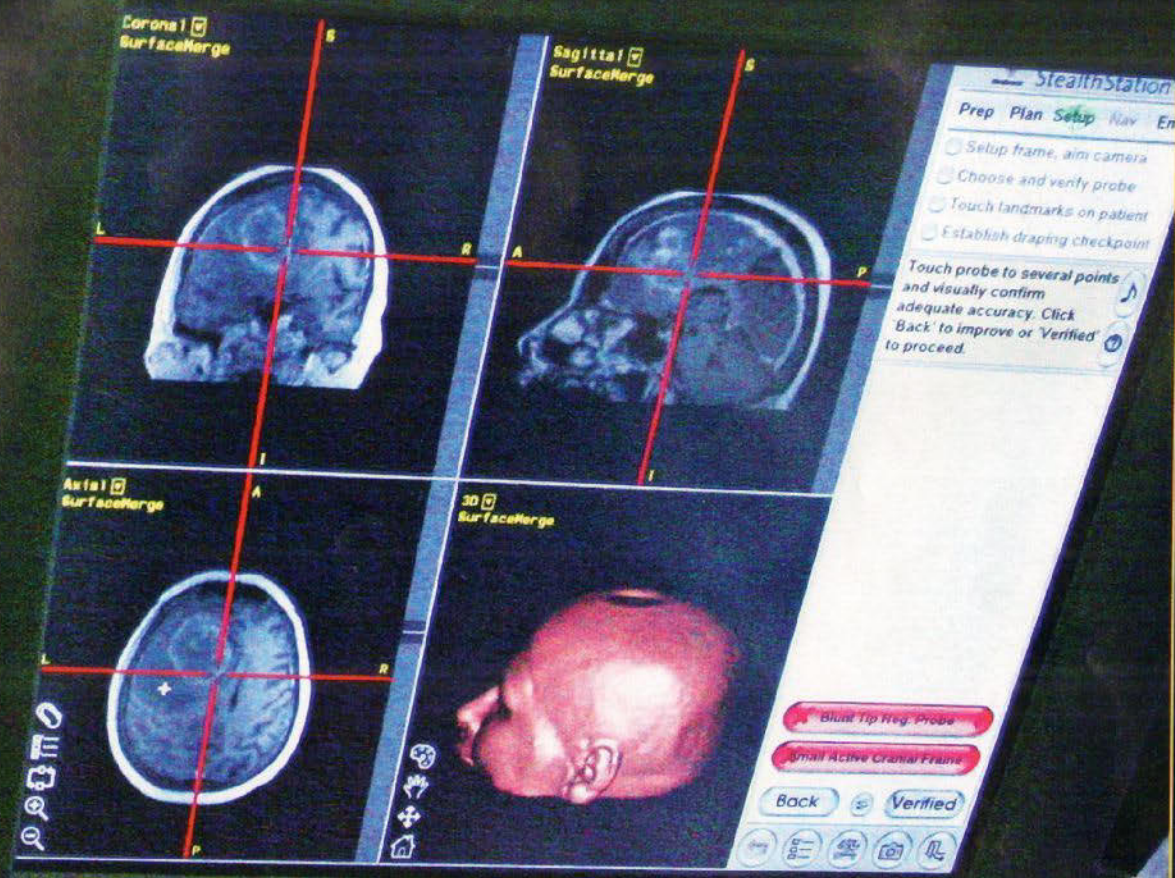


Den Sehsinn haben Forscher in Versuchen mit Tieren erkundet. Sinneszellen, die durch viel Licht angeregt werden, hemmen benachbarte Zellen in Bereichen, die weniger Licht erhalten – dies trägt zu einer verstärkten Wahrnehmung von Kontrasten bei



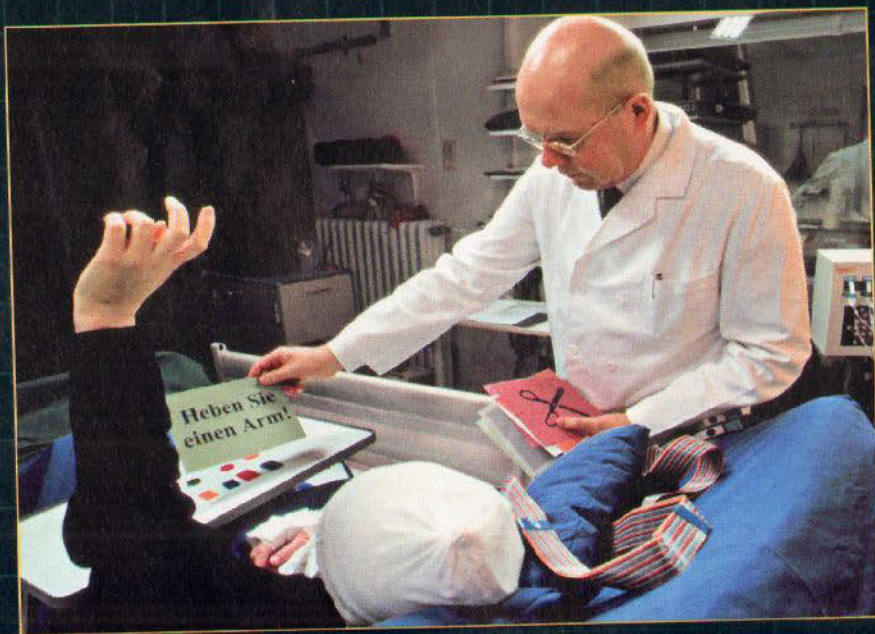
Seit mehr als 100 Jahren erforschen Wissenschaftler die Denkfähigkeit von Menschen, doch was Intelligenz genau ist, vermögen sie bis heute nicht zu sagen. Sie können sie jedoch messen – etwa bei dem Deutschen Rüdiger Gamm, der 13-stellige Zahlen multipliziert und einen IQ von über 200 hat





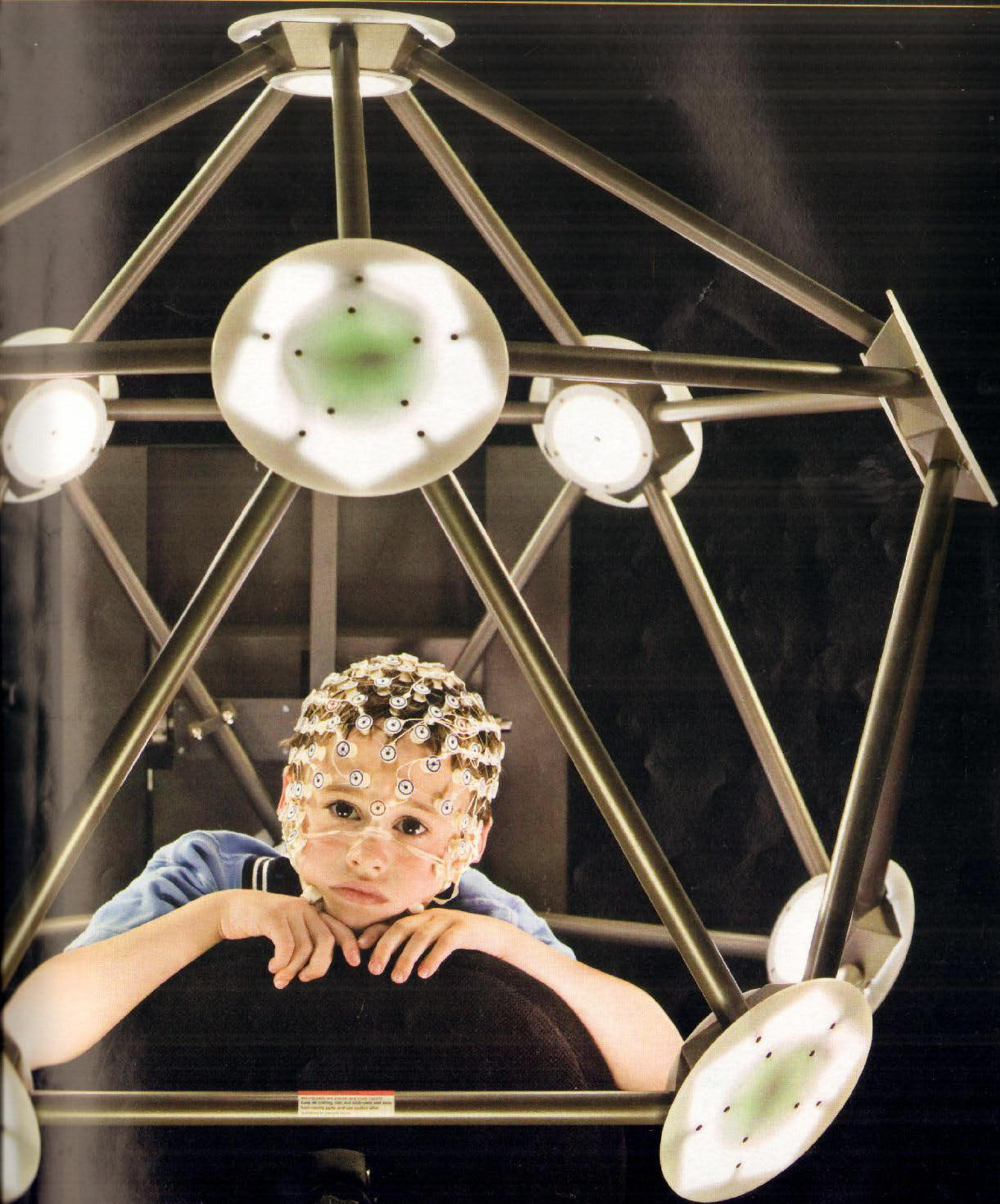
Ist das Gehirn geschädigt, etwa wenn ein Tumor in ihm wächst, können Neurochirurgen heute oft mit einer Operation helfen. Vor dem Eingriff wird die Geschwulst im Tomographen exakt lokalisiert, während der OP können die Ärzte dann per Monitor die Lage ihrer Instrumente im Kopf des Patienten kontrollieren

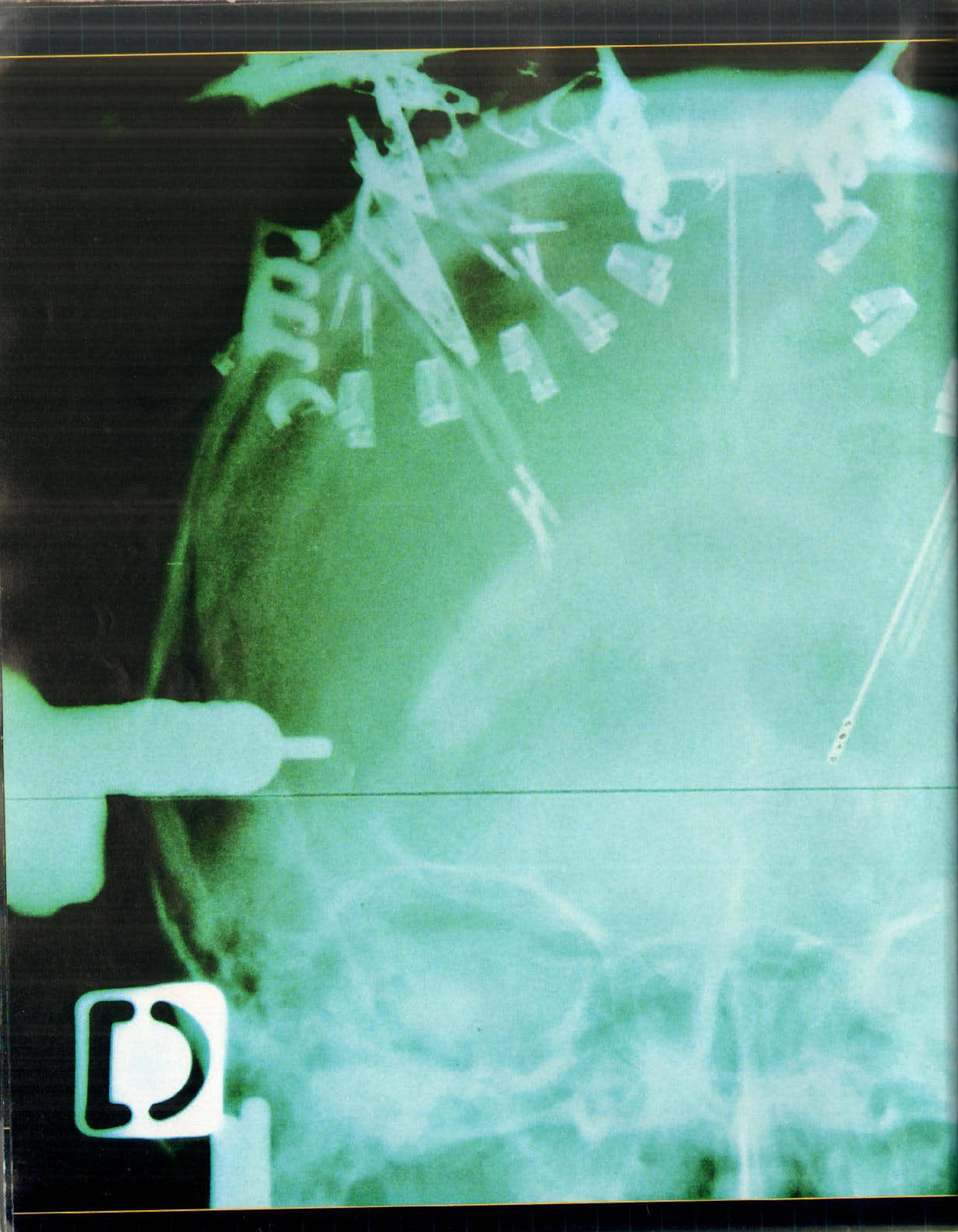
Autistische Kinder haben oft spezielle Begabungen, doch fallen ihnen Kontakte zu anderen Menschen sehr schwer. Hirnstromkurven (EEGs) sollen Aufschluss geben, was in ihrem Gehirn anders läuft. Dazu heften ihnen Wissenschaftler Elektroden, hier sind es 128, an den Kopf und lokalisieren exakt deren Sitz mithilfe spezieller Lampen und Kameras (Photogrammetrie)



Wo das Gehirn Sprache verarbeitet, untersuchen Forscher der Universität Bonn. Bei 90 Prozent der Menschen geschieht dies vor allem in der linken Gehirnhälfte. Erstaunlicherweise, so ein Ergebnis der Versuche, hängt das auch damit zusammen, ob jemand Rechts- oder Linkshänder ist und wie herum die Haarwirbel am Kopf wachsen

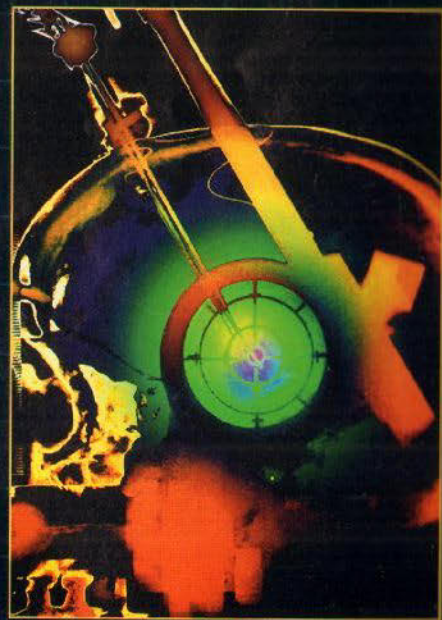








Ärzte implantieren einem Patienten Elektroden tief im Hirn (hier eine Röntgenaufnahme). Die dadurch mögliche elektrische Stimulation kann die Symptome von Krankheiten wie Epilepsie, Zwangsneurose oder Migräne lindern. Eine spezielle Klammer links und rechts am Kopf fixiert den Schädel während der OP. Meist ist für solche Eingriffe nur eine lokale Betäubung nötig



Auch die Parkinson-Krankheit lässt sich mit Elektroden im Gehirn behandeln (eingefärbtes Röntgenbild). Deren Impulse können Patienten unter anderem von unwillkürlichem Zittern befreien





Im Wachkoma

zu liegen bedeutet für einen Menschen, in einer Welt zwischen Leben und Tod zu schweben. Dieser Junge aus Düren (im Bild mit seinem Bruder) fiel im Juli 2000 in einen Teich. Niemand weiß, welche Reize aus der Umwelt sein Gehirn noch wahrnimmt. Neue Studien mit Tomographen zeigen aber, dass manche Wachkoma-Patienten noch Informationen aufnehmen und verarbeiten können □

Was ist Intelligenz?

Intelligenztests sollen helfen, Talente zu entdecken. Ob in Bewerbungsverfahren oder in Schulklassen – scharfsinniges Denken gilt als Hinweis auf gute Leistungen. Doch Forscher sind sich nicht einmal einig, wie die Geisteskraft zu definieren ist

E

igentlich haben die Eltern ihren Sohn immer für ein ganz normales Kind gehalten. Als Max*, heute 14, mit sieben Monaten erste Worte spricht, denken sie sich nicht viel dabei. Zwar beginnen die meisten Kinder damit erst nach etwa einem Jahr. Doch das Ehepaar aus Köln findet sich damit ab, dass Max „einfach nur etwas schneller ist“.

Allerdings kann die Familie „nirgendwo hingehen, ohne aufzufallen“, erinnert sich die Mutter. Als sie Schuhe für den Einjährigen kaufen will, fragt die Verkäuferin, ob der Junge, der noch im Krabbelalter zu sein scheint, nicht mit Socken auskommt. „Ich kann laufen“, erwidert Max. „Ich brauche Schuhe.“ Die verdutzte Frau hält den sprachbegabten Knirps daraufhin für kleinwüchsig.

Richtige Probleme aber gibt es erst, als Max eingeschult werden soll. „Da gehe ich nicht hin“, sagt er nach dem ersten Tag: Die Lehrerin entspreche zu sehr „dem Klischee einer Grundschullehrerin“. Die Eltern schicken ihn daraufhin in eine Montessori-Schule, wo die Jahrgangsstufen im gemeinsamen Klassenverband unterrichtet werden.

Auf Rat einer Lehrerin lassen sie den Jungen vom Kinderpsychologen testen. Das Ergebnis: Max hat einen überdurchschnittlich hohen Intelligenzquotienten (IQ) von 142.

Text: Martin Paetsch



Welches Huhn passt nicht zu den anderen? Mit Bildknobeilen wie diesen versuchen Forscher, das Denkvermögen zu messen: Die Aufgaben auf den nächsten Seiten, bei denen das jeweils passende Bild ergänzt werden muss, sind IQ-Tests nachempfunden (Lösungen auf Seite 24)

Was für Schwierigkeiten das mit sich bringt, zeigt sich bald: Auch auf dieser Schule fühlt sich Max unterfordert und kommt mit der Lehrerin nicht zurecht.

In der 3. Klasse klagt er über schwere Bauchschmerzen – psychosomatische Beschwerden, wie sich herausstellt, verursacht von den Problemen in der Schule. Die Eltern lassen ihren Sohn eine Klasse überspringen und direkt auf dem Gymnasium einschulen. Prompt verschwinden die Schmerzen.

MAX GEHÖRT zu jenen Kindern, die über eine außergewöhnliche intellektuelle Begabung verfügen. Manche der geistigen Frühstarter können bereits vor ihrem dritten Geburtstag lesen, verblüffen mit klugen Fragen oder reden schon im Kindergarten wie Erwachsene.

Einige Ausnahmetalente komponieren im Grundschulalter erste Opern oder absolvieren als Teenager ihr Hochschulstudium – wie Balamurali Ambati, ein Sohn indischer Einwanderer, der mit 13 Jahren in New York seinen Universitätsabschluss machte und 1995 mit 17 Jahren jüngster Doktor der Medizin wurde.

Oft erfahren Eltern erst durch einen IQ-Test von der besonderen Begabung ihres Kindes. Derartige Denkprüfungen bestehen gewöhnlich aus mehreren Teil-

aufgaben und sind so ausgelegt, dass das durchschnittliche Ergebnis bei 100 Punkten liegt. Die Mehrheit aller Getesteten – rund zwei Drittel – erzielt zwischen 85 und 115 Punkten. Nur zwei Prozent erreichen 130 Punkte oder mehr: Ab diesem relativ willkürlich festgesetzten Grenzwert sprechen Psychologen von Hochbegabung.

Lediglich vier von 1000 Kindern erreichen wie Max einen IQ von über 140.

IQ-Tests helfen nicht nur Kinder- und Jugendpsychologen, Talente frühzeitig zu erkennen und dadurch deren Förderung zu ermöglichen. Auch Erwachsene müssen gelegentlich ihre Geisteskraft an solchen Aufgaben messen: in Deutschland etwa bei der Eignungsuntersuchung der Bundeswehr, im Auswahlverfahren mancher Hochschulen oder bei der Bewerbung um begehrte Jobs.

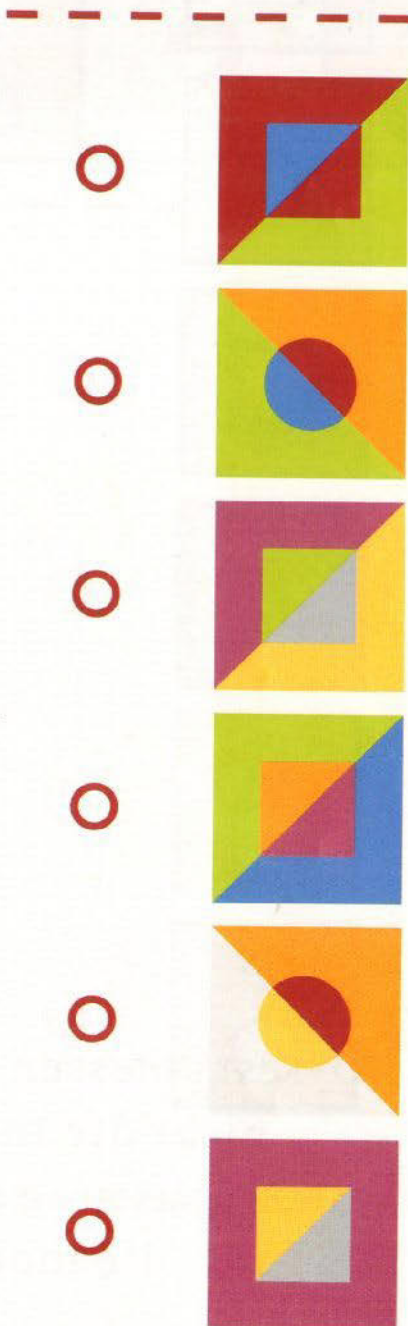
In den USA können Intelligenztests sogar über das Weiterleben der Probanden entscheiden: Dort dürfen zum Tode verurteilte Schwerverbrecher nicht hingerichtet werden, wenn sie einen IQ von 70 oder weniger aufweisen – sie gelten dann als geistig zurückgeblieben und somit begrenzt schuldfähig.

Was solche Punktzahlen aber tatsächlich über die Intelligenz aussagen, ist umstritten: Schließlich haben Wissenschaftler immer noch Probleme, diese Eigenschaft überhaupt zu erklären.

Zwar wird Intelligenz (von lat. *intellegere* = verstehen) oft vereinfachend als die Fähigkeit des Geistes angesehen, Zusammenhänge zu erkennen und Probleme zu lösen. Doch eine einzige, allgemeingültige Definition gibt es nicht.

Als etwa 1986 die US-Psychologen Robert Sternberg und Douglas Detterman zwei Dutzend Experten baten, den Gegenstand ihrer Forschung zu beschreiben, kamen dabei zwei Dutzend unterschiedliche Definitionen heraus.

Zudem ist die Bedeutung von Intelligenz von Kultur zu Kultur verschieden: So gilt ein in westlichen Ländern häufig genanntes Merkmal, die hohe Denkgeschwindigkeit, anderen Kulturen als unklug. Und in Afrika verstehen etwa die Luo, ein Stamm in Kenia, unter Intelligenz nicht nur die relativ eng umrissene intellektuelle Fähigkeit, son-



dern auch Qualitäten wie Respekt, Verantwortungsgefühl, Rücksichtnahme.

Ähnlich viele Meinungen gibt es auch zum IQ. Der Quotient spaltet die Forschergemeinde: Manche sehen darin einen verlässlichen Indikator für das geistige Potenzial eines Menschen, andere stehen dem mutmaßlichen mentalen Maßstab mit Misstrauen gegenüber oder lehnen ihn gar völlig ab – auch, weil sie eine Diskriminierung der laut IQ-Test Minderbegabten fürchten.

DER STREIT um die Vermessung der Verstandeskraft hat seinen Ursprung vor mehr als 100 Jahren, als der Franzose Alfred Binet den ersten modernen Intelligenztest erfand. Der Jurist war durch die Beobachtung seiner beiden Töchter zur Intelligenzforschung gekommen. Zunächst hatte Binet versucht, die Begabung von Schülern anhand ihres Schädelumfangs zu bestimmen. Doch bald gab er diesen damals populären Ansatz als unbrauchbar auf.

Stattdessen ging er einen neuen Weg, als ihn die französische Regierung 1904 mit einer Aufgabe betraute: Er sollte eine Methode entwickeln, um Schüler mit Lernproblemen zu identifizieren. Gemeinsam mit seinem Kollegen Théodore Simon ersann Binet eine Reihe von 30 Teilprüfungen mit ansteigendem Schwierigkeitsgrad.

Besonders einfache, wie das Verfolgen eines brennenden Streichholzes mit den Augen, konnten seiner Erfahrung nach selbst Kleinkinder bewältigen. Die schwersten Aufgaben, darunter das Finden von Reimwörtern, setzten dagegen einen großen Wortschatz oder andere Fähigkeiten voraus, über die gewöhnlich erst ältere Kinder verfügen.

Die 1905 veröffentlichte und danach stetig verbesserte „Binet-Simon-Skala“ fand schnell Anhänger. So schlug der deutsche Psychologe William Stern vor, das Ergebnis solcher Tests (das sogenannte „Intelligenzalter“) durch das Lebensalter zu teilen: Dieser Quotient spiegle am ehesten die sich entwickelnden geistigen Fähigkeiten wider.

Ein sechsjähriges Kind, das die für ein Jahr ältere Probanden bestimmten Aufgaben löste und damit ein Intelligenzalter von sieben Jahren aufwies,



brachte es nach dieser Formel auf einen Quotienten von 1,17. Um eine ganze Zahl zu erhalten – in diesem Fall 117 – wurde das Resultat mit 100 multipliziert.

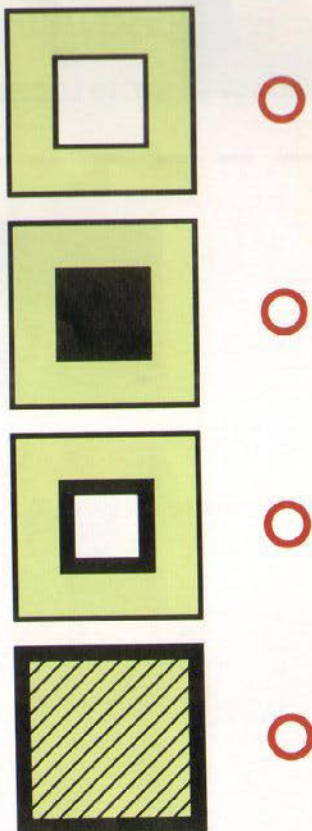
Gut zehn Jahre später wurde für diesen Wert der Begriff „Intelligenzquotient“ populär, nachdem der US-Psychologe Lewis Terman von der Stanford University den französischen Test überarbeitet hatte.

Terman war davon überzeugt, dass diese einfache, im Kindesalter ermittelte Kennzahl den Erfolg im späteren Leben vorhersagen könne, und er versuchte dies mit einer Langzeitstudie zu beweisen: Anhand von Testergebnissen wählte er 1528 Kinder mit besonders hohem IQ aus und verfolgte deren Lebenswege über Jahrzehnte hinweg.

Trotz einiger beachtlicher Karrieren in dieser Gruppe: Einen Nobelpreis erhielten später ausgerechnet zwei Testteilnehmer, die beim Eingrenzen der IQ-Elite herausgefallen waren.

AUCH WENN die Bezeichnung geblieben ist: Heute ist der IQ streng genommen kein Quotient mehr – denn mit ihm lässt sich insbesondere die Intelligenz von Erwachsenen nur schlecht beschreiben. Deshalb werden neuere Tests vor ihrer Veröffentlichung stets einer großen Kontrollgruppe aus verschieden alten Teilnehmern vorgelegt – so vermögen Experten für jede Altersstufe eine typische Leistungsverteilung zu ermitteln. Der IQ eines Getesteten richtet sich dann später danach, wie weit sein Testresultat vom Durchschnitt der Gleichaltrigen abweicht.

Abgesehen davon funktionieren jedoch auch jüngere IQ-Tests noch ähnlich wie die zu Binets Zeiten: So fragt etwa der „Hamburg-Wechsler-Intelligenztest“, eines der in Deutschland am weitesten verbreiteten Verfahren, in der



aktuellen Version für Kinder (HAWIK-IV) anhand von 15 Untertests mehrere unterschiedliche Fähigkeiten ab, darunter Sprachverständnis, Bearbeitungsgeschwindigkeit und logisches Denken.

Die Kinder müssen, zum Teil unter Zeitdruck, unter anderem vorgegebene Muster mit farbigen Würfeln nachbauen, Zahlenfolgen vorwärts oder rückwärts wiederholen sowie vom Tester vorgelesene Rechenaufgaben und Rätsel lösen.

So unterschiedlich diese Teilaufgaben auch erscheinen mögen: Ein Ziel solcher Tests ist es, möglichst genau den „generellen Faktor“ zu erfassen – eine allgemeine Intelligenz, die sich der Theorie zufolge hinter allen spezifischen geistigen Begabungen verbirgt.

Die Existenz eines solchen „g-Faktors“ postulierte der Brite Charles Spearman bereits 1904. Er hatte verschiedene mentale Fähigkeiten von Schulkindern abgefragt und dabei beobachtet, dass Kinder, die auf einem bestimmten Geistesgebiet gute Resultate erzielten, mit hoher Wahrscheinlichkeit auch in anderen Disziplinen gut abschnitten. So besaßen etwa Mathematik-Talente oft zugleich ein überdurchschnittliches Sprachverständnis.

Offenbar, so Spearmans Schluss, verfügten sie über ein grundlegendes Denkvermögen, das es ihnen erlaubte, sehr unterschiedliche Aufgaben mit vergleichbar guten Ergebnissen zu lösen – ähnlich Menschen mit einer besonderen athletischen Veranlagung, die meist in mehreren Sportarten gute Resultate erzielen.

Mit einem von ihm entwickelten statistischen Verfahren konnte Spearman zudem berechnen, wie stark die Leistungen in verschiedenen Denkdisziplinen von dieser angenommenen allgemeinen Intelligenz abhingen.

**IQ-Tests messen im Grunde
nicht die Intelligenz, sondern
die Anpassung an
die moderne Welt**

Noch heute ermitteln Intelligenzforscher auf diese Weise, inwieweit einzelne Testaufgaben den g-Faktor wiedergeben. Ein Test lässt sich zum Beispiel aus solchen Teilprüfungen zusammenstellen, die genau diese Größe besonders gut abbilden – so als würde man für einen Mehrkampf vor allem Sportarten auswählen, in denen Generalisten die besten Chancen haben.

Je nach Aufbau des fertigen Tests gilt das Ergebnis, der IQ, deshalb als gute Annäherung an den g-Wert.

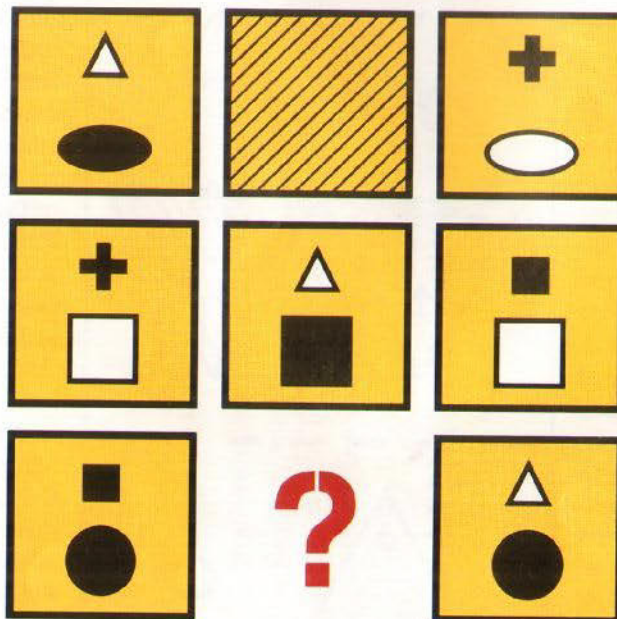
Dieser generelle Faktor ist für viele seiner Verfechter praktisch gleichbedeutend mit der Intelligenz – und die ließe sich folglich mit einer simplen, eindimensionalen Skala messen.

Anhänger dieser Theorie verweisen unter anderem auf Erkenntnisse aus der Gehirnforschung: Neurologen untersuchten etwa Testpersonen beim Lösen von Aufgaben, die zwar stark vom g-Faktor abhingen, sonst aber sehr unterschiedlich waren. Dennoch trat jedes Mal eine genau umrissene Region des **Stirnlappens*** in Aktion – daraus schließen die Forscher, die allgemeine Intelligenz sei in jenem Areal, dem **lateralen präfrontalen Kortex**, verortet.

DOCH SEIT 1984 können Kritiker der Intelligenzmessung ein schlagkräftiges Argument anführen. Damals machte der neuseeländische Psychologe James R. Flynn beim Vergleich von Testergebnissen aus mehreren Jahrzehnten eine verblüffende Entdeckung: Der durchschnittliche IQ war mit der Zeit stark angestiegen. Als er daraufhin umfangreiche Datensätze aus mehreren Nationen sichtete, stieß er überall auf den gleichen Effekt.

Bis heute ist der IQ-Zuwachs in rund 30 Ländern nachgewiesen – nicht zuletzt dadurch, dass Intelligenztests regelmäßig an das gestiegene Leistungsniveau angepasst werden müssen.

Wenn solche Tests dennoch die Intelligenz messen, dann wirft der sogenannte Flynn-Effekt gleich mehrere



Probleme auf: Rechnet man zum Beispiel zurück, müsste die Mehrheit unserer Vorfahren um 1900 einen IQ von unter 70 gehabt haben – und damit nach derzeitigen Maßstäben als geistig zurückgeblieben gelten.

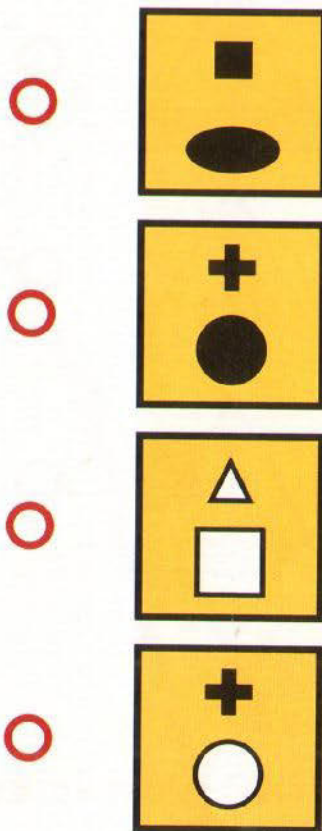
Bei einem durchschnittlichen Generationsunterschied von neun IQ-Punkten in den USA und ähnlichen Werten in anderen Ländern sollten zudem heutige Kinder ihre Eltern geistig überflügeln – tatsächlich scheint zwischen den Generationen in der Regel aber keine allzu große Intelligenzlücke zu klaffen.

DIE VERMEINTLICHE

Generationsklucht ist nicht das einzige Dilemma der Intelligenzmessung: Statistiken zufolge gibt es IQ-Differenzen auch zwischen Menschen verschiedener Hautfarbe und Angehörigen unterschiedlicher sozialer Schichten. So kamen US-Studien in den 1960er und 1970er Jahren zu dem Schluss, dass Afro-amerikaner in IQ-Tests durchschnittlich rund 15 Punkte weniger erzielten als ihre weißen Landsleute (eine Spanne, die inzwischen Schätzungen zufolge auf rund zehn Punkte geschrumpft ist).

Mit einer Reihe ähnlicher Datensätze zur IQ-Ungleichheit entfachten 1994 der Psychologe Richard Herrnstein und der Politologe Charles Murray eine hitzige Debatte. In einem umstrittenen Buch brachten sie schwache Testleistungen mit zahlreichen gesellschaftlichen Problemen in Verbindung: Menschen mit niedrigem IQ ließen sich demnach eher scheiden und hätten häufiger uneheliche Kinder, zudem seien sie öfter arm, arbeitslos oder kriminell.

Die Autoren betonten nicht nur das schlechtere Abschneiden von Schwarzen bei IQ-Tests. Sie schlugen darüber hinaus vor, Sozialprogramme zur Förderung von Geburten abzuschaffen, da sie vor allem „Frauen mit niedrigem IQ“ zur Mutterschaft ermutigen würden. Als Kritiker den Autoren „wissenschaftlichen Rassismus“ vorwarfen, verteidigten 52 Intelligenzforscher in



* Blau hervorgehobene Begriffe werden im Glossar ab Seite 150 näher erklärt.

einer öffentlichen Erklärung einige der im Buch vertretenen Auffassungen.

Dazu gehörte eine zentrale Annahme Herrnsteins und Murrays: dass die vom IQ gemessene Geisteskraft zu beträchtlichen Teilen in den Genen festgelegt sei.

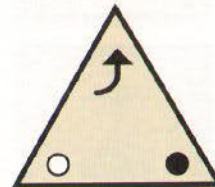
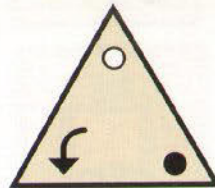
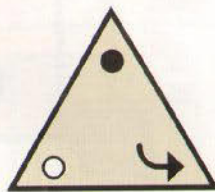
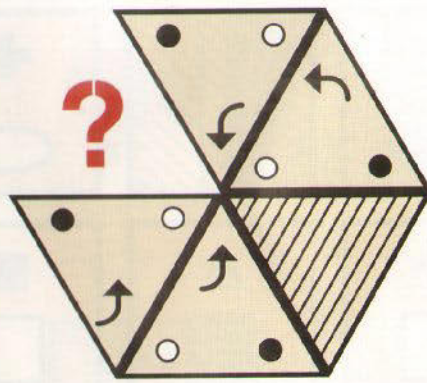
Die Vorstellung einer im Erbgut verankerten Intelligenz hat viele Anhänger: Angesichts von IQ-Statistiken wie der von Herrnstein und Murray, schrecken manche nicht vor der Schlussfolgerung zurück, Afroamerikaner seien von Geburt weniger intelligent. So behauptete ein prominenter Verfechter der Vererbungstheorie, es sei mittlerweile „mehr oder weniger bekannt“, dass der IQ-Unterschied zwischen Schwarzen und Weißen „auf einige Aspekte der Größe und der Funktionsweise des Gehirns“ zurückzuführen sei.

TATSÄCHLICH ist ein gewisser Einfluss des Erbgutes wahrscheinlich. Darauf deuten unter anderem Studien von eineiigen Zwillingen hin: Selbst wenn diese in unterschiedlicher Umgebung aufwuchsen, entwickelten sie eine ähnlich hohe Intelligenz.

Und Wissenschaftler am Londoner King's College haben jüngst sechs Gene identifiziert, die stark mit der von IQ-Tests gemessenen allgemeinen Intelligenz zusammenhängen (allerdings konnte selbst die einflussreichste dieser Erbanlagen nur Schwankungen dieser Fähigkeit um 0,4 Prozent erklären).

Doch obwohl manche Forscher aus den Zwillingstudien folgern, dass Intelligenz zu bis zu 80 Prozent vererbbar sei, haben andere Faktoren wie Familiensituation, schulische Bildung oder kultureller Hintergrund vermutlich enorme Auswirkungen. Und so lässt sich der von James Flynn festgestellte IQ-Anstieg in der Gesellschaft wohl nicht durch genetischen Einfluss erklären – vielleicht aber durch den Wandel der Lebensbedingungen im Zuge der Industriellen Revolution.

Wie Menschen vorher auf Intelligenztests reagiert haben könnten, zeigt die Arbeit von Alexander Luria: Der russische Psychologe konfrontierte in den 1930er Jahren Analphabeten in abgelegenen Regionen der UdSSR mit Aufgaben, wie sie ähnlich in IQ-Tests



vorkommen. In einem Fall gab er zwei Grundannahmen vor, die sein Gegenüber logisch verknüpfen sollte: Alle Bären seien dort weiß, wo es immer schneit, und auf der nordrussischen Insel Nowaja Semlja schneie es immer.

Die Antwort auf die Frage, welche Farbe die Bären dort also hätten, fiel pragmatisch aus: „Ich habe bislang nur schwarze Bären gesehen und kann nichts über Dinge sagen, die ich nicht gesehen habe.“ Als der Psychologe nachhakte, räumte der Befragte lediglich ein: „Wenn mir ein 60 oder 80 Jahre alter Mann sagen würde, er habe dort einen weißen Bären gesehen, dann könnte man ihm glauben.“

In Intelligenztests würden solche Probanden schlecht abschneiden: Schließlich bleiben sie die erwartete Antwort, eine logische Verbindung aus zwei fabrizierten Aussagen, schuldig. Die Überzeugung der Bauern, dass allein Erfahrung ein sicheres Urteil über die Farbe der Bären auf Nowaja Semlja zulasse, trifft jedoch zu – und entlarvt die Künstlichkeit der Fragestellung.

Ebenso wenig wie die von Luria befragten Bauern waren auch unsere Vorfahren um 1900 geistig zurückgeblieben: Ihre Intelligenz war, so Flynn, einfach nur stärker in der Alltagswirklichkeit verankert. Dagegen hätten sich die Menschen in den heutigen Industrienationen längst an das Denken in abstrakten Kategorien gewöhnt – und diese Fähigkeit erlaube es ihnen, IQ-Tests erfolgreicher zu absolvieren.

Trifft diese Schlussfolgerung zu, dann misst der IQ also nicht so sehr die Intelligenz, sondern vielmehr die Anpassung an die moderne Welt.

AUCH ANDERE Wissenschaftler halten das, was IQ-Tests messen, für

**Der IQ-Test leistet zumindest eines:
Er kann zu etwa 25 Prozent die
akademischen und beruflichen
Leistungen vorhersagen**

Auflösung: S. 20, u. r.; S. 21, 3. v. o.; S. 22, 4. v. o.; S. 23, 4. v. o.; S. 24: 3. v. o. Quellen: www.tickle.de; www.mensa.de

eine eher begrenzte Fähigkeit. So verweist der US-Psychologe Howard Gardner auf andere Formen von Intelligenz – etwa die mancher autistischer Kinder mit Inselbegabung, die zwar in vieler Hinsicht als zurückgeblieben gelten, jedoch zum Beispiel die Wochentage für jedes Datum der vergangenen drei Jahrhunderte im Kopf haben oder mit fünf Jahren perspektivisch korrekte Zeichnungen anfertigen.

Als Gegenentwurf zum IQ-Modell hat Gardner daher eine „Theorie der multiplen Intelligenzen“ entwickelt.

Danach gibt es acht voneinander unabhängige Intelligenzen: eine sprachliche, eine musikalische, eine logisch-mathematische sowie eine räumliche (die etwa Architekten auszeichne), eine körperlich-kinästhetische (unter Sportlern und Tänzern verbreitet), eine naturkundliche. Zudem erleichtere eine interpersonale Intelligenz die Arbeit mit Mitmenschen und befähige eine intrapersonale zur Selbstreflexion.

Gardners Kritiker bemängeln, sein Intelligenzbegriff sei zu weit gefasst – müssten doch ihr zufolge auch begnadete Baseball-Spieler als besonders intelligent bezeichnet werden.

Und obwohl es für Gardners multiple Intelligenzen mittlerweile „MI-Tests“ gibt, ist ihr praktischer Nutzen umstritten – immerhin spielen in der Schule nach wie vor jene Fähigkeiten eine Rolle, die der IQ-Test abfragt.

Der leistet zumindest eines: Er kann zu geschätzten 25 Prozent die akademischen und beruflichen Leistungen eines Menschen vorhersagen und gilt damit als eines der aussagekräftigsten Hilfsmittel der Psychologie.

Neben einem hohen IQ beeinflussen jedoch auch andere Eigenschaften den Erfolg – etwa der Charakter, wie US-Forscher eindrucksvoll demonstriert haben. Sie gaben einer Gruppe von 13-Jährigen nicht nur einen IQ-Test zum Ausfüllen, sondern auch einen geschlossenen Umschlag mit einer Dollarnote.

Die Kinder konnten den Umschlag entweder sofort öffnen oder nach einer Woche unverseht zurückgeben, um dafür zwei Dollar zu erhalten. Das so ermittelte Maß an Selbstdisziplin zeigte eine doppelt so hohe Übereinstim-

Der beste Kurs für Ihr Vermögen: FT Navigator

und zu den erfolgreichsten. Bringen Sie Ihr Vermögen jetzt auf Kurs! Mehr Infos und die aktuellen Verkaufsperspektive erhalten Sie bei Ihrem Berater. Oder unter 069/9 20 50 200 und „www.frankfurt-trust.de“.

Clevere Investoren richten Ihr Depot schon jetzt auf die Abgeltungssteuer ein: mit FT Navigator, unseren Dachfonds, die flexibel in die besten Fonds am Markt investieren. Sie gehören zu den ältesten ihrer Art in Deutschland –



Für den FT Navigator 40, Kategorie Dachfonds (überwiegend Rentenfonds), 1. Jahr.

FRANKFURT-TRUST
ASSET MANAGEMENT



mung mit den schulischen Leistungen wie der IQ.

DASS EIN überdurchschnittlicher Intelligenzquotient nicht immer Erfolg garantiert, belegt auch das Beispiel von Max: Die Noten des Neuntklässlers sind durchgewachsen, in Latein und Mathematik hat er schon Fünfen oder sogar Sechsen geschrieben.

Solch schwache Leistungen sind bei hochintelligenten Schülern keine Seltenheit: Ohne gezielte Förderung haben sie oft Probleme, sich für den Unterricht zu motivieren.

Stattdessen tut sich Max auf Gebieten hervor, die weniger häufig mit Hochbegabung in Verbindung gebracht werden: Der 14-Jährige dokumentiert seine Arbeit im Kunstunterricht mit auf-

MEMO | IQ-TESTS

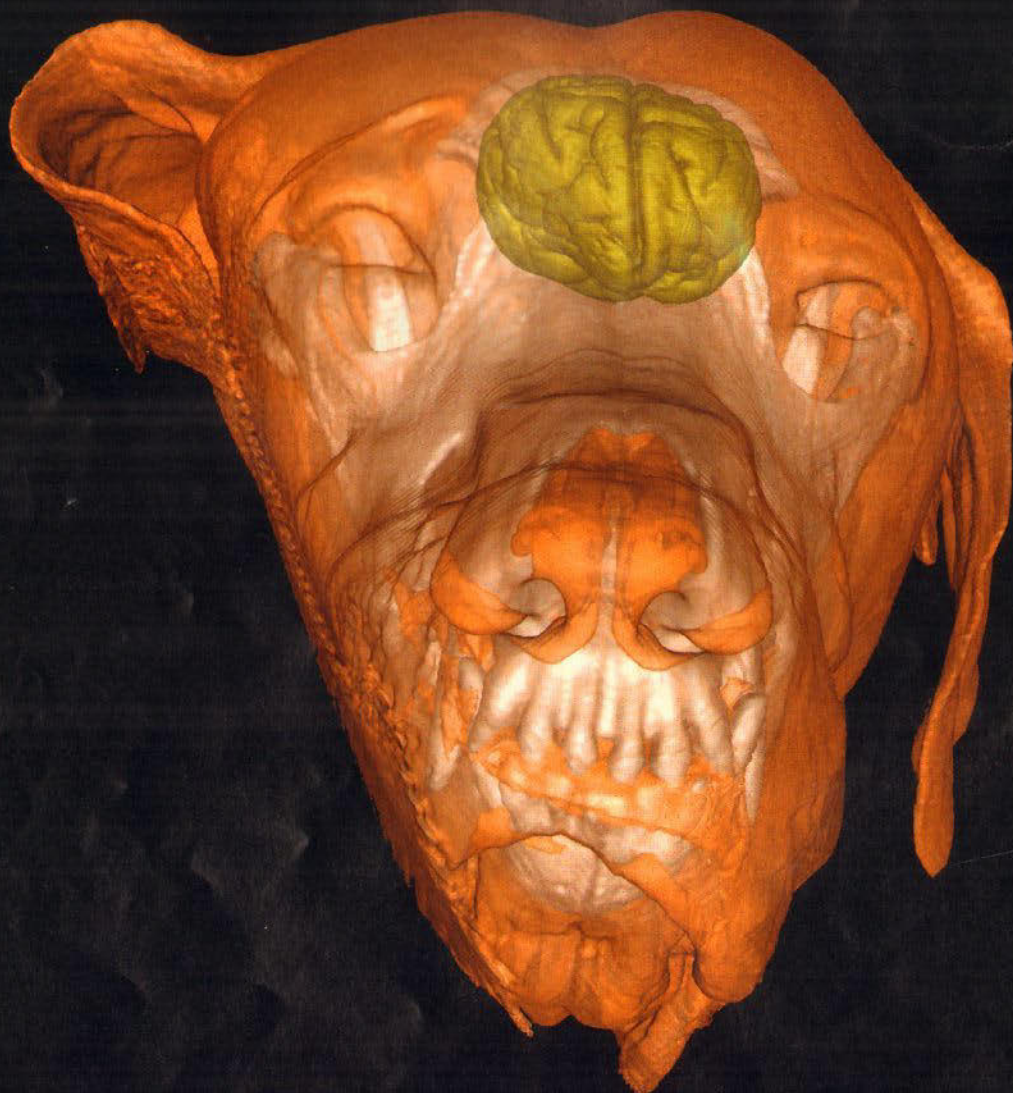
- »»» **DER FRANZOSE ALFRED BINET** entwickelte 1904 den ersten Intelligenztest.
- »»» **DIE ALLGEMEINE INTELLIGENZ** ist vermutlich im seitlichen Stirnlappen verortet.
- »»» **MANCHE FORSCHER** folgern aus Zwillingsstudien, dass Intelligenz zu bis zu 80 Prozent vererbbar ist.
- »»» **DER DURCHSCHNITTICHE IQ** ist in den vergangenen Jahrzehnten stark angestiegen.

wendigen Multimedia-Präsentationen, baut eine Schülerzeitung auf und reicht Kurzgeschichten bei Literaturwettbewerben ein. Während manch anderes Jungtalent unter Mobbing leidet, ist Max in der Klasse beliebt und engagiert sich sogar sozial. So bezieht er Stellung zu Themen wie Sterbehilfe oder Ausländerfeindlichkeit – etwa per Leserbrief an die Wochenzeitung „Die Zeit“.

Der ganz normale Junge, für den ihn seine Eltern früher hielten, ist Max aber wohl nicht. Manchmal klagt er darüber, dass ihn die oft wenig sensible Denkweise der meisten anderen Menschen geradezu körperlich schmerzt: „Das fühlt sich an wie Kratzen auf einer Schiefertafel.“ □

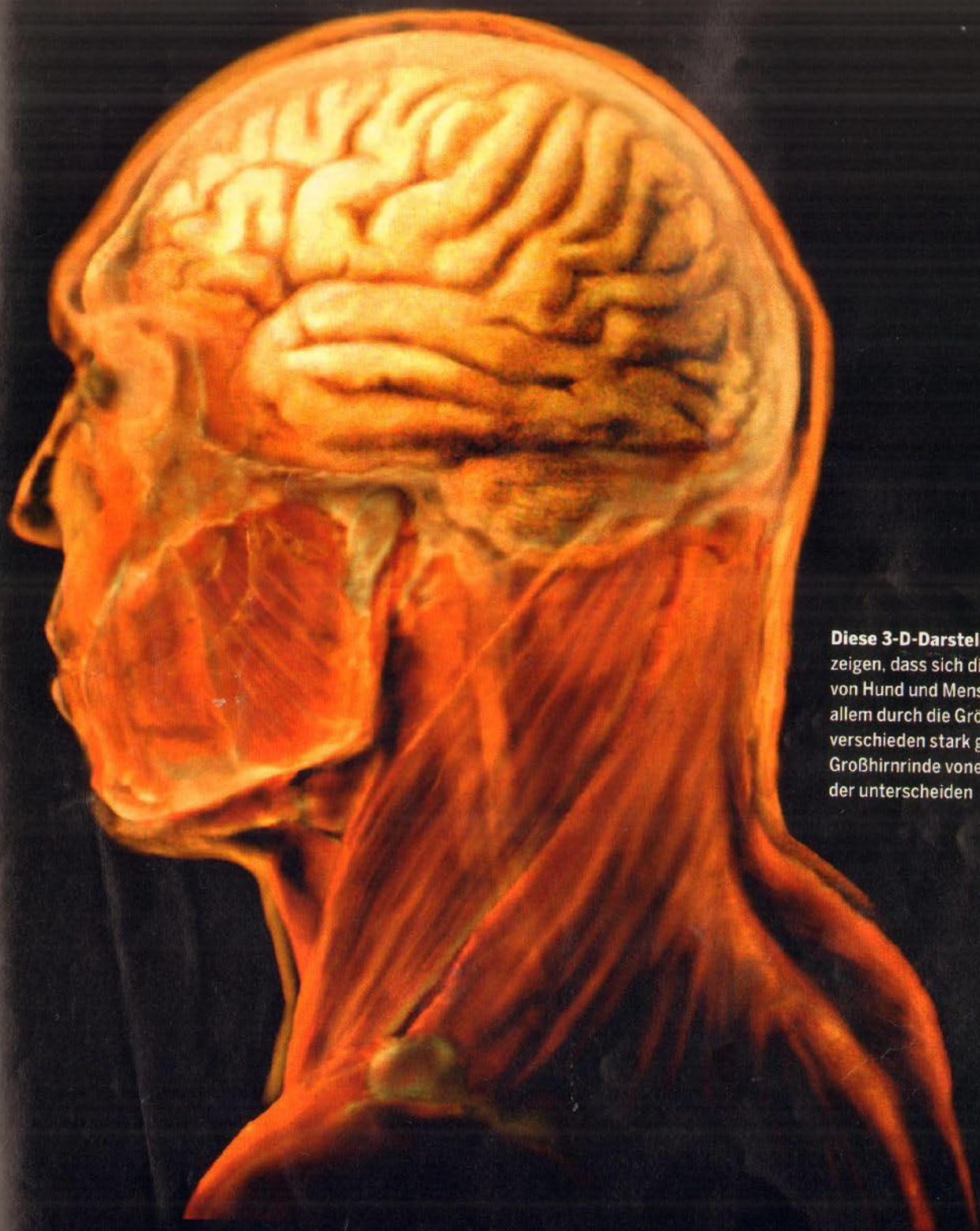
Martin Paetsch, 37, ist Wissenschaftsjournalist in Hamburg.

Literatur: James R. Flynn, „What Is Intelligence? Beyond the Flynn Effect“, Cambridge University Press.



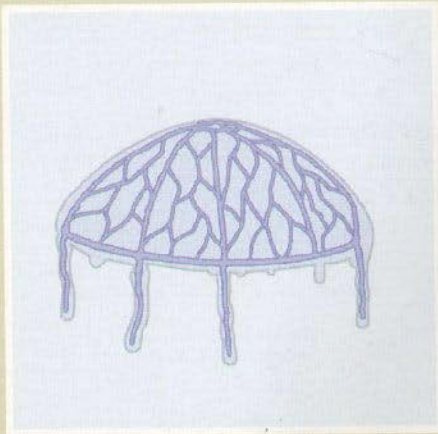
Text: Alexandra Rigos

DIE GEBURT DES GEISTES

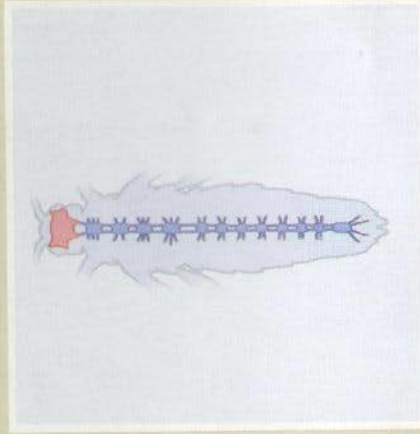


Diese 3-D-Darstellungen zeigen, dass sich die Gehirne von Hund und Mensch vor allem durch die Größe und die verschieden stark gefaltete Großhirnrinde voneinander unterscheiden

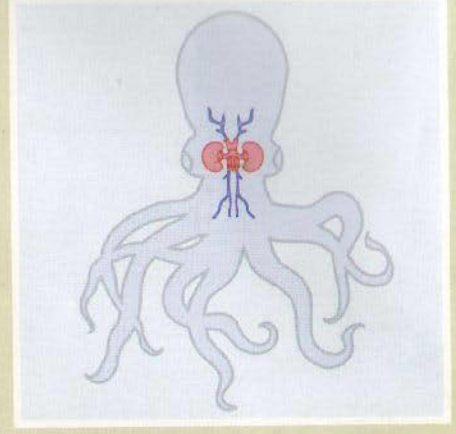
Vor mehr als einer halben Milliarde Jahren machte die Natur eine geniale Erfindung: Sie schuf Neurone. Zellen, die Reize empfangen, verarbeiten und weiterleiten können. Damit legte sie den Grundstein für die komplexeste Struktur im Universum – unser Gehirn



Die stammesgeschichtlich alten, wirbellosen Quallen haben kein Gehirn. Ihre Körper sind nur von einem Nervennetz durchzogen



Das einfach gebaute Nervensystem der Insekten ähnelt einer Strickleiter und sendet Reize an das Gehirn (links)



Kraken besitzen das höchstentwickelte Gehirn aller Wirbellosen: Es befähigt sie zu raschem Lernen und virtuoson Bewegungen

Mehr als 650 Millionen Jahre brauchte die Evolution, um die anfangs sehr simplen Nervensysteme in der Tierwelt – etwa bei Quallen und Seeanemonen – zum menschlichen Gehirn weiterzuentwickeln.

Erlaubt man sich für einen Augenblick, die Natur zu vermenschlichen, dann ging sie im Verlauf der Evolution vor wie ein etwas verschrobener Baumeister, der im Laufe seines Lebens ein Gartenhäuschen nach und nach zu einer Villa ausbaut: Kaum etwas wurde weggeworfen, nur selten eine Wand eingerissen, stattdessen immer wieder an- und umgebaut. Neue Raumfluchten

menschliche Gehirn in all seiner Komplexität basiert letztlich auf jenen Bausteinen – Nervenzellen – und Kommunikationsmitteln – elektrischen und chemischen Signalen –, die schon bei einfachen Lebewesen zu finden sind.

Selbst eine so simple Kreatur wie das Darmbakterium *Escherichia coli* ist fähig, auf Reize in seiner Umgebung sinnvoll zu reagieren. Spezielle Empfangsmoleküle in der Zellwand helfen ihm, Nahrungsquellen oder Giftstoffe wahrzunehmen.

Werden diese **Rezeptoren*** gereizt, erzeugen sie chemische Signale. Sie veranlassen den Einzeller, sich mit seinen propellerartigen Geißeln in die günstigste Richtung zu bewegen – etwa hin zum Futter oder weg von der Gefahr. Diese uralte Form des Signalverkehrs hat die Natur auf dem Weg zum Menschenhirn beibehalten.

Komplexere Lebewesen, die im Gegensatz zum Kolibakterium aus vielen Zellen bestehen,

kommen nicht ganz so leicht zu ihren Entscheidungen.

Vielmehr brauchen sie eine Instanz, welche die Informationen aus unterschiedlichen Körperregionen zusammenführt, ein Ergebnis daraus ableitet und die Reaktion steuert. Sonst würde

womöglich jeder Körperteil in eine andere Richtung streben – vorausgesetzt, der Organismus kann sich überhaupt fortbewegen und verharret nicht wie eine Pflanze sein Leben lang an einem Fleck.

Konsequenterweise führte die Evolution im Verlauf der Entwicklung zwischen Schwämmen und Quallen eine Neuerung ein: die Nervenzellen (**Neurone**). Sie bildeten sich aus Zellen der äußeren Hautschicht, die unmittelbar der Umgebung ausgesetzt waren, und spezialisierten sich darauf, Reize zu empfangen, zu verarbeiten und weiterzuleiten.

Ein Schwamm, der weder auf die Jagd geht noch vor Feinden flüchten kann, benötigt keine Signalleitungen – folglich hat er keine Neurone. Die mobilen, räuberischen Quallen hingegen gehören zu den ältesten heute noch existierenden Organismen, die über ein einfaches Nervensystem verfügen. Es besteht aus einem Netz miteinander verbundener Neurone, das den ganzen Körper durchzieht.

Doch eine Zusammenballung solcher Zellen, die den Namen Gehirn verdient, findet sich bei den Quallen noch nicht.

DIESE KONSTRUKTION erprobte die Natur erst bei den Würmern. Im Gegensatz zu radialsymmetrischen Tieren wie Quallen oder Seesternen

Selbst ein Darmbakterium vermag auf Reize in seiner Umgebung zu reagieren

entstanden, während alte Kämmerchen weiterhin genutzt wurden und der Keller fast unverändert blieb. So nahm nach und nach ein Prachtbau Gestalt an, der zu vielerlei Zwecken taugt.

Auch bei Material und Technik hielt sich die Natur an das Bewährte: Das

ARCHITEKTUR DES GEHIRNS

Text und Illustrationen: Rainer Harf

Unser Hirn ist ein Verbund aus 100 Milliarden Nervenzellen, die jeweils mehrere Tausend Kontaktstellen zueinander bilden. Manche Funktionen – etwa die Koordination unserer Bewegungen – lassen sich bestimmten Regionen zuordnen. Die meisten Leistungen werden jedoch von Neuronennetzen vollbracht, die über das ganze Gehirn verteilt sind

Insula:
Bereich der Großhirnrinde,
löst Genuss sowie Ekel aus

Stirnlappen:
Sitz höherer geistiger
Fähigkeiten – etwa
der Intelligenz

Motorkortex: Teil des Stirnlappens,
sendet Befehle an die Muskulatur

Zentralfurche

Scheitellappen:
spielt eine zentrale Rolle
beim Rechnen und dem
räumlichen Vorstellungs-
vermögen

Präfrontaler Kortex:
Teil des Stirnlappens, Ort
der Selbstreflexion und der
moralischen Bewertung

Seitenventrikel: produzieren
und transportieren Nervenwasser

Schläfenlappen:
beherbergt das Hörzentrum
und ist an der Erkennung von
Gesichtern beteiligt

**Hinterhaupts-
lappen:**
verarbeitet vor
allem optische
Impulse

Kleinhirn:
reguliert Bewegungen
und ist wichtig für die Gleich-
gewichtskontrolle

Großhirnrinde:
(dunkelblau) am stärksten ent-
wickelter Teil des Gehirns – ruft
das Bewusstsein hervor

Balken:
verbindet die beiden
Gehirnhälften mit-
einander

Thalamus:
»Tor zum Bewusstsein« –
koordiniert die Weiterleitung von
Reizen zur Großhirnrinde

Basalganglien:
dienen vor allem der
Bewegungskoordination

Mandelkern:
spielt eine wichtige
Rolle für unser Ge-
fühlsleben

Zwischenhirn:
gilt als Informationsfilter und
reguliert den Tag-Nacht-Rhythmus
sowie die hormonelle Steuerung

Rechte Hemisphäre

**Längsspalte des
Großhirns**

Linke Hemisphäre

Mittelhirn

Brücke

**Verlängertes
Mark**

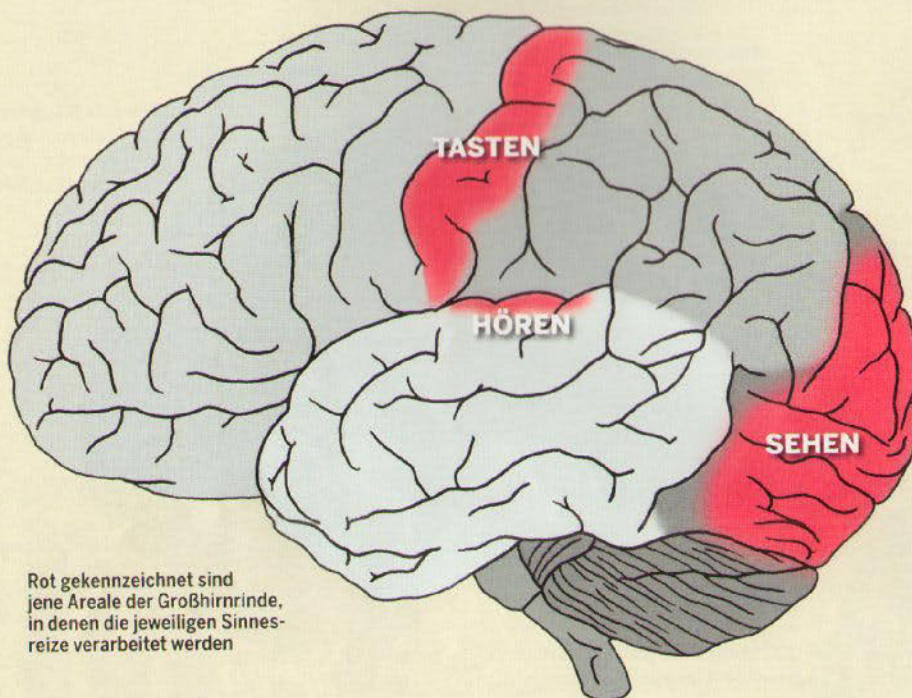
Hirnstamm:
steuert lebenswichtige Grundfunk-
tionen wie Herzschlag und Atmung

In dieser Ansicht sind nur der Balken,
Zwischenhirn, Hirnstamm und Kleinhirn ange-
schnitten, da das Großhirn durch die Längsspalte
ohnehin in zwei Hemisphären getrennt ist

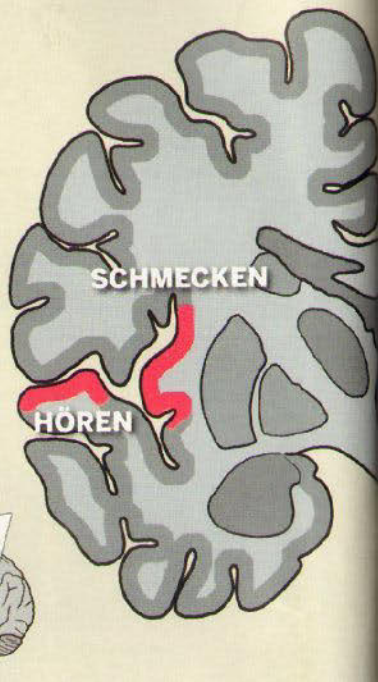
ANATOMIE DER SINNE

Alle Formen und Farben, alle Klänge und Geräusche, Gerüche und Geschmacksempfindungen sind das Werk unseres

Gehirns: eine Interpretation von Abermillionen Reizen, die jede Sekunde von den Sinneszellen in Augen, Ohren, Nase,

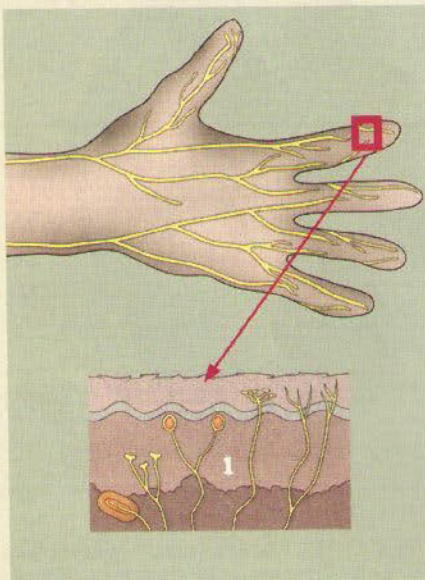


Rot gekennzeichnet sind jene Areale der Großhirnrinde, in denen die jeweiligen Sinnesreize verarbeitet werden



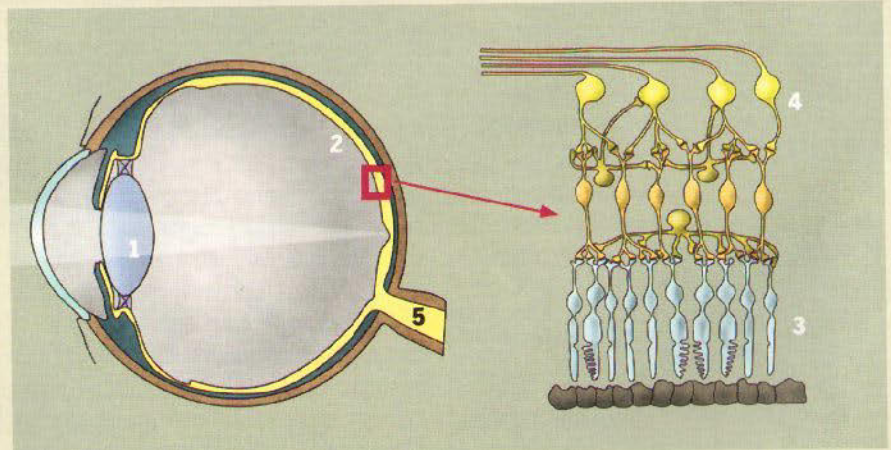
TASTEN

Millionen Sinneszellen (1), die auf Druck, Berührung oder schmerzauslösende Reize reagieren, durchziehen die menschliche Haut. Die Zellen senden Reize zum Rückenmark, von wo sie schließlich in den somatosensorischen Kortex weitergeleitet werden: ein Areal, das der zentralen Verarbeitung der haptischen Wahrnehmung dient.



SEHEN

Dringt Licht ins Auge, wird es von der Linse (1) auf die Netzhaut (2) projiziert. Dort liegen rund 130 Millionen Sehzellen (3): Stäbchen und Zapfen, die Lichtsignale in elektrische Impulse umwandeln. Die werden an Nervenzellen (4) und anschließend über den Sehnerv (5) an die Sehrinde geschickt. Ein dichtes Gewirr von Neuronen stimmt dort die visuellen Informationen aufeinander ab. Es analysiert Farben und Formen, Bewegungen sowie die räumliche Anordnung von Objekten – und setzt sie zu einem Bild zusammen.

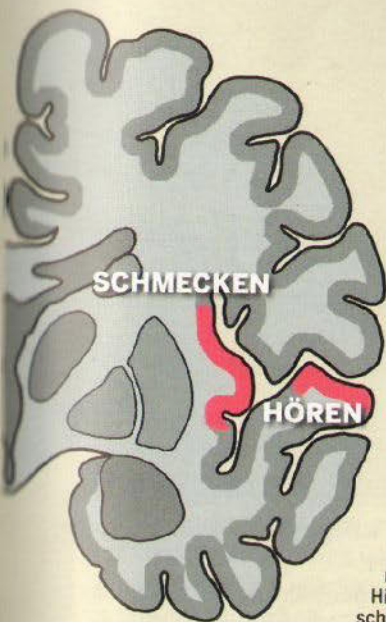


SCHMECKEN

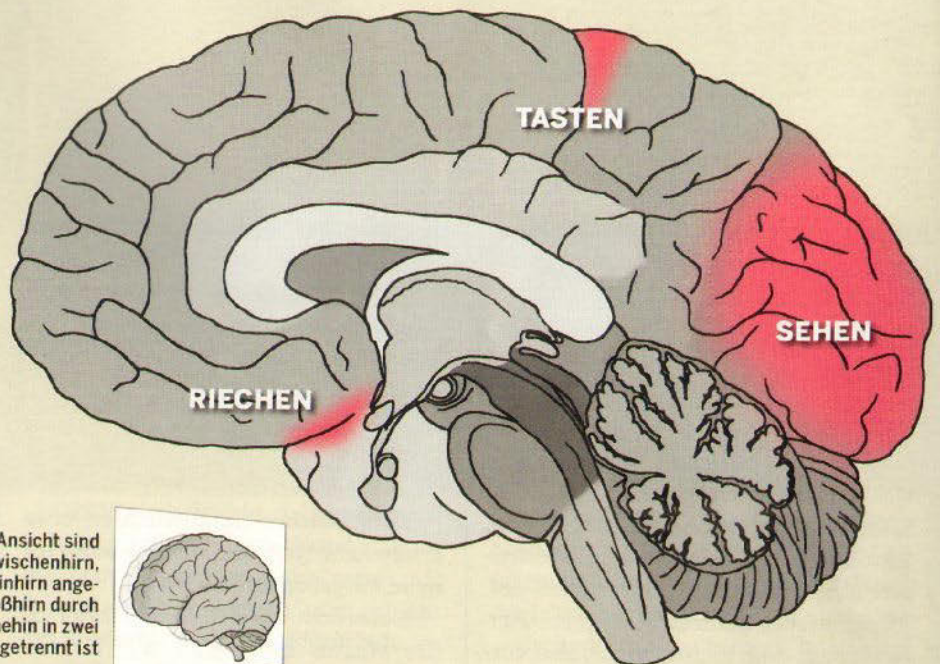
Auf der Zunge befinden sich Hunderte Papillen (1) mit zahlreichen Geschmacksknospen (2). Jede Knospe enthält etwa 50 Sinneszellen (3), die bei Kontakt mit Geschmacksstoffen (blau) Nervenzellen reizen. Diese leiten die Impulse an die Insula in der Großhirnrinde weiter. Fünf Geschmacksrichtungen werden wahrgenommen: süß, salzig, sauer, bitter und umami (fleischig). Geschmackssinneszellen werden alle zehn bis 15 Tage aus Zellen der Mundschleimhaut neu gebildet.

Zunge und Haut aufgenommen und in elektrische Impulse umgewandelt werden. Über Nervenbahnen gelangen diese Signale an jene Hirnareale, die für die sensorische Verarbeitung

zuständig sind. Dort erst entsteht durch ein hochkomplexes, noch nicht vollständig verstandenes Zusammenspiel Tausender Neurone ein Bild unserer Wirklichkeit

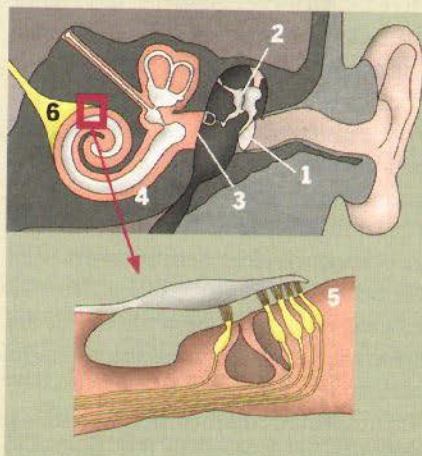


In dieser Ansicht sind nur der Balken, Zwischenhirn, Hirnstamm und Kleinhirn angeschnitten, da das Großhirn durch die Längsspalte ohnehin in zwei Hemisphären getrennt ist



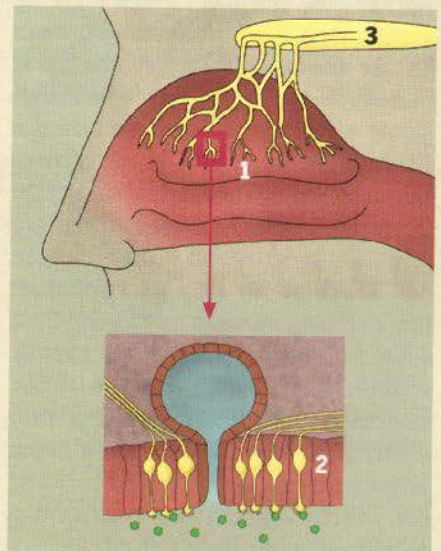
HÖREN

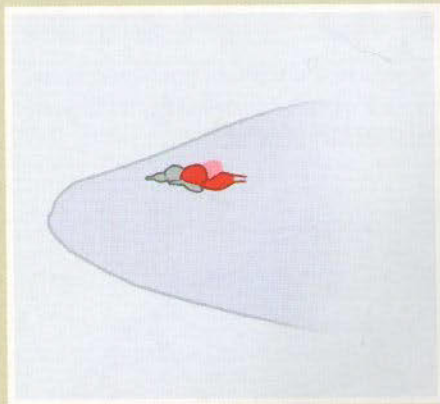
Dringen Schallwellen in unser Ohr, versetzen sie das Trommelfell (1) in Schwingung und werden über die Gehörknöchelchen (2) zu einer Membran (3) weitergeleitet. Von dort pflanzen sie sich als Druckwellen entlang des mit Flüssigkeit gefüllten schneckenförmigen Hörorgans (4) fort und stimulieren mit Härchen besetzte Sinneszellen (5). Die wandeln die Schwingungsenergie in biochemische Signale um. Als neuronale Impulse gelangen sie dann über den Hörnerv (6) ins Hirn; nun erst wird der Schall bewusst wahrgenommen.



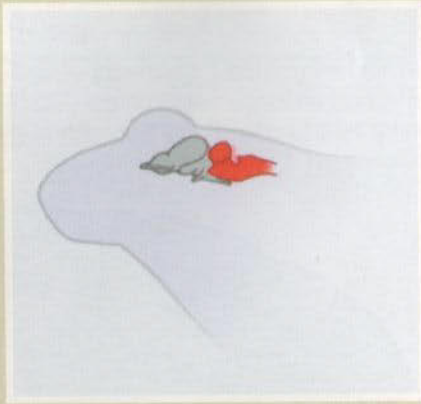
RIECHEN

Duftmoleküle streifen an der Nasenschleimhaut (1) entlang. Weiter hinten, in ihrem oberen Teil sind etwa 20 Millionen Riechzellen (2, gelb) eingebettet. An deren Oberfläche docken die Moleküle (grün) an. Daraufhin senden die Zellen Signale in den Riechkolben (3). Von dort aus gelangen die Geruchsinformationen in die Riechrinde – und damit in unser Bewusstsein.

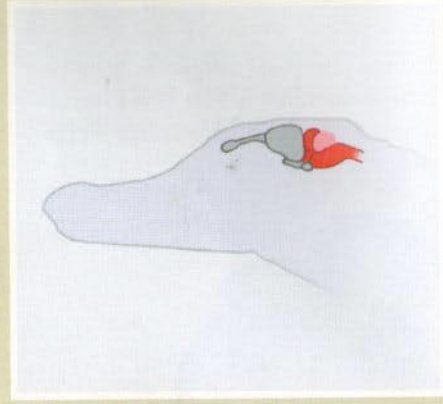




Die Gehirne aller Wirbeltiere (hier ein Fisch) sind ähnlich gebaut: Das Vorderhirn (grau) bewertet Informationen, das Kleinhirn (rosa-farben) koordiniert Bewegungen, der Hirnstamm (rot) steuert Herzschlag und Atmung



Im Laufe der Entwicklung zu komplexeren Gehirnen vergrößerte sich bei Wirbeltieren (hier ein Frosch) vor allem das Vorderhirn (grau). Der Hirnstamm veränderte sich meist relativ wenig



Bei Krokodilen ist der keulenförmige Teil des Vorderhirns vornehmlich mit der Analyse von Gerüchen beschäftigt. So vermögen die Tiere feinste Variationen von Duftstoffen zu unterscheiden

lassen sich bei ihnen bereits vorn und hinten unterscheiden – und das bedeutete einen gewaltigen Sprung bei der Evolution des Gehirns. Schlägt ein Tier bevorzugt eine Richtung ein, also vorwärts, ist es sinnvoll, wenn sich ein Großteil seiner Nerven- und Sinneszellen am vorderen Ende konzentriert. Schließlich kommt dieser Teil meist als Erster mit den Verheißungen und Gefahren einer neuen Umgebung in Berührung.

Die Plattwürmer zählen zu den einfachsten Kreaturen, bei denen sich dieser Bauplan beobachten lässt: Vorn sitzt ein Kopf, und darin ruht das Gehirn. Mit der Zeit prägte sich der Kopf stärker aus, und das Gehirn legte an Volumen zu. Nach und nach wurde es immer leistungsfähiger – und zwar nicht etwa, weil grundlegend neue Bausteine hinzukamen, sondern weil die Zahl der Neurone und ihrer Verknüpfungen untereinander zunahm.

Ursache dieser Entwicklung waren Mutationen – also Veränderungen des Erbguts, die sich als vorteilhaft für den Organismus erwiesen. Eine Schlüsselrolle spielten dabei Erbgutveränderungen, bei denen wichtige Gene *doppelt* an die nächste Generation weitergegeben wurden. Die Gen-Kopie konnte nun ihrerseits mutieren, ohne die Lebensfähigkeit des Organismus aufs Spiel zu setzen.

Dank solcher Gene wuchsen etwa zusätzliche Neurone, die sich dann für neue Aufgaben nutzen ließen.

Natürlich konnte das Hinterteil des Wurms nicht ganz auf Nervenzellen verzichten, schließlich musste auch dieses dem Gehirn Signale aus seiner Umwelt melden. Deshalb durchzieht ein Nervenstrang der Länge nach seinen Leib – wie bei uns das Rückenmark.

Etwas weiter entwickelte Tiere wie die Ringelwürmer und die später entstandenen Insekten besitzen in Segmente gegliederte Körper. Jeder Abschnitt hat zwei Nervenknotten (**Ganglien**), die wie Minihirne das jeweilige Segment steuern. Die Ganglien sind zu einer strickleiterartigen Struktur verknüpft, die in den Kopf führt. Dort sitzt ihr größeres Pendant, das eigentliche Gehirn, und koordiniert wie ein Dirigent das Konzert der Nervenzellen.

Auch wenn Insektenhirne nur aus knapp einer Million Neurone bestehen, befähigen sie ihre Träger zu ungemein komplexen Verhaltensweisen.

Das Männchen der Skorpionsfliege etwa überreicht dem umworbenen Weibchen nicht nur ein essbares Geschenk, sondern bemisst die Größe der Gabe auch nach der erwarteten Fruchtbarkeit der Partnerin.

Und Ameisen leben in arbeitsteilig organisierten Staaten, die mitunter

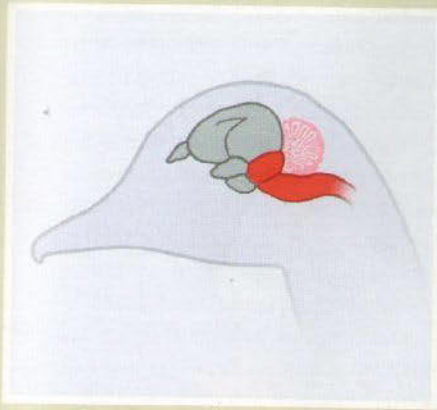
regelrechte Kriege gegen Konkurrenzvölker führen.

Doch sind den Fähigkeiten der Insektenhirne Grenzen gesetzt. Sie ähneln Computern, auf denen nur eine bestimmte Software läuft – veränderten Umweltbedingungen können sie sich kaum anpassen.

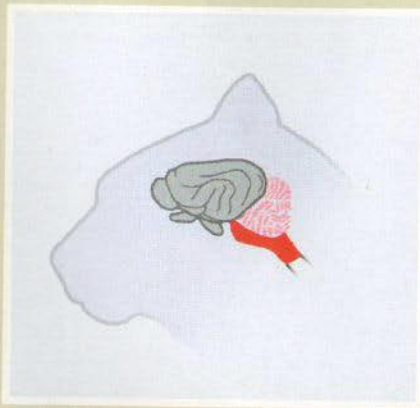
GRUNDSÄTZLICH ANDERS als die bei gleich bleibenden Anforderungen unschlagbar effizienten, aber relativ unflexiblen Insektenhirne entwickelten sich die Gehirne der Wirbeltiere: Sie sind dynamischer und auf individuelle Entwicklung und Veränderung angelegt und können sich daher in einer Umwelt, die nicht mehr exakt jener der Eltern gleicht, besser behaupten.

Ihr Schaltplan, also das Muster der Verknüpfungen zwischen den Nervenzellen, wird in hohem Maße durch äußere Einflüsse während der Entwicklung des Embryos und in den frühen Lebensphasen bestimmt.

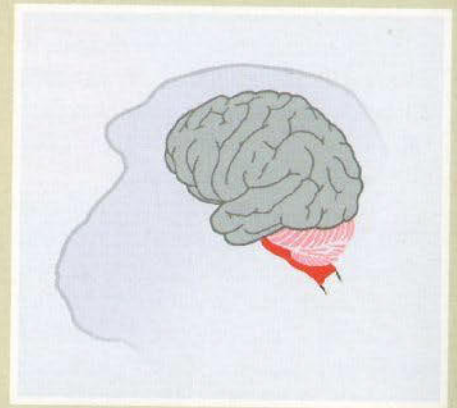
So schlüpft etwa ein Kanarienvogel nicht mit einer fest eingeschriebenen Melodie seines Werbegesangs im Kopf aus dem Ei, sondern lernt sein Lied, indem er erwachsenen Männchen lauscht. Ebenso ist er imstande, nach ein paar schmerzhaften Kollisionen mit einer Fensterscheibe zu begreifen, dass ihm ein unsichtbares Hindernis den Weg verstellt.



Viele Vögel besitzen ein massiges Kleinhirn (rosafarben), das ihnen eine präzise Orientierung in der Luft ermöglicht. Auch der vordere Teil des Hirns – Sitz der Intelligenz – ist stark vergrößert



Das Denkgorgan von Säugern mit höher entwickelten Gehirnen (etwa von Katzen) ist von der zerfurchten Großhirnrinde geprägt. In ihr entstehen Bewusstsein und Lernfähigkeit der Tiere



Die Großhirnrinde von Menschenaffen ähnelt der des *Homo sapiens* und ist sehr stark gefaltet – so passt sie trotz ihrer großen Oberfläche in den Schädel der Tiere

Eine Fliege hingegen versucht bis zur finalen Erschöpfung immer wieder, durch das Glas zu gelangen.

Die ersten Wirbeltiere, die vor etwa 500 Millionen Jahren auftraten, hatten Ähnlichkeit mit den heutigen, fischähnlichen Neunaugen. Sie besaßen bereits eine Schädelkapsel, die das empfindliche Gehirn schützte. Das Leben jener Zeit spielte sich noch ausschließlich im Ozean ab; die älteste Bauart der Wirbeltiergehirne lässt sich deshalb bei Neunaugen und Fischen beobachten.

Bei allen äußeren Unterschieden ist das Hirn bei Fisch und Vogel, Ratte und Mensch grundsätzlich ähnlich konzipiert: Der **Hirnstamm** steuert lebenserhaltende Funktionen wie Herzschlag und Atmung, das **Kleinhirn** koordiniert unter anderem Bewegungen, und das **Vorderhirn** dient anspruchsvollen Aufgaben wie Planen, Bewerten von Informationen und Entscheiden. Allerdings lassen sich viele Funktionen nicht eindeutig einer Hirnregion zuschreiben, sondern werden stets im Zusammenspiel mehrerer Strukturen erfüllt.

WÄHREND SICH der Hirnstamm im Verlauf der Evolution relativ wenig veränderte, erkor die Baumeisterin Natur das Vorderhirn zu ihrer Lieblingsbaustelle. Hier ließ sie ständig erweitern und anbauen, bis die neuen Säle kaum noch auf dem Grundstück Platz fanden.

Der Fortschritt hin zu immer mehr Leistung, Lernbereitschaft und zu komplexeren Fähigkeiten ist in erster Linie dem Aufblähen einer äußeren Schicht des Vorderhirns, der **Großhirnrinde**, zu verdanken. Ihr stammesgeschichtlich jüngster Teil wird **Neokortex** genannt und existiert nur bei Säugetieren. Bei Menschen macht er knapp die Hälfte des Hirnvolumens aus.

Damit diese expandierende, jedoch nur wenige Millimeter dicke Neuronenschicht noch in den Schädel passte, faltete sie sich so auf, dass das Gehirn allmählich sein beim *Homo sapiens* walnussartig zerfurchtes Aussehen annahm.

Könnte man die Großhirnwindungen im menschlichen Kopf glätten, würden sie eine Fläche von vier DIN-A4-Blättern bedecken – viermal so groß wie beim Schimpansen. Der ziemlich glatte Kortex einer Ratte hingegen erreicht nur das Format einer Briefmarke.

Je weiter entwickelt das Gehirn eines Wirbeltieres ist, desto größer sind die Areale seiner Großhirnrinde, die sich nicht mehr eindeutigen Funktionen wie etwa Sehen oder Hören zuordnen lassen.

Diese **assoziativen Areale** ermöglichen Wirbeltieren erst ein flexibles

Reagieren. Statt wie ein Insekt oder eine Schnecke auf einen Reiz mit einem festgelegten Verhalten zu antworten, wird der Input bei höheren Tieren über viele Zwischenstationen hinweg bearbeitet und moduliert; die Reaktion kann daher unterschiedlich ausfallen.

In bestimmten Phasen der Evolution schwollen ebendiese assoziativen Areale stark an, und ihre Größe ist ein wesentlicher Unterschied zwischen Menschen- und Affenhirn.

DOCH DIE Evolutionsgeschichte des Hirns folgte keinesfalls einem geraden Weg von der „Erfindung“ der Neurone bei Wirbellosen hin zum Denkgorgan des Menschen.

Im Gegenteil: Aus dem ersten „Neuronenbau“ entwickelten sich, um im Bild des von der Natur erbauten Hauses

Ein großes Gehirn bringt im evolutionären Wettbewerb nicht nur Vorteile

zu bleiben, unabhängig voneinander unterschiedliche Gebäude – darunter einige Prachtbauten.

Kraken etwa stehen in Bezug auf Intelligenz an der Spitze aller wirbel-

losen Tiere. Das Hirn eines Oktopus ist zwar völlig anders gebaut als das eines Wirbeltieres. Doch die intellektuellen Fähigkeiten der Kraken halten locker mit denen von Hunden mit.

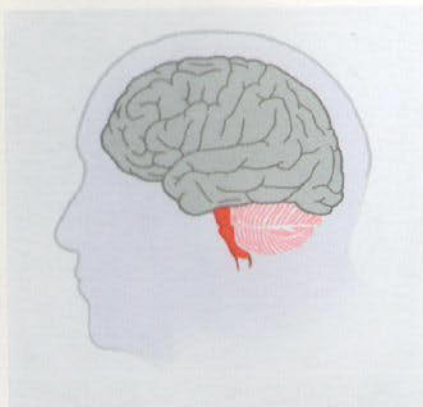
Unter den Wirbeltieren wiederum gehören die Gehirne der Elefanten und Wale, aber auch die einiger Vögel wie Raben zu den Meisterwerken der Hirnarchitektur – in ihrer Komplexität mit denen der Menschen und Menschenaffen vergleichbar.

Nachdem sich die evolutionären Wege von Mensch und Schimpanse vor etwa sieben Millionen Jahren getrennt hatten, legte das Hirn der Hominiden zunächst nur langsam zu.

Erst vor etwa zwei Millionen Jahren beschleunigte sich sein Wachstum rasant: Nahm das Organ des damals lebenden *Homo habilis* etwa 600 Kubikzentimeter ein, so brachte es der *Homo sapiens* vor 190 000 Jahren schon auf etwa 1400 Kubikzentimeter. Diese Entwicklung ließ den Menschen zu dem werden, was er heute ist.

Der Auslöser war möglicherweise ein Klimawandel vor 2,3 Millionen Jahren, der die frühen Menschen vor neue Herausforderungen stellte. Sie reagierten darauf, so eine These, mit dem Gebrauch besserer Werkzeuge, etwa um neue Nahrungsquellen zu erschließen.

Für die Herstellung und Bedienung dieser Hilfsmittel waren erhöhte geistige Fähigkeiten und eine gesteigerte Geschicklichkeit der Hände notwendig. In einer solchen Phase schneller Umweltveränderungen bedeutete die Zunahme der Intelligenz daher einen Vorteil im evolutionären Selektionsprozess.



Im Laufe der menschlichen Entwicklungsgeschichte nahm vor allem der stirnnahe Teil der Großhirnrinde zu. Dort laufen höhere geistige Prozesse ab, und dort ist vermutlich auch unsere Intelligenz lokalisiert

durch einen Rückkopplungseffekt: Verbesserte Werkzeuge und Waffen ermöglichten etwa die Jagd auf Großwild, sodass sich das Nahrungsangebot erweiterte.

Die erhöhte Energiemenge, die dem menschlichen Körper damit zur Verfügung stand, erlaubte es der Evolution, größere Gehirne auszuprobieren. Folglich wurden die Menschen noch geschickter und intelligenter.

EIN STATTLICHES Gehirn wie das des Menschen bringt seinem Besitzer jedoch nicht nur Vorteile im evolutionären Wettbewerb, sondern ist wegen seines hohen Energieverbrauchs auch eine Last.

Beim *Homo sapiens* nimmt es zwar nur etwa zwei Prozent des Körpervolumens ein, verbraucht jedoch 20 Prozent der Stoffwechselenergie, bei einem Neugeborenen sind es sogar zwei Drittel. Und je üppiger das Gehirn eines Tieres dimensioniert ist, desto mehr Zeit benötigt es, um heranzureifen und sein ganzes Potenzial zu entfalten.

Für die Eltern bedeutet dies, dass sie viel Zeit und Aufwand in ihren Nachwuchs investieren müssen, ihr Fortpflanzungserfolg also zahlenmäßig

gering bleibt. Diese Faktoren könnten weitere evolutionäre Ausbauten des Gehirns in der Zukunft begrenzen.

Tatsächlich haben die Menschen in den vergangenen 35 000 Jahren sogar an Hirnmasse verloren. Unser heutiges Gehirn wiegt im Durchschnitt etwa 1300 Gramm – 150 Gramm weniger als bei den Menschen in der Steinzeit.

Ob der Schwund eine Folge der Abnahme existenzieller Nöte etwa durch Fortschritte im Ackerbau war oder mit dem über lange Zeiträume ebenfalls rückläufigen Körpergewicht unserer Vorfahren zusammenhängt, ist unklar.

Die Natur als Architekt baute nicht nur immer neue Zimmer und Säle an ihre Gehirnkomplexe – sie riss ungenutzte Räume auch kompromisslos wieder ab. So nahm das Hirnvolumen des Hundes im Laufe seiner Karriere als Gefährte der Menschen ab: Das Gehirn eines Haushundes von der Größe eines Wolfes ist um ein Drittel kleiner als das seines wilden Verwandten.

MEMO | GEHIRN-EVOLUTION

» **VOR 650 MILLIONEN** Jahren entstanden die ersten Nervenzellen.

» **AUS IHNEN** entwickelten sich teilweise sehr komplexe Gehirne – etwa die von Kraken, Vögeln und Menschen.

» **DAS GEHIRN** der Wirbeltiere besteht aus Vorderhin, Kleinhirn und Hirnstamm.

» **LERNVERMÖGEN** und die Fähigkeit zu komplexem Denken sind in der Großhirnrinde verankert.

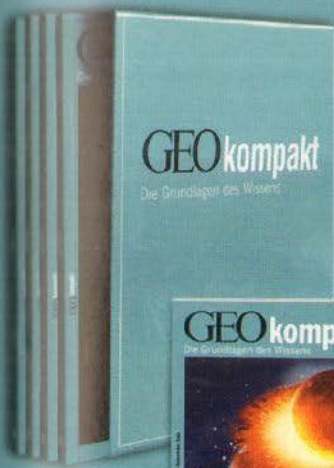
Und auch dafür, dass ein einmal erworbenes Hirn wieder verloren gehen kann, kennt die Naturgeschichte Beispiele: Der Bandwurm, ein Nachfahre des ersten Plattwurms mit seinem Nervenknäuel im Kopf, klammert sich im menschlichen Darm fest, lebt also in einem komfortablen, sicheren Ökosystem mit reichem Nahrungsangebot. Sich ein Gehirn zu leisten, bedeutet für einen solchen Parasiten sinnlosen Luxus.

Folglich wurde es restlos zurückgebaut. □

Alexandra Rigos, 40, ist Wissenschaftsjournalistin in Berlin.

In den vergangenen 35 000 Jahren haben die Menschen an Hirnmasse verloren

Auch die Entstehung der Sprache und der damit verbundene Nutzen im täglichen Überlebenskampf förderte vermutlich die Entwicklung großer Gehirne. Möglicherweise beschleunigte sich die Gehirnexpanansion dann



Sammelbox + Erstaussage

Diese praktische Sammelbox schützt Ihre wertvolle Sammlung vor Staub und gibt bis zu 7 Heften einen sicheren Stand. Zusätzlich erhalten Sie die Erstaussage von GEOkompakt gratis dazu.



Bergmann-Uhr »1928«

Ein glänzendes Schmuckstück mit Zifferblatt im Sonnenschiff und braunem Echtleder-Armband. Qualitätsuhrwerk, gewölbtes Mineralglas und Einzelnummerierung. Maße: ca. 28x36 mm.

Gratis zur Wahl!



Taschenset, 3-tlg.

Macht jede Reise zum Vergnügen: hochwertiges Set aus strapazierfähigem 600D Nylon. Trolley mit Spanngurt innen. Trolley: ca. 52x36x18 cm, Tasche: ca. 46x28,5x32 cm, Rucksack: ca. 34x15x41 cm.

Lesen Sie GEOkompakt jetzt frei Haus – mit 9% Ersparnis und einem Geschenk Ihrer Wahl!

Ihre GEOkompakt-Vorteile:

- Dankeschön zur Wahl gratis!
- 9% Ersparnis!
- Lieferung frei Haus!
- Nach 4 Ausgaben jederzeit kündbar!
- Geld-zurück-Garantie für zu viel bezahlte Hefte!

Abonnenten-Service Österreich
Tel.: 0820/00 10 85
Geo-Special@abo-service.at

Leser-Service Schweiz
Tel.: 041/329 22 20
Geo-Special@leserservice.ch

Bitte Bestellnummer aus dem
Vorteilscoupon angeben.

Verlag: Gruner+Jahr AG & Co KG, Dr. Gerd Brüne,
Am Baumwall 11, 20459 Hamburg, AG Hamburg,
HRB 102257.
Vertrieb: DPV Deutscher Pressevertrieb GmbH,
c/o Ulf Conrad, Döbnerstr. 1, 20355 Hamburg,
AG Hamburg, HRB 95 752.

*19 Cent/Min. aus dem deutschen Festnetz, Mobilfunkpreise
bitte ablesen.

GEOkompakt-Vorteilscoupon

Ja, ich möchte GEOkompakt selbst lesen oder verschenken für zzt. nur € 7,25 je Ausgabe statt € 8,- (D/zzt. € 8,15 statt € 9,- (A)/zzt. Fr. 14.20 statt Fr. 15.70 (CH)). Als Dankeschön für meine Bestellung erhalte ich ein Geschenk meiner Wahl nach Zahlungseingang gratis. Nach einem Jahr kann ich jederzeit kündigen. GEOkompakt erscheint zzt. 4x jährlich. Alle Preise inkl. Zustellung und MwSt.

Mein Geschenk: ☐ Schuber + Erstaussage, ☐ Bergmann-Uhr »1928« oder ☐ Taschenset, 3-tlg. (bitte nur ein Kreuz)

Meine Adresse: Bitte auf jeden Fall ausfüllen!

Name, Vorname

Straße/Nr.

PLZ

Wohnort

E-Mail-Adresse

☐ Ja, ich bin damit einverstanden, dass GEOkompakt und Gruner+Jahr mich künftig per Telefon oder E-Mail über interessante Angebote informieren.

Studentenabo: Bitte Immatrikulationsbescheinigung mitschicken!

☐ 4 Ausgaben für jährlich nur € 24,40. Ich spare über 23% gegenüber dem Einzelkauf.

586954

Ich zahle bequem per Bankeinzug (D: halbjährlich € 14,50):

Bankleitzahl

Kontonummer

Geldinstitut

Widerrufsrecht: Die Bestellung kann ich innerhalb der folgenden zwei Wochen ohne Begründung beim GEOkompakt Kunden-Service, 20080 Hamburg, in Textform (z.B. Brief oder E-Mail) oder durch Rücksendung der Zeitschrift widerrufen. Zur Fristwahrung genügt die rechtzeitige Absendung.

Datum

Unterschrift

586953

Adresse des Geschenkempfängers:

Nur ausfüllen, wenn Sie GEOkompakt verschenken möchten!

Name

Vorname

Straße/Nr.

PLZ

Wohnort

Dauer der Geschenklieferung:

☐ unbefristet (mindestens 1 Jahr) ☐ 1 Jahr (4 Ausgaben)

586955

Vorteilscoupon einsenden an:
GEOkompakt, Kunden-Service, 20080 Hamburg

Oder anrufen unter:
01805/861 80 00*

@ Einfach per E-Mail:
Geokompakt-Service@gui.de



FREUDE

ist eine elementare Gefühlsregung des Menschen. Sie zeigt sich in Momenten der Begeisterung – wie am 14. August 1945, als Amerikaner den Sieg über Japan auf dem Times Square in New York feierten

Ich fühle, also bin ich

Lange Zeit galt der Verstand als höchste Errungenschaft des Menschen, Gefühle dagegen wurden als dumm und unzuverlässig abgetan. Mittlerweile wissen Hirnforscher, dass Emotionen ihre eigene Intelligenz haben – und überlebenswichtig sind

Elliott Smith* war ein erfolgreicher Geschäftsmann, als sich eines Tages sein Leben unwiderruflich änderte. Es begann mit Kopfschmerzen und Konzentrationsschwierigkeiten, die immer schlimmer wurden. Bei der Arbeit machte er Fehler: Seine Kollegen mussten ihn korrigieren oder ihm die Arbeit ganz abnehmen. Smith ging zum Arzt. Dort stellte sich heraus, dass in seinem Kopf, direkt hinter der Stirn, ein Tumor wuchs. Das Geschwür hatte die Größe einer Mandarine. Chirurgen schnitten den Tumor heraus sowie einen Teil des **Stirnlappens****, des vorderen Teils der **Großhirnrinde**.

Anfangs schien es, als sei die OP ein Erfolg. Bald jedoch zeigte sich, dass Smith nicht mehr der Alte war.

Das begann schon am Morgen: Er kam nicht mehr aus dem Bett, man musste ihn regelrecht dazu drängen. Bei der Arbeit war er völlig verloren. Nahm er sich vor, seinen Schreibtisch aufzuräumen, konnte er stundenlang darüber grübeln, nach welchem Prinzip er seine Papiere sortieren sollte. Irgendwann schließlich fing er damit an – nur um sich kurz darauf in eines der Dokumente zu vertiefen und dabei ganz das Aufräumen zu vergessen. Schließlich wurde ihm gekündigt.

Daraufhin tat sich Smith mit einem dubiosen Partner zusammen – und endete im Bankrott. Seine Ehe ging in die Brüche. Am Ende irrte er ratlos durchs Leben und landete schließlich in der Obhut seiner Geschwister.

Zu jener Zeit lernte der portugiesisch-amerikanische Neurologe Antonio R. Damasio den Patienten kennen. Elliott Smith hatte keinerlei Gedächtnisprobleme, stellte der Arzt fest, und seine Intelligenz lag im oberen Bereich. Erst nach vielen Gesprächen und Untersuchungen wurde dem Neurologen klar, dass es Smith nicht an Intelligenz oder Wissen mangelte, sondern an etwas anderem, und dass dies die Ursache für sein unvernünftiges Verhalten sein könnte: Dem Mann fehlte es an Gefühl.

Von Beginn an war Damasio das kühle Verhalten Smiths aufgefallen: „In den vielen Stunden erlebte ich bei ihm nie einen Anflug von Emotion: keine Traurigkeit, keine Ungeduld, keinen Überdross angesichts meiner endlosen Fragerei.“ Selbst von seinem eigenen Schicksal erzählte Smith, als sei es eine Nachricht aus der Zeitung.

Ein Test brachte das ganze Ausmaß seiner Gefühlslosigkeit ans Tageslicht. Als man Smith Bilder von

Gefühle sind wie ein
Kompass: Sie
zeigen uns, in
welche Richtung
wir handeln sollen

* Namen geändert ** Blau hervorgehobene Begriffe werden im Glossar ab Seite 150 näher erklärt.



HASS: Je mehr Testosteron ein Mensch im Blut hat, desto aggressiver ist er – wie hier bei einer Auseinandersetzung rivalisierender Gruppierungen 1977 in London

brennenden Häusern und ertrinkenden Menschen vorlegte, blieb er vollkommen regungslos. Offenbar waren mit der Operation Hirnareale zerstört worden, die für die emotionale Wahrnehmung und Bewertung wichtig sind.

GEFÜHLE HABEN in der abendländischen Kultur nicht den besten Ruf. Die Missachtung lässt sich bis in die Antike zurückverfolgen. Von Platon über Aristoteles bis hin zu den Aufklärern galt die Vernunft als überlegene Instanz – die Gefühle wurden dagegen als eher primitiv, dumm, tierisch, unzuverlässig und gefährlich abgetan. Aristoteles definierte den Menschen als *animal rationale*. Und das Universalgenie Gottfried Wilhelm Leibniz urteilte noch Jahrhunderte später, durch Gefühle würden wir „verdunkelt und unvollkommen“.

Diese Einschätzung der Gefühle hat in den vergangenen 20 Jahren einen radikalen Wandel erfahren. Neurologen kommen mittlerweile zu dem Schluss, dass Gefühle nicht etwa dumm und primitiv sind, sondern ihre eigene Form von Intelligenz besitzen.

Gefühle machen uns auch nicht zu unvollkommenen Wesen, sondern umgekehrt – unvollkommen wären wir ohne sie. Kurz: Ohne Emotionen wäre der Mensch kein Mensch.

Unsere Emotionen, darauf deutet schon Smiths Fallgeschichte hin, sind wie ein Kompass. Sie zeigen uns, in welche Richtung wir handeln sollen. Sie lassen uns spüren, was gut und was schlecht für uns ist, und lenken uns so durchs Leben.

Es hat zahlreiche Versuche gegeben, Gefühle in ein Schema von „Grundgefühlen“ zu ordnen – einige sind sich die Forscher darüber aber bis heute nicht. Ein Pionier auf diesem Gebiet, der US-Psychologe Paul Ekman, geht von 15 „Basisemotionen“ aus; zu ihnen

gehörten unter anderem Angst, Verachtung, Ekel, Freude, Ärger, Zufriedenheit, Verlegenheit, Aufgeregtheit, Schuldgefühl, Erleichterung, Trauer, Scham.

Diese Grundgefühle, sagt Ekman, seien uns angeboren. Alle Menschen hätten sie, wie er aus interkulturellen Vergleichen schließt. Und sie seien durch bestimmte Merkmale gekennzeichnet: einen typischen Gesichtsausdruck oder spezifischen Körperzustand.

Der amerikanische Neurobiologe Jaak Panksepp dagegen nimmt das Gehirn als Basis für eine Einteilung der Emotionen. Sein Ansatz: Jedes Gefühl wird von unterschiedlichen, genetisch festgelegten Schaltkreisen des Gehirns gesteuert. Panksepp kommt so zu einem anderen Schema als Ekman und spricht von sechs „basalen emotionalen Systemen“: Wollust/Sexualität, Panik/Trennung, Fürsorge/Pflege, Streben/Erwartung, Wut/Ärger und Spiel/Freude.

Obwohl sich die Forscher also über die Frage nach den „Grundgefühlen“ streiten, sind sie sich in einem einig: Emotionen sichern unser Überleben.

Denn anders hätten unsere Ahnen in Afrikas Savanne wohl kaum überlebt. Das gilt besonders für so unangenehme Gefühle wie Angst, Ekel oder Schmerzen. Angst macht uns wachsam gegenüber Gefahren; Ekel mahnt zu Hygiene und warnt vor verdorbener, sprich: giftiger Nahrung; Schmerzen veranlassen uns, Verletzungen zu versorgen oder sie von vornherein zu vermeiden.

Diese schützende, ja lebensrettende Funktion der Gefühle wird uns oft erst dann bewusst, wenn sie plötzlich nicht mehr vorhanden sind.

So traf der Neurologe Damasio auf eine Patientin, die weder Furcht noch Ärger zu fühlen scheint. Aufgrund einer seltenen Erbkrankheit sind bei Barbara Miller* die beiden **Mandelkerne** ihres Gehirns verkalkt. Die Mandelkerne sind sogenannte **Kerngebiete** tief im Inneren des Gehirns und Teil eines neuronalen „Angstnetzwerks“.

PANIK: Ein überlebenswichtiges Gefühl ist die Angst. Bei Bedrohung (hier während des Vietnam-Krieges) wird das Furchtsystem im Hirn aktiviert





LIEBE: Ein Lachen, ein zärtlicher Blick. Im Mienenspiel von Romy Schneider und Tochter Sarah zeigt sich die tiefe Bindung von Mutter und Kind. Körperreigene Stoffe wie das »Kuschelhormon« Oxytocin fördern Fürsorge und soziale Kommunikation

Da die „Angstzentrale“ im Kopf Barbara Millers nicht funktioniert, ist sie immer fröhlich und entgegenkommend. Auch von Fremden lässt sie sich bereitwillig umarmen und brennt förmlich darauf, mit jedem zu plaudern. Diese Offenheit ist für sie nicht immer von Vorteil – häufig wird sie von ihren Mitmenschen ausgenutzt.

Die gesunde Portion Argwohn also, die uns davor bewahrt, jedem blind zu vertrauen, ist bei Miller verloren gegangen. Es ist der Preis ihrer Furchtlosigkeit.

Viele Gefühle begleiten uns auf diese Weise durch den Alltag. Ekel zum Beispiel. Der US-Hirnforscher Ralph Adolfs hat die Fallgeschichte eines Patienten beschrieben, bei dem seit einer durch Herpes-Viren hervorgerufenen Hirnentzündung die **Insula** beschädigt und damit jedes Gefühl von Ekel wie ausgelöscht ist. John Taylor* trinkt verdorbene Milch, die bereits aus Klumpen besteht, und findet sie „herrlich“. Ein Teil seines natürlichen Alarmsystems ist defekt. Die gefährliche Folge: Bei jedem Griff in den Kühlschrank riskiert der Mann eine Lebensmittelvergiftung.

Dass Gefühle eine lebenswichtige Funktion erfüllen, daran besteht längst kein Zweifel mehr – doch wie, das ist nach wie vor rätselhaft. Um das Geheimnis zu lösen,

versuchen Hirnforscher jene Schaltkreise im Kopf ausfindig zu machen, die unsere Gefühle steuern.

DABEI IST eines schnell klar geworden: Es gibt kein Gefühlszentrum – vielmehr werden unsere Emotionen durch die Aktivität weit verzweigter Nervenzellen-Netze hervorgerufen. Besonders gut untersucht ist die Hirnanatomie der Angst.

So entdeckte der US-Hirnforscher Joseph E. LeDoux, dass es zwei „Angstrouten“ im Kopf gibt. Die eine Route ist schnell, aber ungenau. Sie führt über den **Thalamus** direkt zum Mandelkern und läuft weitgehend unbewusst ab. Sehen wir bei einem Waldspaziergang eine schlangenartige Struktur auf dem Weg vor uns, schrecken wir blitzschnell zurück. Was ist passiert?

Die visuelle Information ist von den Augen über den Thalamus im Mandelkern gelandet. Der hat daraufhin

Ein Hirnforscher
hat zwei
Angstrouten
in unserem
Gehirn entdeckt



ZORN hat sich im Laufe der Evolution zu einem Gefühl herausgebildet, das darauf abzielt, Eigentum, die Kinder oder sich selbst zu verteidigen (eine Demonstration von 1967)

die Ausschüttung von Stresshormonen wie etwa Adrenalin veranlasst, die wiederum die Kräfte des Körpers mobilisieren: Herzschlag und Atemfrequenz schießen in die Höhe, wir sind in Alarmbereitschaft.

Gleichzeitig schickt der Thalamus über eine zweite Route die visuelle Information der Augen zur **Sehrinde**, die das Bild genauer und bewusst analysiert – was länger dauert. Kommt die Großhirnrinde zu dem Schluss, dass es sich tatsächlich um eine Schlange handelt, bestätigt sie es dem Mandelkern, und die Angstreaktion hält

an, bis die Gefahr gebannt ist. Es kann aber auch sein, dass die Großhirnrinde feststellt, dass es sich bei der schlangenartigen Struktur um einen Stock handelt. Ist das der Fall, benachrichtigt sie den Mandelkern, den Alarm einzustellen – und wir beruhigen uns wieder.

Mit anderen Worten: Wir erschrecken zwar manchmal ohne Grund. Aber für unser Überleben ist es vorteilhafter, hin und wieder eine Schlange zu viel zu sehen, als eine zu übersehen. Die zwei Angststrouten stellen sicher, dass wir schnell und präzise auf Gefahren reagieren.

DAS SCHLANGENBEISPIEL offenbart zugleich, was Emotionen sind und wie sie „funktionieren“. Gefühle sind eine Art Modus, sie versetzen unser Gehirn und den Rest des Körpers in einen Zustand, der, aus Sicht unserer Entwicklungsgeschichte, am besten dazu geeignet ist, mit der jeweiligen Situation fertig zu werden.

So kann uns die Bedrohung durch eine Schlange auf Anhieb in einen „Angstmodus“ versetzen: Die Aufmerksamkeit fokussiert sich schlagartig auf die Gefahrenquelle. Der Körper ist bereit zur Flucht – oder zum Kampf. Erst wenn wir außer Gefahr sind, kehren Körper und Geist in ihren „Normalzustand“ zurück.

Ein anderer Modus, den jeder kennt und der vom Normalzustand abweicht, ist die Liebe. In gewisser Weise gleicht sie hirnpfysiologisch einem Negativ der Angst. So hat man Verliebte im **Kernspintomographen** untersucht und festgestellt: Wenn sie das Bild ihres Partners vor Augen haben, erlischt die Aktivität des Mandelkerns. Der Botenstoff Dopamin, den man unter anderem mit guten Gefühlen in Verbindung bringt, wird vermehrt ausgeschüttet. Insgesamt nimmt das Gehirn einen Aktivitätszustand an, der sich auch beobachten lässt, wenn jemand Kokain geschnupft hat.

Auf diese Weise wird jedes Gefühl mit einer spezifischen Hirnaktivität und Hormonausschüttung kombiniert; dies aber läuft so komplex ab, dass es Forschern noch unmöglich ist, ein bestimmtes Gefühl *ausschließlich* einem bestimmten Hirnareal wie etwa dem Mandelkern zuzuordnen – oder gar einem einzigen Hormon wie dem Adrenalin. Hormone sind keine Solokünstler, sie arbeiten im Konzert, und das Gleiche trifft auf die diversen Hirnstrukturen zu.

Der Mandelkern beispielsweise wird nicht nur bei Angst aktiviert, sondern auch bei vielen anderen Emotionen, etwa bei Aggression. Umgekehrt sind, wenn wir fürchten, zahlreiche weitere Hirnareale erregt.

Es sind somit auch eher Ausnahmefälle, in denen sich systematische Zusammenhänge zwischen

MEMO | GEFÜHLE

» JEDES GEFÜHL ist mit einer spezifischen Hirnaktivität verbunden.

» ES GIBT KEIN Gefühlszentrum im Gehirn – nur weit verzweigte Nervennetze.

» FRÖHLICHKEIT und Aggressivität gehören zum Kern unserer Persönlichkeit.

» GEFÜHLE WIE FREUDE oder Ärger rufen jeweils typische Gesichtsausdrücke hervor.

Hormonkonzentrationen, Gefühl und Verhalten feststellen lassen. Ein Beispiel dafür ist das männliche Sexualhormon Testosteron. Je mehr davon im Blut zirkuliert, desto ausgeprägter sind sexuelle Lust und Aggressionsbereitschaft. Bei einer Studie an 4462 Veteranen der US-Streitkräfte etwa ergab sich, dass Männer mit einem erhöhten Testosteronspiegel mehr mit ihren Ehefrauen stritten, sie häufiger schlugen und öfter fremdgingen.

Gefühlseigenschaften wie Aggressivität oder Fröhlichkeit gehören zum Kern unserer Persönlichkeit. Wir sind nicht nur, was wir denken, sondern ganz entscheidend auch, was und wie wir fühlen. Jeder von uns hat seinen eigenen „affektiven Stil“, wie es der US-Psychologe Richard Davidson nennt – und das spiegelt sich im Hirn wider.

So verglich Davidson die Hirnstrombilder (**Elektroenzephalogramme**) von Menschen, die sich als Frohnaturen sehen, mit denen solcher Probanden, die sich eher als Miesepeter beschreiben. Es zeigte sich: Bei den positiv Gestimmten ist der linke Stirnlappen stärker aktiv als der rechte, bei den Nörglern dagegen weist der rechte Stirnlappen eine erhöhte Grunderregung auf. (Jede Hirnhälfte hat ihren Schwerpunkt. Eine bestimmte Funktion ist jedoch selten auf eine Hemi-

TRAUER verstärkt die Notwendigkeit, sein Leben zu ändern, hier Jacqueline Kennedy (r.) bei der Totenwache für ihren erschossenen Ehemann John F. Kennedy



Der US-Neurologe

Antonio R. Damasio erforscht die geistigen Grundlagen von Gefühlen, Gedächtnis, Entscheidungsfindung, Kommunikation und Kreativität

sphäre beschränkt. Meist sind beide Hirnhälften aktiv, allerdings nicht im gleichen Ausmaß. Vielmehr ergänzen sie sich gegenseitig. So werden beim Hören von Musik Töne in beiden Hirnhälften gleichzeitig verarbeitet und zusammengeführt. Dabei wertet die linke Hemisphäre eher einzelne Tonelemente aus, die rechte befasst sich mehr mit der Melodie.)

Gute Stimmung links, schlechte rechts – diesen Zusammenhang konnte Davidson bereits bei Babys beobachten: Kleinkinder, deren rechte Hirnhälfte dominanter war, weinten zum Beispiel mehr, wenn sie von ihren Müttern getrennt wurden. Es ist, als sei ein gewisser emotionaler Charakter schon in der Wiege angelegt.

Der Mensch ist eben nicht nur ein *animal rationale*, sondern auch ein *animal emotionale* – wie das mysteriöse Cotard-Syndrom nahelegt.

Menschen, die darunter leiden, sind davon überzeugt, sie seien tot. Sie wundern sich zuweilen, dass sie noch nicht begraben sind. Der Auslöser dieses Syndroms ist weitgehend ungeklärt, doch wird spekuliert, dass bei den Patienten die Sinneswahrnehmungen von der emotionalen Bewertung im Gehirn abgekoppelt sind.

Die Folge: Nichts in der Welt, kein Ereignis, keine Berührung, keine Musik, hat für sie noch irgendeine emotionale Bedeutung. Diese Menschen erleben nichts mehr, sie registrieren nur noch.

Psychiatern gelten die Überzeugungen der Cotard-Patienten, sie seien tot, als Wahnvorstellung. Doch für die Betroffenen selbst ist der Wahn bittere Wirklichkeit: Wer von seiner Gefühlswelt abgeschnitten ist, so deren Erkenntnis, der ist vom Leben abgeschnitten.

Im Umkehrschluss aber hieße das: Ich fühle, also bin ich. □

Bas Kast, 35, ist Journalist in Berlin.

Literatur: Joseph LeDoux, „Das Netz der Gefühle. Wie Emotionen entstehen“, Deutscher Taschenbuch Verlag. Antonio R. Damasio, „Descartes' Irrtum“, List.

Bei positiv gestimmten
Menschen ist der
linke Stirnlappen
aktiver als bei
Miesepetern

DIE RÄTSELHAFTE DER

Text: Ute Kehse

Schlaf ist ein merkwürdiger Zustand: Die Muskulatur erschlafft, der Stoffwechsel wird schwächer, das Gehirn dagegen läuft phasenweise auf Hochtouren. Während wir in eine Welt bizarrer Träume eintauchen, verändert sich unser Geist: Erlebnisse werden zu Erinnerungen, Unwichtiges gerät in Vergessenheit, und das Gehirn spielt mit seinen Zellen



WELT TRÄUME



In seiner Arbeit »Das Gegenteil von Wach« hat der Braunschweiger Fotokünstler Matthias Langer Schlafende porträtiert – mit Langzeitbelichtungen von bis zu acht Stunden. Obwohl die Muskulatur während der Nachtruhe erschlafft, wälzen sich träumende Menschen gelegentlich im Bett herum

Bewegungslos liegt die Wurmlarve in einem Schälchen unter dem Stereomikroskop. Mithilfe eines Roboters stupst der Neurologe David Raizen von der Universität Pennsylvania das Behältnis immer wieder sanft an. Das Tier zuckt nach jedem Stoß kurz zurück, lässt sich aber sonst nicht aus der Ruhe bringen.

„Lethargus“ nennen Biologen den Zustand, in dem sich die Larve des Fadenwurms *Caenorhabditis elegans* gerade befindet. Er tritt auf, bevor sich die Tiere häuten; dann stellen sie für ein bis zwei Stunden sämtliche Aktivitäten ein und bewegen sich kaum. Raizen will herausfinden, ob sein Versuchsobjekt während des Lethargus lediglich ruht – oder ob es etwas macht, das man einem solch primitiven Wesen überhaupt nicht zutraut: schlafen.

Raizen öffnet nun ein Fläschchen, das eine unangenehm riechende Chemikalie enthält. Für gewöhnlich versuchen die Fadenwürmer sofort, dem Gestank zu entkommen. Doch das Tier rührt sich zunächst nicht. Erst nach kurzem Zögern zieht es sich etwas zurück. Als aber der Forscher die Larve mit größeren Stößen traktiert, reagiert sie schneller auf den Geruch.

Das phlegmatische Verhalten der Wurmlarve auf seinem Objektträger lässt eigentlich nur einen Schluss zu, so David Raizen: Der Fadenwurm befindet sich in einem schlafähnlichen Zustand.

Das Tier, das aus gerade einmal 959 Zellen besteht und dessen Organismus an Schlichtheit kaum zu überbieten ist, schottet sich in seinem etwa drei Wochen dauernden Leben genau viermal von der Außenwelt ab. Während des Lethargus verarbeitet es Reize von außen nur eingeschränkt. Kurz: Es legt ein kleines Nickerchen ein.

In späteren Experimenten weisen David Raizen und seine Kollegen nach, dass die Ruhephasen des Tieres auch das zweite entscheidende Kennzeichen des Schlafes erfüllen. Im Gegensatz zu gewöhnlicher Ruhe muss fehlender Schlaf nachgeholt werden. Nach über-



In seiner Studie »Sleep Pix« montierte der US-Fotograf David Ichioka eine Kamera über dem Bett schlafender Menschen. Nachts machte das Gerät alle 20 Minuten eine Aufnahme



langen Wachphasen steigt das Schlafbedürfnis, der Schlaf setzt schneller ein, dauert länger und ist tiefer. Das gilt auch bei *Caenorhabditis elegans*: Je länger David Raizen wache Wurmlarven in Bewegung hält, desto träger reagieren die Tierchen. Ihr Schlafbedürfnis wird übermächtig.

Als er sie dann in Ruhe lässt, schlafen sie schneller ein und lassen sich noch schwerer wecken als sonst.

SO WIE DIE FADENWÜRMER versinken auch andere wirbellose Tiere in vorübergehender Bewusstlosigkeit. Schlafende Honigbienen sind an ihren reglosen Antennen zu erkennen, sie kühlen aus, ihre Nackenmuskeln erschlaffen. Kraken bekommen glasige Augen und atmen flacher, Flusskrebse legen sich auf die Seite. Bei Fruchtfliegen schlafen Jungtiere mehr als Erwachsene, die Männchen mehr als die Weibchen, und Koffein hilft, die Insekten wach zu halten. Ein schlafähnlicher Zustand tritt offenbar selbst bei Quallen auf, die noch simpler gebaut sind als Fadenwürmer.

Welchen Nutzen der Schlaf für all diese einfachen Organismen hat, ist ein großes Rätsel. Schlaf scheint auf den ersten Blick keinen besonderen Überlebensvorteil zu bieten, im Gegenteil.

Ein schlafendes Tier kann schließlich den wichtigsten Aufgaben seines Daseins nicht nachkommen. Es kann sich weder fortpflanzen noch Nahrung aufnehmen. Wer schläft, nimmt zudem drohende Gefahren nicht wahr und ist eine leichte Beute für räuberisch lebende Tiere.

Dennoch ist bislang kein Tier bekannt, das ohne Schlaf auskommt. Da die Evolution Überflüssiges schnell ausmerzt, muss der Schlaf einen tieferen Sinn haben. Doch welchen?

Vieles spricht dafür, dass Schlafen genauso lebenswichtig ist wie Essen oder Atmen. Ratten, Fruchtfliegen und Schaben, die Forscher in Experimenten dauerhaft wach hielten, starben im Mittel früher als ihre mit Schlaf gesegneten Artgenossen. Kurz vor ihrem Tod waren die Ratten bereits extrem geschwächt und abgemagert, obwohl sie mehr gegessen hatten als üblich. Sie konnten

kaum noch das Gleichgewicht halten, ihr Fell war zerzaust, die Haut von Wunden übersät, die Pfoten geschwollen. Ihre Hirnaktivität war schwächer.

Eine Antwort auf die Frage, wozu genau Schlaf gut ist, lieferten solche drastischen Tier-Experimente allerdings nicht. Letztlich führten bei den Ratten ganz unterschiedliche Ursachen zum Tod. Nach wie vor sind daher mehrere Hypothesen in der Diskussion.

Eine weit verbreitete Theorie stellt das Energiesparen in den Mittelpunkt: Im Schlaf verbrennt der Körper weniger Kalorien als im Wachzustand. In Zeiten, in denen Tiere ohnehin keine Nahrung finden, etwa nachts, sei es daher sinnvoller, den Stoffwechsel herunterzufahren und die Ruhezeit in einem geschützten Nest zu überbrücken.

Als Beleg für diese These gilt das große Schlafbedürfnis kleiner Säugetiere. Nagetiere, Eichhörnchen oder Fledermäuse müssen wegen ihrer geringen Größe verhältnismäßig viel Energie aufwenden, um die Körpertemperatur konstant zu halten. Für sie lohnt sich nächtliches Energiesparen also besonders. Tatsächlich zählen Fledermäuse und Beuteltaschen mit einer Ruhezeit von fast 20 Stunden pro Tag zu den Extremschläfern im Tierreich. Große Pflanzenfresser wie Giraffen oder Elefanten kommen dagegen mit drei bis fünf Stunden täglich aus.

Eine weitere Erklärung lautet, der Schlaf helfe dem Körper, sich zu regenerieren und zu erholen. Während des Wachseins entstehen zum Beispiel im Hirn aggressive **freie Radikale***, und wichtige Eiweiße werden verbraucht. Die von den freien Radikalen verursachten Schäden an den Zellen werden vermutlich im Schlaf repariert, außerdem läuft dann die **Biosynthese** von Molekülen auf Hochtouren: Die Vorräte an Proteinen und weiteren Biomolekülen werden aufgefüllt.

Ohne Schlaf dagegen gerät das Gleichgewicht zwischen Produktion und Konsum von Biomolekülen aus den Fugen, wie der erhöhte Energiebedarf von schlafberaubten Ratten und Schaben nahelegt. Der Energiestoffwechsel entgleist, die Zellen verbrauchen

mehr Stoffe, als die Bioreaktoren in ihrem Inneren nachliefern können.

IN DEN VERGANGENEN JAHREN hat sich jedoch herausgestellt, dass Schlaf aller Wahrscheinlichkeit nach mehr ist als nur Zeit zur Reparatur und zum Energiesparen. Denn der Körperteil, der die Auszeit am dringendsten benötigt, so weisen neue Studien überzeugend nach, ist das Gehirn.

Unser Denkkorgan legt während des Schlafes aber nicht etwa eine Pause ein, sondern ist höchst aktiv. Es braucht

Im Schlaf durchkämmt unser Hirn Erlebnisse und sucht nach verborgenen Mustern

die Unterbrechung vom Tagesgeschäft, um sich verändern zu können. „Vieles deutet darauf hin, dass uns der Schlaf leistungsfähiger macht“, so die Psychologin Renate Wehrle von der Universität Zürich.

Ohne neue Sinneseindrücke aufnehmen zu müssen, spielt das schlafende Gehirn tagsüber Erlebtes noch einmal durch, verarbeitet Informationen weiter und verstärkt sie, überträgt Wichtiges in Langzeitspeicher, sortiert Unwichtiges aus und stellt sogar neue Zusammenhänge her.

Manche Forscher glauben, dass sich die unterschiedlichen Funktionen des Schlafes nicht gegenseitig ausschließen – und dass nicht bei jeder Tierart der gleiche Zweck im Vordergrund steht.

Der Blick auf einfache Spezies wie *Caenorhabditis elegans* könnte aber enthüllen, welche der vermuteten Funktionen als Erste aufgetreten ist, welche so vorteilhaft war, dass es die Tiere dafür in Kauf nahmen, einen großen Teil des Tages geistesabwesend zu sein.

Tatsächlich nutzt der winzige Fadenwurm den Schlaf gleich für zwei Vorgänge, die auch bei höheren Tieren



Am besten werden Erinnerungen im Tiefschlaf gespeichert, aus dem Menschen nur schwer erwachen. Vokabeln etwa brennen sich während dieses Zustands ins Gedächtnis ein



* Blau hervorgehobene Begriffe werden im Glossar ab Seite 150 näher erklärt.



Während wir schlafen, spart unser Körper Energie. Biochemische Mechanismen treten in Kraft, die geschädigte Zellen reparieren. Zudem spielt unser Gehirn tagsüber Erlebtes noch einmal durch. Wissenschaftler gehen davon aus, dass uns Schlaf leistungsfähiger macht

Manche Forscher halten Träume für
nichts weiter als ein sinnloses Nebenprodukt
der nächtlichen Neuronenaktivität

zu beobachten sind: Zum einen verändert sich das Nervensystem der Larven. „Neue **Synapsen**-Verbindungen entstehen, andere werden entfernt“, berichtet David Raizen. Die Blockade der Sinnesindrücke ist offenbar nötig, damit die Nervenstränge des Wurms wachsen und sich neu organisieren können.

Zum anderen stellt das Tier während des Schlafs verstärkt Proteine und weitere Biomoleküle her. Raizen vermutet nun, dass sowohl die Biosynthese als auch die Möglichkeit für Umbauten am Nervensystem die ursprünglichen Aufgaben des Schlafes waren.

BEI SÄUGETIEREN UND VÖGELN

hat sich der primitive Schlaf der Wirbellosen zu einem komplexen Vorgang entwickelt, in dem sich zwei ganz unterschiedliche Zustände regelmäßig abwechseln: der *REM-Schlaf* und der *Non-REM-Schlaf*.

Diese Schlafphasen lassen sich durch die vorherrschenden Hirnströme voneinander unterscheiden. Die gesammelten Aktivitäten der Nervenzellen (Neurone) im Gehirn addieren sich zu schwachen elektrischen Signalen, die man durch Elektroden an der Kopfoberfläche registrieren kann.

Während des REM-Schlafs („Rapid Eye Movement“) bewegen sich die Augen rasch hin und her, und das Gehirn arbeitet genauso rastlos wie im Wachsein. Die **Hirnströme**, so lässt sich mithilfe der **Elektroenzephalographie (EEG)** messen, sind von schnellen unregelmäßigen Schwingungen mit niedrigem Ausschlag geprägt, weil viele Neurone nicht synchron und unabhängig voneinander aktiv sind.

Tierversuche sowie bildgebende Verfahren wie die Positronen-Emissions-Tomographie und die Kernspintomographie zeigen, dass viele Regionen einschließlich des Gefühlszentrums des Gehirns im REM-Schlaf emsig arbeiten. Jene Bereiche, die eintreffende Sinnesreize bearbeiten, ruhen dagegen zumeist.

Der Körper befindet sich in einer merkwürdigen Verfassung: Die Muskeln sind wie gelähmt. Das Gehirn sendet zwar aktivierende Reize aus, unterbindet aber gleichzeitig die Mus-



Kinder träumen anders als Erwachsene. Männer anders als Frauen. So zeigen Studien, dass die Träume von Männern häufiger von Sexualität handeln, die von Frauen emotional intensiver sind



kulbewegungen. Nur gelegentlich unterbricht ein Zucken die Starre. Atmung und Herzschlag variieren ähnlich stark wie im Wachzustand, der Blutdruck steigt, und die Temperaturkontrolle ist eingeschränkt. Menschen, die während des REM-Schlafes geweckt werden, berichten fast immer von lebhaften, bizarren Träumen.

Die anderen Schlafstadien werden der Einfachheit halber als Non-REM-Schlaf zusammengefasst. In den Stadien I (während des Einnickens) und II ist der Schlaf noch leicht. Stufenweise schalten sich verschiedene neuronale Netze im Gehirn ab, insbesondere die Regionen, die für die Weiterleitung von Sinnesreizen zuständig sind. Die Kommunikation zwischen verschiedenen Teilen der **Großhirnrinde** verändert sich, das Bewusstsein schwindet.

Die Stadien III und IV gelten als Tiefschlaf. Langwellige Hirnströme mit großer Amplitude laufen in diesen Phasen durch den Kopf. Die starken Ausschläge entstehen dadurch, dass größere Gruppen von Neuronen im Gleichtakt schwingen und sich die elektrische Aktivität der einzelnen Neurone addiert. Der Stoffwechsel des Gehirns unterscheidet sich drastisch vom Wachsein. Wachstumshormone werden ausgeschüttet, die Atmung ist ruhig, die Muskeln sind entspannt.

Im Tiefschlaf schottet sich das Gehirn besonders wirkungsvoll von der Außenwelt ab; Schlafende sind jetzt nur schwer zu wecken. Auch während des Tiefschlafs treten Träume auf. Sie ähneln allerdings eher Gedanken als jenen fantastischen Traumerlebnissen, die für den REM-Schlaf typisch sind.

BEIM MENSCHEN wechseln sich REM- und Non-REM-Schlaf mehrfach ab. Etwa alle 90 Minuten beginnt eine neue REM-Schlaf-Phase, die jedoch zu verschiedenen Nachtzeiten unterschiedlich lange andauert.

In der ersten Nachthälfte herrscht der Tiefschlaf vor, später der REM- sowie der leichte Non-REM-Schlaf (Stadium II). Etwa ein Fünftel der gesamten Schlafenszeit verbringt der Mensch im REM-Schlaf. Der Sinn dieser komplizierten Schlafarchitektur ist noch unbekannt.

Insbesondere der REM-Schlaf stellt Forscher vor große Rätsel. Da das Gehirn während dieser Phase ungemein aktiv ist, liegt die Vermutung nahe, sie sei für kognitive Prozesse wichtig, etwa für die Verarbeitung von Erinnerungen.

Fehlender REM-Schlaf muss nachgeholt werden – doch merkwürdigerweise sind das Gedächtnis und das Lernvermögen von Menschen, die nach Einnahme von Medikamenten keinen REM-Schlaf haben, nicht beeinträchtigt.

Auch ein Zusammenhang zwischen Intelligenz und Dauer dieses Schlafstadiums scheint nicht zu bestehen: Probanden mit hohem Intelligenzquotienten verweilen weder länger noch kürzer in der REM-Phase als solche mit durchschnittlicher Intelligenz.

Die Erforschung unserer näheren tierischen Verwandtschaft bestätigt diese Erkenntnis: Sicher nachgewiesen ist REM-Schlaf nur bei Säugetieren und Vögeln; bei den wechselwarmen Reptilien streiten sich die Fachleute noch, ob sie womöglich schon eine primitive Vorstufe davon entwickelt haben.

Schnabeltiere, die urtümlichsten Säugetiere, sind die REM-Rekordhalter: Sie verbringen acht Stunden im REM-Schlaf – mehr als alle anderen bislang untersuchten Säuger. Für eine besondere Intelligenz sind sie aber nicht bekannt. Dagegen benötigen die als klug geltenden Delfine allem Anschein nach überhaupt keinen REM-Schlaf.

Der Vergleich mit marinen Säugern ist ohnehin wenig hilfreich auf der Suche nach dem Sinn des Schlafes. Denn als Anpassung an das nasse Element haben sie zum Teil sehr eigenartige Gewohnheiten entwickelt – Delfine etwa sind selbst im Tiefschlaf ständig in Bewegung. Die beiden Gehirnhälften schlafen in dieser Phase nacheinander, dabei schließen die Tiere oft das jeweils gegenüberliegende Auge und schwimmen im Kreis.

Seekühe und Pelzrobben schlafen ebenfalls zeitweise mit dem halben Gehirn. Die Pelzrobben tun dies jedoch ausschließlich dann, wenn sie sich im Wasser aufhalten. Beim Schwimmen kommt es auch nur zu sehr wenig REM-Schlaf. Und wenn Robben an Land eindösen, unterscheidet sich ihr Schlaf nicht von dem von Landsäugetieren. Ein Erklärungs-

versuch der Forscher: Da Meeressäuger bewusst Luft holen müssen, könnte der halbseitige Schlaf dazu dienen, sie vor dem Ertrinken zu bewahren.

Pottwale dagegen schlafen auch mit beiden Gehirnhälften gleichzeitig, vermuten Forscher, seit Biologen bei einer Erkundungsfahrt versehentlich mit einem Pottwal zusammengestoßen sind, der gemeinsam mit einer Gruppe weiterer Tiere regungslos senkrecht im Wasser trieb. Insgesamt verbringen Pottwale nur anderthalb Stunden pro Tag in dieser Ruhestellung.

EINE GEMEINSAMKEIT zwischen Menschen und Tieren konnte beim REM-Schlaf festgestellt werden: Bei Jungtieren beobachteten Forscher mehr REM-Schlaf als bei erwachsenen Tieren – so wie auch neugeborene menschliche Babys pro Tag allein acht Stunden in diesem Stadium schlummern.

Träume ähneln den bizarren Halluzinationen schizophrener Menschen

Bei Tierarten, deren Junge unreif geboren werden, ist der Anteil an REM-Schlaf besonders hoch – auch bei den ausgewachsenen Tieren. Die Vermutung liegt nahe, dass der REM-Schlaf bei Jungtieren und Babys eine wichtige Rolle bei der Reifung des Gehirns spielt. Die lebhafteste Neuronenaktivität könnte den Zweck haben, Nervenverbindungen zu aktivieren, die sonst verkümmerten.

Experimente mit Katzen belegen diese These: Hindert man die Tiere in den ersten Tagen nach der Geburt am REM-Schlaf, entwickelt sich ihr visuelles System anomal.

Und auch wenn Menschen ohne Möglichkeit zum REM-Schlaf geistig offenbar nicht beeinträchtigt sind, scheint diese Form von Schlaf bestimmte Lernprozesse zu unterstützen. Sowohl Erinnerungen,

die stark mit Gefühlen verbunden sind, als auch motorische Fähigkeiten, etwa Klavierspielen, brennen sich nach dem REM-Schlaf stärker ins Hirn ein.

AM WICHTIGSTEN für die Speicherung von Erinnerungen aber ist der Tiefschlaf. Vor allem Aufgaben, die mit dem Verstand zu tun haben, etwa das Speichern von Vokabeln oder räumlichen Erinnerungen, werden offenbar im Tiefschlaf erledigt.

Eine Forschergruppe der Universität Lüttich ließ Versuchspersonen in einem Computerspiel ihren Weg durch eine virtuelle Stadt finden. Mit der Positronen-Emissions-Tomographie konnten die Forscher zeigen, dass im Tiefschlaf die gleichen Regionen im **Hippocampus** aktiv waren wie während des Spiels.

Dieser Abschnitt im **Schlafenappen** ist eine Art Zwischenspeicher des Gehirns, der die Informationen des Tages aufnimmt, bevor sie ins Langzeitgedächtnis übertragen werden (siehe Seite 61). Womöglich überspielt das Denkorgran Erinnerungen im Tiefschlaf von dort an die Langzeitspeicher in der Großhirnrinde. Die Experimente der belgischen Forscher zeigten, dass die Versuchspersonen sich am nächsten Tag umso geschickter anstellten, je aktiver der Hippocampus nachts gewesen war.

Indem man den Hippocampus während des Tiefschlafs aktiviert – etwa durch künstliche Verstärkung der **langsamen Gehirnwellen** mithilfe von Elektroden auf der Kopfoberfläche –, lässt sich die Erinnerungsleistung sogar künstlich steigern, fand eine Forschergruppe der Universität Lübeck 2006 heraus.

Einen ähnlichen Effekt hatte Rosenduft, den Versuchspersonen während einer Lernaufgabe wahrgenommen hatten. Wehte den Probanden dieser Duft auch im Tiefschlaf um die Nase, begann der Hippocampus stärker zu arbeiten, und am nächsten Tag erinnerten sie sich besser an die Lage von „Memory“-Spielkarten als eine Vergleichsgruppe.

Neurowissenschaftler vermuten, dass die langsamen Gehirnwellen dazu dienen, die Neurone in weit voneinander entfernt liegenden Teilen des Gehirns miteinander zu synchronisieren, um die Erinnerungen zu übertragen.

Mehrere Studien liefern zudem deutliche Hinweise darauf, dass das Gehirn im Schlaf regelrecht kreativ wird. Es findet Zusammenhänge und Regeln, die ihm im Wachzustand entgangen sind. Denn offenbar durchkämmt das Gehirn im Tiefschlaf kürzlich gemachte Erfahrungen noch einmal und versucht, verborgene Muster zu entdecken. Versuchspersonen, denen eine Mathematikaufgabe gestellt wurde, hatten nach einer Nacht voll Schlaf wesentlich häufiger den entscheidenden Geistesblitz als eine Vergleichsgruppe, die zwischen Aufgabenstellung und Lösung eine gleich lange Zeitspanne ohne Schlaf überbrücken musste.

INWIEWEIT TRÄUME EINEN Einblick in die Erinnerungsverarbeitung geben, ist unter Schlafforschern umstritten. Einige halten Träume für nichts weiter als ein sinnloses Nebenprodukt der nächtlichen Neuronenaktivität. Jan Born von der Universität Lübeck geht sogar so weit, ihr Vorhandensein zu bezweifeln: „Man erinnert sich da an etwas, was man so gar nicht erlebt hat.“

Born glaubt, dass einige Teile des Gehirns beim Aufwachen noch Reste der Schlafaktivität zeigen. In diese Neuronenaktivität versuchen neu erwachte,

MEMO | SCHLAF

» IM SCHLAF werden in den Zellen die Vorräte an Proteinen und Biomolekülen wieder aufgefüllt und Schäden repariert.

» SELBST WÜRMER, Fliegen und Quallen verfallen offenbar in schlafähnliche Zustände.

» WÄHREND DES REM-SCHLAFS („Rapid Eye Movement“) bewegen sich die Augen rasch hin und her, das Gehirn arbeitet genauso rastlos wie im Wachsein.

» REM-SCHLAF und Non-REM-Schlaf wechseln sich in der Nacht mehrfach ab.

für den Verstand zuständige Gehirnregionen dann, einen Sinn hineinzuinterpretieren – mit der Folge, dass unlogische, fantastische Traumerlebnisse vor dem inneren Auge erscheinen.

Doch möglicherweise eignen sich Traumberichte durchaus als Quelle von Informationen über die Verarbeitung von Erinnerungen. Träume spielen zwar nur selten komplette Erlebnisse nach, meist



Sogar die größten Säuger der Erde müssen vermutlich schlafen. Bei einer Erkundungsfahrt kollidierten Biologen mit einem Wal, der regungslos senkrecht im Wasser trieb und das nahende Schiff nicht bemerkt hatte

geben sie nichts als Bruchstücke wieder. Beim Versuch, die Traumfetzen mit tatsächlich erlebten Ereignissen in Zusammenhang zu bringen, stellten Schlafforscher fest, dass nur ein bis zwei Prozent der Träume Erlebnisse vom Vortag behandeln. Die meisten Erinnerungen liegen länger zurück und tauchen beispielsweise erst nach einer Woche im Traum auf.

Ob durch Träume tatsächlich Erinnerungen gefestigt werden, wie manche Forscher glauben, oder ob sie nur zufällige Neuronenaktivitäten widerspiegeln, ist unklar. Einige Wissenschaftler vermuten, dass das Gehirn im traumreichen REM-Schlaf neue Verbindungen aktiviert und testet, wie das Gefühlszentrum darauf reagiert. Je nach Ergebnis werden bestimmte Synapsenverbindungen gestärkt oder abgebaut.

In mancher Hinsicht erinnern Träume an die Symptome psychischer Störungen. Ihre bizarren, emotionsgeladenen Inhalte ähneln den Halluzinationen schizophrener Menschen, so meinen Forscher. Auch wirre Träume werden subjektiv als zusammenhängende Geschichten erlebt, die Reflexion über Ungereimtheiten ist dagegen ausgeschaltet. Dem Träumenden widerfahren aberwitzige Dinge, ohne dass ihm das seltsam erscheint: Die Grenzen von Raum und Zeit werden außer Kraft gesetzt, lebende und tote Personen tauchen plötzlich auf und verschwinden wie-

der, das Traum-Ich verfügt über besondere Kräfte, es kann zum Beispiel fliegen.

Der traumreiche REM-Schlaf könnte also als ein Modell für bestimmte Prozesse dienen, die im Gehirn psychisch Kranker ablaufen.

INDEM SIE DIE CHEMIE des Schlafes entschlüsseln, könnten Neurowissenschaftler aber nicht nur psychisch kranken Menschen helfen, sondern auch die nächtlichen Ruhephasen verkürzen. Das seit einiger Zeit auch in Deutschland zugelassene Medikament Modafinil ermöglicht es, 48 Stunden ununterbrochen wach zu bleiben; allerdings kann es zu Unruhe, Kopfschmerzen und Angstzuständen kommen.

Eigentlich ist Modafinil für Narcolepsie-Patienten gedacht, die in unpassenden Momenten urplötzlich einschlafen. Doch auch das US-Militär hat es zugelassen – etwa für Piloten, deren Mission länger als zwölf Stunden dauert und bei denen Nebenwirkungen in Kauf genommen werden können.

In den USA nutzen gestresste Manager und ruhelose Partygänger das Medikament bereits, um so viel Aktivität wie möglich in einen Tag hineinzupressen. Darüber, welche langfristigen Folgen die Einnahme hat, gibt es allerdings keine Erkenntnisse.

Derzeitige Schlummerpillen machen leicht abhängig und beeinträchtigen zudem die Qualität des Schlafes – neue Hypnotika dagegen könnten auf andere Botenstoffe im Gehirn wirken als bisherige und die biologischen Uhren des Menschen außer Kraft setzen. Sie haben das Potenzial, den Schlaf auf wenige Stunden zu kondensieren.

Vier-, Fünf- oder Sechs-Stunden-Pillen, in denen ein Schlafmittel und ein Stimulans kombiniert sind, würden die Menschen womöglich von der evolutionären Gewohnheit abhalten, ein Drittel ihres Lebens nach einem vorgegebenen Rhythmus im Bett zu verbringen. Ein Leben mit Schlaf- und Wachphasen auf Bestellung sei damit in Reichweite, sagen Experten.

Ob so etwas auch nur wünschenswert ist, sagen sie nicht. □

Ute Kehse, 39, ist Wissenschaftsautorin und lebt in Delmenhorst.

Kartograph des Schädels

Das Wesen eines Menschen könne er an dessen Kopfform ablesen, behauptet Ende des 18. Jahrhunderts der aus Schwaben stammende Mediziner Franz Joseph Gall. So zeuge eine Wölbung über dem Auge von Ortssinn, ein langer Hinterkopf von Anhänglichkeit. Rasch wird Galls „Schädellehre“, die Phrenologie, populär und begründet sogar eine ganze Industrie

Text: Ute Eberle

Der König von Preußen ist skeptisch. Er hat diesen Franz Joseph Gall ins Potsdamer Schloss eingeladen, um ihn auf die Probe zu stellen: den aus Wien angereisten Arzt, der überall für Furore sorgt, wo er auftaucht. Behauptet Gall doch, er könne am Schädel ablesen, was für ein Mensch jemand ist. Ob er etwa Humor hat oder Wortwitz. Ob er scharfsinnig denkt oder zur Eitelkeit neigt.

Nun, Friedrich Wilhelm III. wird Gall testen. Offiziell hat er den Doktor zu einem Militärbankett gebeten. Tatsächlich aber sitzen an den Tischen Zuchthausinsassen in Uniform. Und Gall, so schildert es die Anekdote, besteht die Probe. Statt eines edlen Charakters liest er Angriffslust

und Zerstörungswut aus dem Schädel eines vermeintlichen „Offiziers“. Das beeindruckt den König so, dass er dem Arzt die Wahrheit gesteht. Und ihm einen Brillantring schenkt.

Ein weiterer Triumph für Gall auf einer Reise voller Triumphe. Zweieinhalb Jahre lang reist der gebürtige Schwabe von 1805 bis 1807 durch halb Europa. Und wo immer er Station macht, strömen die Menschen, um zu sehen, wie er die Gehirne von Toten sezziert, wie er deren Schädelformen interpretiert. Eine Wölbung schräg über dem rechten Auge?

Der Mensch hatte guten Ortssinn. Eine Delle in der Stirnmitte? Da war es mit dem Scharfsinn wohl nicht weit her.

Auch den Charakter von Lebenden ermittelt der Arzt. Er hat einen Apparat gebaut, den er Menschen aufstülpt wie einen Hut. Dabei drücken die Wölbungen ihrer Schädel bewegliche Stifte durch ein Papier. Das Perforationsmuster verrate die Persönlichkeit, sagt Gall.

So begeistert sind die Menschen von dieser „wissenschaftlichen“ Charakterdiagnose, dass sie bald beginnen,

sich gegenseitig die Köpfe abzutasten. Es zirkulieren Gedenkmünzen mit Galls Porträt, und auf Schnupftabakdosen werden seine Schädelkarten abgebildet.

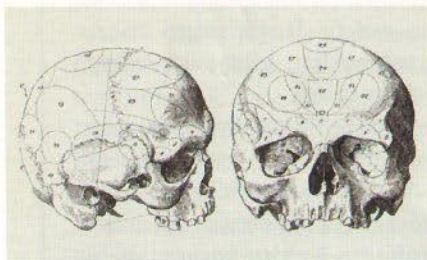
Auf die Idee einer „Schädellehre“ kommt Gall rund drei Jahrzehnte zuvor während seiner Studienzeit. Der im Jahr 1758 geborene Kaufmannssohn hat sich noch nicht lange für Medizin eingeschrieben, als ihm auffällt, wie mühelos manche Studenten lateinische Begriffe lernen. Und all diese Lernkünstler haben große, vorquellende Augen.

Zufall? Der 19-Jährige erinnert sich an „klotzäugige“ Klassenkameraden in der Grundschule, denen auswendig lernen leichtfiel. Besitzen diese Schnellmerker vielleicht ein besonders großes Gehirnzentrum für das Behalten von Wörtern – so wie andere extralange Füße? Das würde auch die Glupschaugen erklären! Denn säße dieses Mega-Wortgedächtnis tatsächlich direkt hinter der Stirn, würde es vermutlich so viel Platz einnehmen, dass die Sehorgane aus dem Schädel gedrückt würden.

Die Idee elektrisiert Gall. In Wien, wo er sich nach dem Studium eine erfolgreiche Praxis aufbaut, verschafft sich der junge Schwabe Zugang zu Gefängnissen und Irrenhäusern, betastet die Schädel von Verbrechern und geistig Kranken. Er lädt Fiakerkutscher und Laufburschen zu sich ein und vergleicht die Köpfe der Raufbolde mit denen der Friedfertigen. Es sei auffällig, schreibt er, „dass alle Stänkerer unmittelbar hinter und im Niveau der Ohren den Kopf viel breiter hatten als die Feiglinge“.

Er obduziert Leichen und sammelt ihre Schädel – mehr als 300 –, dazu zahlreiche Wachsmodele und Gipsabdrücke. Besonders Menschen mit Besessenheiten fesseln ihn. Der Student, der gern Tiere quält. Die Närrin, die Kleider zerreißt. Der Verrückte, der Häuser anzündet. Aus den Erhebungen und Einbuchtungen ihrer Köpfe hofft Gall zu lesen, wo im Gehirn die überdimensionierten „Organe“ sitzen, die sie zu ihrem Tun treiben.

Und was er nicht alles entdeckt! Die Anhänglichkeit etwa ortet Gall am Hinterkopf – deshalb falle dieser bei Frauen oft länger aus. Den Sinn für Zahlen siedelt er nahe der Augenhöhle an. Insgesamt findet Gall 27 „Hirnorgane“, von der Weisheit bis zum Fortpflanzungstrieb – der lasse sich an einem breiten Nacken erkennen.



IN 27 »HIRNORGANE« teilt Franz Joseph Gall den menschlichen Schädel ein (hier ein Kupferstich). So macht er etwa Regionen für Kunstsinn, Fortpflanzungstrieb oder Humor aus. Selbst ein Organ der Gottesverehrung identifiziert der Begründer der Phrenologie. Es sitzt an oberster Stelle im Kopf, gleich unter dem Scheitel



FRANZ JOSEPH GALL (1758–1828)

untersucht als junger Arzt die Schädel von Verbrechern und Geisteskranken, von Streitsuchenden und Friedfertigen. Und glaubt fortan, an den Schädelwölbungen eines Menschen dessen Intelligenz oder Triebhaftigkeit, Mordlust oder Anhänglichkeit erkennen zu können

Komplexe psychische Funktionen wie Intuition oder Wortwitz seien eingrenzbar und könnten im Schädel lokalisiert werden, nimmt Gall an. Im Gegensatz dazu glauben viele Zeitgenossen, solche Eigenschaften seien homogen im Hirn verteilt. Wenn sie eines sezieren, säbeln sie es in Stücke wie einen Käse.

Gall dagegen schlängelt sich mit Messern, Pinzetten und Scheren an den Fasern entlang, klaubt die Windungen behutsam auseinander. So entdeckt er als Erster, dass die graue Substanz, die einen Großteil des Gehirns ausmacht, auch im Rückenmark vorhanden ist.

Die Furore, die seine Thesen auslösen, veranlasst andere, ebenfalls ernsthaft die zerebrale Geographie zu erkunden. Und sei es nur, um Gall zu widerlegen.

Denn dessen Theorie, dass der Geist des Menschen – sein Denken, Fühlen und Wünsen – allein dem Gehirn entspringt, kommt gerade den Religiösen gotteslästerlich vor. Wäre dann nicht die Seele im Hirn angesiedelt? Wie kann sie dann unsterblich sein? Wie der Wille frei, wenn er das Produkt einer geistigen „Maschine“ ist, deren „Hebel, Räder und Springfedern“ bereits bei Geburt feststehen? Wenig nützt da, dass Gall auch ein „Organ der Gottesverehrung“ zu identifizieren glaubt. Es sitzt, wie es sich gehört, ganz oben im Kopf.

Am Weihnachtstag 1801 verbietet Kaiser Franz II., dass Gall seine religionsgefährdende Lehre in Wien weiterhin öffentlich verbreitet. Doch genau das macht Gall international berühmt – denn aus Sorge, wissenschaftlich zu versauern, verlässt er Wien im März 1805 und bereist mehr als 50 Städte, begleitet von seinem Assistenten Johann Caspar Spurzheim, zwei Affen, einem Diener, einem Wachmodellierer und einer stattlichen Zahl Schädel.

Für die zunehmende Zahl von Menschen, die Zweifel haben an der kirchlichen Lehre, bietet Galls säkulare Version der Selbsterkenntnis eine willkommene Neuerung. Von Johann Spurzheim nach England und Amerika getragen und in „Phrenologie“ umgetauft, begründet die Schädellehre eine regelrechte Industrie. Berufsberater vermitteln Karrieren auf Basis der Kopfform, Heiratswillige suchen Partner mit kompatiblen Buckeln am Haupt.

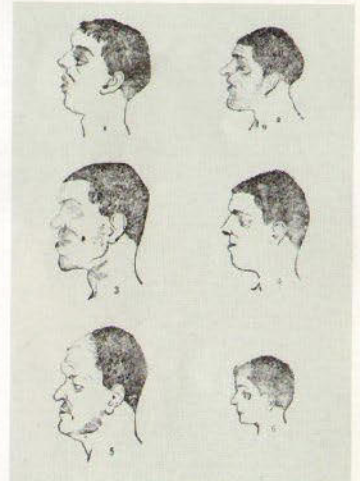
Zu Fall kommt die Phrenologie am Ende just durch jene Fortschritte in der Gehirnforschung, die sie inspirieren hilft. Je mehr die Anatomen über die Geographie des Schädellinneren lernen, je mehr sie neuronale Verletzungen studieren und erkennen, wie sie sich auswirken, desto mehr zeigt sich: Funktionelle Gehirnzentren existieren zwar – und damit bestätigt sich eine wichtige Erkenntnis Galls.

Doch repräsentieren sie nicht jene Eigenschaften, die der Phrenologe im Hirn verortet hat. Vor allem besteht kein Zusammenhang zwischen Schädelform und Charakter.

Bald nehmen nur noch Esoteriker sowie – viel später – Nationalsozialisten die Schädellehre ernst (die suchen darin Beweise für ihre vermeintliche rassische Überlegenheit).

Noch eine weitere Annahme Galls aber erweist sich als richtig. 1861 autopsiert der Franzose Paul Broca einen Patienten, der schwer sprachgestört war. Als Broca den Schädel aufsägt, sieht er, dass das Gehirn des Mannes in der dritten Frontalwindung links beschädigt ist – just dort, wo Gall das Sprachzentrum verortet hatte.

Da ist der revolutionäre Denker bereits 33 Jahre tot. Er stirbt am 22. August 1828 bei Paris. Ob den Trägern auffällt, dass der Sarg, den sie zur Grube schleppen, etwas leichter ist? Der Leichnam darin endet an den Schultern. So wie von Gall zu Lebzeiten verfügt, hat ein Schüler den Kopf abgetrennt und den Schädel Galls eigener Sammlung hinzugefügt. Unter der Katalognummer 19 216 ist er noch heute im Musée de l'Homme in Paris ausgestellt. □

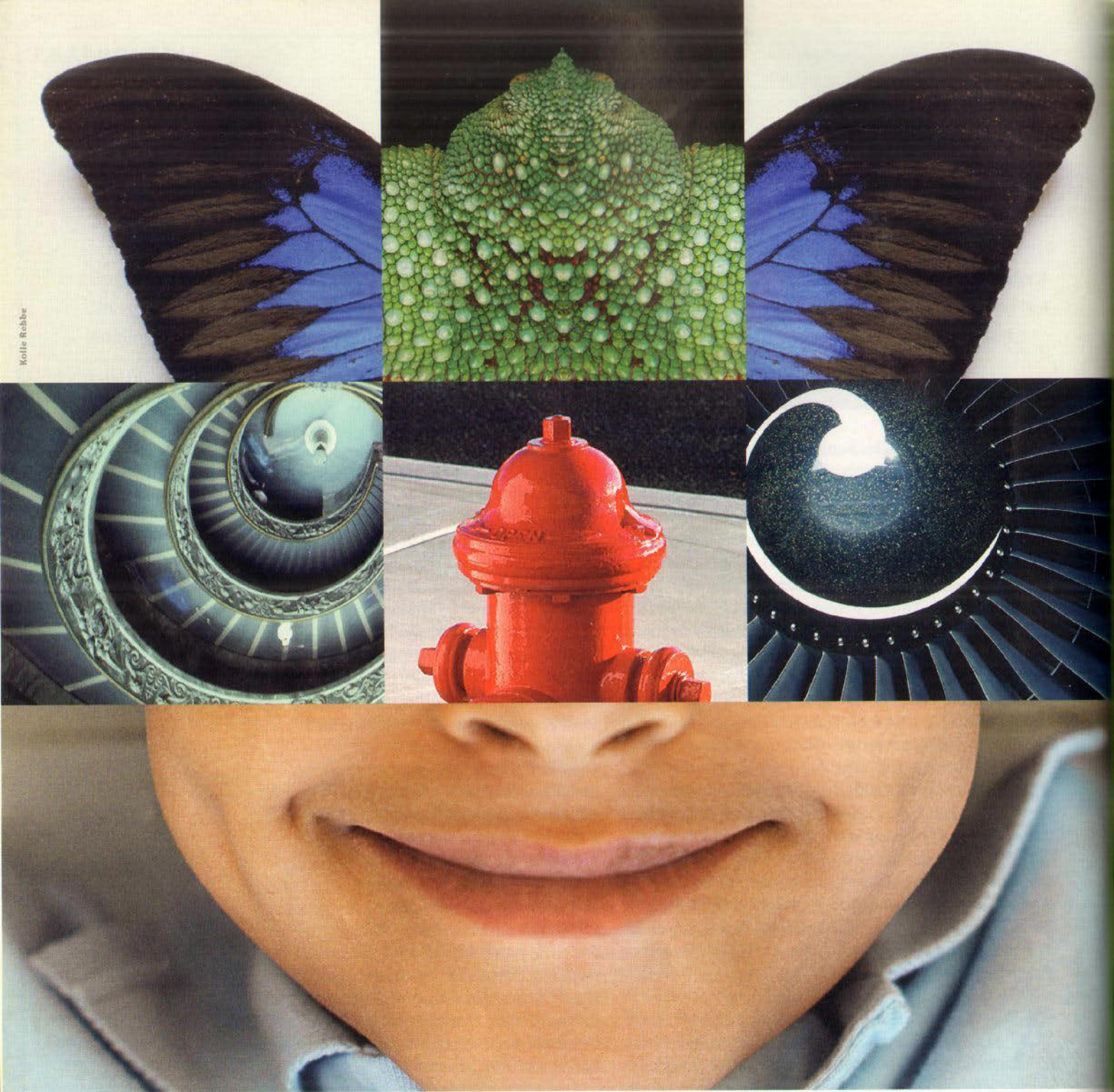


PORTRÄTS VON KRIMINELLEN
aus einer Phrenologie-Studie von 1895. Bereits 100 Jahre zuvor untersucht Gall die Schädel von Raufbolden und postuliert, dass ihr Kopf hinter den Ohren breiter sei als der von Feiglingen

Ute Eberle, 36, lebt in Leiden, Niederlande.

Literatur: Helmut Heintel, „Leben und Werk von Franz Joseph Gall. Eine Chronik“. Erna Lesky (Hrsg.). „Franz Joseph Gall (1758–1828). Naturforscher und Anthropologe“. Huber (beide antiquarisch).

Kolle Rubbe

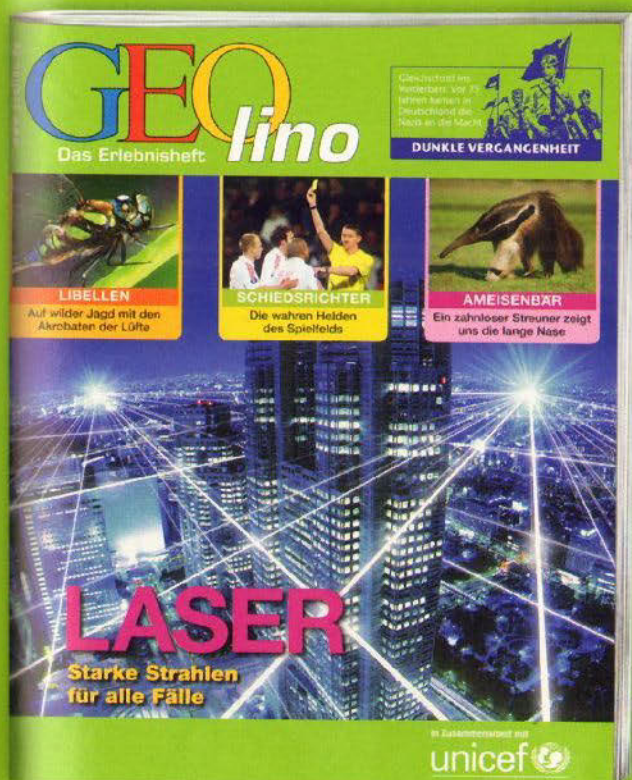


Zeigen Sie Ihren Kindern

Diesen Monat wieder neu: GEOLino – das Magazin für junge Entdecker. Und für alle, die noch mehr erleben

Jetzt im Handel

Das große
Extra-Heft von
GEOlino.



GEOlino. Wissen macht Spaß

die Gesichter der Welt.

wollen, gibt es außerdem GEOlino extra. In der neuen Ausgabe: Alles rund um das Thema Sport.

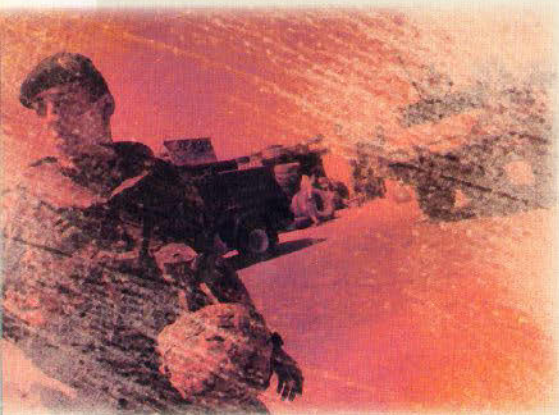
Text: Christian Schüle

Er saß an einen Betonpfeiler gelehnt. Seine Augen waren mit **Blut, Schweiß und Dreck** verklebt. Die Sonne stach auf den Kopf. Es ging um sein Leben, und Hauptfeldwebel Frank Dornseif war den Umständen hilflos ausgeliefert. Das war vor fünf Jahren.

7. Juni 2003, 8.00 Uhr. In Kabul herrschen 32 Grad Celsius. 35 Fernmeldetechniker und Logistiker der Aufklärungskompanie Frankenberg aus Hessen sollen nach mehr als drei Monaten Auslandseinsatz in die Heimat ausgeflogen werden. Es ist der letzte Tag. Am Abend zuvor haben sie wie so oft das „Holzmichellied“ gesungen und dazu getanzt.

Der Bus verlässt das Camp und biegt auf die stark befahrene Straße ein. **Dornseif, 34, sitzt hinten links.** Die Straße führt zum Flughafen. Die Soldaten winken den Afghanen am Straßenrand zu.

Dann kommt der Schlag.



DIE ARCHIVE

Dornseifs Kopf fliegt nach hinten, nach vorn. Dann läuft etwas Warmes über sein Gesicht. Er betastet sich. Die Zähne sind noch da, die Arme und Beine am Körper. Er hat das Gefühl, rechts hinabgestürzt zu sein, tatsächlich aber ist der Bus 30 Meter nach links auf einen Acker geflogen.



Ein Moment totaler Stille. Dann Schreie. Angstschreie. Schmerzensschreie. Todesschreie. Dornseif sieht nichts. In beiden Augäpfeln stecken Splitter seiner Sonnenbrille; das rechte Augenlid ist abgerissen. Im rechten Oberschenkel zehn Zentimeter lange Metallsplitter. Zwei Kameraden tragen ihn heraus.



Es gibt Momente, die brennen sich unauslöschlich ins Gedächtnis ein – so dramatisch, dass sie täglich neu durchlebt werden. Dies geschah dem Hauptfeldwebel Frank Dornseif, als er 2003 in Afghanistan ein Attentat nur knapp überlebte

Er sitzt an einen Betonklotz gelehnt in der stechenden Sonne. Das Gras ist hart, trocken, stachelig. Ein Selbstmordattentäter in einem Taxi hat die 100-Kilo-Bombe



IM KOPF

Ob Gedanken, Bilder, Gerüche oder traumatische Szenen – das Gedächtnis speichert unsere Geschichte und unsere Erfahrungen

auf Höhe der hinteren Bustür gezündet. Vier Soldaten sind tot.

Fünf Jahre danach spürt Hauptfeldwebel a. D. Frank Dornseif in den Armen noch immer das stachelige Gras von Kabul. Manchmal ist da auch der Geruch von verfaultem Wasser, sind da die Schreie der Kameraden. Dann hat Dornseif Herz-



rasen. Und Angst, dass ihm das Leben zerfällt.

Seit fünf Jahren meidet er die Sonne. Wenn er zu schwitzen beginnt und der Schweiß durch sein Gesicht läuft, hat er das Gefühl, dass er verblutet. Seither hat Dornseif kaum eine Nacht durchgeschlafen.

Die innere Unruhe macht ihn verrückt. Nachts sitzt er am Computer, klickt dann manchmal das Holzmichellied an und weint. Auch sein Freund Andrejas, ein Oberfähnrich, hatte das Lied am letzten Abend in Kabul gesungen. Dornseif hat ihn immer vor seinem inneren Auge.

Andrejas war sofort tot.

Das Holzmichellied löst bei Dornseif die schönsten und schrecklichsten Erinnerungen seines Lebens aus: an das Tanzen und Singen im Camp von Kabul, an Partys und ein Beachvolleyballturnier auf dem Acker, aber auch an den Knall und die stechende Sonne, das Blut, die Ohnmacht, die Schreie. „Es vergeht keine Stunde, in der ich nicht an diesen Anschlag erinnert werde.“

DIE MACHT der Erinnerung. Aus irgendwelchen Winkeln steigen Bilder und Szenen ins Bewusstsein. Manchmal reicht nur ein Wort, ein Geruch, reichen fünf Töne einer Melodie, um in Bildströme aus dem eigenen Märchen- oder Höllenreich einzutauchen.

Jeder von uns hat solche Kurz- und Langfilme im Gedächtnispalast seines Geistes verwahrt, und es ist einer der rätselhaftesten Momente im Leben, wenn eine dieser Sinnesempfindungen einen erneut überwältigt. Die meisten Wissenschaftler gehen davon aus, dass Erinnern mit Bezug zu Raum, Zeit und zum eigenen Selbst nur dem Menschen möglich ist. Derart subjektiv und komplex ist die Mechanik des Erinnerns, dass darin alles spezifisch Humane miteinander verkoppelt ist: Gefühl, Bewusstsein, Geist, Verstand.

Die menschliche Identität speist sich maßgeblich aus der Erinnerung. Oder wie der amerikanische Gedächtnisforscher Daniel Schacter schreibt: „Wir sind Erinnerung.“

Und der kanadische Psychologe Endel Tulving konstatiert: „Von einer einzigen Ausnahme abgesehen, verläuft Zeit immer in eine Richtung. Das ist eines der fundamentalsten Naturgesetze. Es regiert schonungslos alles, was im Universum passiert – kosmisch, geologisch, physikalisch, psychologisch. Die einzige Ausnahme besteht in der menschlichen Fähigkeit, sich an Ereignisse der Vergangenheit zu erinnern.“

Mehr als 90 Prozent der Erinnerungen aber sind unbewusst gespeichert. Von einem Augenblick zum nächsten erstehen sie als Bilder wieder auf, und

der Erinnernde steht ratlos da und fragt sich, was dies mit einer Tasse Tee zu tun haben könnte.

SONNTAGMORGEN, ein kalter Wintertag in Frankreich. Ein junger Mann führt einen Löffel Tee mit einem aufgeweichten Stück Gebäck an die Lippen. Dann geschieht es: „In der Sekunde nun, da dieser mit den Gebäckkrümeln gemischte Schluck Tee meinen Gaumen berührte, zuckte ich zusammen und war wie gebannt durch etwas Ungewöhnliches, das sich in mir vollzog.“

Der junge Mann spürt, dass sich Mächtiges zu erheben versucht, als habe sich in großer Tiefe etwas von einem Ankertau gelöst. Scheinbar ohne Grund muss er an das Dorf seiner Kindheit denken, an die Tanten und den ungeliebten Herrn Swann, der die Familie besucht.

Woher kommt dieser Film? Weshalb sind es diese Bilder genau in jenem Augenblick? Und wer ist der Vorführer?

Zu Beginn seines 1927 erschienenen Romans „Auf der Suche nach der verlorenen Zeit“ beschreibt der französische Schriftsteller Marcel Proust das vielleicht wirkmächtigste und folgenschwerste Erinnerungserlebnis der Literaturschichte. „Und mit einem Mal war die



Erinnerung da... All das, was nun Form und Festigkeit annahm, Stadt und Gärten, stieg auf aus meiner Tasse Tee.“

Manche Gedächtnisforscher nennen daher eine Erinnerung, die urplötzlich durch einen Geruch ausgelöst wird, das „Proust-Phänomen“.

Die Wissenschaft unterscheidet vereinfacht zwei Gedächtniskategorien. Das nichtdeklarative Gedächtnis ist das unbewusste, unwillkürliche: So kann ein Demenzkranker vielleicht perfekt

Klavier spielen, obwohl er nicht mehr in der Lage ist, Noten zu lesen.

Das deklarative Gedächtnis dagegen ist das bewusste Gedächtnis. In ihm waltet der Verstand, geht über bewusst aufgerufene Vorstellungen gezielt auf die Suche nach Bildern, um in Reminiszzenzen zu schwelgen oder aus der Vergangenheit Lehren zu ziehen.

In Blitzlicht-Erinnerungen durchlebt Frank Dornseif den Moment der gewaltigen Explosion noch einmal – er kann den Bildern nicht entkommen



Hört Frank Dornseif heute in seinem Heimatort Frankenberg ein Martinshorn, riecht er sein eigenes Blut. Riecht den Dreck, in dem er lag. Die Fäulnis. Die deutschen Rettungswagen in Kabul hatten die gleichen Sirenen wie die in Frankenberg. Und im Einkaufszentrum von Kassel hat er plötzlich den Gestank von Kabul in der Nase: verdorbenes Essen, Fäkalien, verfaultes Wasser, Ka-

daver. Sieht lachende Kameltreiber am Straßenrand und hat das Gefühl zu ersticken – wie damals auf dem Acker, als er an den Betonpfeiler gelehnt Angst hatte, unter der Sauerstoffmaske keine Luft zu bekommen.

Gerüche sind die häufigsten und hartnäckigsten Auslösereize für unwillkürliche Erinnerungen. Der sie empfangende Sinn ist im entwicklungsgehistorisch ältesten Teil des Gehirns lokalisiert. Kein anderes Sinnesorgan hat

Die Schreie Verletzter und der Anblick zersplit- terten Glases sind dem Ex-Soldaten auch fünf Jahre nach dem An- schlag gegenwärtig

einen so kurzen Abstand zu jener Region im Gehirn, wo die sensorischen Informationen analysiert werden, wie die Nase.

Der Geruchssinn ist aus dem „olfaktorischen Gedächtnis“ unterhalb der Bewusstseinsschwelle hervorgegangen, das in der Urzeit für das Überleben eines Individuums unentbehrlich war: Der archaische Mensch musste giftige von schmackhafter Nahrung unterscheiden können, musste Freund und Feind riechen und die Lockstoffe einer möglichen Sexualpartnerin als passend erkennen.

Unabhängig davon, dass die Wahrnehmungsfähigkeit von Gerüchen mit zunehmendem Alter immer stärker abnimmt, können Senioren Erinnerungen an kürzlich zurückliegende Szenen kaum noch abrufen, während ihre Teenagerjahre so gut wie unversehrt im Erinnerungsspeicher liegen. Psychologen nennen den Lebensabschnitt zwischen 15 und 25 den „Reminiszenzhöcker“, weil der Mensch da die meisten und stärksten Erfahrungen ausbildet – traumatische Erfahrungen ausgenommen.

„Wenn man 100-Jährige nach ihren stärksten Erinnerungen befragt, erzählen sie spontan aus den 1920er Jahren“, erklärt Douwe Draaisma, Professor für Psychologiegeschichte an der Universität Groningen. „Befragt man 80-Jährige, berichten sie über Erfahrungen aus dem Zweiten Weltkrieg.“

Nun liegt es nahe, anzunehmen, dass die Kriegererlebnisse auch die 100-Jährigen geprägt haben. Doch das kann Draaisma nicht bestätigen. „Tatsächlich ist der Alterseffekt stärker, als es die Umstände sind.“ Denn wer heute 100 ist, hat die entscheidenden Erfahrungen

tional geprägte Erinnerungen speichert er ab. „Man sieht und erlebt zwar mehr“, so Draaisma, „erinnert sich aber kaum an diese Erlebnisse, weil jeder Eindruck vom nächsten überlagert wird.“

Zudem gehören zu Pioniererfahrungen in der Regel heftige Emotionen. Erste Bestrafungen, Schmerzen, Demütigungen schreiben sich ebenso tief in die Matrix des autobiografischen Gedächtnisses ein wie erotische Erweckungserlebnisse. Je stärker das Gefühl, desto deutlicher die Erinnerung daran.

Nach Ansicht des US-Neurologen Antonio R. Damasio gibt es für jede Erfah-



in den 1920er Jahren erlebt: den ersten Schultag. Das erste Verliebtsein. Den ersten Liebeskummer. Den ersten Berufstag. Die erste Krise.

70 Prozent der lebendigsten Erinnerungen im Leben eines Menschen beziehen sich nach Draaismas Erkenntnissen auf das erste Lebensdrittel. Den restlichen zwei Dritteln gehören nur noch 30 Prozent der Memoiren – „und zwischen 80 und 100 kommen so gut wie gar keine Erinnerungen mehr dazu“.

Im Alter gibt es keine Pioniererfahrungen mehr: Je mehr Lebenserfahrung ein Mensch hat, desto weniger emo-

tionale „somatischen Marker“ – einen Bezug zu einer Art „Bauchgefühl“, das man bei der Einspeicherung hatte. Und dementsprechend wird jede Erfahrung als „gut“ oder „schlecht“ festgeschrieben.

Ort und Quelle der emotionalen Bewertung ist der **Mandelkern*** im Schläfenlappen. Der Mandelkern gehört ebenso wie der benachbarte Hippocampus zum limbischen System, einem der entwicklungsgeschichtlich ältesten Teile des menschlichen Hirns. Der Hippocampus steuert die Weiterleitung von Erinnerungen und deren Speicherung in anderen Gehirnteilen.

Unklar ist, ob der Hippocampus auch ermöglicht, dass lebensgeschichtliche Erfahrungen als *eigene* Vergangenheit rekonstruiert werden können. Der Kontext der Episoden, in denen die Erfahrungen gemacht wurden, wird dabei stets mit erinnert: Informationen aller Sinnesorgane, Gefühle, Gedanken.

Könnte der Mensch nicht episodisch erinnern, hätte er keinen Sinn für Vergangenheit. Wäre alles Gegenwart, hätte er kein Gefühl für Zukunft. Einzig in der episodischen Erinnerung drückt sich das Bewusstsein von Zeit aus.

DIE SCHREIE sind immer zuerst da. Sie sind Alltag im Leben von Frank Dornseif. Die Erinnerungen kommen so unkontrolliert, dass er ihnen ausgeliefert ist wie der Sonne von Kabul. Plötzlich tauchen die lachenden Afghanen auf. Nach dem Anschlag standen sie klatschend am Straßenrand. Er hasst sie.

Er war in einer Psychotherapie. Um den Bildern zu entkommen. Um sie zu kontrollieren, sie in eine „Schublade zu packen“, wie sein Therapeut sagte. Eines Tages soll Dornseif fähig sein, in aller Seelenruhe die Schublade aufziehen und die Bilder ohne Herzrasen und Schweißausbrüche herbeiholen und anschauen zu können.

Das ist ihm bis heute nicht möglich. Die Schublade ist stets herausgezogen. Die Bilder machen sich selbstständig.

Es sind Blitzlicht-Erinnerungen, „Flashbacks“ – Resultate hochintensiver Gefühle. In Lebensgefahr ist das Gehirn von Adrenalin derart berauscht, dass es mehr speichert als sonst. Je dichter aber die Informationen sind, desto stärker ist die Erinnerung daran, desto mehr Details sind präsent.

Für Douwe Draaisma von der Universität Groningen ist der „Flashback“ ein evolutionärer Nebeneffekt des bei Gefahr in erhöhte Flucht- und Kampfbereitschaft versetzten Körpers. „Wenn man von einem Moment auf den anderen in einer Situation ist, in der Informationen mit umwälzenden Konsequenzen

verarbeitet werden müssen, ist es wichtig, möglichst viele Details zu speichern, und sei es nur, um kein zweites Mal in eine solche Lage zu kommen.“



Informationen wie „Geruch von verfaultem Wasser“ oder „Melodie des Holzmichellieds“ kommen am Morgen des 7. Juni 2003 als Erstes im sensorischen Gedächtnisspeicher von Frank Dornseif an. Von dort gelangen sie in das Kurzzeitgedächtnis (siehe Kasten Seite 61).

Der Kurzzeitspeicher ist eng begrenzt und kann die Information nur eine halbe Sekunde lang halten. Ein ausgewählter Teil der Details wird dann in das Arbeitsgedächtnis geleitet, wo die Informationen bis zu einer halben Minute „online“ bleiben, ehe sie über neuronale Kupplungen zu Mandelkern und Hippocampus gelangen.

Nach der Prüfung der Information auf emotionale Anteile, ausgeführt im Mandelkern, starten große Zellverbände Suchaktionen nach vergleichbaren Nervenmustern. Der Hippocampus reaktiviert den Zugang zu Gerüchen und Geräuschen, die seit dem ersten Erleben abgespeichert worden sind.

Feuern die neuen Informationen mit derselben Frequenz wie die bereits gespeicherten, werden sie als deckungsgleich erkannt. Je mehr Zellverbände aus anderen Sinnessystemen dazufeuern, desto größer ist die spezifische Übereinstimmung aller neuen mit den bereits abgelegten Informationen. Und desto schärfer ist die Erinnerung.

Nicht alle gespeicherten Erinnerungen sind einfach abrufbar. An die meisten gelangt man nur durch den Zufall. Die

einzige Zutrittsmöglichkeit ins Reich der eigenen Bilder ist der „Trigger“, dem man machtlos ausgeliefert ist. Der „Trigger“ ist ein Auslöse-Reiz, der selbst von Reizen ausgelöst wird. Je mehr sinnliche Reize zusammenkommen, desto stärker steigt die Erregung, bis man sie sich als Erinnerung bewusst macht.

Zum Beispiel trifft man einen Menschen und fühlt sich auf einmal unerklärlich klein, unbedeutend, eingeschüchtert. Nach einer Weile dann steigen Bilder auf. Man weiß, woher der Geruch kommt, wessen Stimme dieses machtvolle Timbre besessen hat. Man erinnert sich an den autoritären Lehrer und die Demütigungen in der Schulzeit, und dann ist man um 20 Jahre zurückversetzt.

Die Intensität einer solchen Erinnerung hängt von den geographischen, klimatischen, sinnlichen Umständen zum Zeitpunkt der Einspeicherung ab – und von der Stimmung im Moment des Erinnerns. Ist der Erinnernde gerade traurig, erhält die Erinnerung eine melancholische oder traurige Note. Leidet er unter einer Depression, erinnert er seine Jugend völlig anders als ein nicht depressiver Freund, mit dem er viele Erlebnisse teilt.

Chaos, Sirenengeheul, Blutgeschmack, Angst – das Gedächtnis ver- bindet Sinneseindrücke und Gefühle zu einer dramatischen Szene

Zwei Autofahrer können nach einem Unfall vollkommen unterschiedliche Erinnerungen daran haben. Ein Mensch, der als Kind Gewalterfahrungen gemacht hat, erinnert sich dabei an völlig andere Details als sein Mitfahrer – als hätten sie niemals nebeneinander gesessen.

Der Zugang zu Erinnerungen ist bedingt durch die molekulare Grund-

lage des Gehirns, die sich während der Kindheit ausbildet. War ein Kind vielen Stresshormonen oder Trauma-Erlebnissen durch psychische Gewalt oder körperliche Misshandlungen ausgesetzt, ist die Struktur der **Synapsen** oft verändert. Dann kann es vorkommen, dass es im späteren Leben scheinbar völlig überzogen auf geringste Anlässe reagiert.

Immer wieder hört Dornseif das Lied, das sie in Kabul sangen, betrachtet Fotos von damals und erinnert sich, wie er mit den Kameraden getanzt hat

Schon die kleinste Erinnerung an eine körperliche Misshandlung etwa bewirkt größten Stress, worauf das Gehirn hypersensitiv reagiert. Es kommt zu einer kaskadenhaften Ausschüttung von nervenerregenden Botenstoffen, die zu einer Gedächtnisblockade führen können.

Für Neurologen ist nicht nur erwiesen, dass jeder Mensch anders erinnert, sondern auch, dass objektives Erinnern unmöglich ist. Das Gedächtnis ist ein dynamischer Prozess, Erinnerungen sind nicht konstant. Nach jeder gebrauchten Erinnerung werden die aktuellen Umstände des Gebrauchs neuronal mit zurückgeschrieben und gespeichert. Jeder neue Prozess des Erinnerns überformt die jeweils letzte Erinnerung.

UNGELÖST ist bis heute das Rätsel der rückwärtigen Vorwärtslogik: Weshalb erinnern wir einen länger ablaufenden Vorgang stets in sauberer Chronologie?

Wenn Frank Dornseif, ausgelöst durch das Holzmichellied, in die schönste und schwerste Zeit seines Lebens zurückreist, läuft der Film vom Beachvolleyballturnier, den Tänzen, den schönen Abenden

in Kabul, dem furchterlichen Knall, den Schreien, dem lachenden Kameltreiber stets von seinem ersten bis zum letzten Tag in Kabul ab.

Nun ist aber anzunehmen, dass im Gedächtnis das Letzte obenauf liegt und wer zurückblättert folglich zuerst auf z stoßen müsste, dann auf y, dann auf x. Tatsächlich aber folgt die Erinnerung immer der Chronologie: Erst geschah x, dann y, dann z.

Dieses Mysterium ist für Douwe Draaisma ein Hinweis darauf, wozu der Mensch sein Gedächtnis vor allem braucht: um die Zukunft bewältigen zu können. „Wir benötigen Erinnerungen, um nicht wieder in die Umstände von Schmerz, Verwundungen oder Beleidigungen zu kommen.“

Was wäre der Mensch ohne Erinnerungen? Gäbe es dann überhaupt so etwas wie eine adressierbare persönliche und kulturelle Identität?

Hätten wir keine Erinnerungen, sagen Neurologen und Psychologen, wären wir dazu verdammt, all unsere Fehler zu wiederholen und aufs Neue zu begehen.

Denn was den Menschen über alle anderen Lebewesen erhebt, ist seine Fähigkeit, dem biologischen Grundgesetz zu entkommen und aus dem naturgegebenen Reiz-Reaktions-Schema herauszuspringen. Er richtet sein Handeln an seinen Erinnerungen aus: Was ihm einst gut getan hat, wird er sich wieder vornehmen, was ihm Leid bereitete, wird er umgehen.

Mithilfe der Erinnerung kann er sich stets auch anders entscheiden. In der Verwaltung seines autobiografischen Gedächtnisses ist jeder der Choreograf eines selbst gewählten Lebens und Schöpfer der eigenen Freiheit.

FRANK DORNSEIF bleibt gefangen. Viele Monate hat er in Kliniken verbracht. Keinem Therapeuten ist es gelungen, ihm seine Erinnerungen zu nehmen an den Gestank von verfaultem Wasser, von Blut, Kadaver, an die Angst vor dem Tod.

Für einen halbwegs normalen Tagesablauf braucht er vier bis acht verschie-

dene Tabletten: Antidepressiva, Beruhigungspillen, Schlafmittel. In seinem Haus bei Frankenberg hat er Angst, der Sonne von Kabul nicht ausweichen zu können. Er hört Rufe, die keiner ausgestoßen hat. Er schreckt auf, weil er denkt, seine Tochter habe verzweifelt geschrien. Schreit im Einkaufszentrum ein Kind, hört er die Todesschreie der Kameraden. Kleben Marmelade, Honig, Butter an den Fingern, kommt die Angst, in der prallen Sonne am Betonpfeiler auf dem afghanischen Acker zu sitzen und mit den von Blut, Schweiß und Dreck verklebten Augen nicht sehen zu können.

Seit er aus Kabul zurück ist, geht Dornseif oft zum Friedhof, an das Grab des früh verstorbenen Vaters, der früh verstorbenen Mutter, des jung verstorbenen Bruders. Da steht er und versucht sich an seine Kindheit zu erinnern. Dann geht er heim und hört das Holzmichellied an, betrachtet die Fotos aus Kabul und sieht, wie er und die Kameraden gesungen und getanzt haben. Und dann

MEMO | ERINNERUNG

» **DER HIPPOCAMPUS** ist die Hirnregion, die die Speicherung von Erlebnissen und deren Abruf organisiert.

» **GEDÄCHTNISINHALTE** sind dynamisch: Sie können durch das Erinnern und erneute Abspeichern verändert werden.

» **IM ALTER** erinnert man sich vor allem an prägende Ereignisse aus der Jugend.

» **BEWEGUNGSABLÄUFE** werden im Kleinhirn archiviert.

kommen die Tränen und dann eine unerklärliche Kraft aus seinem Inneren, die bis heute verhindert, dass ihn seine Erinnerungen in den Selbstmord treiben. □

Christian Schüle, 37, ist Journalist in Hamburg. Wissenschaftliche Beratung: **Prof. Hans J. Markowitsch**, Universität Bielefeld.

Literatur: Douwe Draaisma, „Warum das Leben schneller vergeht, wenn man älter wird“, Piper. Hans J. Markowitsch, „Dem Gedächtnis auf der Spur“, Primus. Harald Welzer/Hans J. Markowitsch, „Warum Menschen sich erinnern können“, Klett-Cotta.

Wie das Gedächtnis funktioniert

Eine Vielzahl unterschiedlicher Systeme dient dazu, Erlebnisse, Erfahrungen und einfache Informationen zu bewahren

Gedächtnisforscher unterscheiden mehrere Arten von Erinnerungsarchiven – je nachdem, wie lange die Inhalte gespeichert werden, mit welchem Sinnesorgan sie beispielsweise gewonnen wurden oder welcher Art die verwahrte Information ist. Das gesamte Erleben eines Menschen wird permanent und unbewusst abgespeichert. Das geschieht im Zusammenspiel von fünf unterschiedlichen, aufeinander aufbauenden Systemen des Langzeitgedächtnisses:

- Das erste und unterste ist das *Priming-Gedächtnis*. Mit den Sinnesorganen aufgenommene (sensorische) Informationen werden unterhalb der Bewusstseinsschwelle gespeichert und lassen sich so später leichter wiedererkennen.

- Das *prozedurale Gedächtnis* speichert Informationen für hochgradig automatisierte Bewegungsabläufe (Prozeduren) und stellt diese etwa beim Fahrradfahren, Schwimmen oder Kartenspielen zur Verfügung.

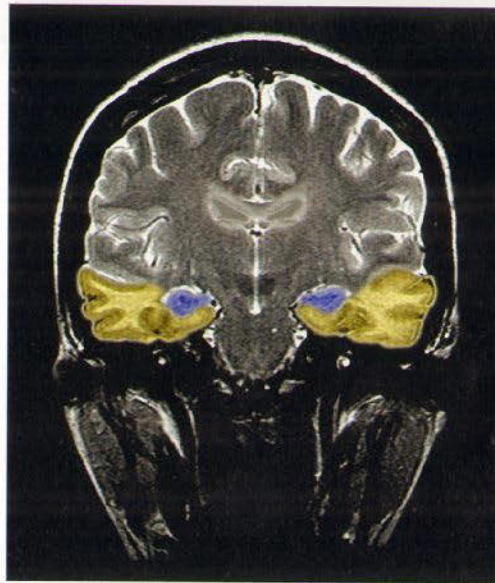
- Das *perzeptuelle Gedächtnis* (von perzeptiv = wahrnehmend) dient dazu, Objekte zu erkennen und zum Beispiel einen Ball zu identifizieren, ohne dessen Wahrnehmung mit einem sprachlichen Begriff zu verbinden.

- Das *semantische Gedächtnis* oder Wissensgedächtnis entspricht einem großen Archiv, das reines Faktenwissen enthält. Es werden lediglich Inhalte gespeichert. Die Umstände, unter denen die Informationen erworben wurden, spielen keine Rolle.

- Das *episodische Gedächtnis* gilt als höchste Stufe der Gedächtnisentwicklung. Es speichert Szenen, Erlebnisse und Erfahrungen mitsamt dem Kontext, in dem sie erlebt wurden – etwa Gerüche, Emotionen oder musikalische Untermalung. Und es ermöglicht uns, komplette Szenen und Episoden zu erinnern und auf diese Weise die eigene Vergangenheit zu rekonstruieren.

BEVOR ABER DIE INHALTE in das Langzeitgedächtnis überschrieben werden, werden sie zunächst im *Kurzzeit- oder Arbeitsgedächtnis* erfasst. Diese zentrale Verarbeitungsinstanz befindet

sich im **präfrontalen Kortex** – einer Region der **Großhirnrinde** im Stirnbereich. Sie führt verschiedene Informationen etwa der Sinnesorgane oder der anderen Bereiche der Großhirnrinde zusammen und speichert sie kurzzeitig, das heißt höchstens für einige Minuten. Zudem trennt das Kurzzeitgedächtnis Wichtiges von Unwichtigem. Denn das Langzeitgedächtnis verwahrt nur einen Bruchteil aller wahr- und aufgenommenen Informationen.



Der Hippocampus (blau), ein Teil des Schläfenlappens (grün), organisiert die Erinnerung und legt fest, welche Gedächtnisinhalte wo und wie in der Großhirnrinde gespeichert werden

EINE KURZZEITERINNERUNG entsteht, wenn sich vorübergehend ein Verknüpfungsmuster zwischen Nervenzellen formt. Dies geschieht, indem an den Kontaktstellen zwischen den Zellen, den Synapsen, mehr biochemische „Botenstoffe“ ausgeschüttet werden. Die nachgeschalteten Zellen werden gleichzeitig empfindlicher – der Informationsfluss wird erleichtert. Dieser „Pfad“ kann für Minuten bis Stunden erhalten bleiben, bis er schließlich wieder verblasst.

Damit Erinnerungen ins Langzeitgedächtnis überschrieben werden, muss es dagegen zu dauerhaften Veränderungen der Strukturen und Übertragungseigenschaften an den Synapsen kommen. Dabei können sogar völlig neue Synapsen auswachsen.

An dieser Gedächtnisbildung sind verschiedene Hirnregionen beteiligt – so spielt beispielsweise der **Hippocampus** für das episodische und semantische Langzeitgedächtnis eine wichtige Rolle. Er sorgt vermutlich dafür, dass komplexe Erinnerungen in Teile zerlegt und an verschiedenen Orten gespeichert – sowie beim Erinnern wieder zusammengefügt und ins Arbeitsgedächtnis „geladen“ werden.

Der **Mandelkern** (Amygdala) wiederum ist für die emotionalen Komponenten der Erinnerungen zuständig, das Kleinhirn vor allem für die Speicherung von erlernten Bewegungsabläufen.

Neue Erlebnisse und Lernprozesse haben stets eines gemein: Das Verknüpfungsmuster der Neurone untereinander prägt sich aufs Neue um – und das Gehirn verändert sich.

Christian Schüle, Christof Schneider

DIE HIRN

In Mathias Heidkamps Schädel wuchert ein Tumor. Er löst epileptische Anfälle aus, es geht um das Leben des Patienten. Ein Neurochirurg muss die Geschwulst entfernen, ohne das Gehirn zu schädigen. Protokoll einer hochriskanten – also ganz normalen – Hirnoperation

Text: Malte Henk; Fotos: Marcus Vogel

WERKER



Universitätsklinikum Hamburg
an einem Morgen im März 2008, kurz
nach acht Uhr: Ein Assistenzarzt
deckt mit sterilen Tüchern den rechten
Hinterkopf des Patienten ab. Dort,
im Scheitellappen des Hirns, breitet
sich der Tumor aus – er ist 4,8
mal 4,2 Zentimeter groß

Ein Neurochirurg, sagt Oliver Heese, brauche Demut. Er sagt: „Diese Operationen sind Neuland, immer wieder.“ Das menschliche Hirn ist ihm Verfügungsmasse und Erfahrungsraum, eine Maschine, zu deren Reparatur ein Regelwerk bereitsteht; aber es bleibt ein Rest von Rätselhaftigkeit. Am Ende, wenn alles getan ist, wartet Heese auf die neurologischen Tests, auf die Bilder aus dem Hirnscan wie auf ein Gottesurteil: War ich erfolgreich? Kann dieser Mensch noch sprechen, den Arm bewegen, Erinnerungen speichern? Habe ich den Tumor bekämpft?

Heese hat knapp 1300 Nervenoperationen hinter sich, mehr als 600 an – in – menschlichen Köpfen. Von einer handelt diese Geschichte.

DIE LEIDEN des Zimmermanns Mathias Heidkamp* beginnen im Herbst 2002. Heidkamp, 43, spürt ein Kribbeln, eine

* Name geändert

08.15 Uhr Vorbereitungsroutine: Der Neurochirurg Oliver Heese markiert die Eingriffsstelle am Kopf seines Patienten Mathias Heidkamp, ein Assistenzarzt schaut zu



Taubheit in seiner linken Körperhälfte. „Da ist ein Nerv eingeklemmt“, denkt er.

Die Anfälle häufen sich, immer wieder muss Heidkamp sich auf dem Dachfirst festklammern. „Da ist was Dunkles auf Ihrem Hirnscan“, sagt die Ärztin. „Gehen Sie zum Spezialisten.“

Im Frühjahr 2004 sitzt Heidkamp bei Oliver Heese in der Neurochirurgischen Klinik des Universitätsklinikums Eppendorf in Hamburg. Heese sagt ihm, dass ein Tumor in seinem Kopf wuchert, ein **Astrozytom****, drei mal drei Zentimeter groß, hervorgegangen aus Stützzellen des Nervengewebes. Es ist, als befände sich Heidkamps Körper im Krieg mit sich selbst. Und: Tumore, die im Hirn heranwachsen, lassen sich niemals besiegen – zu eng sind sie mit dem Ausgangsmaterial verwoben.

Heese schneidet die Geschwulst heraus, so genau es eben geht. Aber die verbliebenen Tumorzellen spielen weiterhin verrückt, sie wachsen und wachsen, auch die Anfälle kehren wieder, und im Februar 2008 entdeckt Heese auf dem Scan wieder den dunklen Schatten.

Das Astrozytom hat diesmal eine Größe von 4,8 mal 4,2 Zentimetern.

Es muss raus aus Heidkamps Kopf, noch einmal. Und so liegt Mathias Heidkamp an diesem März morgen auf einem Stahlisch im OP-Saal 3 der Neurochirurgischen Klinik: schwer, bewegungslos, eingepackt in eine Decke, eine Narkosemaske im Mund. Er ist betäubt.

8.05 Uhr, Oliver Heese betritt den Raum: Oberarzt, 38, dünn, jungenhaft, ein Schnellsprecher mit langen Haaren und Brille.

Er ist um 5.15 Uhr aufgestanden und hat im Auto ein Croissant gegessen. Kaffee hat er nicht getrunken – er will verhindern, dass seine Hände zittern. Und er will dem Patienten keine Toilettenpausen zumuten. Denn Heidkamp wird wieder wach sein, wenn der Angriff auf den Tumor beginnt.

08.25 Uhr Die Säge (oben) und zwei Bohrer zum Öffnen des Kopfes liegen bereit

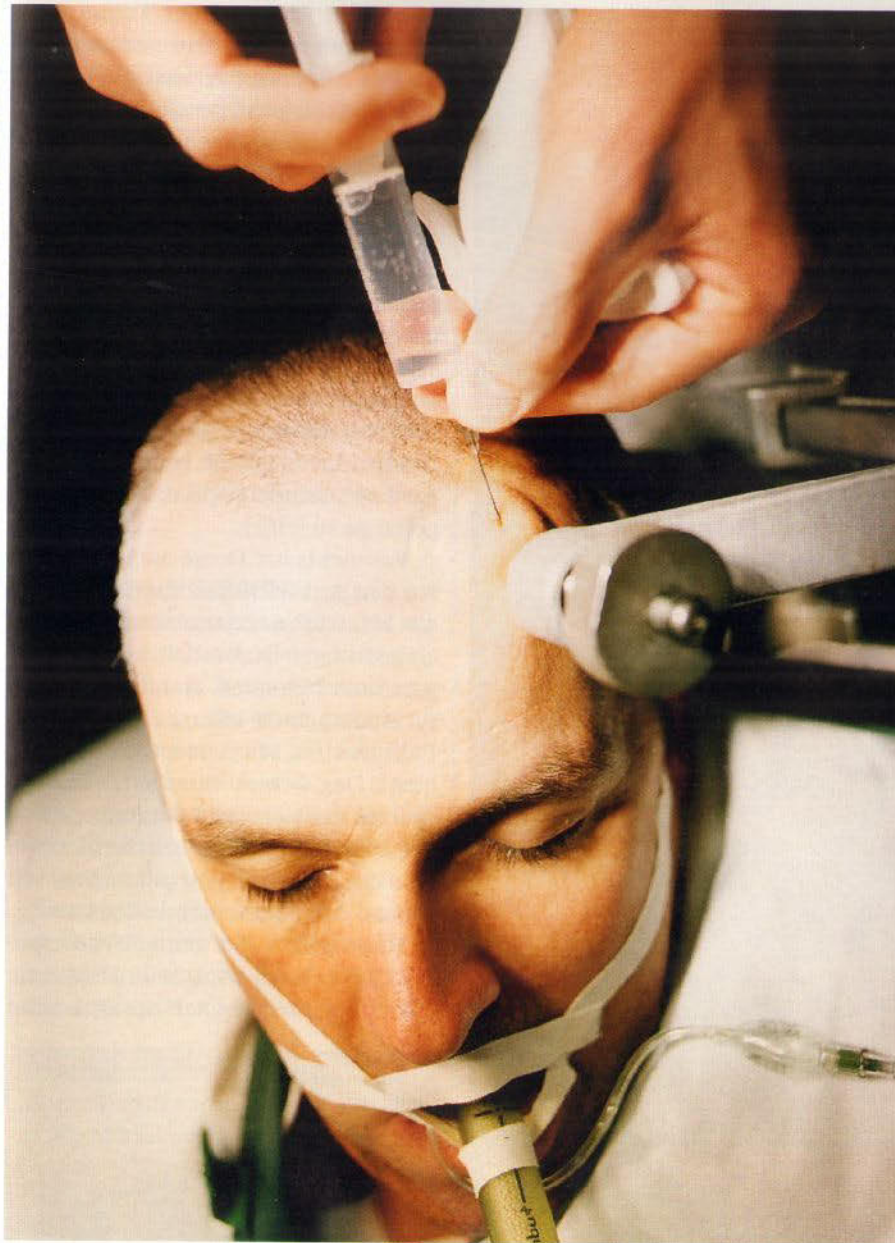


Oliver Heese muss so viel krankes Gewebe wie möglich entfernen, ohne das gesunde zu schädigen. Und dabei soll ihn Heidkamp unterstützen, als eine Art Live-Berichterstatte seiner eigenen Gehirnfunktionen.

Heese dreht den Schädel nach links. An der rechten Seite des Hinterkopfes wächst, im **Scheitellappen** des Gehirns, der Tumor; er hat das Empfindungssystem, zuständig etwa für die Wahrnehmung von Schmerz, Temperatur und

** Blau hervorgehobene Begriffe werden im Glossar ab Seite 150 näher erklärt.

08.28 Uhr Noch steht Mathias Heidkamp unter Narkose. Doch während der Operation wird er wach sein. Nur wo eine Zwingse seinen Kopf fixiert, wird er lokal betäubt



Berührung, zur Seite gedrückt, außerdem das Bewegungszentrum, anliegend im **Motorkortex**. Wohin genau, das weiß Heese nicht. Sollte aber sein Patient während der Operation plötzlich den Arm nicht mehr heben können oder keinen Schmerz mehr fühlen, wüsste Heese, dass er in Areale vorgedrungen ist, aus denen er sich besser zurückzieht.

Die wundersam austarierte Ordnung in Heidkamps Kopf ist zusammenge-
staucht, das Koordinatensystem seiner

Welt verzerrt, da helfen keine anatomischen Kartierungen, wie man sie in Lehrbüchern findet.

Es klingt verrückt, aber aus neurologischer Sicht hat der Tumor diesem Mann, der jetzt ruhig auf dem Stahltisch liegt, so etwas wie eine besondere Individualität gegeben.

„Es ist angerichtet“, sagt die OP-Schwester. Sie stehen zu sechst am Tisch: Heese mit seinen Assistenten Nils Ole Schmidt und Sebastian Payer sowie der

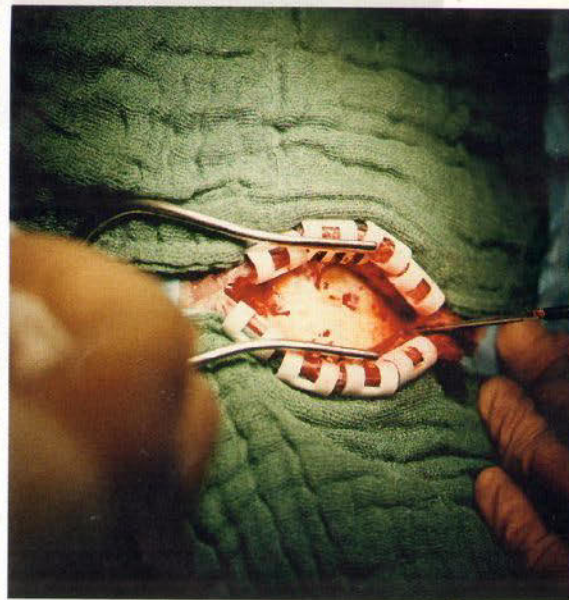
Anästhesistin und zwei Schwestern. Er fixiert den Kopf seines Patienten in einer Zwingse, dreht die Spannarme fest, die spitzen Dornen fressen sich vor bis zum Schädelknochen. Mit einem Plastikrasierer schneidet Nils Ole Schmidt einen Streifen in Heidkamps Haare.

Dies ist ein Eingriff, bei dem die Grenze zwischen Erfolg und Scheitern, zwischen Heilen und Schädigen leicht überschritten werden kann, sie misst nur wenige Millimeter, und der Ausgang ist nicht abzusehen.

Das Übliche also.

Die Vorbereitung verläuft heiter und konzentriert, wie beim Zeltaufbau im Pfadfinderlager. Tatsächlich formt sich jetzt aus Stangen und Tüchern eine Art Zelt um Heidkamps Kopf. Nur die Eingriffsstelle bleibt offen, sie ist mit einem

08.33 Uhr Die Neurochirurgen klemmen die Kopfhaut über dem Schädelknochen ab, damit kein Blut in die Wunde fließt

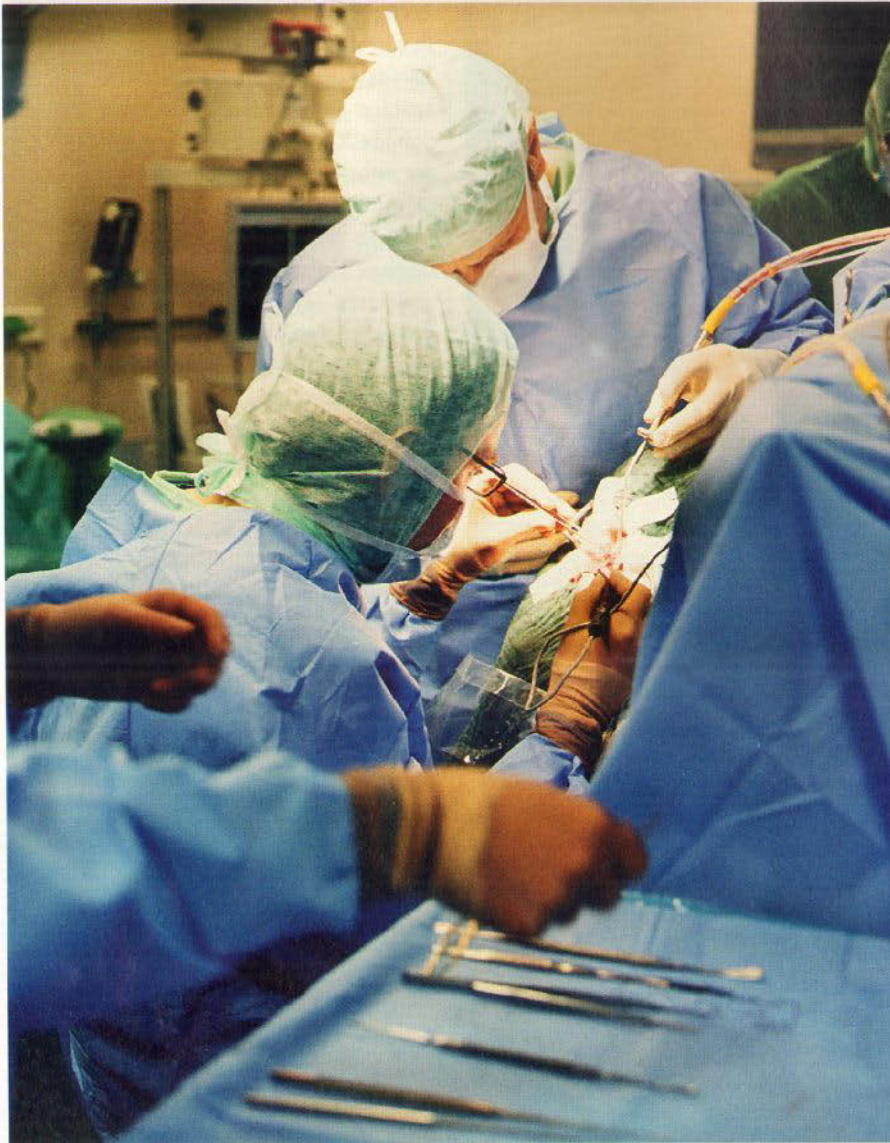


Filzstift blau markiert. Vorn liegt Heidkamp jetzt wie in einer Höhle geborgen; hinten ist sein Schädel in einen anonymen Zielpunkt verwandelt.

Die OP-Schwester schieben zwei Instrumententische heran, dazu Bildschirme, den Wagen mit dem Bohrer. „Es geht um die Wurst heute Abend“, sagt

Der Arzt hat keinen Kaffee getrunken – er will verhindern, dass seine Hände zittern

08.35 Uhr Die Kopfhaut ist eine dicke Schwarte, die mühsam zur Seite geschoben werden muss. Heese legt die Schädeldecke frei, sein Assistent Nils Ole Schmidt saugt Blut ab



Heese, aber da meint er ein Fußballspiel in der Champions League. Aus seinem iPod erklingt Popmusik des Engländers Mark Ronson: „Oh my God I can't believe it / I have never been this far away from home“.

Die Kopfhaut: eine dicke Schwarte, die aufgeschnitten und mit Plastikklammern zur Seite gelegt wird. Der Schädelknochen: glatt und hell. Der Trepan-Bohrer: ähnelt einer elektrischen Zahnbürste (Trepanation, der Fachbegriff für das Öffnen der Schädeldecke, kommt von dem griechischen Wort für „durchbohren“). Ein Surren, drei, vier Sekunden lang, schon verliert Heese den

Druckwiderstand – er hat etwas oberhalb von Heidkamps rechtem Ohr ein Loch in den Schädel gebohrt. Er setzt die Säge an, zirkelt herum wie beim Öffnen einer Konservendose. Es geht schnell, dann klappt er das runde Knochenstück nach oben.

Jetzt muss die *Dura mater*, die derbe Schutzhaut auf der Innenseite des Schädels, aufgeschnitten und mit winzigen Fäden fixiert werden.

Nils Ole Schmidt, der Assistenzarzt, wäscht Blut und Knochenstücke aus der Wunde. Er stülpt Wattestreifen in das Loch, sie bilden einen ebenmäßigen Kranz, als seien es Blütenblätter.

Und da ist schon der Tumor: eine weiße, pochende, glibberige Masse. Wie ein Pilz hängt sie über dem Gehirn, im Loch der früheren Operation.

„Du kannst ihn wach werden lassen“, sagt Heese zur Anästhesistin.

„Narkose ist aus!“

8.45 Uhr, Heese und Schmidt lehnen sich zurück. Sie könnten jetzt loslegen, aber das Aufwachen ist ein Krisenmoment.

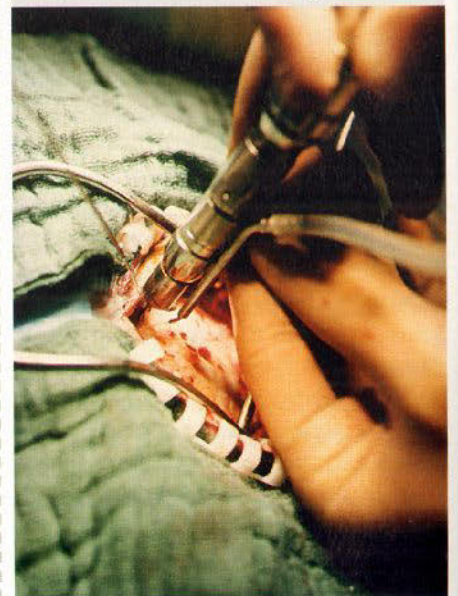
Ein Patient im Dämmerzustand lässt sich kaum ansprechen. Er könnte sich ruckartig bewegen, und ein Mann wie Heidkamp, von Panik befallen, wäre in der Lage, seinen Kopf aus dem Metallgestänge zu reißen.

Vor nichts hat Heese mehr Angst als vor den Selbstschutzreflexen derer, denen klar wird, dass jemand in ihren Kopf eingedrungen ist. Deshalb kommen nur psychisch besonders stabile Menschen für eine Wach-OP infrage.

Immerhin, Schmerzen sind kein Problem. Das Gehirn verarbeitet Empfindungen des Körpers, besitzt aber keine eigenen Rezeptoren; als habe nicht im Plan der Evolution gestanden, dass mal jemand daran herumschneiden könnte.

Heese wartet. Ihm geht die Vorbesprechung durch den Kopf. Als er Heidkamp wie üblich über Risiken der Operation

08.40 Uhr Heese sägt ein Knochenstück aus dem Schädel des Patienten. Die »Trepanation« dauert nur wenige Momente



Der Eingriff ist schwierig – tut aber nicht weh: Das Gehirn besitzt keine Schmerzrezeptoren

aufklärte, hatte der gesagt, „mein Todesurteil“, und dünn gelacht.

8.50 Uhr. „Wir machen jetzt bitte auch die Musik aus!“

Manche Patienten einer Wach-OP bestellen als leise Beschallung Hardrock, andere Amy Winehouse, Heese hat alles im Angebot. Mathias Heidkamp aber hat sich Ruhe gewünscht für den Moment, in dem ihm klar wird, dass jemand in seinem Hirn herumstochert.

Stille. Nur das Pochen des Pulsmessers ist zu hören. Langsam steigt der Blutdruck, 123/71, „er wird bald aufwachen“, nuschelt die Anästhesistin durch ihren Mundschutz.

„IT'S NOT BRAIN SURGERY“, rufen Amerikaner, wenn sie sagen wollen, für wie simpel sie eine Aufgabe halten: Das schaffe ich, ist ja keine Gehirnochirurgie! Oliver Heese übt einen äußerst anspruchsvollen Beruf aus, bei dem komplexe Gedanken mit einfachen, klaren Bewegungen zusammenfließen; ähnlich wie bei Spitzenmusikern und manchen Sportlern.

Neurochirurgen steht ein Arsenal technischer Hilfen zur Verfügung, aber sie sind vor allem, und das in einem antiquierten Sinn: Handwerker – wenn auch

höchstqualifizierte. Am Ende kommt es darauf an, mit relativ simplen Geräten auf unfassbar engem Raum Zugangskanäle zu bauen, Adern zu veröden, Gewebe abzuschneiden.

Es ist eine traditionsreiche Zunft. Kaum ein anderer chirurgischer Eingriff ist älter als die Trepanation: Schon vor mindestens 7000 Jahren bohrten Heiler mit scharfen Steinen Löcher in die Köpfe von Menschen, um nach einem Bruch Knochensplitter zu entfernen – und die Patienten überlebten diese Operationen.

Eine ägyptische Papyrusrolle, vier Meter lang und vor rund 4000 Jahren verfasst, verzeichnet 27 Fallgeschichten: „Wenn du einen Kranken untersuchst, dessen Schläfe eingedrückt ist, so antwortet er dir nicht, denn er ist der Sprache nicht mächtig.“

Und der römische Arzt Galen von Pergamon registrierte im 2. Jahrhundert nach Christus, dass Gladiatorenklaven, am Kleinhirn verletzt, ihr Gleichgewicht verloren. Galen empfahl Trepanationen, um den Hirndruck zu senken; üben

08.44 Uhr Die Tumorböhle ist offen: Wie ein Pilz hängt die Geschwulst im Loch einer früheren Operation. Sie hat Teile des Gehirns beiseitegedrückt – wohin genau, weiß Heese nicht



08.42 Uhr Das herausgesägte Stück des Schädelknochens wird später wieder in Heidkamps Schädel eingesetzt



sollten Ärzte die Operationen zunächst an Rindern.

Dann aber: Stillstand, jahrhundertelang. Die Ehrfurcht vor der Heimstatt des Denkens hielt an, bis um 1880 die neurochirurgische Moderne anbrach. Immer besser verstanden die Ärzte von da an das Gehirn und dessen Krankheiten, immer genauer schauten sie in die Köpfe: mit Operationsmikroskopen, Ultraschallgeräten, schließlich mit **Kernspintomographen**.

Heutzutage verläuft nur jede 1000. Hirn-OP tödlich. Oliver Heese bearbeitet das Gewebe bis auf 0,5 Millimeter genau, und da ist fast keine Stelle im Schädel, die er nicht erreichen kann. Er operiert Epileptiker, Unfallopfer mit Brüchen, Hämatomen, Blutungen. Krebskranke mit Metastasen im Hirn. Patienten mit Schlaganfällen oder mit Aneurysmen, winzigen Beulen voller Blut in den Wänden geschwächter Schlagadern.

Und Menschen wie Mathias Heidkamp.

Jeder kann einen Hirntumor bekommen. Die Chance liegt bei knapp über 1:10 000 pro Jahr, äußere Einflüsse spielen keine Rolle, genetische Faktoren nur ganz selten. Einfach so, scheinbar grundlos, mutieren die Zellen. Schalten ihre Schutzmechanismen ab. Beginnen sich zu teilen, immer wieder. Und je mehr Mutationen, desto mehr Zellen im Amok-Modus, desto bösartiger der Tumor.

In der nüchternen Sprache der Ärzte hat das Grauen vier Stufen der Gefährlichkeit, Grad I bis IV.

Ein Grad-IV-Tumor wie etwa das Glioblastom wuchert so schnell, dass sein Inneres noch während des Wachstums abstirbt; die Versorgung mit Sauerstoff und Nährstoffen bricht dort zusammen. Es scheint, als würden sich die Zellen in ihrer Aggressivität selbst verzehren, fanatisierte Soldaten, die voranstürmen, immer weiter, bis der Nachschub ausbleibt.

Ein solches Parasitentum beeindruckt in seiner Tücke – die Zellen eines Glioblastoms nisten in den Räumen zwischen Neuronen, Nervenfasern und Blutkapillaren wie Frontkämpfer in ihren Schüt-





zengräben. Aber es ist auch ineffektiv: Am Ende tötet der Parasit seinen Wirt.

Nach der ersten Operation, vor vier Jahren, hatten Pathologen Mathias Heidkamp Gewebe untersucht. Grad II, lautete das Ergebnis: nicht lebensgefährlich.

„HERR HEIDKAMP! Machen Sie den Mund auf! Ganz weit auf!“ Mathias Heidkamp stöhnt. Es dauert mehrere Minuten, bis seine Zähne die Narkosemaske freigeben. Der Assistenzarzt Sebastian Payer ist Neuropsychologe, er hockt bei dem Patienten, streichelt ihm die Wange. „Sie müssen ruhig bleiben. Nicht bewegen!“

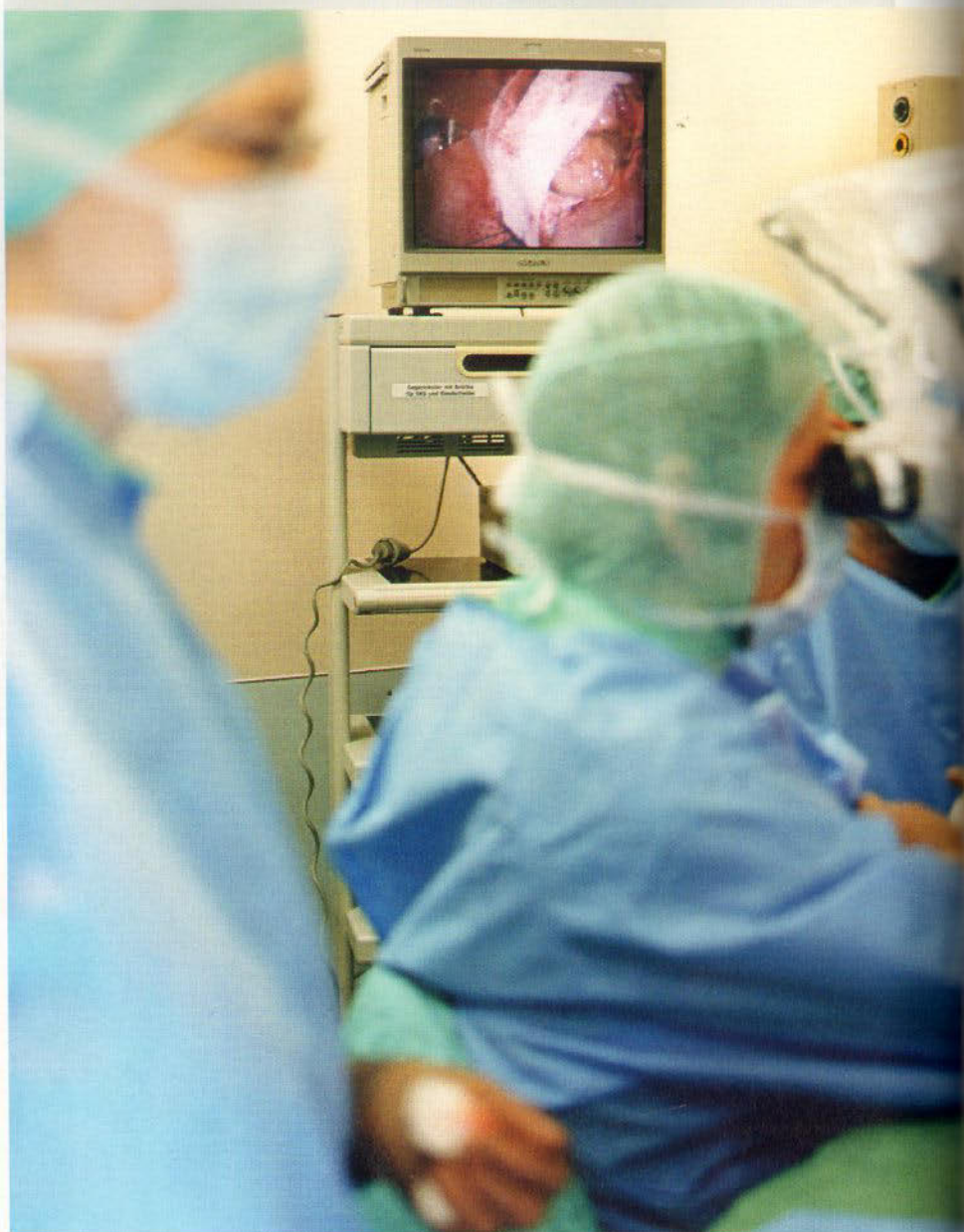
Ein Gesicht mit Sorgenfalten auf der Stirn, die Augen geschlossen. Heidkamp ist in einem Zwischenreich, er würde gern aufstehen, seinen Kopf bewegen, aber das geht nicht. Sein Atem verstetigt sich.

9.10 Uhr. „Moin, Herr Heidkamp“, sagt Heese. „Moin“, antwortet eine ruhige, feste Stimme.

„Dann wollen wir mal anfangen.“ Oliver Heese sitzt jetzt in einer Apparatur, die aussieht wie ein Zahnarztstuhl. Vor ihm hängt ein Okular, zwei runde Enden eines Mikroskops, durch das er beim Operieren in Heidkamps Gehirn

09.30 Uhr Oliver Heese blickt durch ein Mikroskop in die Wunde, während er mit einem Sauger den Tumor langsam abträgt

09.40 Uhr Live-TV: Der Bildschirm zeigt den Verlauf der Operation. So weiß die Schwester im Voraus, welches Instrument der Neurochirurg als Nächstes benötigt



schauen wird. Er hat seine Schuhe ausgezogen, die bestrumpften Füße fahren über Stelltasten am Boden, bravourös wie die eines Orgelspielers: je zwei Tasten für Fokus und Zoom, dazu ein Joystick zum Verschieben des Mikroskops.

Heeses Unterarme lagern auf zwei Lehnen. Die linke Hand hält ein Gerät, mit dem sich krankes Gewebe wegsaugen lässt; in die rechte, die „Spielhand“, wird die OP-Schwester Instrumente platziert. Es gibt viele, sie hat alle ausgebreitet: Kanülen, Stopfer, Häkchen aus

matt glänzendem Metall, groß und klein, spitz und stumpf, der gesamte Werkzeugkasten der Neurochirurgie.

Je erfahrener ein Operateur, desto weniger Instrumente. Denn Instrumentenwechsel bedeutet Stress, Zeitverlust, Störung des Handlungsflusses.

Heese braucht drei: eine winzige Schere, um Äderchen zu durchtrennen; den Dissektor, eine Art Spatel, für die groben Arbeiten; und die „Bipol“-Pinzette, mit der er wie mit Sushi-Stäbchen hantiert. Man kann mit dem Fuß Stromstöße in

Pinzette, Spatel, Schere: Mehr ist nicht nötig, um einen Menschen am Hirn zu operieren

die Pinzette senden und so Äderchen und Gewebe veröden.

Pinzette, Spatel, Mikroschere: Mehr ist nicht nötig, um einen Menschen im Kopf zu operieren.

9.15 Uhr, die Operation beginnt als Live-Übertragung, alle schauen auf einen Monitor an der Wand. Wer sich nicht auskennt, dem zeigt die Kamera des Mikroskops einen blutigen Knoten, in dem die Nadeln der Bipol-Pinzette he-

venwasser lagert. Er will den Ventrikel anzapfen, Wasser wird auslaufen, dann wird er wissen: Er hat den inneren Rand des Einsatzgebiets erreicht; weiter drängt der Tumor zum Glück nicht ins Hirn, das haben die Scans gezeigt.

Von dort kann er sich langsam nach vorn wagen, in Richtung Bewegungszentrum (siehe Grafik Seite 74).

Oliver Heese hat gestern Abend alles vor seinem inneren Auge visualisiert:

den schief eingespannten Kopf, die Position des Astrozytoms, den Ventrikel.

Früher steckte er vor jeder Operation einen Tumor aus Knete in ein Plastikhirn. Heute reicht ihm die Vorstellung.

Und doch läuft es dann ganz anders.

Wie leicht sich das Astrozytom anheben lässt! Der Spatel greift unter die weiße Masse wie ein Kuchenschieber unter die Butterschnecke. Heese spürt, er kann seinen Plan ändern, es gibt einen besse-

09.45 Uhr Hirnscans helfen bei der Planung, der iPod bleibt während der OP aus



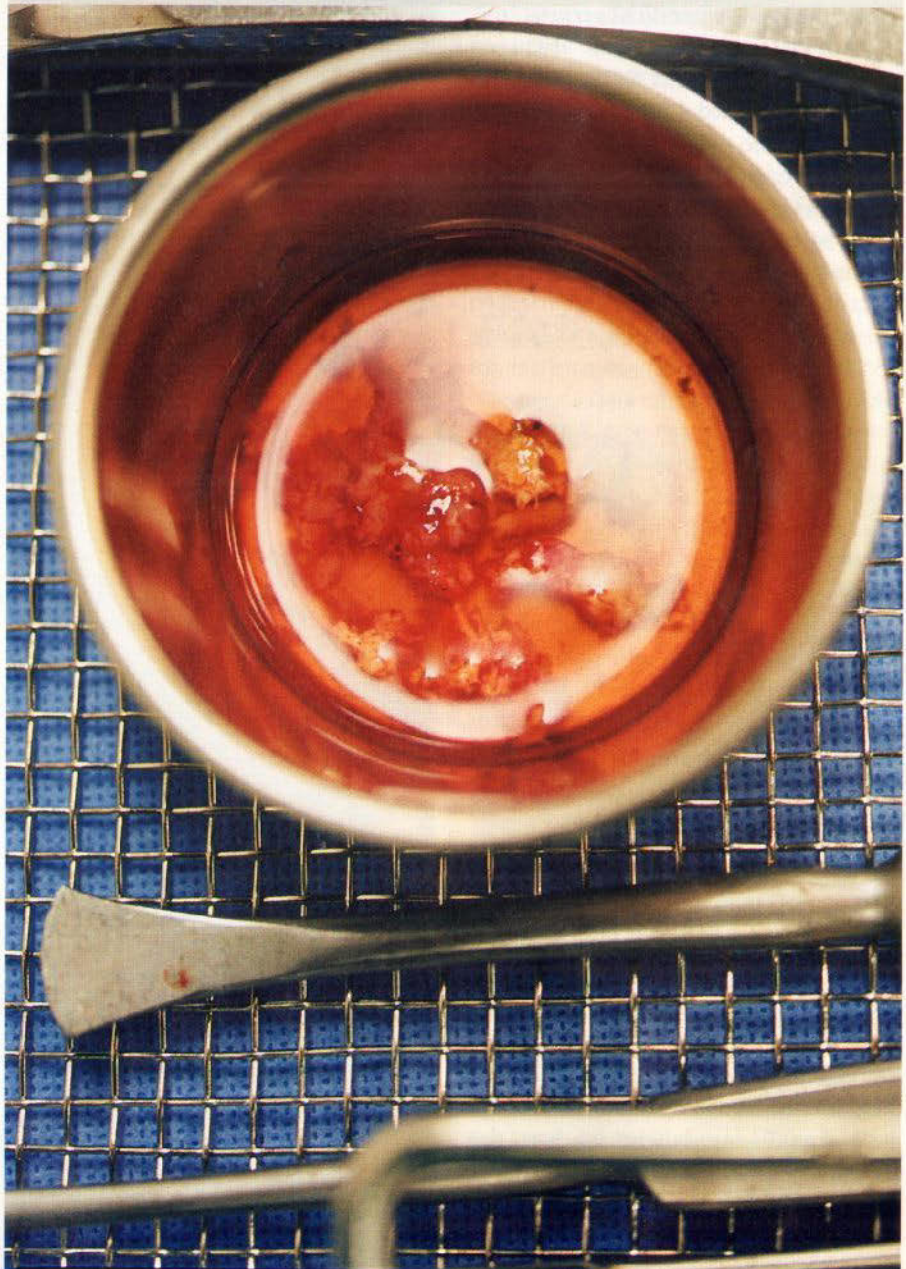
rumstochern. Oliver Heese aber hat sich genau überlegt, wie er vorgehen wird, gestern Abend, allein mit den Hirnscans.

Eine Hirn-OP ist wie ein Nachtflug, denn die Tumorzellen lassen sich während des Eingriffs nur schwer von normalen Zellen unterscheiden; zudem sind sie häufig mit gesundem Gewebe verwachsen. Deshalb braucht ein Chirurg Orientierungspunkte – „Landmarken“ nennt Heese sie.

Als Erstes muss er die Ränder des Einsatzgebiets markieren, denn später wird alles geschwollen und zerfasert sein und voller Blut.

Heeses Plan sieht vor, sich zunächst am hinteren Rand des Tumors in die Tiefe zu arbeiten, bis er nach vier Zentimetern auf den **Seitenventrikel** stößt: eine jener Kammern, in denen das **Ner-**

10.00 Uhr Heese knipst einige Tumorklumpen mit der Pinzette heraus. Pathologen werden sie später im Labor untersuchen. Das Ergebnis: Die Geschwulst ist bösartig



Der Neurochirurg orientiert sich mit Watte pads im Schädel des Patienten

ren Weg als den komplizierten Vorstoß zum Seitenventrikel.

Mit dem Spatel öffnet er einen winzigen Spalt zwischen Tumor und Hirnmasse; bugsiert drei Watte pads hinein. Sie sind seine neuen Landmarken für das hintere Ende.

Die Reise zum Ventrikel, das Öffnen der Kammer: All das ist jetzt überflüssig. Heese hat das Chaos in Heidkamps Hirn strukturiert, hat mit drei Watte pads Raumgefühl und Tiefenschärfe gewonnen. Drei Fädchen hängen aus Heidkamps Kopf, als Erinnerung, damit Heese die Pads später nicht vergisst.

Nun lässt sich der Tumor absaugen, von oben, Schicht für Schicht. Es gluckert, später wird Mathias Heidkamp sagen, dass er sich vor allem an dieses Geräusch erinnert; und dass es ihm hässlich vorkam.

Er hält seine Augen geschlossen und träumt sich weit weg, in den letzten Urlaub. Er ist keiner von den Patienten, die während der OP nicht aufhören zu reden, weil das Beruhigungsmittel am Morgen sie so entspannt hat.

Äderchen, die sich am Sauger verfangen wie Fäden eines Spinnennetzes, verödet Heese mit der „Bipol“. Schmorgeruch im OP-Saal. Alles ist ruhig, Kollegen treten ein, schauen kurz zu, gehen wieder raus. Vormittagsroutine.

Saugen und Veröden, immer wieder. Einmal knipst Heese ein paar Stücke Tumor heraus und legt sie in eine Schale, für die Gewebeprobe. Sieht nicht gut aus, denkt er. Zu weiß, zu wässrig. Je weicher eine Geschwulst, desto bösartiger ist sie zumeist.

10 Uhr. „Herr Heidkamp, noch eine halbe Stunde, dann ist der Tumor raus aus ihrem Kopf.“

„Okay.“

„Sie machen das supergut, Herr Heidkamp.“

OLIVER HEESES SCHWIERIGSTER Fall begann in einer Sonntagnacht um halb eins. Er lag daheim im Bett, das Telefon klingelte: die Klinik. Eine Frau mit einem Aneurysma; die Beule

in der Ader war geplatzt, Blut strömte über die Hirnrinde. Es blieb keine Zeit für eine genaue Untersuchung, Heese konnte nur ahnen, wo der Schaden lag. Er drang von der Schädelbasis her ins Gehirn ein, zur Hauptschlagader; arbeitete sich an ihr entlang nach oben, als kletterte er auf einen Baum: tastete zunächst die großen Stämme ab, die drei Hirnschlagadern, dann die weiteren Verästelungen. So stieß er auf die kritische Stelle.

Nächster Akt in diesem wundersam verzackten Drama: die Scheinrettung. Ein Pfropfen aus Blut verschloss die offene Ader im Kopf der Frau, Oliver Heese bekam einen Aufschub. Doch dann platzte das Aneurysma ein zweites Mal. Heese staute den Blutfluss einen

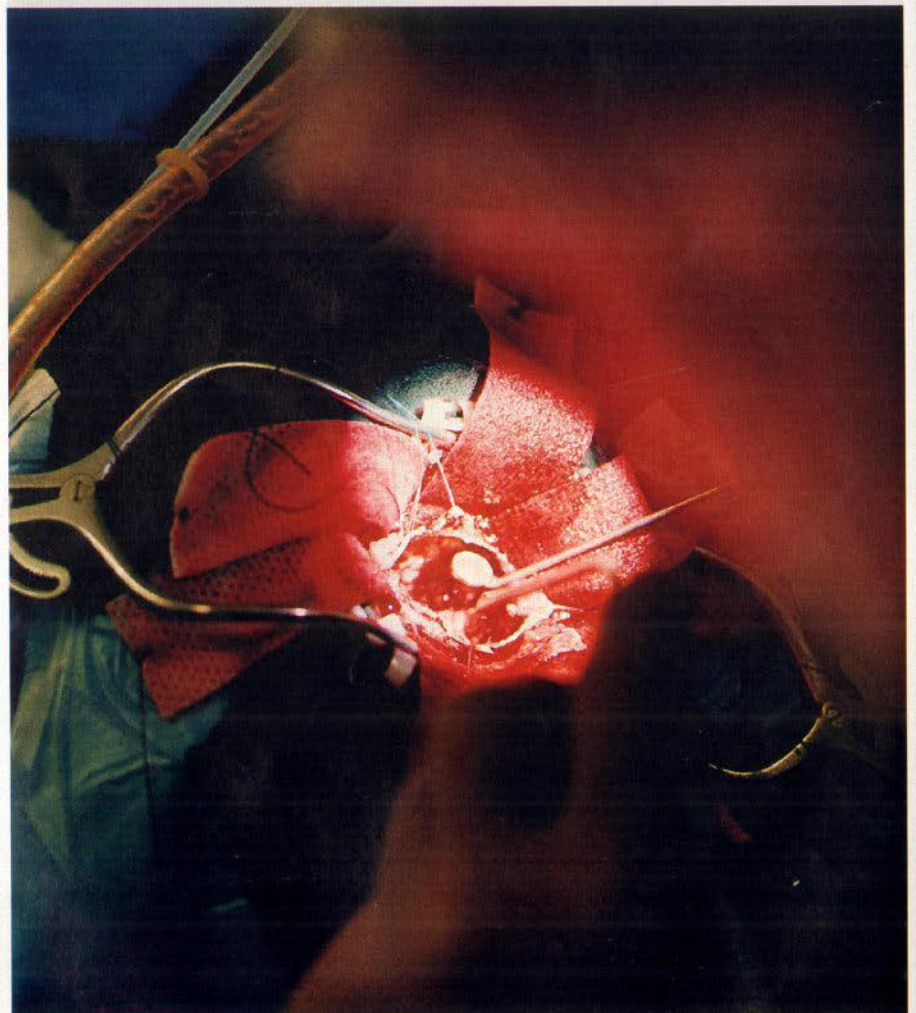
Zentimeter weiter unten, in der Schlagader; ein Klempner beim Rohrbruch, ihm blieben nur Minuten bis zum großen Schlaganfall.

Wer ein Aneurysma repariert, entschärft eine Bombe. Man klemmt die Beule von außen mit einem winzigen Titan-Clip ab. Eine falsche Bewegung, und der Clip rutscht weg. Oder man reißt eine benachbarte Ader auf. Dann kann der Patient sterben.

Heese arbeitete schnell und konzentriert. Dann gab er das Blut wieder frei. Morgens um fünf war er fertig. Er hatte der Frau das Leben geschenkt.

Dabei liegt die Tragik dieses Berufs nicht darin, dass solche Notfälle auch anders ausgehen können. Sondern darin, dass möglicherweise Menschen sterben,

10.35 Uhr Heese hat so viele Tumorzellen wie möglich entfernt. Mit einem Spiegel kontrolliert er, ob jenseits des Bohrlochs noch krankes Gewebe am Gehirn zu erkennen ist



10.50 Uhr Die Operation ist beendet. Heese schiebt das herausgesägte Knochenstück in die ursprüngliche Position, Nils Ole Schmidt spült die Wunde mit einer Wasserspritze



die noch ein paar Monate Zeit gehabt hätten, Jahre vielleicht. Oder dass man sie für ihr Leben schädigt. Man muss nur, etwa bei einer scheinbar harmlosen Tumor-OP, eine Ader antippen, einen Schlaganfall auslösen, das geht so schnell. Auch Oliver Heese ist es schon passiert, zwei oder drei Mal.

Er spricht nicht gern darüber. Aber er sagt: „Bei einer guten Serie, wenn ich einige schwierige Operationen gemeistert habe, denke ich nicht: Was hast du für tolle Hände. Sondern: Vorsicht, beim nächsten Mal passiert wieder was. Und wenn ich aus dem Urlaub wiederkomme, denke ich: Jetzt musst du alles noch mal lernen.“

Ein US-Soziologe hat in den 1980er Jahren untersucht, weshalb manche junge Ärzte an der Ausbildung zum Neurochirurgen scheitern. Er wollte wissen: Was unterscheidet sie von den anderen, den erfolgreichen?

Das Ergebnis: Es zählt nicht so sehr die Intelligenz. Oder eine „ruhige Hand“. Oder technisches Können. Sondern der Perfektionismus; die Obsession mit den eigenen Fehlern.

Die schlechten Nachwuchsärzte glaubten, sie machten alles richtig. Die guten glaubten, sie machten alles falsch.

Es liegt an dieser Ehrfurcht vor dem Gehirn, dass Neurochirurgen ziemlich nette, bescheidene Menschen sind. Ihr

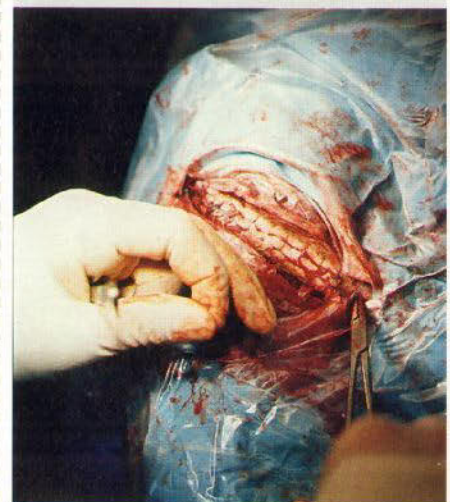
sozialer Kodex kennt weder Draufgängertum noch Selbstanmaßung. Sie operieren mit einer Gelassenheit, die der Sache dient. Ihre „Coolness“ ähnelt der von Kampfpiloten, ihr Können drapiert sich als anstrengungslose Leichtigkeit. Noch beim schwierigsten Eingriff fehlen die großen Gesten, die Hektik, die Rituale der Verausgabung.

Heese findet Schönheit darin, was er macht. Schwärmt von Intuition und Kreativität. Vom Abenteuer, einen eigenen Stil zu entwickeln, und der Ästhetik eines unblutigen, kleinteiligen Eingriffs.

„Eine Operation muss dem Auge gefallen“, sagt er. Er klingt wie ein Künstler.

„**ENG IST DIE WELT**, und das Gehirn ist weit“, sagt Schillers Wallenstein. 10.15 Uhr, der Bildschirm vor der Wand zeigt eine zerfurchte Landschaft, ein rotes, pochendes Gebirge: Heidkamps Hirn. Vom Tumor ist fast nichts mehr zu sehen. Eine Stunde schon dauert die Vier-

11.05 Uhr Blutige Kraftarbeit zum Schluss: Mit wuchtigen Stichen wird die Kopfhaut wieder zusammengenäht



Zentimeter-Reise, da hockt sich Sebastian Payer, der Assistenzarzt, noch einmal neben Mathias Heidkamp.

„Herr Heidkamp, jetzt kommt der spannende Teil. Wenn Sie was merken im Arm oder Bein, sagen Sie Bescheid.“

Das Astrozytom saß direkt unter der Schädeldecke, das ist gut, so musste

Heese keinen Zugangskanal durch die graue Masse der Hirnrinde freilegen. Er konnte gleich den Tumor attackieren.

Nun befindet er sich am vorderen Rand seines Einsatzgebiets, auf Höhe der Hirnmitte, wo sich außen die **Zentralfurche** wie eine Narbe über die Hirnrinde zieht. Hier, in vier Zentimeter Tiefe, vermischt sich die weiße Substanz des Hirns mit dem letzten Rest Tumorzellen.

Doch hier verläuft auch die Pyramidenbahn. Das ist eine Art Daten-Highway, vollgepackt mit Nervenfasern, sie bündelt Informationen über Empfindung und Bewegung aus allen Teilen des Körpers und transportiert diese über das Rückenmark bis zur **Großhirnrinde**. Im **Hirnstamm**, kurz vor dem Ziel, kreuzen 80 bis 90 Prozent der Fasern auf die Gegenseite (deshalb steuert die rechte Hirnhälfte die linke Körperseite und umgekehrt).

Natürlich kann man die Bahn nicht erkennen. Heese möchte dennoch weiter vorstoßen, einen Zentimeter vielleicht, um so viele Tumorzellen wie möglich abzusaugen. Dafür braucht er Heidkamps Hilfe.

Es gibt zwei Arten von Wach-OPs. Solche, bei denen es um Areale geht, die außen auf der Hirnrinde liegen; etwa das Broca- oder Wernicke-Zentrum, die beiden Sprachregionen. Die Rinde ist

11.15 Uhr Mathias Heidkamp wird aus der Zange befreit. Sie wäre nicht nötig gewesen – der Patient hat sich ruhig verhalten

11.18 Uhr Nach gut zweieinhalb Stunden Operation wird der Patient aus dem OP-Saal geschoben. Bereits nach fünf Tagen kann er die Klinik wieder verlassen



nur ein paar Millimeter dick. Man kann sie mit einer Elektrode abtasten wie mit dem Ultraschall, und sobald die Stromstöße an einer Stelle das Sprechen blockieren, hat man sie lokalisiert: jene Areale, die nicht mehr zum Tumor gehören und die man besser in Ruhe lässt.

An die Pyramidenbahn hingegen kommt man mit der Elektrode nicht so leicht heran – sie ist zu tief in die weiße Masse des Hirns eingegraben.

Es geht nicht anders: Die Ärzte müssen ein Frage-und-Antwort-Spiel mit Mathias Heidkamp veranstalten.

„Motorik gut?“, ruft Oliver Heese auf die andere Seite des Zelts herüber. Der Ruf geht in eine andere Welt, einen Meter entfernt, in die Welt, die wir kennen, in der zu einem Kopf ein Gesicht gehört, kein rundes Loch, und ein Mensch, der denken kann und handeln.

„Herr Heidkamp, können Sie den Arm anwinkeln?“, fragt Heeses Assistenzarzt Payer, er sitzt auf seinem Schemel vor dem Stahlstisch.

Heidkamp kann.

Also los. Langsam, ganz vorsichtig dringt Heese in diese neurologische No-go-Area ein. Streicht mit der Pinzette über Gewebe, sachte, ganz sachte. Erfühlt winzigste Tumorklumpen, zupft, reißt, hier ein wenig, dort einen Millimeter, hier ist es weich, das kann

raus. Er bekommt neue Instrumente in die Hand, in schnellem Wechsel, ein eingespieltes Ritual.

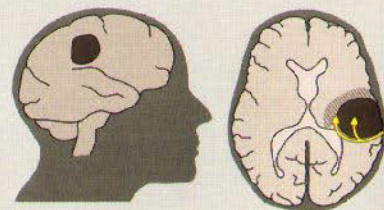
„Herr Heidkamp, können Sie den Arm heben?“

Er kann.

Weiter, immer weiter, Millimeter um Millimeter. Eine Ader taucht auf, winzig klein in Heidkamps Hirn, eine riesige Barriere auf dem Bildschirm. Durchschneiden. Schnell veröden, Blut absaugen.

Dann weiter. Hier noch etwas Gewebe weg – das Tüpfelchen, das entscheidend sein könnte. Streiten nicht Forscher über die Existenz von „Tumorstammzellen“? Einige wenige solcher Zellen, zurück-

Der Tumor im Kopf von Mathias Heidkamp hatte eine Größe von 4,8 mal 4,2 Zentimetern und befand sich an der rechten Seite des Hinterkopfes im Scheitellappen des Gehirns. Oliver Heese arbeitete sich vom hinteren Rand des Tumors vor (gelbe Pfeile), am Seitenventrikel (weiß) vorbei bis zum Bewegungszentrum (schraffierte Zone).



Neu für die Leser von GEO kompakt

Der mehr-und-fair Tarif:

G+J
persönlich

Nur 10 Cent* in alle Netze und 2 exklusive Extras:



- ✓ Kein Mindestumsatz
- ✓ Keine Anschlussgebühr
- ✓ Immer gleich günstig telefonieren*



1. Gratis surfen!

Jederzeit gratis auf allen Mobilportalen von Gruner + Jahr-Zeitschriften surfen!

2. Spar-Garantie!

Der erste Tarif, bei dem Telefonieren automatisch bis zu 10%* günstiger wird!

Leistungserbringer der Mobilfunkdienstleistungen ist die E-Plus Service GmbH & Co. KG

Anforderungscoupon: Bis zum 25.06.2008 bestellen und 25 € Anschlussgebühr sparen!

Ihre Vorteile*

- ✓ Spar-Garantie **bis zu -10%**
- ✓ Flatrate für alle G+J-Mobilportale **0 €**
- ✓ Kein Mindestumsatz **0 €**
- ✓ Keine Anschlussgebühr bis zum 25.06.2008 **25 €**
- ✓ Gratis Rufnummer übernehmen **0 €**
- ✓ Wunsch-Handy aussuchen: z. B. Nokia 6300 **ab 1 €****
- ✓ Keine Versandkosten **0 €**

☒ Ja, ich möchte den mehr-und-fair Tarif ☐ mit Handy Nokia 6300 ☐ ohne Handy

Vorname/Name _____ Geb. **19** _____

Straße/Nr. _____

PLZ _____ Wohnort _____

Telefon _____ E-Mail _____

Wählen Sie Ihr Kundenkennwort (Minimum 6 Zeichen) _____ Bestell-Nr. **4450**

BLZ _____ Kto. _____ Kreditinstitut _____

Datum _____ Unterschrift _____ Personalausweis-/Reisepassnummer _____

Schnell anrufen: 01802 / 00 81 07

Bequem per Internet bestellen: www.mehr-und-fair.de/Tarif

Coupon ausfüllen und per Post an: G+J persönlich | mehr-und-fair | 20080 Hamburg oder per Fax an: 01805/861 8002 (14 Cent/Min. aus dem dt. Festnetz, Mobilfunkpreise können abweichen.)

Arbeitet das Hirn noch richtig? Die Ärzte veranstalten ein Frage-und-Antwort-Spiel

gelassen im Hirn, könnten eine neue Geschwulst wachsen lassen.

Nein, Heese wird niemals alle Zellen des Tumors entfernen können. Aber je besser er arbeitet, desto höher die Chance, wenigstens so viele Stammzellen wie möglich zu töten.

Mathias Heidkamp: immer noch wie im Schlaf. Öffnet ab und zu den Mund und fährt mit der Zunge über die Lippen, wie in großer Ratlosigkeit. Sagt nichts.

„Spüren Sie das?“, fragt Sebastian Payer, er streichelt seinen Arm.

„Nein.“

Stille. Das Gluckern des Saugers verstummt.

Payer sticht mit einer Nadel in Heidkamps Arm.

„Und das?“

„Nein.“

„Gut. Da sind wir an der gefährlichen Stelle“, resigniert Heese. „Dann hören wir jetzt eben auf.“

10.28 Uhr, Oliver Heese hat die Grenze überschritten, einen Millimeter weit. Hoffentlich habe ich die Pyramidenbahn nur gereizt, denkt er. Und nicht geschädigt.

Der Rückzug geht schnell. Ein Loch klafft im Schädel, so groß wie ein Tennis-

haut zunähen wie einen Lederball, anschließend das zweieinhalb Stunden zuvor herausgesägte Schädelknochenstück einpassen und es mit Titanschrauben fixieren.

Um 11.12 Uhr springt Oliver Heese aus dem Stuhl, atmet durch und tippt ein kurzes Protokoll in den Computer. Dann fasst er mit an, als Mathias Heidkamp,

MRT-Kriterien vollständige Resektion“, lautet sein Fazit – äußerlich ist von dem Tumor nichts mehr zu sehen.

Drei Tage später funktioniert Mathias Heidkamps Empfindungssinn wieder, wenn auch nur ganz schwach, an den Fingern, aber immerhin. Ob er jemals wieder Berührungen an Beinen, Armen und auf der Brust der linken Körperseite

11.50 Uhr Heidkamp kann die Arme bewegen – doch die linke Körperhälfte ist noch taub. Heese ist trotzdem zufrieden: Der Tumor bedroht nicht mehr das Leben des Patienten



MEMO | GEHIRN-OP

» **SCHON VOR 7000 JAHREN** bohrten Heiler Löcher in die Köpfe von Menschen.

» **AUF 0,5 MILLIMETER** genau kann ein Chirurg Tumorgewebe entfernen.

» **WÄHREND EINER WACH-OP** ist der Patient bei Bewusstsein; so kann der Chirurg schnell erkennen, wann er auf gesundes Hirngewebe trifft.

» **DIE CHANCE**, einen Hirntumor zu bekommen, liegt bei etwa 1:10 000 pro Jahr.

ball; Heese füllt es mit Kochsalzlösung, später wird Nervenwasser einströmen. Er legt feine Cellulose-Netze auf die Hirnoberfläche, verodet letzte Äderchen, wo sich die Netze rot färben.

Heidkamp bekommt ein wenig Schlafmittel und döst vor sich hin, als Heese und Nils Ole Schmidt die Hirn-

einen Verband um den Kopf, auf ein Bett umgelagert wird. Einen Moment lang hält Heese seine Hand.

„Na, war's so schlimm? Würden Sie es noch einmal machen?“

„Wer weiß“, murmelt Heidkamp.

EINE HALBE STUNDE SPÄTER schaut Oliver Heese auf der Intensivstation vorbei. Sein Patient ist wach und munter. Er kann das Bein strecken und ein Wasserglas umfassen, er ist nicht gelähmt, und er wird wohl auch keine epileptischen Anfälle mehr bekommen. Aber so sehr Heese auch streichelt und kneift, die linke Körperhälfte bleibt taub.

Am Tag danach sieht Heese die neuen Hirnscans und ist zufrieden. „Eine nach

so spüren kann wie rechts, wird sich erst in den kommenden Monaten zeigen.

Die Pathologie schickt die Ergebnisse der Gewebeprobe. Grad III. Der Tumor ist gefährlicher als vor vier Jahren. Der Kampf gegen die letzten verbliebenen Amok-Zellen wird eine Fortsetzung finden. Mit einer neuen Strategie: der Bestrahlung.

Am fünften Tag nach der Operation geht Mathias Heidkamp heim.

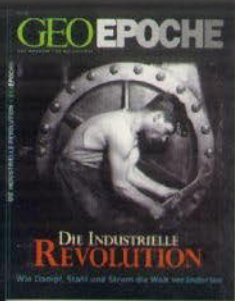
An diesem Tag, einem Montag, operiert Oliver Heese drei neue Patienten. □

Malte Henk, 31, ist GEOkompakt-Redakteur.
Marcus Vogel, 42, arbeitet als Fotograf in Hamburg.

Internet: www.gliomnetzwerk.de (Informationen, Ansprechpartner und Links zum Thema Hirntumor).



GEO berichtet in exklusiven und aktuellen Reportagen über die wichtigen Themen unserer Zeit. Erscheint 12x im Jahr.



GEOEPOCHE ist das Geschichtsmagazin von GEO. Erscheint 6x im Jahr.



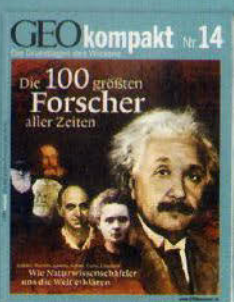
GEOspecial berichtet jeweils über ein Land, eine Region oder eine Stadt. Erscheint 6x im Jahr.



GEOSAISON zeigt die schönsten Reiseziele rund um den Globus. Erscheint 12x im Jahr.



GEOlino ist das Erlebnisheft für Kinder von 8 bis 14 Jahren. Erscheint 12x im Jahr.



GEOkompakt ist monothematisch und widmet sich den großen Fragen der Allgemeinbildung in außergewöhnlicher visueller Opulenz. Erscheint 4x im Jahr.



Gratis!

Bergmann-Uhr »1960«

Mit Qualitäts-Quarzwerk, fluoreszierenden Zeigern und Datumsanzeige. Cremefarbenes Zifferblatt mit aufgesetzten Metall-Stegen. Einzelnummerierung, PU-Lederarmband und gewölbtes Mineralglas. Ø ca. 35 mm.

Lernen Sie jetzt die große GEO-Familie kennen: Sparen Sie bis zu 14% + Geschenk!

Ihre Vorteile:

- Bis zu 14% sparen!
- Bergmann-Uhr gratis!
- Lieferung frei Haus!
- Nach 1 Jahr jederzeit kündbar!
- Geld-zurück-Garantie für zu viel bezahlte Hefte!

Abonnenten-Service Österreich
Tel.: 0820/00 10 85

Geo-Special@abo-service.at

Leser-Service Schweiz

Tel.: 041/329 22 20

Geo-Special@leserservice.ch

Bitte Bestellnummer aus dem
Vorteilsoupon angeben.

Herausgeber: Gruner+Jahr AG & Co KG, Dr. Gerd Brüne,
Am Baumwall 11, 20459 Hamburg, AG Hamburg,
HRB 102257.

Vertrieb: DTPV Deutscher Pressevertrieb GmbH,
In: Graf Conrad, Düsternstr. 1, 20355 Hamburg,
HRB 95 752.

*14 Cent/Min, aus dem deutschen Festnetz, Mobilfunkpreise
sind höher.

GEO-Familienangebot Vorteilsoupon

Ja, ich bestelle die angekreuzten Zeitschriften. Zum Dank für meine Bestellung erhalte ich die **Bergmann Uhr »1960«** nach Zahlungseingang **gratis**. Die Lieferung aller Hefte erfolgt frei Haus. Ich gehe kein Risiko ein, denn ich kann nach einem Jahr jederzeit kündigen. Das Geld für bezahlte, aber nicht gelieferte Ausgaben erhalte ich zurück.

GEO (12 Hefte) für mich, Bestell-Nr. ☐ 586996, als Geschenk ☐ 586997
Erscheint 12x jährlich zum Preis von zzt. € 5,30 (D)/€ 6,- (A)/Fr. 10.50 (CH) pro Heft.

GEOEPOCHE (6 Hefte) für mich, Bestell-Nr. ☐ 587000, als Geschenk ☐ 587001
Erscheint 6x jährlich zum Preis von zzt. € 7,50 (D)/€ 8,15 (A)/Fr. 14.70 (CH) pro Heft.

GEOspecial (6 Hefte) für mich, Bestell-Nr. ☐ 587004, als Geschenk ☐ 587005
Erscheint 6x jährlich zum Preis von zzt. € 6,95 (D)/€ 8,10 (A)/Fr. 13.60 (CH) pro Heft.

GEOSAISON (12 Hefte) für mich, Bestell-Nr. ☐ 586998, als Geschenk ☐ 586999
Erscheint 12x jährlich zum Preis von zzt. € 4,20 (D)/€ 4,90 (A)/Fr. 8.15 (CH) pro Heft.

GEOlino (12 Hefte) für mich, Bestell-Nr. ☐ 587002, als Geschenk ☐ 587003
Erscheint 12x jährlich zum Preis von zzt. € 2,75 (D)/€ 3,05 (A)/Fr. 5.35 (CH) pro Heft.

GEOkompakt (4 Hefte) für mich, Bestell-Nr. ☐ 586994, als Geschenk ☐ 586995
Erscheint 4x jährlich zum Preis von zzt. € 7,25 (D)/€ 8,15 (A)/Fr. 14.20 (CH) pro Heft.

☐ Ja, ich bin damit einverstanden, dass GEO und Gruner+Jahr mich künftig per Telefon oder E-Mail über interessante Angebote informieren.

Widerrufsrecht: Die Bestellung kann ich innerhalb der folgenden zwei Wochen ohne Begründung bei GEOkompakt, Kunden-Service, 20080 Hamburg, in Textform (z. B. Brief oder E-Mail) oder durch Rücksendung der Zeitschrift widerrufen. Zur Fristwahrung genügt die rechtzeitige Absendung.

Datum

Unterschrift

Meine Adresse: (Bitte auf jeden Fall ausfüllen.)

Name

Vorname Geburtsdatum 19

Straße/Nr.

PLZ Wohnort

Telefon-Nr. E-Mail-Adresse

Ich zahle bequem per Bankeinzug:

Bankleitzahl Kontonummer

Geldinstitut

Anschrift des Geschenkkompfängers: (Nur ausfüllen, wenn Sie einen GEO-Titel verschenken möchten.)

Name

Vorname Geburtsdatum 19

Straße/Nr.

PLZ Wohnort

Dauer der Geschenklieferung:

☐ unbefristet (mindestens 1 Jahr) ☐ 1 Jahr



Vorteilsoupon einsenden an:
GEOkompakt, Kunden-Service, 20080 Hamburg



Oder anrufen unter:
01805/861 80 00*



Einfach per E-Mail:
Geokompakt-Service@guj.de

Die Erfindung des Ich

Zu den großen Menschheitsrätseln gehört die Frage, wie etwas rein Materielles – das Gehirn – den menschlichen Geist und eine empfindende, fühlende Persönlichkeit hervorbringen kann. Hirnforscher kommen der Frage, was Bewusstsein ist, wozu es dient und wie es sich evolutionär entwickelt hat, langsam auf die Spur. Und sie wagen erste Hypothesen, welche grundlegende Bedeutung die elektrische Aktivität von Nervenzellen dabei hat

E

Text: Henning Engeln

in sonniger Julitag in Kärnten auf einem Berghang rund 500 Meter über dem Ossiacher See. Die Wiese vor mir fällt steil ab; in den Händen halte ich die Leinen eines Gleitschirms, der hinter mir auf dem Boden liegt. Ich renne los, über das Gras in die Tiefe, reiße an den Leinen, spüre am Widerstand, wie der Schirm hinter mir sich aufwölbt und entfaltet, und fühle, dass er mein Gewicht zu tragen beginnt.

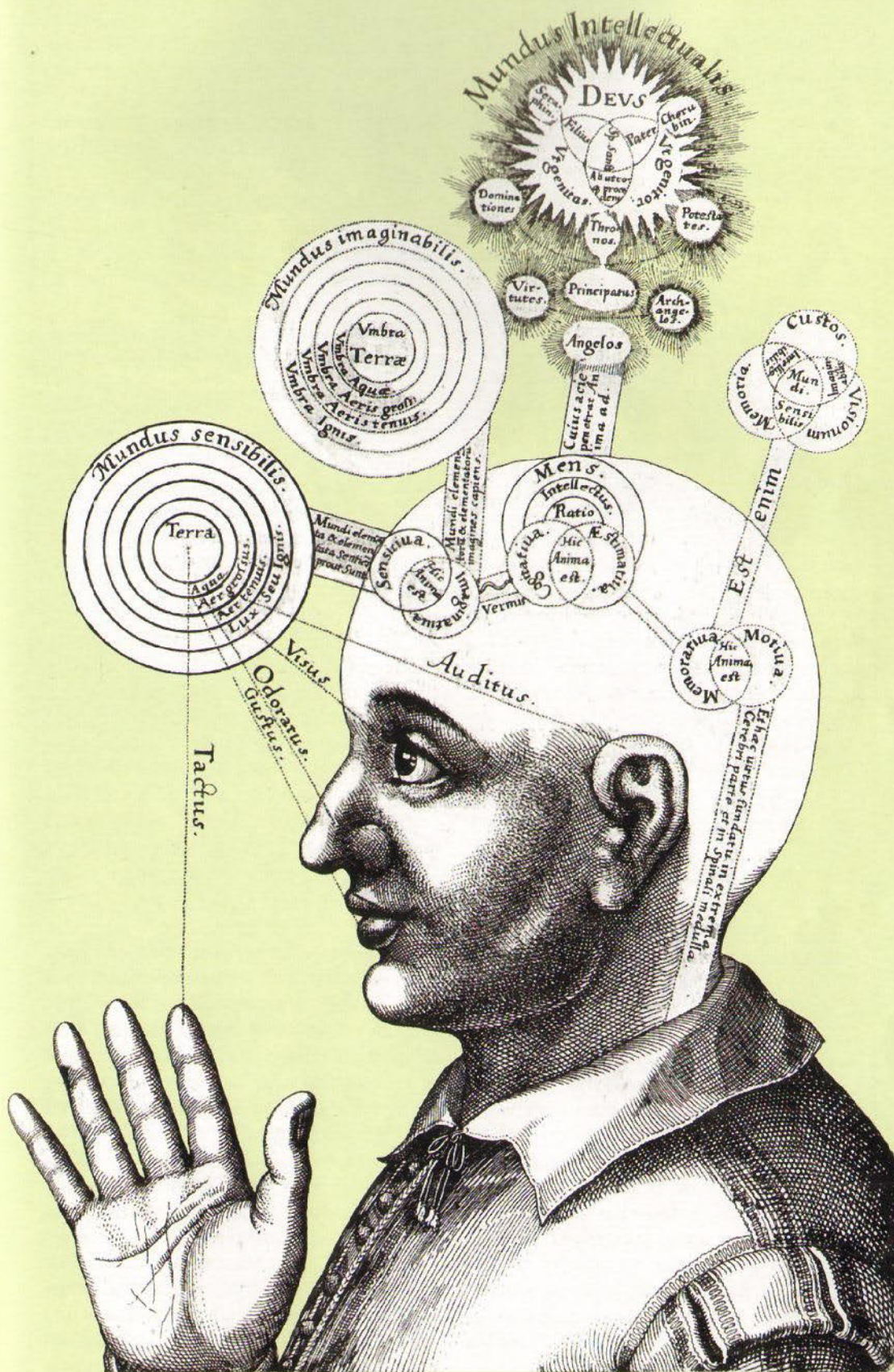
Noch ein, zwei Schritte, dann schwebe ich, gleite über Wiesen, Bäume und ein Bauernhaus hinweg hinaus ins Nichts. Ich fliege.

Der Wind pfeift an meinem Gesicht vorbei, tief unten glitzert der See. Mein erster Gleitschirmflug. Plötzlich schießt ein neues Gefühl ins Bewusstsein: Habe ich die Gurte, die mich tragen, auch fest zugeschnallt?

Eigentlich sollte ich mich jetzt in den bequemen Sitz schieben, der hinter mir hängt. Doch dazu müsste ich mich mit den Händen an den Seilen festhalten und mit einem Ruck hineinhieven. Was aber, wenn der Schirm seine Stabilität verliert und zusammenfällt?

Verkrampft gleite ich vorsichtig kurvend tiefer, erreiche nach mir endlos erscheinender Zeit die Landewiese.

Erfahrungen wie diese nehmen wir viel intensiver wahr als etwa den Büroalltag. Glas-klar und detailliert leuchten Eindrücke und Empfindungen im Bewusstsein auf, überlappen sich zum Teil, wechseln einander ab: der Lufthauch, das Bild der gegenüberliegenden Bergkette, die winzigen Fahrzeuge, Straßen und Häuser in der Tiefe, der Zug der Gurte in der Lendengegend, das Gefühl der Panik, der



Die Welt im Kopf
stellte der englische Philosoph und Arzt Robert Fludd im 17. Jahrhundert in einer Zeichnung dar. Erst die moderne Neurobiologie versucht, Geist und Bewusstsein als Funktion von Nervenzellen zu erklären

*Wie kann
das Feuern von
Nervenzellen
eine Empfin-
dung, etwa die
der Farbe Rot,
erzeugen?*

Gedanke: „An welchem der Seile muss ich ziehen, um Kurven zu fliegen oder abzubremsen und heil hinunter auf den Boden zu gelangen?“

Tief brennt sich das Geschehen in die Erinnerung ein und lässt sich von dort jederzeit wieder ins Bewusstsein rufen.

Aber was ist das eigentlich: das Bewusstsein – dieser besondere Geisteszustand, mit dem wir Eindrücke, Gedanken und Erinnerungen empfinden?

Es ist das wohl komplexeste Phänomen, das Wissenschaftler und Philosophen je zu begreifen versucht haben. Und es ist eines der drei elementaren Rätsel, welche die Menschheit beschäftigen – neben den Fragen nach dem Ursprung des Universums sowie des Lebens.

Niemand hat bislang den Sitz des Bewusstseins im Gehirn orten können – oder gar zu durchschauen vermocht, wie es zustande kommt. Für die einen ist es nicht mehr als das Ergebnis elektrisch miteinander kommunizierender Nervenzellen – für die anderen dagegen eine Manifestation der Seele: etwas Geistiges, das losgelöst von allem Körperlichen existiert und damit sogar den Tod überdauern kann. Es ist geheimnisvoll, flüchtig und ungemein schwer zu untersuchen.

Schon der Versuch, das Bewusstsein zu definieren, löst unter Wissenschaftlern Streit aus. Dennoch ist sich jeder Mensch sicher, dass er eines hat – wenn auch jedem nur das eigene Bewusstsein zugänglich ist. „Ich trage in meiner Seele eine Blume, die niemand pflücken kann“, hat es der französische Schriftsteller Victor Hugo formuliert. Nur ich kann beschreiben, was ich wahrnehme, denke, fühle.

Ob ich im Sommer durch einen Nadelwald spaziere, dabei das tiefe Grün der Fichten, den Duft nach Erde, Moos und Harz wahrnehme, ob ich mich im Tanzkurs ganz auf die Bewegungen meines Körpers konzentriere oder einem schwierigen Vortrag über Quantenphysik lausche: Für all das ist Bewusstsein nötig.

Doch es kann immer nur wenige – Forscher sagen bis zu sieben – Informationen gleichzeitig aufnehmen (etwa eine Ziffer, einen Namen, ein gesehenes Objekt). Wie ein Suchscheinwerfer, der über eine Landschaft wandert, erfasst es aus jenen mehreren Millionen Bits an Informationen, die Sekunde für Sekunde über Augen, Ohren, Geruchs- und Tastsinn oder

auch die Sensoren des Körperinneren ins Gehirn strömen, eine kleine Auswahl und macht sie mir zugänglich. Holt beispielsweise Erinnerungen aus den Tiefen der **Großhirnrinde***. Oder lädt Gedanken. Und ermöglicht sogar, beide miteinander zu verknüpfen.

Für viele Vorgänge des Alltags brauche ich mein Bewusstsein gar nicht, die kann ich automatisch erledigen, fast wie ein Roboter. Ich ziehe mich an, frühstücke und fahre mit dem Auto zur Arbeit, ohne einen Gedanken an Straßen, Ampeln, Lenkung oder Bremspedale zu verschwenden. Währenddessen ist mein Kopf frei für anderes, etwa die Planung des Tages.

Das Bewusstsein ist wichtig für das Neue, das Schwierige – für das, was mich gerade am meisten interessiert und beschäftigt. Hirnforscher gehen davon aus, dass es Nervenzellen sind, die dieses Phänomen hervorbringen. Doch wie sie es tun, das ist bislang ein Rätsel.

Noch viel seltsamer: Offenbar kann dieses Geflecht von Neuronen, können die von ihnen erzeugten elektrischen Impulse in mir eine subjektive Empfindung und das Bewusstsein meiner selbst erzeugen. Ich sehe die Farbe Rot, ich fühle den Schmerz des Verlassenseins, ich lausche einer Symphonie von Beethoven.

Doch wie kann ein rein physisches System – das Gehirn – solche subjektiv erlebten elementaren Gefühle und Empfindungen, sogenannte Qualia, hervorbringen? Qualia stehen im Zentrum des Leib-Seele-Problems. Sie sind für die Forscher die womöglich größte Herausforderung.

Die Frage, was Bewusstsein und Geist sind, hat die Menschen fasziniert, seit es die Wissenschaften gibt. Der Grieche Platon glaubte an eine unsterbliche Seele, die im vergänglichen Körper gefangen ist. Für ihn gab es eine unabhängig vom Menschen existierende Welt der Ideen, die für ihn „das wahrhaft Seiende“ ist. So vermochte er etwa zu erklären, weshalb alle Menschen die gleiche Vorstellung von der Farbe Rot haben – weil diese nämlich als Idee unabhängig von menschlichen Sinneswahrnehmungen existiere.

Auch im Christentum steht eine unsterbliche Seele im Zentrum des Bewusstseins, ebenso in anderen Religionen. Seele, Geist und Bewusstsein sind demnach unabhängig von der materiellen Welt des Körpers. Mit diesem



Auch Schimpansen besitzen ein Selbst-Bewusstsein. Möglicherweise hat sich das Phänomen entwickelt, damit sich ein Tier in seine Artgenossen hineinversetzen und das Verhalten eines Gruppenmitglieds voraussehen kann

Dualismus – der Existenz einer materiellen und einer geistigen Welt – hat sich vor allem der französische Philosoph René Descartes im 17. Jahrhundert befasst.

Er kam zu dem Schluss, dass es zum einen eine entseelte, versachlichte Natur gebe, die sich mit mathematischer Exaktheit vermessen, berechnen und beherrschen lasse.

Ihr gegenüber stehe die Welt des Geistes, die dem Menschenverstand verschlossen bleibe. Das Gehirn sei Teil der materiellen, die Seele dagegen Teil der nichtstofflichen Welt.

Descartes glaubte sogar zu wissen, wo beide miteinander verbunden sind: in der Zirbeldrüse, einer kirschkerngroßen Ausbuchtung des **Zwischenhirns**.

Bis weit ins 20. Jahrhundert wurde die Frage nach dem Bewusstsein von dieser Leib-Seele-Debatte beherrscht, und Philosophen stritten lange darüber, ob sich bewusste Erfahrungen überhaupt mit den Begriffen der Hirnforschung erklären ließen. Erst in den vergangenen zwei Jahrzehnten setzte sich die Ansicht durch, dass das Bewusstsein mit naturwissenschaftlichen Methoden erforschbar ist.

Doch nach wie vor streiten die Wissenschaftler darüber, was unter „Bewusstsein“ überhaupt zu verstehen ist.

Ist es ein reiner Informationsverarbeitungsprozess, wie der Bremer Forscher Andreas Kreiter meint? Das subjektive „Erscheinen einer Welt“, wie es der Philosoph Thomas Metzinger beschreibt? Etwas, das sich nur in der Sprache der formalen Logik exakt definieren und im

Experiment zum Beispiel als die Fähigkeit messen lässt, Lichtpunkte zu identifizieren – wie der Münchner Neuropsychologe Reinhard Werth sagt? Oder sind es „alle Zustände, die von einem Individuum subjektiv erlebt werden“, so der Bremer Hirnforscher Gerhard Roth?

Welcher Definition auch immer man folgen mag: Einig sind die Wissenschaftler zumindest darin, dass bestimmte Phänomene mit dem Bewusstsein zusammenhängen – zum Beispiel die **Aufmerksamkeit**.

Sie dient im Hirn dazu, aus dem Datenstrom das jeweils Relevanteste auszuwählen, etwa aus einer Szene das wichtigste Objekt.

Das **Selbst-Bewusstsein** wiederum ermöglicht es einem Menschen, sich als eigene Person, als Subjekt der eigenen Gedanken wahrzunehmen – als Individuum, das sich von anderen unterscheidet.

Das **Ich-Gefühl** schließlich umfasst mehrere Bewusstseinszustände. Etwa: Gefühl des Körpers („Dies ist mein Körper“), Bedürfnisse und Emotionen („Ich habe Hunger“), Denken, Vorstellen und Erinnern („Ich erinnere mich an ein aufregendes Ereignis während meiner letzten Urlaubsreise“).

Wann aber hat die Evolution das Bewusstsein „erfunden“? Was für Überlebensvorteile bietet es? Welche Tiere verfügen beispielsweise über so etwas wie Selbst-Bewusstsein?

Gemeinsam mit seiner Frau Ursula Dicke geht Gerhard Roth dieser Frage nach. Da Tiere

Erblickt ein Frosch

ein unbekanntes Beutetier, schnappt er nicht sofort zu, sondern beäugt es genau, wägt ab und entscheidet dann, ob er es frisst. Forscher sehen in diesem Verhalten einen Ausdruck von Bewusstsein



sich nicht mit Worten mitteilen können, versuchen die Wissenschaftler, aus deren Verhalten Schlüsse zu ziehen, und greifen dazu auf Erfahrungen am Menschen zurück.

„Um etwa einen Faden durch ein kleines Nadelöhr zu fädeln, braucht man Konzentration; das geht nicht unbewusst“, sagt Gerhard Roth. „Alles, was neu und kompliziert ist, erfordert Bewusstsein beim Menschen: neue Probleme zu lösen, nicht eingeübte, komplizierte Dinge zu tun, neue Sätze zu verstehen, neue Gesichter zu erkennen.“

Entsprechend können Forscher Tiere, etwa Affen oder Ratten, in Experimenten vor Aufgaben stellen, von denen sie wissen, dass ein Mensch sie nur mit bewusster Aufmerksamkeit lösen kann – etwa aus einem komplizierten Labyrinth herauszufinden.

Anhand solcher Versuche lassen sich Tiere hinsichtlich ihrer Bewusstseinsentwicklung einstufen. Dem Menschen relativ nahe kommen die großen Affen, vor allem die Schimpansen. Zu den kleineren Affen gibt es dann schon einen großen Unterschied – und eine weitere Abstufung zu den meisten übrigen Säugetieren.

Die wiederum unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Bewusstseinsfähigkeit von Reptilien, Amphibien und Fischen. Doch selbst diese besitzen offenbar eine primitive Form von Bewusstsein.

So jedenfalls deuten die Forscher das Verhalten der Tiere. Roth erläutert es an einem Beispiel: „Wenn man einen Frosch nimmt, der gewohnt ist, Grillen zu fressen, und ihm diese Nahrung gibt, dann schnappt er sofort zu. Bietet man ihm jedoch eine völlig unbekannte Nahrung an, etwa einen Mehlwurm, dann stutzt er. Er geht etwas zurück, sieht auf die eine Seite, dann auf die andere, zögert, schaut hin und her. Eindeutig wird in ihm die Frage erwogen: ‚Soll ich zuschnappen oder nicht?‘ Manche gehen dann weg, andere greifen nach langem Zögern zu. Und das ist ein Verhalten, das genau so bei allen Tieren abläuft, die mit etwas Ungewohntem konfrontiert werden und nicht wissen, was sie tun sollen.“

Zweifellos hat die Fähigkeit, Bewusstsein auszuprägen, im Verlauf der Evolution mit wachsender Größe und Komplexität der Gehirne zugenommen. Doch gibt es auch Tiere, die über etwas so typisch Menschliches wie

Selbst-Bewusstsein verfügen – die wissen, dass sie ein unverwechselbares Individuum sind?

Um das herauszufinden, verwenden Biologen einen Test, der zeigt, ob sich ein Wesen im Spiegel erkennt oder nicht. Sie kennzeichnen ein Versuchstier, indem sie ihm unbemerkt einen roten Fleck auf die Stirn malen. Dann beobachten sie, was geschieht, wenn das Tier in den Spiegel schaut.

Ein Wesen, das dort nur ein weiteres Individuum seiner Art wahrnimmt, wird sich um den Fleck auf dessen Stirn nicht kümmern oder versuchen, nach dem Spiegelbild zu greifen. Ein Tier jedoch, das sich selbst wahrnimmt, erkennt das Rot auf der eigenen Stirn und reagiert entsprechend darauf – greift sich zum Beispiel an den Kopf, um den Fleck zu untersuchen oder zu entfernen.

Die meisten Tiere, so das Ergebnis, erkennen sich nicht im Spiegel – weder Hunde noch Katzen, noch kleinere Affenarten. Schimpansen dagegen nehmen sich sehr wohl wahr, ebenso Wale, Delfine, Elefanten, Raben und Papageien.

Die erstaunlichen geistigen Fähigkeiten mancher Vogelarten haben Forscher erst in den vergangenen Jahren entdeckt. Dass diese Tiere fast so intelligent sind wie Schimpansen und ebenfalls ein „Ich-Bewusstsein“ besitzen, verblüfft die Wissenschaftler.

Dies erscheint auch deshalb so rätselhaft, weil die Vögel einem eigenen evolutionären Weg gefolgt sind – die Hirnstrukturen für die höheren geistigen Fähigkeiten haben sich bei ihnen offensichtlich aus anderen Hirnregionen entwickelt als bei Säugetieren.

„Sehr wahrscheinlich ist Bewusstsein mehrfach unabhängig voneinander im Tierreich entstanden“, folgert Roth. Der anatomische Bau jenes Hirnteils, mit dem die Vögel „denken“, ist anders konstruiert als jener der Großhirnrinde bei Säugetieren.

Das bedeutet: Es muss handfeste Gründe dafür gegeben haben, dass die Evolution das Merkmal Selbst-Bewusstsein wiederholt hervorgebracht hat.

Welchen Überlebensvorteil die Ausbildung des Bewusstseins mit sich gebracht haben könnte, versucht der Soziobiologe Eckart Voland von der Universität Gießen herauszufinden. Für Voland ist Evolution ein durch

Um Tiere zu testen, stellen Forscher sie vor Aufgaben, die ein Mensch nur mit bewusster Aufmerksamkeit lösen kann



Den Sitz der Seele verortete der französische Philosoph René Descartes 1649 in der Zirbeldrüse. Hier sei der Geist mit dem Körper verbunden (Zeichnung von 1664)

**Die Intelligenz
ist im
Stirnlappen
verankert,
hier fallen
die rationalen
Entscheidungen**

und durch ökonomischer Prozess, in dem es darum geht, mit möglichst geringem Aufwand maximalen Vorteil zu erzielen.

Volands Hypothese: Tiere, die in einer Gruppe leben, müssen wissen, wie sich die anderen Mitglieder dieser Gruppe verhalten werden. Die Fähigkeit, sich in andere hineinzuversetzen („Mind reading“), macht deren Verhalten berechenbar und ist somit nützlich für ein einzelnes Tier.

Denn wenn ein Lebewesen eine Vorstellung davon hat, dass seine Artgenossen Individuen mit eigenen Plänen und Wünschen sind, kann es sich in deren Lage versetzen und überlegen, was es in ihrer Situation wohl tun würde. Es kann abschätzen, wer ihm schaden könnte.

Das geht aber nur, wenn ein Tier die Vorstellung eines „Ich“ besitzt.

So also könnte das Selbst-Bewusstsein entstanden sein: als Fähigkeit, sich in die Artgenossen hineinzudenken – und damit als Überlebensvorteil.

Wenn zum Beispiel das Alphatier in einer Schimpansengruppe ahnt, dass ein Konkurrent sich mit einem schwächeren Gruppenmitglied verbünden will, um den Chef zu entmachten, kann es selbst die Initiative ergreifen und den Konkurrenten vertreiben. Das hilft, die eigene Vormachtstellung zu festigen, erfolgreich Nachwuchs zu zeugen und so die eigenen Gene zu verbreiten.

„Erkenne deinen Artgenossen!“ wäre demnach der Grund dafür, dass sich ein „Ich“ entwickelt hat. Erst nachdem sich dieses Bewusstsein für andere entwickelt hatte, so nimmt Voland an, begann es sich auch auf das Individuum selbst zu richten.

„Erkenne dich selbst!“ – quasi ein Abfallprodukt der Evolution.

Weil sich das Selbst-Bewusstsein auf ganz unterschiedliche Bewusstseinszustände beziehen kann – etwa das Körperbewusstsein, das sprachliche, das handelnde oder das erlebende Bewusstsein („Ich spüre mich, rede, handle oder erlebe etwas“) –, nimmt Gerhard Roth an, dass das „Ich“ gar keine einheitliche Instanz ist.

Vielmehr hefte sich das „Ich“-Gefühl an verschiedene Bewusstseinsformen an, nach dem Motto: „Ich bin es, der dies oder jenes gerade denkt, fühlt, ausführt“, und werde vor

allem durch das autobiografische Gedächtnis erzeugt. Wichtig sei dabei auch der Umgang mit unseren Eltern, Familienangehörigen, Freunden, Bekannten und Kollegen, die uns als ungeteilte Einheit, als Individuum behandeln und anreden. Daher, so Roth, sei die Einheit „Ich“ auch etwas Erlerntes.

Es gibt Menschen mit Hirnschädigungen im **Scheitellappen**, deren Verletzung dazu führt, dass die Betroffenen keine Körperempfindungen mehr haben und sich wie Geister fühlen: Ihnen ist die körperliche Ich-Identität abhandengekommen.

Etwas Ähnliches können gesunde Menschen bei bestimmten Formen der Meditation erleben: Ihr „Ich“ verschwindet, und sie fühlen sich eins mit dem Universum.

Hirnforscher nennen dieses Phänomen „ozeanische Entgrenzung“, und sie konnten messen, dass während einer solchen Meditation die elektrische Aktivität im Scheitellappen vermindert ist.

Genauer festlegen lässt sich allerdings nicht, wo dieses körperliche „Ich“ sitzt – genauso wenig wie das übrige Bewusstsein. Fest steht nur, dass es die Großhirnrinde ist, die das Phänomen hervorbringt. Das kann allerdings an verschiedenen Stellen geschehen.

Am **Hinterhauptslappen** etwa gibt es Bereiche, welche die vom Auge kommenden Sinnesreize verarbeiten. Und in ihnen findet offenbar auch das bewusste Sehen statt (siehe Seite 34).

Teile des **Schläfenlappens** wiederum dienen dem Hören sowie der Sprachwahrnehmung: Hier werden uns Klänge und Worte bewusst. Im Scheitellappen wiederum erfährt der Mensch ein Gefühl seines Körpers.

Doch am wichtigsten ist der **Stirnlappen**: Hier kreisen die Gedanken, hier befindet sich das sogenannte „Arbeitsgedächtnis“ (siehe Seite 61). Es enthält alles, was ein Mensch gerade erlebt, worüber er nachdenkt, woran er sich erinnert, und es verbindet vermutlich die verschiedenen Bewusstseinsinhalte.

Auch die Intelligenz ist im Stirnlappen verankert, und hier fallen die rationalen Entscheidungen – nicht aber die emotionalen.

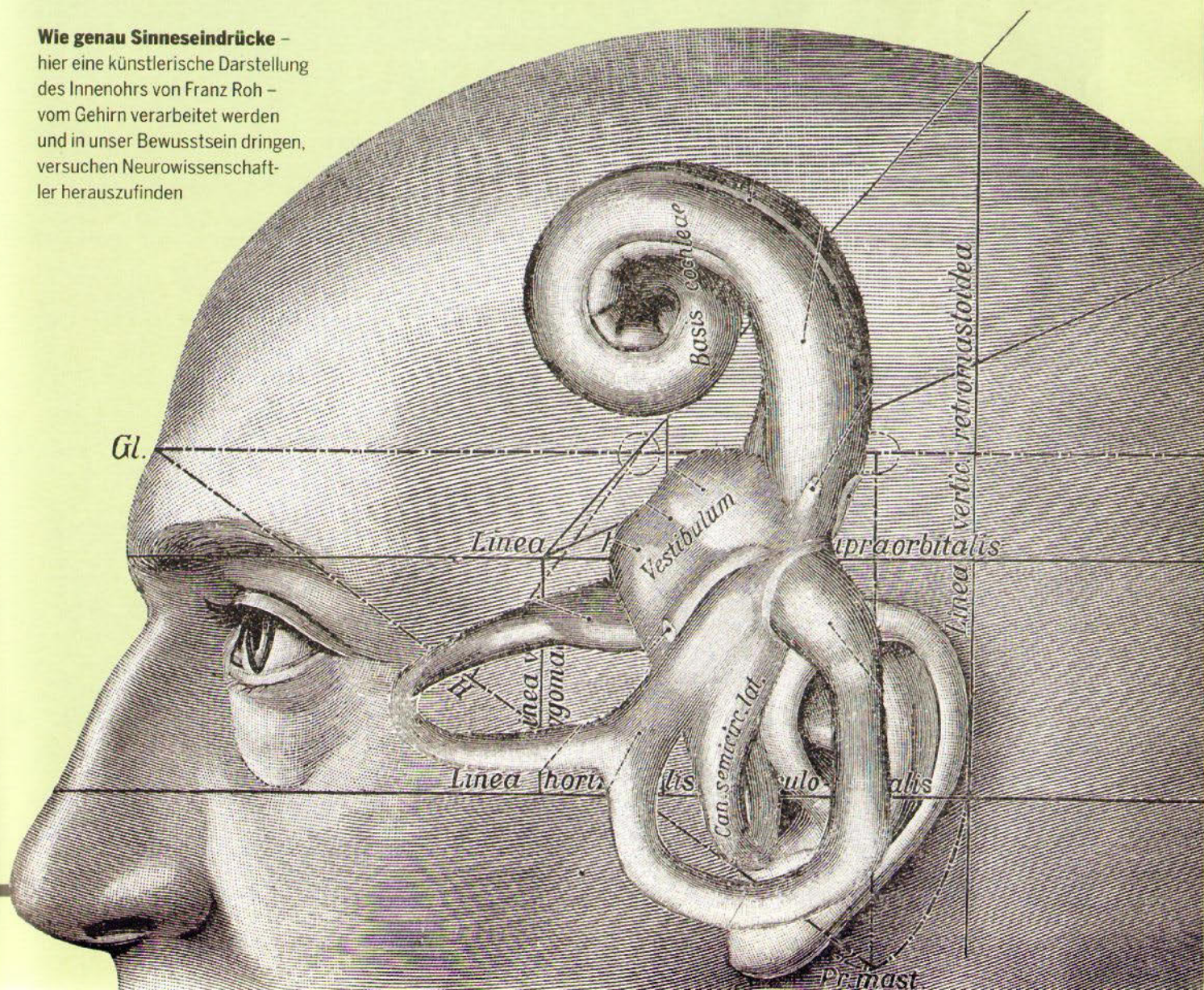
Das Bewusstsein lässt sich also nicht einem bestimmten Teil des Gehirns zuordnen, es kann vielmehr in verschiedenen Arealen

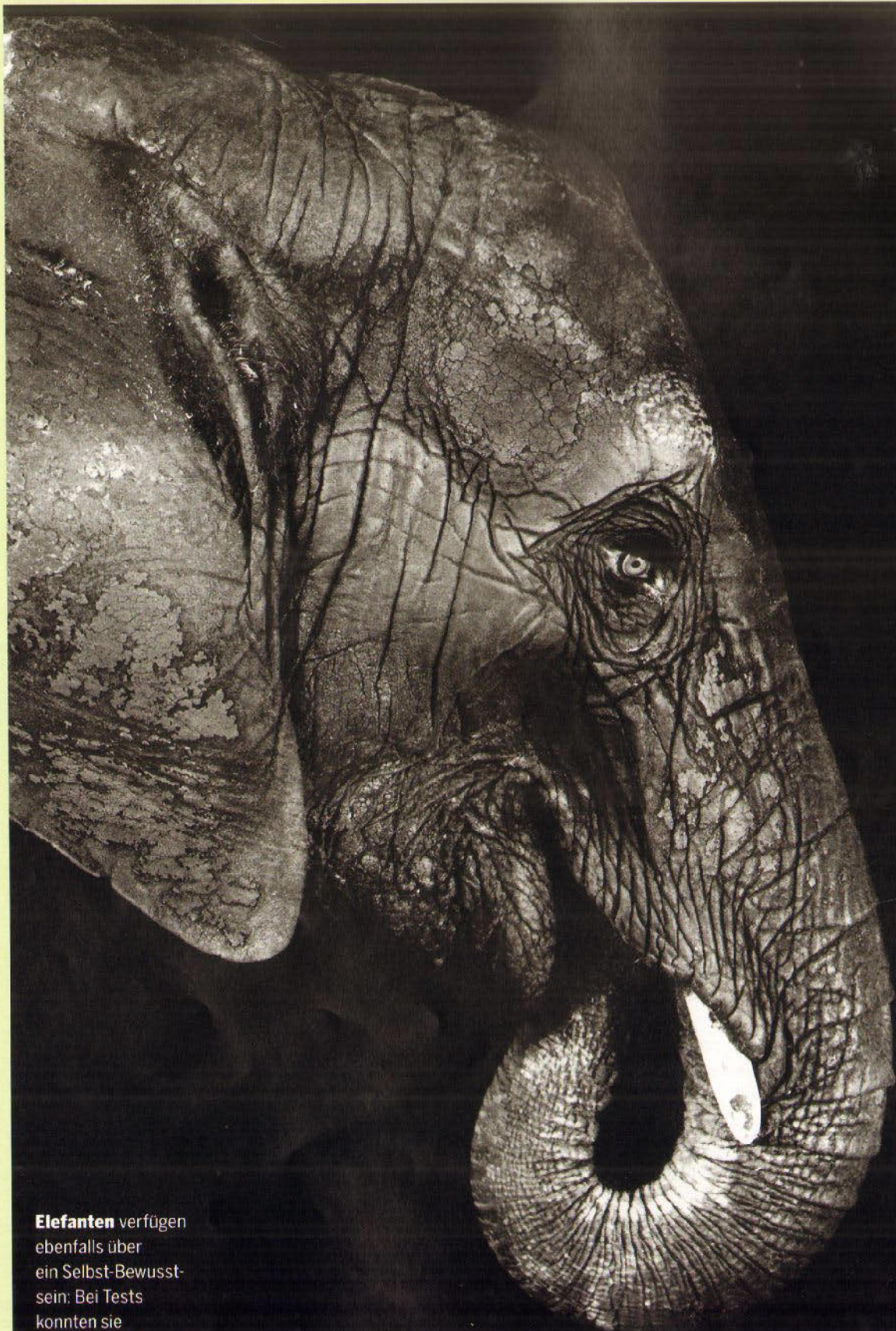
Wie aber lässt sich ein derart wenig greifbares Phänomen wie das Bewusstsein untersuchen? Andreas Kreiter vom Institut für Hirnforschung der Universität Bremen beschränkt sich auf den Teilaspekt „Aufmerksamkeit“ und erforscht diese am Sehsystem von Makaken.

An dieser Reaktion können die Wissenschaftler erkennen, dass der Affe das Objekt tatsächlich beobachtet hat.

Am Hinterkopf des Makaken – dort, wo die **Sehrinde** sitzt – bringen die Forscher nun Elektroden in jenem Bereich an, in dem der Affe die Information des gesehenen Objekts verarbeitet. Nun können sie verfolgen, wie die Neurone reagieren, wenn er seine Aufmerksamkeit auf die gezeigte Figur richtet.

Wie genau Sinneseindrücke – hier eine künstlerische Darstellung des Innenohrs von Franz Roh – vom Gehirn verarbeitet werden und in unser Bewusstsein dringen, versuchen Neurowissenschaftler herauszufinden





Elefanten verfügen ebenfalls über ein Selbst-Bewusstsein: Bei Tests konnten sie sich im Spiegel erkennen

Das Ergebnis: Wenn sich das Auge auf ein Objekt konzentriert, senden die an der Verarbeitung beteiligten Neurone elektrische Impulse mit einer Frequenz von 50 bis 90 Hertz aus – und zwar auf Millisekunden genau synchron.

Aufmerksamkeit spiegelt sich also offenbar darin wider, dass sich Nervenzellen zu Netzen verbinden und dabei im Takt arbeiten.

Andreas Kreiter sieht in der Tätigkeit des Gehirns vor allem einen Prozess der Informationsverarbeitung. Welche Funktion die Aufmerksamkeit dabei hat, erklärt der Hirnforscher so: „Wir haben ein inneres Modell dessen, was da draußen los ist. Und die Aufmerksamkeit hilft uns, jene Informationen der Sinnesorgane herauszufiltern, die wir brauchen, um das innere Modell upzudaten.“

Das bedeutet: Unser Gehirn macht es sich quasi so einfach wie möglich. Es bastelt aus den Eindrücken der Sinnesorgane und der Erinnerung ein Bild – ein Modell – der Außenwelt. Wir glauben in jedem Augenblick, die komplette äußere Szenerie zu sehen, doch in Wirklichkeit ist es überwiegend dieses abgespeicherte Modell. Aktualisiert werden dann vor allem jene Eindrücke, auf denen die Aufmerksamkeit ruht.

Es kann zum Beispiel geschehen, dass wir einen guten Bekannten treffen, uns mit ihm längere Zeit unterhalten und nichts Auffälliges bemerken. Vielleicht haben wir unterschwellig das Gefühl, irgendetwas ist anders an ihm, aber es wird nicht deutlich. Erst wenn wir unsere Aufmerksamkeit bewusst auf das Gesicht richten, fällt uns plötzlich auf: Er hat seinen Schnauzbart rasiert.

Das scheinbar unveränderte Gesicht, das wir zu sehen glaubten, während wir uns mit ihm unterhielten, war weitestgehend eine Reproduktion unseres Gedächtnisses. Erst nachdem wir die Konzentration auf das Gesicht vor uns gelenkt und das Bild aktualisiert haben, vermochten wir die Veränderung zu bemerken.

Wir können sogar komplette Objekte in Szenen übersehen, wenn sich unsere Aufmerksamkeit auf etwas Bestimmtes konzentriert. Das hat der amerikanische Psychologe Daniel Simons mit einem verblüffenden Experiment nachgewiesen.

Er zeigte Versuchspersonen eine Videoaufnahme, in der drei schwarz gekleidete Sportler

gegen drei weiß gekleidete Basketball spielten, und bat die Betrachter zu zählen, wie viele Pässe die Mitglieder der weißen Mannschaft einander zuspielten. Anschließend fragte er die Probanden, ob ihnen noch irgendetwas Ungewöhnliches in dem Film aufgefallen sei. Die meisten verneinten.

Dabei hatten sie etwas übersehen: Auf der einen Seite des Spielfelds betrat plötzlich ein Mensch in einem schwarzen Gorillakostüm das Feld, mischte sich unter die Basketballspieler, trommelte sich auf die Brust und verschwand auf der anderen Seite.

„Wenn wir unsere Aufmerksamkeit stark genug auf etwas konzentrieren, können uns Teile der restlichen Wirklichkeit komplett abhandeln“, kommentiert Andreas Kreiter diesen Versuch. Subjektiv aber haben wir immer das Gefühl, das Geschehen vollständig wahrgenommen zu haben. Das hat dazu geführt, dass manche Versuchsteilnehmer nach einer erneuten Vorführung des Basketball-Videos mit dem Gorilla schlicht abstritten, diesen Film jemals zuvor gesehen zu haben.

Auf welche Weise aber fokussiert sich die Aufmerksamkeit auf ein Detail und rückt es in den Brennpunkt des Bewusstseins?

Die Untersuchungen von Andreas Kreiter zeigen, dass dieser Vorgang an die elektrischen Aktivitäten bestimmter Nervenzellgruppen gekoppelt ist: Sie schließen sich zusammen, feuern im Takt und erzeugen so stärkere Signale, die das fokussierte Objekt gegenüber anderen hervorheben.

Liegt in einer solchen Synchronisation womöglich das Geheimnis des Bewusstseins?

Ja, glaubt Wolf Singer, Direktor am Max-Planck-Institut für Hirnforschung in Frankfurt am Main und einer der renommiertesten Neurowissenschaftler Europas.

„Ins Bewusstsein gelangt nur das, worauf die Aufmerksamkeit liegt“, sagt Singer. Die Inhalte würden im Kurzzeitspeicher des Gehirns, dem Arbeitsgedächtnis, abgelegt und seien so für eine gewisse Zeit verfügbar.

Der Hirnforscher und seine Kollegen haben sich ein Experiment ausgedacht, um bewusste Wahrnehmung von unbewusster zu unterscheiden und so die Gehirnaktivität bewusster Prozesse besser zu verstehen. Sie

Wer die Aufmerksamkeit bewusst auf ein Detail richtet, kann sogar einen Gorilla übersehen

**Bewusstsein
ist wie ein
Orchester, in
dem Neurone
zusammen-
spielen. Aber
wer ist der
Dirigent?**

zeigen den Versuchspersonen auf einem Bildschirm Namen von Tieren und kurz darauf sogenannte „Rauschmuster“.

Wenige Sekunden später sehen die Probanden ein weiteres Wort und müssen entscheiden, ob die beiden Worte identisch oder verschieden waren. Mal reicht die Zeit, um das erste Wort zu erkennen, also bewusst wahrzunehmen, mal nicht. Im zweiten Fall müssen die Testpersonen raten.

Die Forscher können anhand der Reaktionszeiten nachweisen, dass die Begriffe in beiden Fällen vom Gehirn bearbeitet und richtig entschlüsselt werden. Gelangen sie jedoch ins Bewusstsein, offenbart sich in den Hirnstromkurven (**Elektroenzephalogrammen**) ein Unterschied.

Dann nämlich zeigt sich etwa 200 Millisekunden nach der Präsentation des ersten Wortes ein besonderes Muster über den verschiedenen Arealen der Großhirnrinde: Die sogenannten **Gamma-Oszillationen** – elektrische Schwingungen mit einer Frequenz zwischen 40 und 60 Hertz –, die bei der Reizverarbeitung auftreten, synchronisieren sich mit großer Präzision über weite Bereiche der Großhirnrinde. Dies deuten Singer und Kollegen als notwendige Voraussetzung einer bewussten Verarbeitung.

Synchrone Oszillationen entstehen, wenn Nervenzellen im Gleichtakt feuern. Und genau hierin, so Wolf Singer, liege ein möglicher Zusammenhang mit dem Phänomen Bewusstsein.

Ständig sind fast alle Neurone des Gehirns aktiv. Es ist ein permanentes Durcheinander von Feuern und kurzer Ruhepause. Doch wenn eine größere Anzahl von Neuronen, verteilt über weite Hirnareale, ihre elektrischen Aktivitäten aufeinander abstimmt – sie sich also synchronisieren –, dann ergeben die Summen ihrer elektrischen Aktivitäten ein kohärentes (zusammenhängendes) Muster.

Es ist, als ob sich viele kleine Wellen auf dem Ozean überlagern und zu Riesenwellen aufschaukeln.

Der Amerikaner John Ratey, Professor für Psychiatrie, vergleicht das Bewusstsein mit einem Symphonieorchester – und die Nervenzellen mit dessen Musikern.

Bei der normalen, nicht bewussten Arbeit des Gehirns stimmen die Instrumentalisten auf der Bühne ihre Geigen, Flöten, Pauken und tönen durcheinander.

Erst wenn der Dirigent ans Pult klopft, werden alle aufmerksam und beginnen im Takt zu spielen. Plötzlich erzeugen sie Klänge, die sich wunderbar zusammenfügen, und ein harmonisches Werk entsteht.

Stürzen wir auf unseren Kopf, purzelt das ganze Orchester durcheinander: Wir verlieren das Bewusstsein.

Sind die Musiker gar verletzt – etwa durch einen schweren Schlag auf den Kopf oder eine Alkoholvergiftung –, ist das Konzert unterbrochen und kann erst weitergehen, wenn sie genesen sind.

Schlafen wir, bilden die Nervenzellen zwar auch Koalitionen, aber sie schwingen viel langsamer und bilden weniger fein strukturierte Muster, die nicht bewusst werden. Nur in Traumphasen ähneln die jetzt selbst erzeugten Muster denen, die im wachen Gehirn mit bewusster Wahrnehmung einhergehen.

Wer aber ist der Dirigent des Bewusstseins?

Das ist die große Frage. Eine Art Taktgeber haben die Hirnforscher schon gefunden: Bestimmte Neuronennetze in der Großhirnrinde können in ganz bestimmten Frequenzen schwingen. Sie geben den Takt vor, und dann organisiert sich das Orchester selbst.

Setzt sich beispielsweise ein visueller Reiz durch, der unsere Aufmerksamkeit erregt, dominieren, um im Bild zu bleiben, die Geigen das Geschehen. Drängt dagegen ein Gedanke ins Bewusstsein, so haben die Posaunen die Oberhand.

Die Musiker konkurrieren untereinander, und eine bestimmte Gruppe setzt sich jeweils für eine gewisse Zeit durch und übernimmt die Hauptstimme – also unser Bewusstsein.

MEMO | BEWUSSTSEIN

» **BEWUSSTSEIN ENTSTEHT**, so eine Theorie, wenn Nervenzellen im Großhirn sich zusammenschließen und im Gleichtakt feuern.

» **SELBST EINFACHE WIRBELTIERE** könnten primitives Bewusstsein haben.

» **AUCH PAPAGEIEN, ELEFANTEN** und Delfine besitzen wie Menschen ein Selbst-Bewusstsein.

» **WIE SUBJEKTIVES ERLEBEN** im Gehirn entsteht, ist noch ungeklärt.

Und weil sich überall in der Großhirnrinde solche Netze von Nervenzellen zusammenschließen und zu einem Konzert synchronisieren können, ist das Bewusstsein nicht an ein bestimmtes Areal im Gehirn gebunden. Deshalb ist es so flüchtig, kann im Schlaf einfach abgeschaltet werden oder durch einen Boxschlag vorübergehend verschwinden.

So erklärt sich auch die Wirkung von Narkosemitteln: Sie setzen sich an die Membranen von Nervenzellen und vermindern deren Aktivität. Die Neurone können dann nicht mehr stabil, synchron aktive Verbände bilden.

Ähnlich wie Wolf Singer vermutet auch der US-Hirnforscher Christof Koch, dass Bewusstsein dann entsteht, wenn sich Nervenzellen zu Netzen zusammenschließen und ihre elektrischen Aktivitäten synchronisieren.

Im Unterschied zu Singer nimmt er jedoch an, dass sich für jedes spezielle Bewusstseins-Erlebnis nur *bestimmte*, einzigartige Gruppierungen von Neuronen synchronisieren. Sie liegen, glaubt Koch, vor allem in den oberen Schichten der Großhirnrinde.

Koch nennt diese Zellverbände „neuronale Korrelate des Bewusstseins“ und ist schon seit vielen Jahren auf der Suche nach ihnen.

Doch bislang ist ihre Existenz eine reine Hypothese.

Zwar können die Vorstellungen von Koch und Singer manche Eigenschaften des Bewusstseins erklären – beispielsweise, weshalb es nicht zu lokalisieren ist und in der Nacht oder bei Narkosen vorübergehend verschwinden kann –, es bleiben jedoch Vermutungen.

Bis heute vermag kein Forscher genau zu sagen, was Bewusstsein ist und wie es funktioniert.

Vor allem die Frage nach den Qualia – weshalb sich unsere Empfindungen für uns so anfühlen, wie sie sich anfühlen – bleibt ein Rätsel. Manche Wissenschaftler vermuten deshalb, dass sich das Problem niemals wird lösen lassen, weil es die Grenzen unserer Erkenntnis grundsätzlich übersteigt.

Nur in einem sind sich die Hirnforscher einig: Bewusstsein ist an ein funktionierendes Nervensystem gebunden. Es handelt sich nicht um eine bestimmte anatomische Struktur, sondern offenbar um eine Eigenschaft

von Nervenzellen, die sich kurzzeitig zu Verbänden zusammenschließen, synchron feuern und so einen Bewusstseinsinhalt „repräsentieren“.

Bewusstsein dient dazu, bestimmte Inhalte – Objekte der Außenwelt, Erinnerungen oder Gedanken etwa – kurzzeitig in den Fokus der Aufmerksamkeit zu bringen.

Nur so ist der Mensch dann in der Lage, sein Augenmerk auf bestimmte Dinge zu konzentrieren, mithilfe des Bewusstseins schwierige Aufgaben zu lösen, Gedanken oder Erinnerungen miteinander zu verknüpfen, sich eine Zukunft vorzustellen. Und sich mithilfe seiner Ich-Identität und seines Selbst-Bewusstseins in die Mitmenschen hineinzusetzen.

All dies basiert auf den elektrischen Aktivitäten von Neuronen. Wenn die allerdings ihre Funktion endgültig einstellen, dann besteht keine Hoffnung mehr für die Existenz eines Bewusstseins, sagen uns die Hirnforscher. Dann sprechen wir vom Tod.

Der Neuropsychologe Reinhard Werth vom Institut für Soziale Pädiatrie und Jugendmedizin der Universität München beschreibt ihn so: „Spuren eines ganzen Lebens, die sich im Gedächtnis niederließen, sind gelöscht. Nichts kann erinnert, nichts mit Früherem verglichen werden. Weder das eigene Sterben noch der Augenblick des Todes können ein Zeichen hinterlassen. Im Absterben der für das Gedächtnis notwendigen Strukturen des Gehirns kann nicht einmal der Tod als Erinnerung überdauern.“

Manchem Menschen mag diese Aussicht unheimlich oder bedrohlich erscheinen, dem Hirnforscher Reinhard Werth jedoch nicht: „Wir denken ja auch nicht mit Schrecken daran, wie es war, bevor wir geboren wurden. Und im Grunde schließt sich der Kreis: Im Moment des Todes sind wir wieder dort angekommen, wo wir waren, bevor wir geboren wurden. Jetzt ist unser Gehirn nicht mehr da, und vorher war es noch nicht da.“ □




Recht realistisch

stellte der französische Gelehrte René Descartes schon im 17. Jahrhundert dar, wie ein Sinneseindruck über die Nerven zum Gehirn und ins Bewusstsein gelangt

Der Biologe **Dr. Henning Engeln**, 54, ist GEOkompakt-Redakteur. Er hat dieses Heft redaktionell betreut.


Literatur: Christof Koch, „Bewusstsein – ein neurobiologisches Rätsel“, Spektrum. Gerhard Roth, „Persönlichkeit, Entscheidung und Verhalten“, Klett-Cotta. Wolf Singer, „Vom Gehirn zum Bewusstsein“, Suhrkamp.



Gehirn: verarbeitet die Informationen aus den Sinnesorganen, erkennt Gefahren und sendet motorische Befehle an die Muskeln, um zu reagieren

Periphere Nerven leiten unter anderem Tast- und Schmerzreize zum Rückenmark sowie vom Gehirn empfangene Steuerbefehle an die Muskeln

Rückenmark: bündelt die zum Gehirn auf- und von ihm absteigenden sensorischen und motorischen Nervenfasern



Illustrationen: Jochen Stuhmann, Tim Wehrmann
Text: Henning Engeln

Feuerwerk der Neurone

Die Evolution hat unser Gehirn darauf optimiert, den Körper in einer gefährlichen Welt zu schützen und überleben zu lassen. Er benötigt ein genaues Bild der Umgebung, um in Sekundenbruchteilen eine gefährliche Situation erkennen und auf diese reagieren zu können: Millionen Sinneszellen in Augen, Ohren, Nase und Tastsensoren senden deshalb einen ständigen Datenstrom an die Informationsverarbeitungszentrale in unserem Kopf. Die wiederum schickt motorische Befehle über Nervenfasern an die Muskeln, die den Körper aus der Gefahrenzone herausbringen oder ihn zum Angriff übergehen lassen – etwa in einem Boxkampf

1. Bereit sein: Bei einem Boxkampf ist das Nervengeflecht eines Athleten in höchster Alarmbereitschaft. Jede Bewegung des Gegners muss registriert, vom Gehirn analysiert und ein gefährlicher Schlag zum Kopf so früh erahnt werden, dass eine rechtzeitige Reaktion möglich ist. Jede Sekunde verarbeitet das Gehirn unzählige Informationen aus den Sinnesorganen, schätzt die Aktionen des Gegenübers ab und sendet zahllose Impulse an die Muskulatur, um den eigenen Körper zu steuern – und etwa die Faust zu einem Schlag an das Kinn des anderen Boxers zu führen.

Sehnerven: leiten die von den Sehzellen kommenden visuellen Reize weiter

Sehrinde: verarbeitet visuelle Informationen, erkennt Objekte

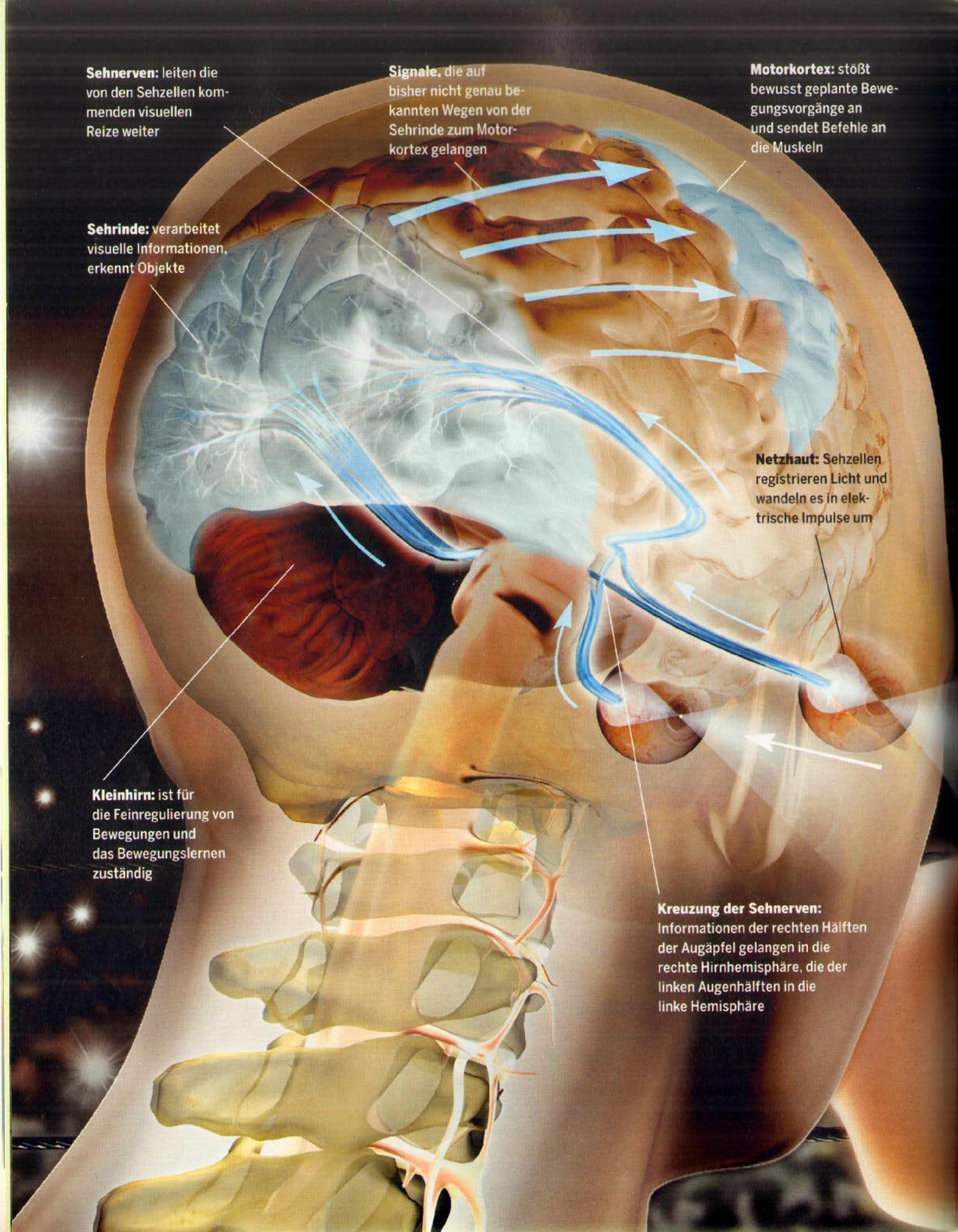
Signale, die auf bisher nicht genau bekannten Wegen von der Sehrinde zum Motor-kortex gelangen

Motor-kortex: stößt bewusst geplante Bewegungsvorgänge an und sendet Befehle an die Muskeln

Netzhaut: Sehzellen registrieren Licht und wandeln es in elektrische Impulse um

Kleinhirn: ist für die Feinregulierung von Bewegungen und das Bewegungsklernen zuständig

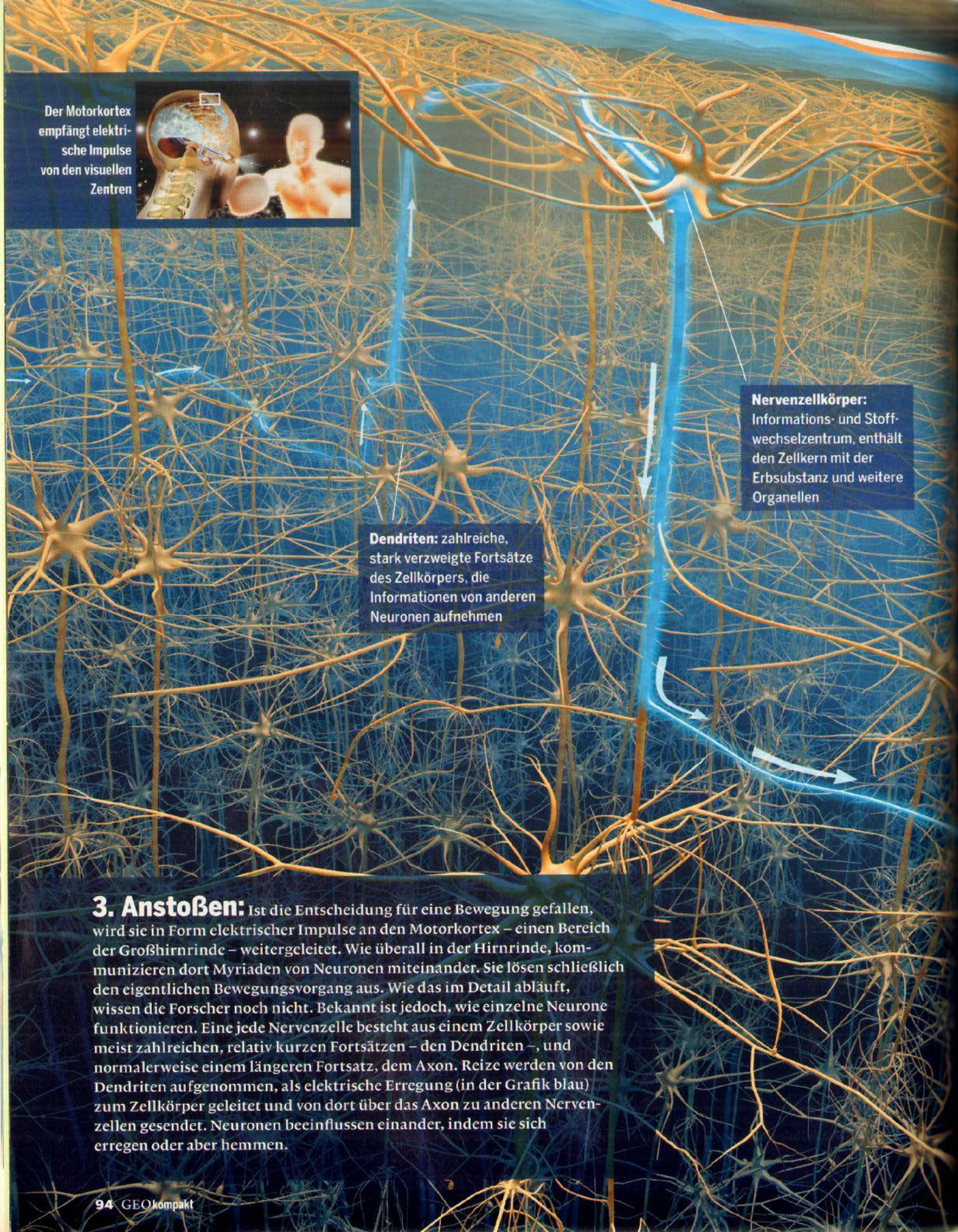
Kreuzung der Sehnerven: Informationen der rechten Hälften der Augäpfel gelangen in die rechte Hirnhemisphäre, die der linken Augenhälften in die linke Hemisphäre



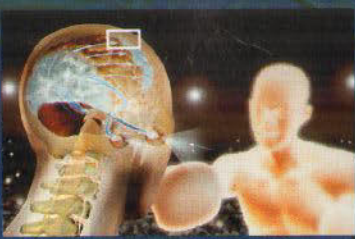
2. Erkennen: Rund 130 Millionen Sehzellen empfangen das von der Augenlinse auf die Netzhaut projizierte Bild, wandeln die Lichtimpulse in elektrische um und schicken diese Signale an die Sehrinde im Hinterhauptslappen. Dabei kreuzen und verzweigen sich die Sehnerven: Jeweils die Informationen aus den rechten Hälften der beiden Augäpfel gelangen in die rechte Hirnhemisphäre, die der linken Augenhälften in die linke Hemisphäre. Erst in der Sehrinde werden die Eigenschaften eines Objekts – wie Helligkeit, Farbe, Form, Kontrast, Bewegung –

analysiert. Dabei werden die einzelnen Merkmale von verschiedenen Nervenzellgruppen bearbeitet. So gibt es solche, die ausschließlich für das Erkennen von Gesichtern zuständig sind. Nur ein Bruchteil der visuellen Informationen gelangt weiter bis ins Bewusstsein. Über äußerst komplexe, auf einem Zusammenspiel verschiedenster Areale beruhende und noch nicht vollständig bekannte Prozesse erkennt das Gehirn anhand der Sinnesinformationen die bedrohliche Situation und sendet Befehle an den Motorkortex.





Der Motorkortex
empfängt elektri-
sche Impulse
von den visuellen
Zentren



Nervenzellkörper:
Informations- und Stoff-
wechselzentrum, enthält
den Zellkern mit der
Erbsubstanz und weitere
Organellen

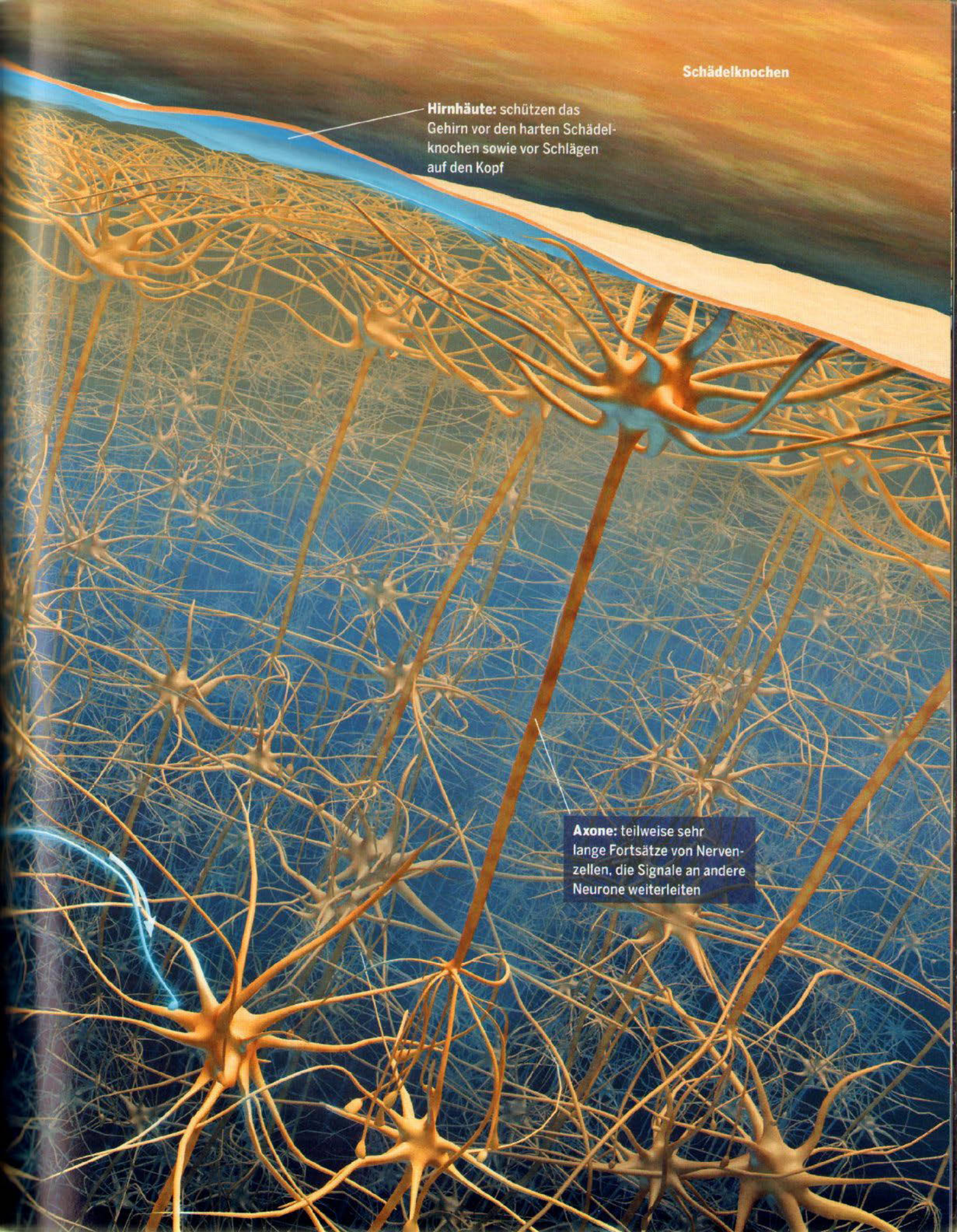
Dendriten: zahlreiche,
stark verzweigte Fortsätze
des Zellkörpers, die
Informationen von anderen
Neuronen aufnehmen

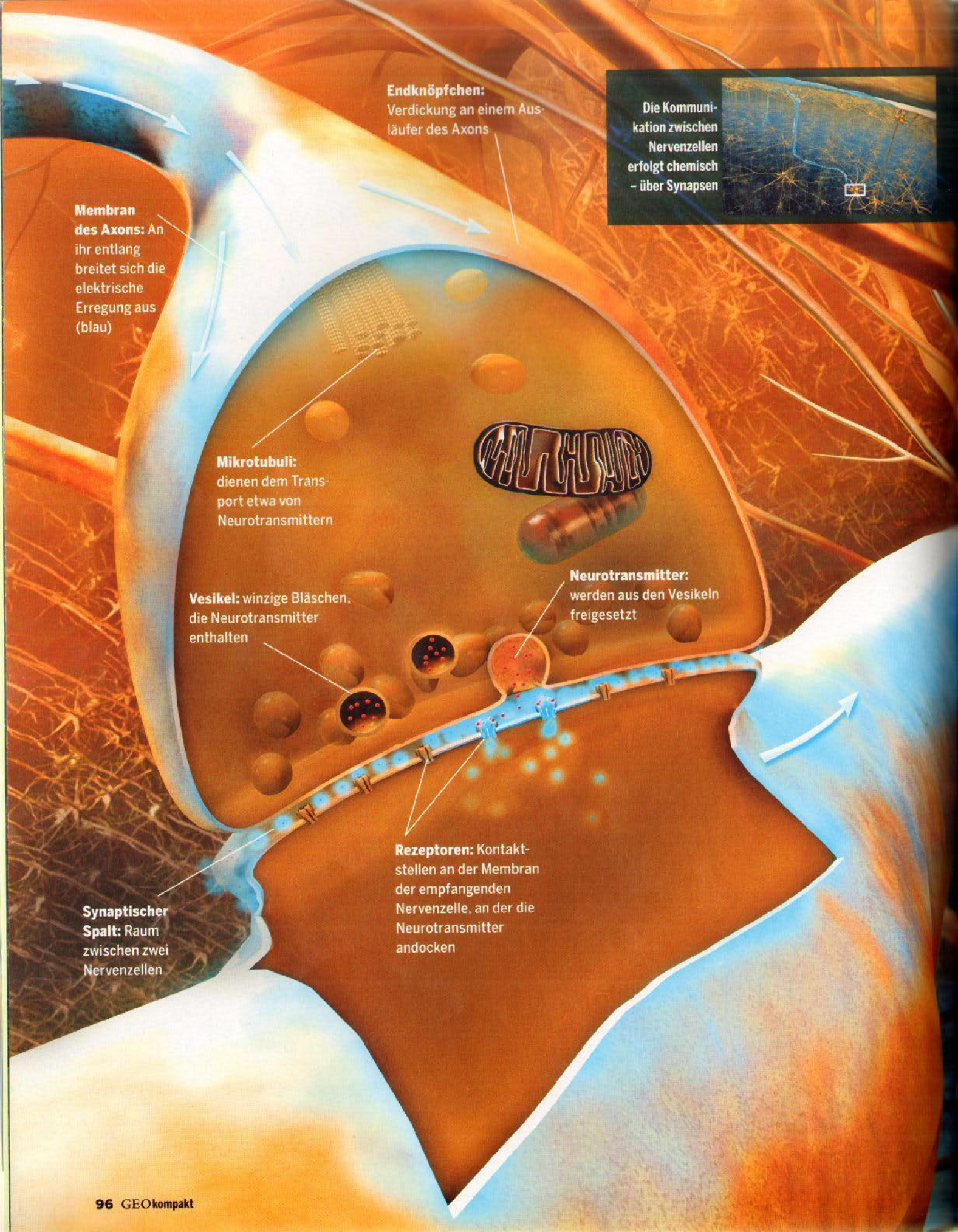
3. Anstoßen: Ist die Entscheidung für eine Bewegung gefallen, wird sie in Form elektrischer Impulse an den Motorkortex – einen Bereich der Großhirnrinde – weitergeleitet. Wie überall in der Hirnrinde, kommunizieren dort Myriaden von Neuronen miteinander. Sie lösen schließlich den eigentlichen Bewegungsvorgang aus. Wie das im Detail abläuft, wissen die Forscher noch nicht. Bekannt ist jedoch, wie einzelne Neurone funktionieren. Eine jede Nervenzelle besteht aus einem Zellkörper sowie meist zahlreichen, relativ kurzen Fortsätzen – den Dendriten –, und normalerweise einem längeren Fortsatz, dem Axon. Reize werden von den Dendriten aufgenommen, als elektrische Erregung (in der Grafik blau) zum Zellkörper geleitet und von dort über das Axon zu anderen Nervenzellen gesendet. Neuronen beeinflussen einander, indem sie sich erregen oder aber hemmen.

Schädelknochen

Hirnhäute: schützen das Gehirn vor den harten Schädelknochen sowie vor Schlägen auf den Kopf

Axone: teilweise sehr lange Fortsätze von Nervenzellen, die Signale an andere Neurone weiterleiten





Endknöpfchen:
Verdickung an einem Ausläufer des Axons

Die Kommunikation zwischen Nervenzellen erfolgt chemisch – über Synapsen

Membran des Axons: An ihr entlang breitet sich die elektrische Erregung aus (blau)

Mikrotubuli:
dienen dem Transport etwa von Neurotransmittern

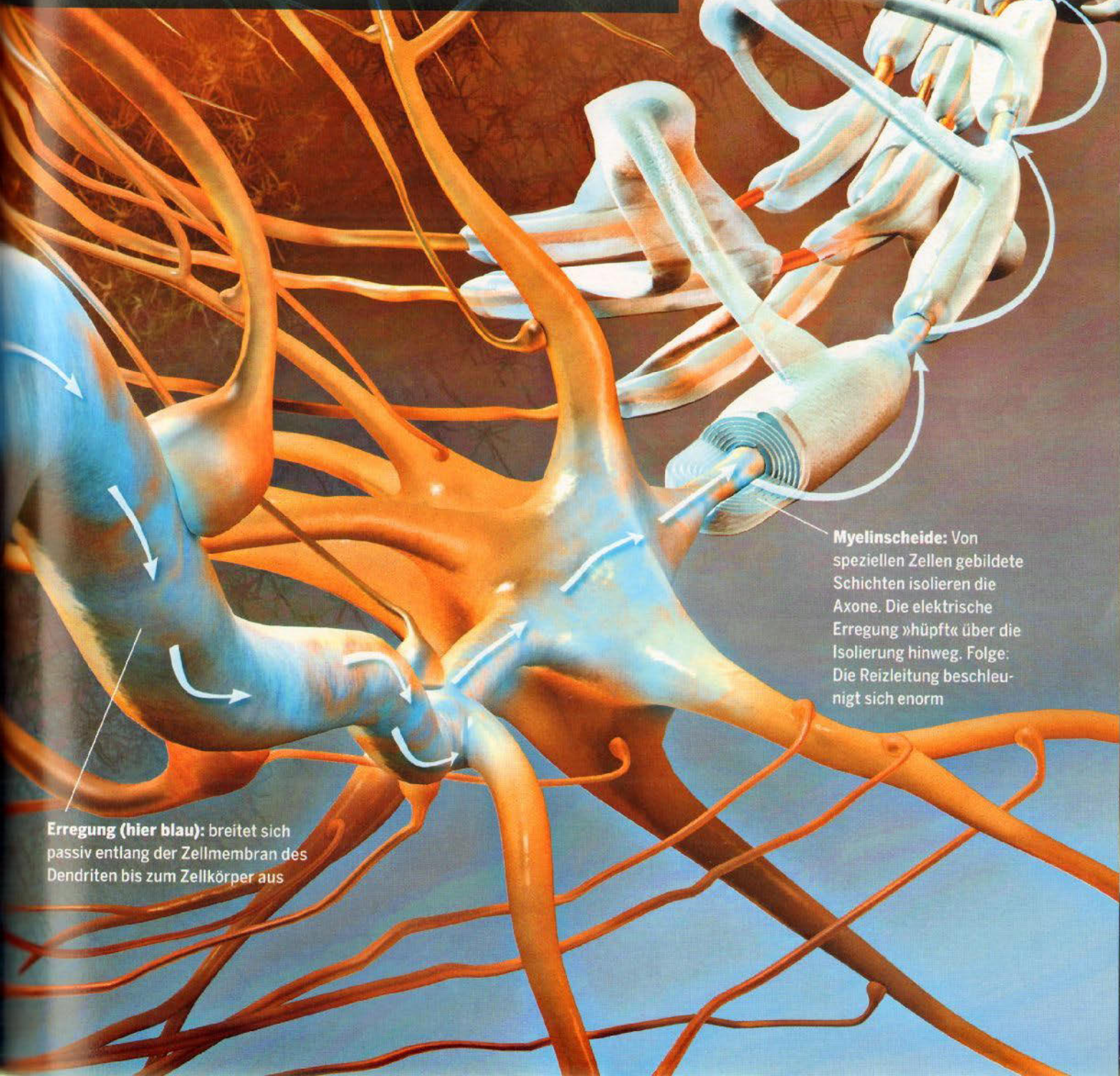
Vesikel: winzige Bläschen, die Neurotransmitter enthalten

Neurotransmitter:
werden aus den Vesikeln freigesetzt

Synaptischer Spalt: Raum zwischen zwei Nervenzellen

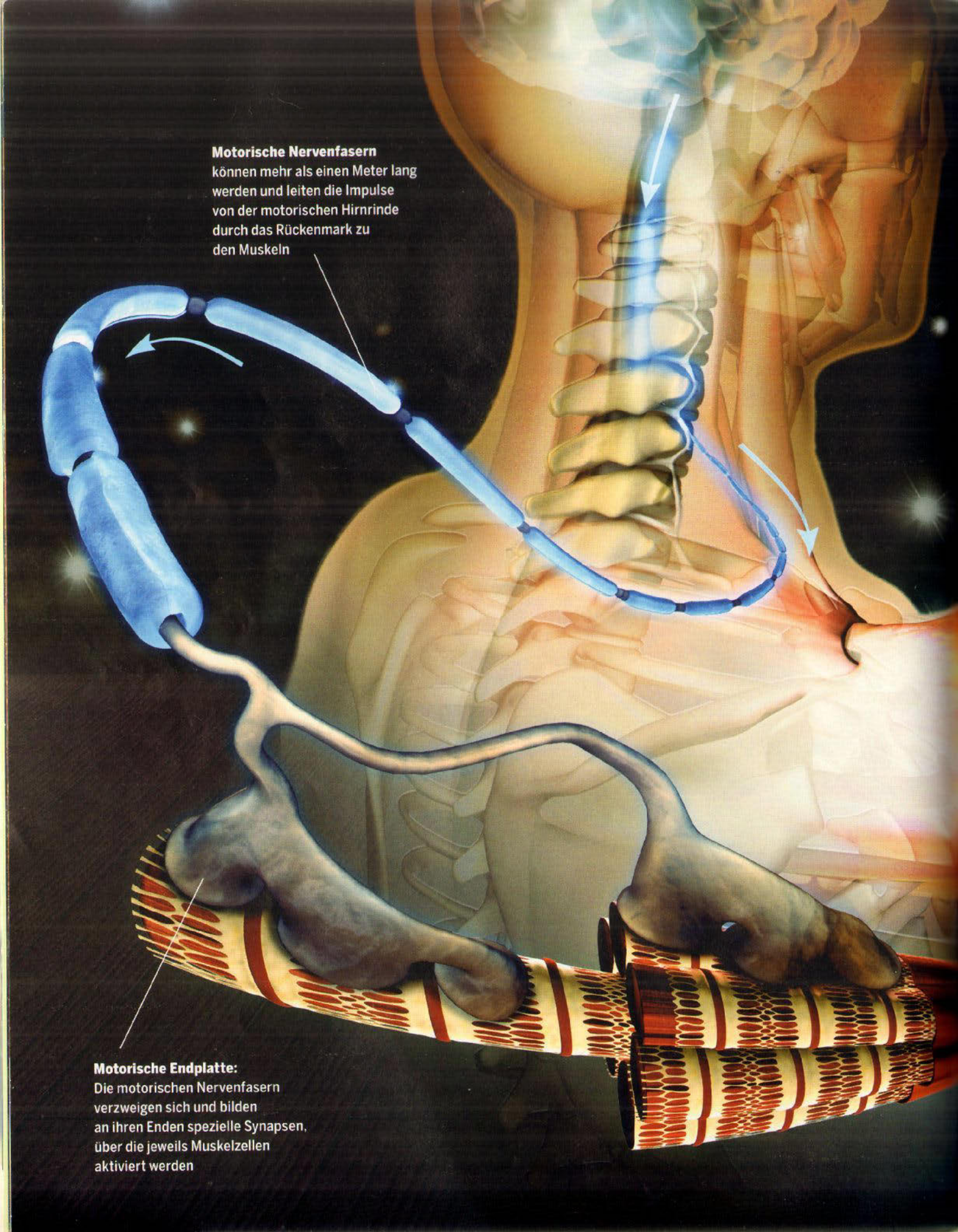
Rezeptoren: Kontaktstellen an der Membran der empfangenden Nervenzelle, an der die Neurotransmitter andocken

4. Übertragen: Nervenzellen senden zwar elektrische Signale, die Kommunikation zwischen den Nervenzellen erfolgt jedoch über eine chemische Kontaktstelle: die Synapse. Die elektrische Erregung (blau) fließt an der Zellmembran des Axons bis zu dessen Ende (links). Dort bewirkt sie, dass aus winzigen Bläschen bestimmte chemische Substanzen – Neurotransmitter – freigesetzt werden. Sie strömen über einen kleinen Zwischenraum, den synaptischen Spalt, zur Membran der nachgeschalteten Nervenzelle und binden dort an Rezeptoren. Dies löst wiederum eine elektrische Erregung aus, die sich zum Zellkörper hin ausbreitet und über dessen Axon zur nächsten Synapse gelangt. Über spezielle Axone kann die Erregung so bis ins Rückenmark und zu den Muskeln geleitet werden.



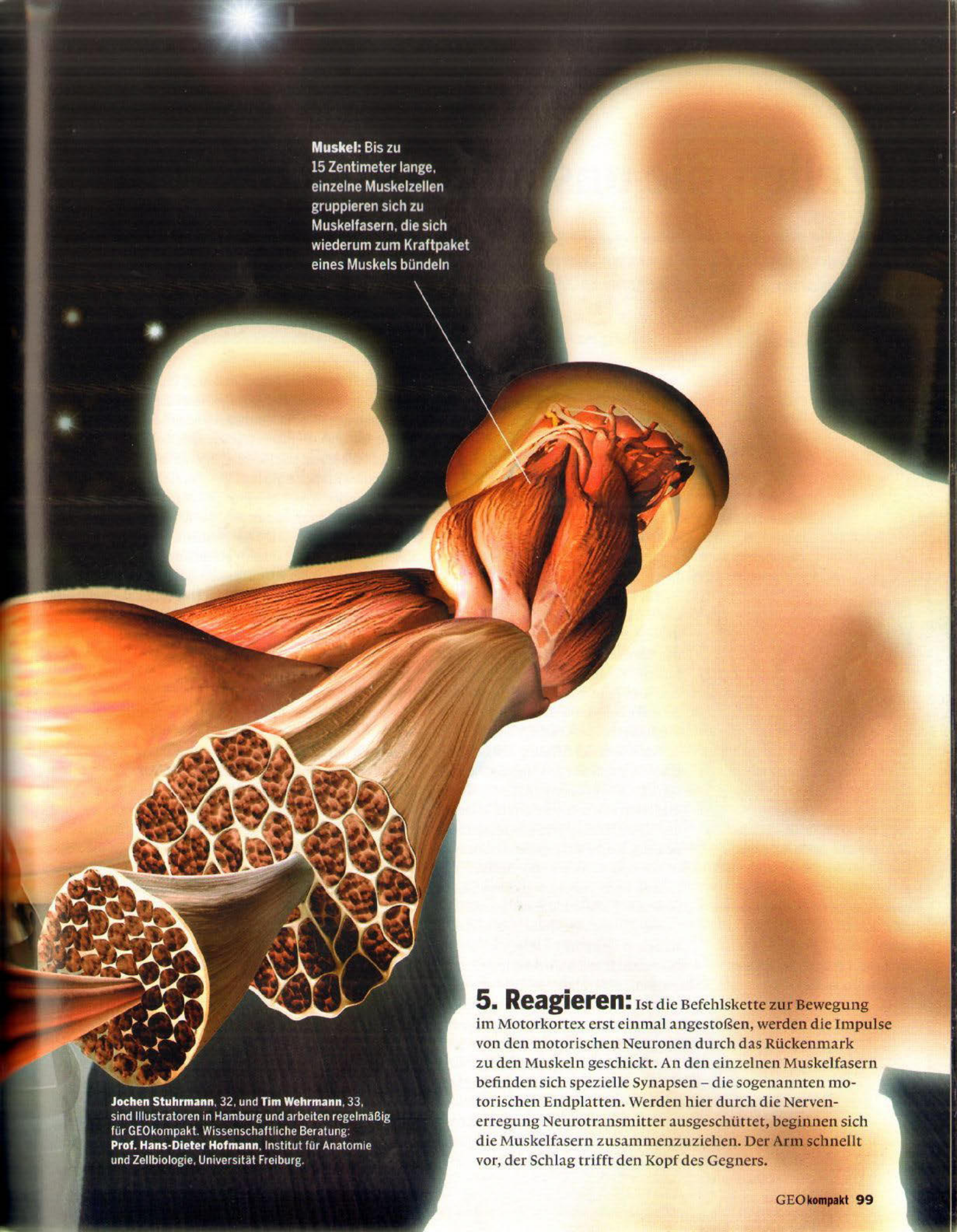
Erregung (hier blau): breitet sich passiv entlang der Zellmembran des Dendriten bis zum Zellkörper aus

Myelinscheide: Von speziellen Zellen gebildete Schichten isolieren die Axone. Die elektrische Erregung »hüpft« über die Isolierung hinweg. Folge: Die Reizleitung beschleunigt sich enorm



Motorische Nervenfasern
können mehr als einen Meter lang
werden und leiten die Impulse
von der motorischen Hirnrinde
durch das Rückenmark zu
den Muskeln

Motorische Endplatte:
Die motorischen Nervenfasern
verzweigen sich und bilden
an ihren Enden spezielle Synapsen,
über die jeweils Muskelzellen
aktiviert werden



Muskel: Bis zu 15 Zentimeter lange, einzelne Muskelzellen gruppieren sich zu Muskelfasern, die sich wiederum zum Kraftpaket eines Muskels bündeln

5. Reagieren: Ist die Befehlskette zur Bewegung im Motorkortex erst einmal angestoßen, werden die Impulse von den motorischen Neuronen durch das Rückenmark zu den Muskeln geschickt. An den einzelnen Muskelfasern befinden sich spezielle Synapsen – die sogenannten motorischen Endplatten. Werden hier durch die Nerven-erregung Neurotransmitter ausgeschüttet, beginnen sich die Muskelfasern zusammenzuziehen. Der Arm schnell vor, der Schlag trifft den Kopf des Gegners.

Jochen Stuhmann, 32, und Tim Wehrmann, 33, sind Illustratoren in Hamburg und arbeiten regelmäßig für GEOkompakt. Wissenschaftliche Beratung: Prof. Hans-Dieter Hofmann, Institut für Anatomie und Zellbiologie, Universität Freiburg.

Zellen, die uns menschlich machen

Weshalb wissen wir so häufig mit einem Blick, was in einem anderen Menschen vorgeht? Ob er traurig ist, Schmerzen hat oder Freude empfindet? Was verbirgt sich hinter Mitgefühl und Intuition? Forschern ist es gelungen, Hirnzellen zu identifizieren, die Menschen zur Empathie befähigen. Und denen wir vermutlich sogar unsere Sprache verdanken

Text: Rainer Harf

An einem Sommerabend im Jahr 1990 bereiten drei Neurobiologen an der Universität Parma ein Experiment vor: Vorsichtig schieben sie einen hauchdünnen Draht in die **Großhirnrinde*** eines narkotisierten Rhesus-äffchens. Mitten in den **prämotorischen Kortex** – jene Region, in der alle Bewegungsabläufe angestoßen werden. Es ist ein hochempfindlicher Messfühler, mit dem die Forscher eine einzelne Nervenzelle anpiksen und deren elektrische Signale registrieren.

Ein Lautsprecher wird die Impulse der Zelle als Geräusch ausgeben. Auf diese Weise hoffen die Forscher Giacomo Rizzolatti, Leonardo Fogassi und Vittorio Gallese zu erkennen, bei welcher Bewegung des Affen die Nervenzelle feuert – an welcher Muskelkoordination sie also beteiligt ist.

Nachdem der Affe aus der Narkose erwacht ist, bleibt das angezapfte Neuron zunächst völlig still. Doch als das Tier nach einer Rosine greift, knattert der Lautsprecher wie ein Maschinengewehr. Kurze Zeit später verstummt er wieder. Weder beim Anblick der Rosine noch bei einer anderen Handbewegung hat sich die Zelle gerührt.

Sie scheint also Teil eines hochspezifischen Systems zu sein, das den Affen befähigt, nach einer kleinen Frucht zu greifen. So ein Ergebnis haben die Forscher erwartet: Sie wissen, dass etliche Nervenzellen in jenem Hirnareal sehr selektiv arbeiten und nur bei bestimmten Bewegungen aktiv werden.

Dann aber das Unerwartete: Vittorio Gallese langt selbst nach einer Rosine – und wieder dröhnen Signale aus dem Lautsprecher. Diesmal jedoch, ohne dass sich der Affe rührt. Er hat dem Experimentator lediglich zugeschaut. Gallese nimmt noch eine Rosine. Erneut jagen elektrische Impulse durch die Zelle im Affenhirn.

Schnell wird den Forschern klar, dass sie etwas völlig Neues entdeckt haben: eine unbekannte Verbindung zwischen der Wahrnehmung und der Bewegung.

Die Befunde der drei Wissenschaftler sind eine Sensation für die Hirnforschung. Offenbar hat die sonderbare Zelle eine Doppelfunktion: Sie regt sich nicht nur, wenn der Affe eine Greifbewegung plant und ausführt, sondern auch dann, wenn er *bloß sieht*, wie ein anderer sich entsprechend verhält. Das Neuron, vermutlich in ein ganzes Netz von Zellen eingebunden, scheint so zu arbeiten, als vollzöge der Affe die wahrgenommene Handlung selbst – gleichsam wie ein Spiegel im Gehirn.

Und tatsächlich: In weiteren Versuchen identifizieren die Forscher noch mehr Spiegelneurone, wie sie die neue Gruppe von Nervenzellen nennen. Es stellt sich heraus, dass diese rund zehn Prozent der Zellmasse im Bewegungszentrum des Affen ausmachen.

Die Versuchsergebnisse aus Parma erschüttern die geltende Vorstellung von der Funktionsweise des Gehirns. Demnach herrscht dort eine strikte Arbeitsteilung: Beim Sehen etwa ist die hintere Hirnhälfte für die Wahrnehmung zuständig; ein weiteres Hirnareal analysiert blitzschnell das Beobachtete, vergleicht es mit früheren Erfahrungen und versucht es zu interpretieren, also kognitiv zu verstehen. Und gibt dann Befehle an einen vorderen Teil des Gehirns, das Bewegungszentrum, das eine entsprechende körperliche Reaktion einleitet.

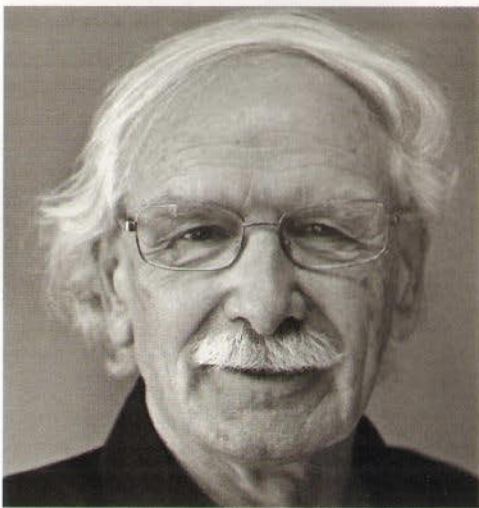
Mithilfe von Spiegelneuronen jedoch, schließen die Forscher aus Italien, kann das Gehirn auf geniale Art den komplexen Kognitionsapparat umgehen. Auf diese Weise vermögen Affen die Absicht anderer Individuen spontan zu begreifen. Sie simulieren die Handlung in ihrem Hirn und nehmen so deren Ausgang vorweg.

Rasch erkennen andere Wissenschaftler die Tragweite der Entdeckung und beginnen, auch im menschlichen Gehirn nach dem Spiegelphänomen zu fahnden. Mittels bildgebender Verfahren wie der **Kernspintomographie** finden sie bald heraus, dass unser Spiegelsystem noch weit über das des Affen hinausgeht. Denn nicht nur die Bewegungen anderer Personen versetzen unser Hirn in Resonanz – sondern auch deren Emotionen.

* Blau hervorgehobene Begriffe werden im Glossar ab Seite 150 näher erklärt.



BEREITS DER ANBLICK eines Menschen, der sich vor etwas ekelt, aktiviert das sogenannte Ekelzentrum unseres Gehirns – es ist, als erlebten wir die Situation selbst. Dieser Spiegel im Hirn ermöglicht es uns, den anderen unmittelbar zu verstehen



GIACOMO RIZZOLATTI, Jahrgang 1937, ist Professor für Neurowissenschaften in Parma. Mit der Entdeckung der Spiegelneurone löste er eine Sensation in der Hirnforschung aus. Denn diese Zellen sind vermutlich ein Schlüssel zum Verständnis unseres »Bauchgefühls«

Das stellen die Forscher fest, nachdem sie Probanden Videoaufnahmen von Menschen vorgespielt haben, die an einer stinkenden Substanz riechen und daraufhin ihr Gesicht vor Ekel verziehen. Obwohl die Testpersonen keinerlei Geruch ausgesetzt waren, aktivierte allein der Anblick des Filmes das **Ekelzentrum** in ihrem Gehirn – so als hätten sie die Situation persönlich erlebt. Dagegen konnten Personen, deren Ekelzentrum durch einen Schlaganfall geschädigt war, weder selbst Ekel empfinden noch die Übelkeit im Ausdruck anderer Menschen ausmachen.

Ähnliches wiesen Neurowissenschaftler für das Schmerzempfinden nach. In Experimenten versetzten sie den Versuchsteilnehmern zunächst leicht schmerzende Stromschläge. Dann sahen die Probanden, wie ein nahestehender Mensch die gleichen Stromschläge erhielt – und in beiden Fällen regten sich dieselben Hirnregionen.

In gewisser Weise empfinden Menschen also ungewollt den Schmerz anderer Menschen mit: Der Begriff „Mit-Leid“ wird durch die Hirnforschung im Wortsinn bestätigt.

Spiegelneurone ermöglichen es Menschen, sich in andere hineinzusetzen. Denn sie lösen die Barriere zwischen uns und unserem Gegenüber. Erst dadurch, dass wir die Gefühle anderer wie Ekel, Schmerz oder Freude innerlich miterleben, können wir sie unmittelbar verstehen. So ist wohl auch unser Einfühlungsvermögen nicht, wie lange angenommen, ein abstraktes kognitives Konstrukt, sondern fest in unserem Hirn verankert.

Dass wir aber bei den permanenten Spiegelungen nicht agieren wie Marionetten und alles imitieren, was wir sehen, hören und riechen, liegt vermutlich an einer Art Schranke, die verhindert, dass sämtliche Signale an Muskeln und Organe weitergeleitet werden. Nur gelegentlich wird dieser Sperrmechanismus offenbar durchbrochen.

So übernehmen Menschen häufig unwillkürlich die gleiche Körperhaltung, die kurz zuvor ihr Gesprächspartner eingenommen hat – sie stützen ihren Kopf auf die Hand oder schlagen die Beine übereinander.

Auch Babys imitieren bestimmte Gesichtsausdrücke. Bereits wenige Stunden bis Tage nach der Geburt strecken Säuglinge die Zunge heraus, wenn ihre Eltern ihnen die

eigene zeigen. Oder sie kräuseln die Lippen, wenn man sie mit gespitztem Mund anschaut. Dadurch spiegeln Neugeborene das Verhalten ihrer Bezugspersonen – und legen, wie die Neurologen aus Parma vermuten, in ihrem Hirn Schablonen an, die es ihnen ermöglichen, mit ihren Eltern zu kommunizieren. Forscher des Max-Planck-Instituts für Evolutionäre Anthropologie in Leipzig glauben sogar, dass die Fähigkeit, Verhalten abzuschauen und zu imitieren, den entscheidenden Unterschied in der Intelligenz zwischen Affen und Menschen ausmacht.

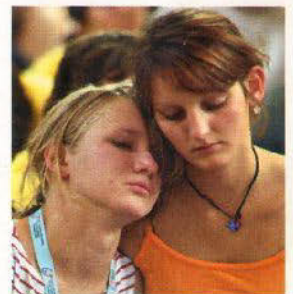
Womöglich verdanken wir den Spiegelneuronen sogar die Fähigkeit zu sprechen. Denn die Nervenzelle, mit der einst die Spiegelzellforschung in Parma begann, liegt in einer äffischen Hirnregion, die sich im Laufe der menschlichen Evolution zum Sprachzentrum entwickelte. Der erste Dialog unter Menschen, so vermutet Rizzolatti, wäre demnach entstanden, als einer unserer Vorfahren die Mundbewegungen und Laute eines zweiten imitierte und dadurch signalisierte, er habe deren Sinn verstanden.

Waren die ersten „Wörter“ erst einmal erfunden, brachten die Urmenschen auch Sätze hervor – die Sprache differenzierte sich.

Möglicherweise war also die Fähigkeit zur Imitation, zur Spiegelung unserer Außenwelt, wesentlich für die Entwicklung der menschlichen Kultur. Die Erforschung der Spiegelneurone schlägt daher eine Brücke zwischen Neurologie und Soziologie.

Zwar betrachten manche Wissenschaftler die Erkenntnisse noch mit Skepsis und bezweifeln, dass einzelne Nervenzellen für derart komplexe Verhaltensweisen verantwortlich sein können. Doch andere sind umso euphorischer, so der renommierte Neurologe Vilayanur S. Ramachandran.

Seiner Ansicht nach ist die Entdeckung der Spiegelneurone für die Psychologie so bedeutend wie einst die Entdeckung des Erb moleküls DNS für die Biologie. □

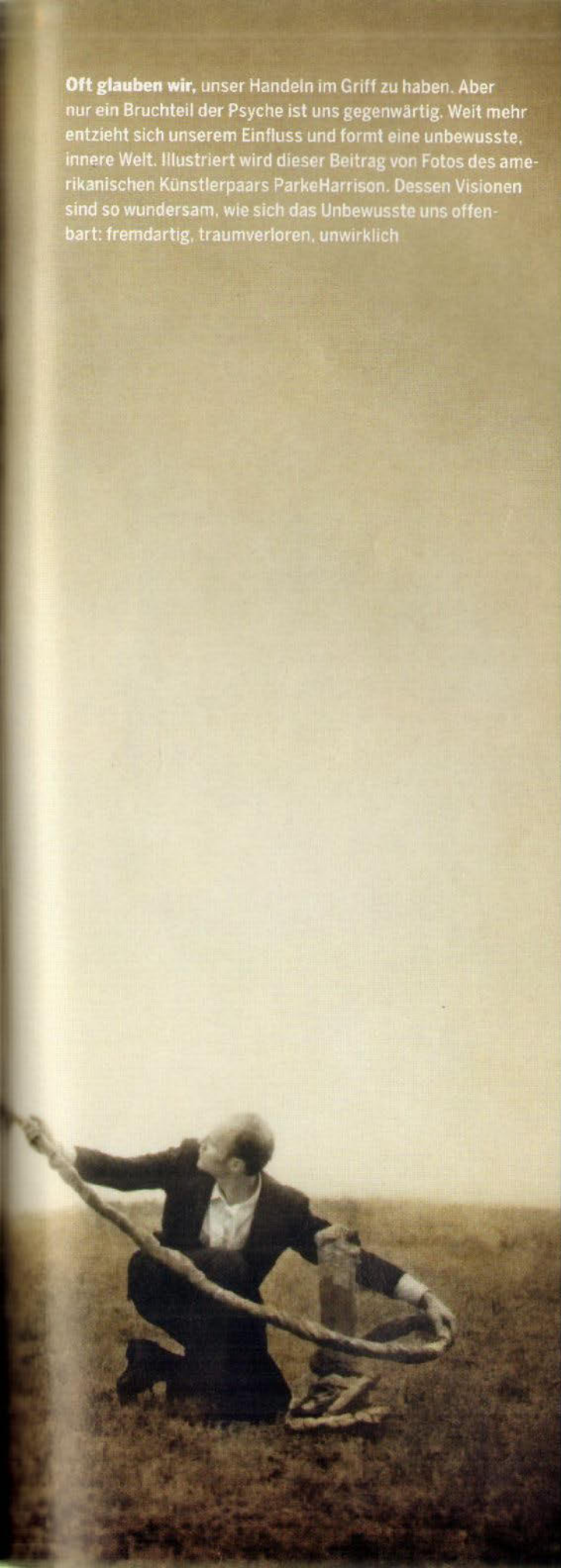


MITGEFÜHL ist nicht – wie lange vermutet – ein abstraktes kognitives Konstrukt, sondern fest in unserem Gehirn verankert: Emotionen anderer Menschen wie Trauer oder Schmerz versetzen dort Netze von Spiegelneuronen in Resonanz

Rainer Harf, 31, ist Wissenschaftsjournalist in Hamburg.



Oft glauben wir, unser Handeln im Griff zu haben. Aber nur ein Bruchteil der Psyche ist uns gegenwärtig. Weit mehr entzieht sich unserem Einfluss und formt eine unbewusste, innere Welt. Illustriert wird dieser Beitrag von Fotos des amerikanischen Künstlerpaars ParkeHarrison. Dessen Visionen sind so wundersam, wie sich das Unbewusste uns offenbart: fremdartig, traumverloren, unwirklich



Die Macht, die uns lenkt

Sosehr wir auch versuchen, unser Handeln zu kontrollieren, vieles entzieht sich unserem Einfluss. Denn tief in uns – im Unbewussten – wirken Sinneseindrücke und Erfahrungen unablässig auf uns ein und bestimmen heimlich unser Handeln. Allmählich gelingt es Hirnforschern, das dunkle Zentrum unserer Psyche zu beleuchten

Text: Hania Luczak

Fotos: Robert und Shana ParkeHarrison

Der Schauspieler ist nicht allein, wenn er in den strahlenden Lichtkegel des Scheinwerfers auf die Bühne tritt. Und was er zeigt, ist nicht nur sein Werk. Hinter der Szenerie steht der Inspizient, der ihn zur rechten Zeit aus der Garderobe ruft. Der Regisseur, der mit ihm Gesten und Mienenspiel einstudiert. Stehen Requisiteur und Kostümbildner, die ihn

ausstaffieren, Bühnenarbeiter und Beleuchter, die hinter den Kulissen agieren. Die gewaltige Maschinerie des Theaters hat dafür gesorgt, dass der Mime auf der Bühne spielt. Doch im Scheinwerferlicht ist nur er allein zu sehen.

Dieses Bild des Schauspiels ist bei Forschern beliebt, um die Natur der menschlichen Psyche zu veranschaulichen. Denn spätestens seit der Antike hat den Menschen ein mitunter erschreckender Verdacht nicht mehr losgelassen: Vielleicht weiß er gar nicht in jedem Moment, was er tut. Handelt womöglich, weil etwas Unfassbares, etwas Unbekanntes ihn lenkt. Ist also der Mensch wirklich Herr über all seine Entscheidungen?

Sein Erleben gleicht wohl vielmehr dem Schauspieler, der auf die helle Bühne tritt. Abseits des lichten Bewusstseins ziehen verborgene Instanzen die Fäden. Darin sind sich Psychologen und Neurowissenschaftler, Philosophen und Mediziner heute weitgehend einig.

Aber wie sieht sie aus – diese Eminenz hinter den Kulissen? Und was tut sie genau?


Lange Zeit haben Erforscher der menschlichen Natur dieses „Un“-Bewusste gemieden wie einen gefährlichen Abgrund. Wer weiß schon, was dort lauert, wo Orakel, Epen und Märchen ebenso wachsen wie Aggression, Konflikte und Kriege. Wo Instinkte und Reflexe, Triebe und Traumata herrschen. „Wehe der verhängnisvollen Neubegier, die durch eine Spalte einmal aus dem Bewusstseinszimmer heraus und hinab zu sehen vermochte“, warnte Friedrich Nietzsche am Ende des 19. Jahrhunderts.

Und hat nicht auch Sigmund Freud, der als einer der Ersten das fremde Terrain gedanklich eingekreist hat, dort „das Böse“ geortet, wo vererbte Instinkte und Reflexe, verdrängte Triebe und Traumata ihr Unwesen treiben?

Doch seit einiger Zeit nähern sich Wissenschaftler aus allen erdenklichen Richtungen dieser dunklen, unbekannten Welt. Immer tiefer dringen sie ein, manche wagen sich gar vor bis zum Zentrum des inneren Kontinents. Und es ist kein Geringerer als der Wiener Nervenarzt Freud – der vor über einem Jahrhundert erstmals den „seelischen Apparat“ mit den Werkzeugen der Psychoanalyse seziert hat, dessen Methoden aber jahrzehntelang von Physiologen und Neurobiologen als „unwissenschaftlich“ abgetan wurden –, der diese Expeditionen in die Innenwelt nun als geistiger Gefährte begleitet.

Sein Konzept des Unbewussten wird nicht mehr auf der Couch, sondern im Laboratorium ergründet. Forscher schauen immer tiefer ins Gehirn, tasten sich durch verästelte Windungen, umkreisen den Ort des Verdrängens und foto-





Das Unbewusste existiert – und seine Führungsqualitäten sind unbestritten

grafieren die Spuren kindlicher Traumata. Ihre Ausrüstung: Instrumente und Maschinen, die einen Blick in bisher Unge-
sehenes gewähren.

Und vom Hirnforscher bis zum Sozialpsychologen herrscht seltene Einigkeit: Altmeister Freud hat eine gute Vorlage geliefert. Das Unbewusste existiert, und seine Führungsqualitäten sind unbestritten. Es lenkt uns auf rätselhafte Weise – ob wir nun auch ohne Wecker pünktlich erwachen, wie im Schlaf unser Auto steuern oder mit Kollegen so heftig streiten, dass es uns selbst überrascht. Hinter dem Rücken des „Ich“ nimmt es jeden Moment Einfluss.

Doch hatte Freud das Unbewusste noch mit einem Eisberg verglichen, dessen eigentliche Massen sich unter der Oberfläche ausdehnen (mit dem Bewusstsein als dessen herausragender Spitze), so ist dieses Bild nach heutiger Datenlage überholt. Das Bewusstsein ist nicht die Spitze des Eisbergs, sondern eher ein Schneeball, der auf ihm ruht. Das verborgene Reich ist viel voluminöser als vermutet.

„Seine Macht über uns ist gewaltig“, sagt der Neurowissenschaftler Gerhard Roth von der Universität Bremen: „Der Mensch mit all seiner Ratio meint nur, auf den höchsten Gipfeln zu ruhen und die vertraute Berglandschaft seiner Gedanken jederzeit zu durchschauen.“ Tatsächlich aber sitze er auf einem brodelnden Universum, von dessen Schattenexistenz er nichts mitbekomme, in dem niemals Stille herrsche und aus dessen Schichten sich seine Gedanken speisen.

Manche Naturwissenschaftler ziehen aus den jüngsten Forschungsergebnissen sogar noch radikalere Schlüsse: Alle Kreativität, alle Ideen, Ziele, Motive, alle Vorstellungen von der Welt und vom Selbst – alles, was der Mensch bisher seinem bewussten Geist zugeordnet hat, sei ein Produkt unbewusster Prozesse. Eine verstörende Botschaft.

Die Hirnforschung revolutioniert unser Menschenbild in einem Tempo, wie es noch nie in der Geschichte der Menschheit stattgefunden hat“, so der Philosoph Thomas Metzinger.

Dass die meisten Prozesse unbewusst ablaufen, war schon vor Freud bekannt. Doch keiner machte die Idee einer unbewussten Kraft so populär wie der Wiener Psychoanalytiker. Er propagierte die Vorstellung eines unbewussten „Es“, das dem eher bewussten „Ich“ sowie dem von Erziehung und Kultur gespeisten „Über-Ich“ gegenübersteht. Gerade die Sphäre des „Es“ sei es, postulierte Freud prophetisch, die in der Entwicklung des Seelischen schon vor dem Bewusstsein existiere und lebenslang den Menschen dominiere.

Kein Mensch vermag sich von jener unbewussten, verkrusteten Welt zu lösen, die seine Gefühle und Gedanken speist – und unter deren Schutt unaufhörlich gearbeitet wird

Automatismen halten den Kopf frei für die wichtigen Entscheidungen im Leben

Mit seiner Interpretation des „psychischen Apparats“ entfachte Freud einen Sturm der Entrüstung. Vor allem, als er verkündete, unsere Handlungen seien auf unbewusste Triebe zurückzuführen (etwa den Sexualtrieb), die vom kulturellen „Über-Ich“ unterdrückt würden. Folge sei die Verdrängung vieler Erfahrungen ins unbewusste „Es“. Erst durch die freie Assoziation in der Psychoanalyse könne es gelingen, die verdrängten Inhalte dem bewussten „Ich“ wieder zuzuführen.

Obwohl Freud die westliche Kultur lehrte, dem Unbewussten mehr Beachtung zu schenken, galten seine Seelenlehre und die psychoanalytische Therapie Hirnforschern und empirisch-experimentell arbeitenden Psychologen lange als Inbegriff unwissenschaftlichen Denkens. Umgekehrt wollten viele Psychoanalytiker nichts von der empirischen Untermauerung ihrer Theorien wissen und zogen sich vor den Angriffen der Hirnforscher wie eine eingeschworene Bruderschaft zurück.

Dieses Lagerdenken aber scheint nun aufzuweichen. Freuds Unbewusstes, das „Es“ als Gegenspieler des „Ich“, ist in neuer Gestalt in die moderne Psychologie zurückgekehrt. Obwohl viele Forscher nach wie vor etliche von Freuds Ideen ins Reich der Mythen verweisen – so den Ödipuskomplex, den Penisneid, die Überbetonung des Sexualtriebs –, werden einige Konzepte des Altmeisters teilweise rehabilitiert.

„Wir sind Zeugen einer spannenden Zeit“, sagt Marianne Leuzinger-Bohleber, die Leiterin des Sigmund-Freud-Instituts in Frankfurt am Main. „Wir suchen gemeinsam die Wahrheit.“

Expeditionen in die Innenwelt sind mühsam. In kleinen experimentellen Schritten tasten sich Wissenschaftler Schicht um Schicht voran. Bereits vor drei Jahrzehnten erkannten sie, dass im Unbewussten keineswegs etwa verdrängtes sexuelles Begehren, Todestribe und verbotener Hass gären, sondern phänomenale Fähigkeiten. Etwa bei manchen Patienten mit Gedächtnisverlust.


So untersuchte der amerikanische Forscher Daniel Schacter eine Frau, die gelernt hatte, nahezu perfekt am Computer zu arbeiten. Trotzdem behauptete sie jedes Mal, wenn sie sich vor einen Monitor setzte, ein solches Gerät noch nie vorher gesehen zu haben – legte dann aber sogleich an der Tastatur los.

Schacter schloss daraus, dass es in unserem Hirn „eine unterirdische Welt unbewusster Erinnerung“ geben müsse, die dem Bewusstsein nicht zugänglich ist. Damit setzte eine Lawine von Experimenten ein. „Wir fühlten uns wie Astronomen, die einen neuen Stern entdeckt hatten. Eine völlig neue Welt war zur Erkundung offen“, schreibt Schacter, der als einer der Ersten die enormen Leistungen des Unbewussten erkannte.

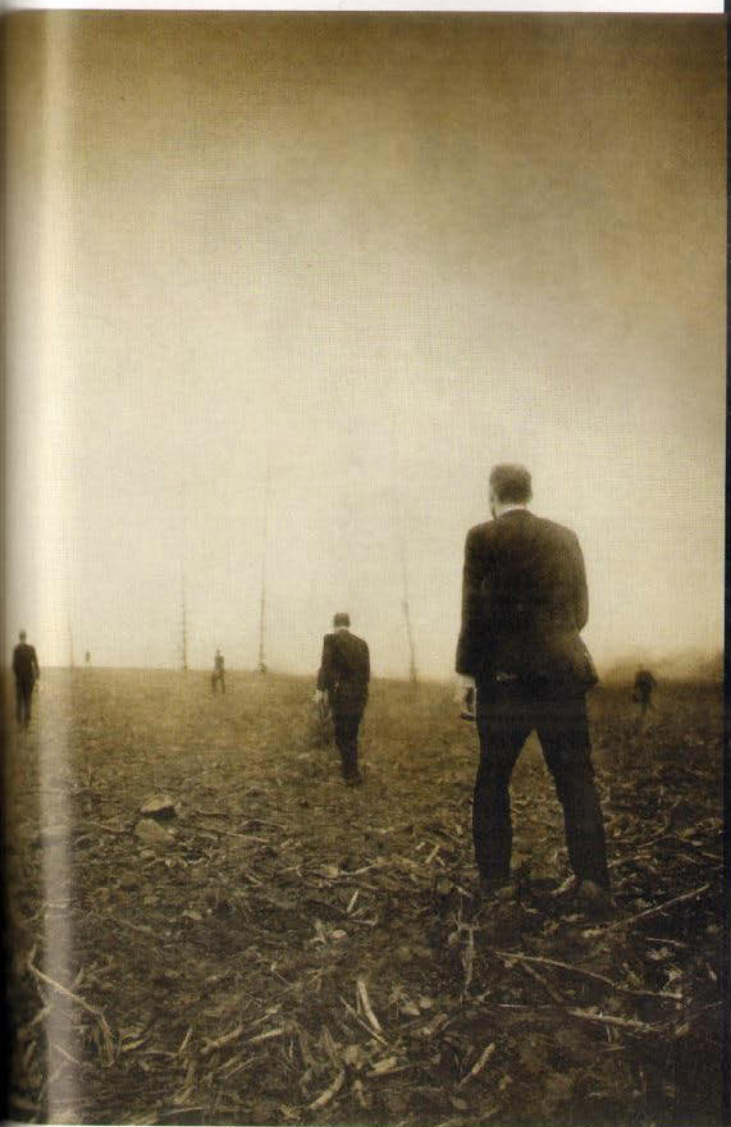
Sigmund Freud verglich das „Es“ mit einem Pferd und das „Ich“ mit dem Reiter, der die überlegene Kraft des Pferdes zügeln soll. „Wie dem Reiter, will er sich nicht vom Pferd trennen, oft nichts anderes übrig bleibt, als es dahin zu führen, wohin es gehen will, so pflegt auch das Ich den Willen des Es in Handlung umzusetzen, als ob es der eigene wäre.“

So ähnlich stellen es sich heute Hirnforscher vor: Letztlich ist es das „Es“, das Pferd, das die Richtung vorgibt. Der Reiter macht sich die Intentionen des Tieres zu eigen und glaubt triumphierend: Das Pferd ist genau dorthin gegangen, wohin ich wollte. „Wir haben eine Deutungsmaschine im Kopf, die sich darauf spezialisiert hat, für alles eine Erklärung zu finden“, so der US-Neurowissenschaftler Michael Gazzaniga.

Forschern wird immer deutlicher: Da ist etwas Grandioses in uns, das sich völlig unserer Kontrolle entzieht. Die Datenflut und der Erkenntnisgewinn der letzten Jahre scheinen viele Naturwissenschaftler regelrecht zu berauschen. Sie schieben Menschen in die Röhren ihrer Messgeräte, lassen sie Gedichte aufsagen, Wortspiele durchschauen und Fingerübungen vollführen, um das „organische Fundament“ (Freud)



Lange glaubten Forscher, dass zielstrebige Menschen stets überlegt handeln. Heute weiß man, dass uns Pläne und Absichten selten präsent sind – sie leiten uns im Verborgenen



des Psychischen, das Gehirn, zu begreifen – und die Reiche des „Ich“ und des „Es“ grob zu identifizieren.

Das bewusste Denken herrscht demnach im **assoziativen Kortex*** der Großhirnrinde – jener Hüterin der Logik, die eine Handlung rational abzuwägen versteht. Das Unbewusste dagegen regiert vor allem tief in den entwicklungsgeschichtlich alten Hirnstrukturen, im **limbischen System** etwa, dem Hort der Emotionen, Wünsche und Motive – aber auch in den völlig unbewusst arbeitenden **Basalganglien**, die an allen früheren Bewegungen beteiligt sind. So arbeiten sich die Forscher durch immer ältere Schichten des zentralen Nervensystems unter der Schädeldecke vor – gegen die Richtung der Evolution.

Die Reise zum Mittelpunkt des „Es“ führt zunächst durch relativ bekanntes Terrain. Sie beginnt im „Vorbewussten“ – ein Begriff, den Freud erdachte und der heute noch hilft, die psychische Schicht zwischen Bewusstem und Unbewusstem zu beschreiben. Es scheint hauptsächlich in der Großhirnrinde lokalisiert zu sein.

Alles Erlernte und Biografische wird hier sozusagen in einer lockeren Humusmasse vergraben, aus der es leicht wieder hervorgeholt werden kann. Ein biologischer Wissensdünger, angereichert mit verwertbaren Informationen – Telefonnummern, Gedichten, Geburtsdaten und der Antwort auf die Frage: Was habe ich letztes Silvester gemacht?

Auf diese bewusstseinsfähigen Daten kann der Mensch zurückgreifen, wann immer er will. Ansonsten bleibt er von der Informationsmasse relativ unbehelligt.

Wirklich spannend wird der Weg nach innen erst unterhalb des Vorbewussten. Dort beginnt die eigentliche Sphäre des Unbewussten, die selten an die Oberfläche stößt. In ihr liegt ein gigantisches Reservoir an Fähigkeiten, die überlebenswichtig sind. Dieser unbekannte Kontinent erzeugt beispielsweise die scheinbar automatischen Körperfunktionen: den Tanz Tausender Botenstoffe und Hormone etwa oder das Koordinationsspiel der Organe, Gliedmaßen und Mäuler.

Das Telefon läutet. Wie Automaten heben wir die Hand und führen den Hörer zum Ohr. „Hallo?“ Der Mund bewegt sich wie durch Zauberei; durch Lippen- und Zungenakrobatik stoßen wir Laute hervor, die andere verstehen können. Tausende Informationssplitter und Regeln kommen dabei unbewusst zum Einsatz, wie Grammatik, Syntax, Semantik, idiomatische Konventionen, linguistische Traditionen, spezifisch für unsere Region, unser Land, unsere Stadt, unsere Familie.

Wären wir uns all dieser Muster bewusst, die für gesprochene Sprache notwendig sind, würde es Stunden kosten, auch nur einen einfachen Satz zusammenzustottern.

Stattdessen sprudelt es einfach aus uns heraus. Auch Kluges, Poetisches, geschliffene Rhetorik, ohne dass wir einen Gedanken daran verschwender hätten. Da bleibt keine Zeit für das träge Bewusstsein, das 300 Millisekunden für die Ausformung eines Gedankens benötigt.

Unheimlich schnell, in Mikrofraktionen von Millisekunden, arbeitet das prozedurale Gedächtnis (siehe Seite 61). Die komplexen erlernten Tätigkeiten können so tief in uns eingebrannt sein, dass wir sie völlig unbewusst – automatisch – tun. Wie das Autofahren: 30 Minuten bis ins Büro, Stoßverkehr, wie unangenehm der Ärger mit der Familie, warum streiten wir immer wieder über das Gleiche... Lange Zeit wissen wir nicht, dass und wie wir den Wagen gesteuert haben. Das Bewusstsein hat dabei keine Rolle gespielt.

Beim Erlernen der Fähigkeiten ist es allerdings unverzichtbar. Bewusst lernen wir lesen und schreiben, Klavier oder Tennis spielen, Ski oder Auto fahren, bis es uns „in Fleisch und Blut“ übergegangen ist. Von da an aber stört das lahme

* Blau hervorgehobene Begriffe werden im Glossar ab Seite 150 näher erklärt.

Jeder Geistesblitz, jede Idee, die in uns aufleuchtet, entsteht tief im Inneren unseres Gehirns – in den schöpferischen Schichten des Unterbewusstseins

Bewusstsein nur noch: Ein Skifahrer, der darüber nachdenkt, was er gerade tut, stürzt; ein Pianist verspielt sich. Je besser wir etwas beherrschen, desto dauerhafter sinken die Inhalte von der Großhirnrinde in die Basalganglien ab – vom Vorbewussten ins völlig Unbewusste. In jene Strukturen, die tief im Gehirn eingelagert sind.

Von dort gibt es fast keinen Weg zurück ins Bewusstsein. Niemand kann wirklich sagen, wie er auf dem Fahrrad Balance hält. Oft sind wir gerade dann am besten, wenn wir nicht wissen, was wir tun. Wie Dichter oder Maler, die im schöpferischen Akt sich selbst und die Welt vergessen.

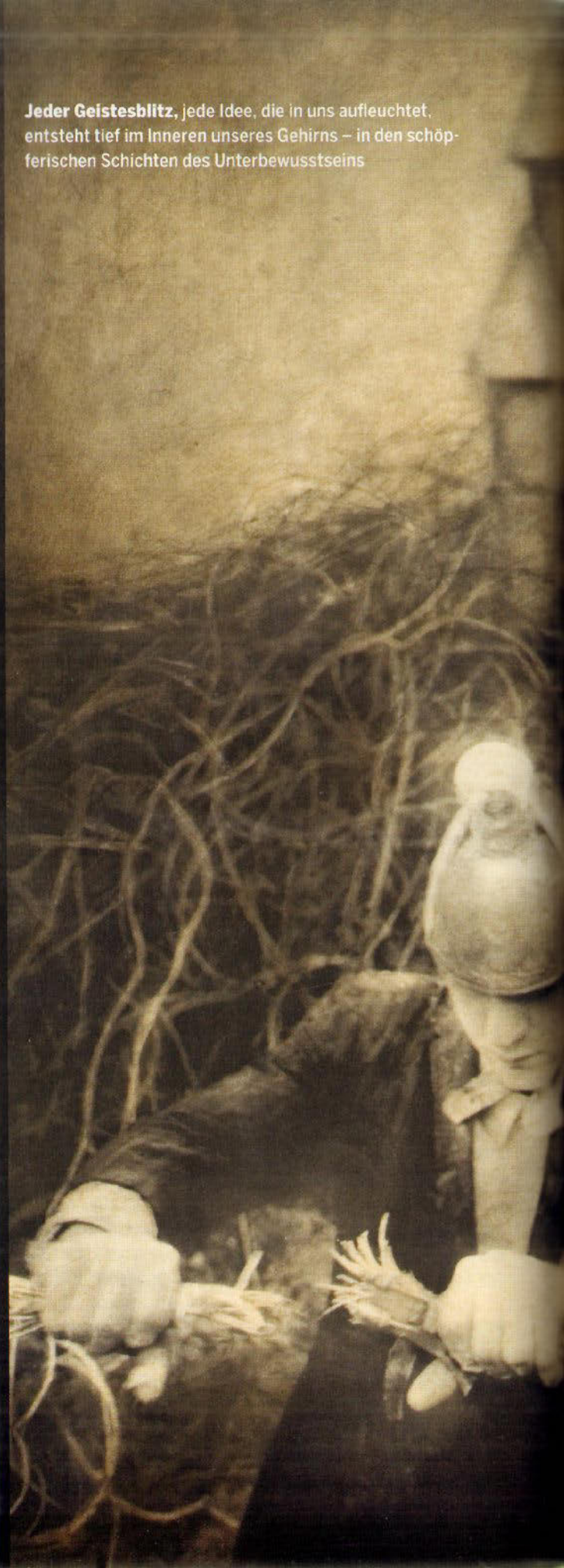
Das Unbewusste ist die Kraft, die uns lenkt. Es ist „hilfreich und effizient“, sagt der Psychologe Timothy Wilson. Es lässt in uns geisterhafte „Zombies“ agieren, die wie seelenlose Agenten perfekt auf einen Auftrag programmiert sind, so der Neurowissenschaftler Christof Koch vom California Institute of Technology. Stunde für Stunde, Tag für Tag funktionieren sie.

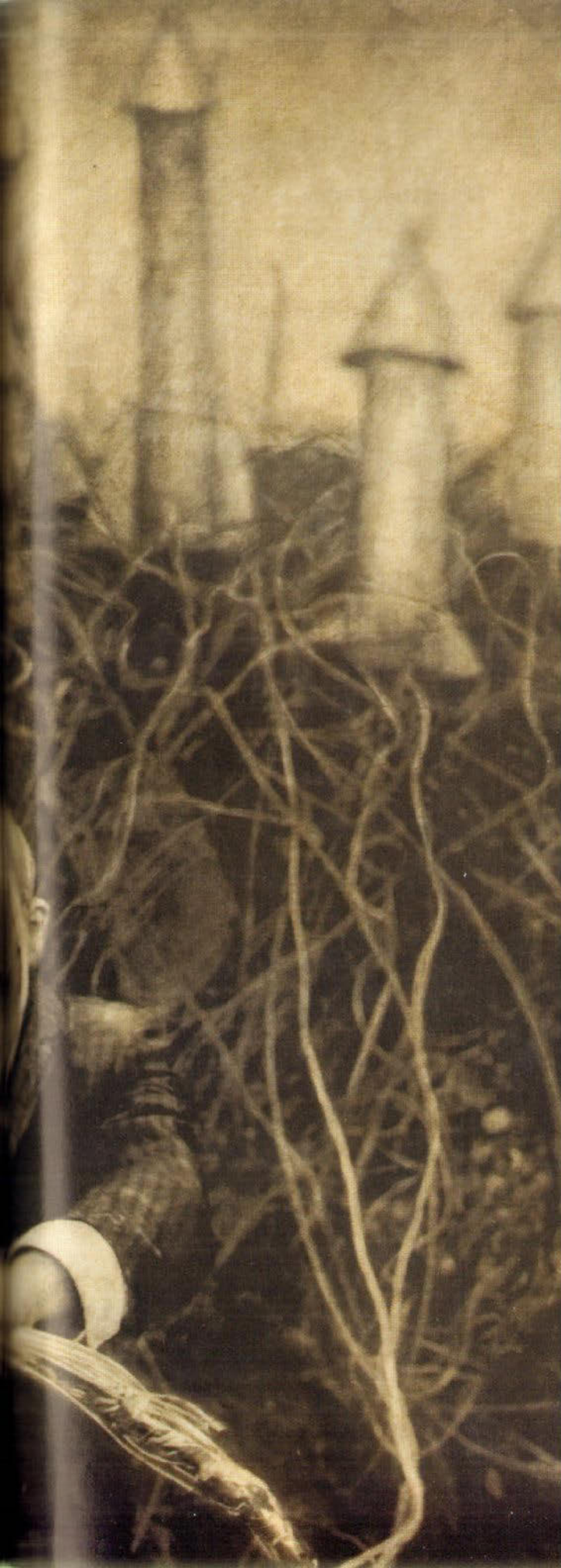
Diese Automatismen halten uns den Kopf frei für die wichtigen Dinge – in den kurzen Momenten der Aufmerksamkeit, wenn Überraschendes passiert, für das unser Gehirn keine fertigen Programme findet. Wenn Situationen nicht mehr stereotyp sind, etwa beim Heulen der Sirene des Rettungswagens. Dann sind die Ansprüche zur Problembewältigung erhöht, dann schaltet sich unser Bewusstsein ein.

Das kostet Kraft. Das Bewusstsein verschlingt 80 Prozent der Energie im Gehirn. Nur 20 Prozent stehen dem Unbewussten zur Verfügung. Denn für alles, was die Routine übersteigt, muss der Organismus neue Netze anlegen, Botenstoffe, Rezeptoren, Signalkaskaden in Sekunden hochfahren, andere Körperfunktionen drosseln. In einer Prüfung mit komplexen geistigen Anforderungen versinkt alles um einen herum, die Füße werden kalt, die Hände klamm. Der Teil der Großhirnrinde, in dem das bewusste Denken stattfindet, saugt die Energie ab.

Bewusstsein ist Luxus. Deshalb schaltet das Gehirn, sooft es kann, auf Autopilot. Der arbeitet billig, schnell und exakt. Bloß nicht nachdenken, lautet die Devise. „Wir sparen unsere Kraft für Neues, eventuell Gefährvolles auf“, sagt Gerhard Roth. So scannen wir wie mit einem Radarsystem als Erbe unserer Entwicklungsgeschichte die Umwelt, denn schnelles, unbewusstes Registrieren und Reagieren war in grauer Vorzeit überlebenswichtig. Hirsch oder Wolf? Freund oder Feind?

Aus diesem Grund existiert auch ein segensreicher Hochleistungsfilter im Kopf, der unermüdlich wirkt. In jeder Sekunde trommeln über unsere Sinne viele Millionen Basiseinheiten an Information – Bits – auf uns ein, von denen wir nichts wahrnehmen. Wie sitzt es sich auf dem Stuhl? Schnürt





Das Bewusstsein verbraucht 80 Prozent der Energie im Hirn – das Unbewusste nur 20 Prozent

die Kleidung ein? Klopft da nicht jemand? Wie schmeckt der Kaffee? Bewusst erleben wir nicht mehr als 40 Bits pro Sekunde – wo bleibt der überwältigende Rest? Er sinkt in jene Tiefgeschosse des Gehirns, die eine Unmenge von Sinnesindrücken und Erfahrungen speichern und uns vor dem chaotischen Überfluss bewahren.

Das Unbewusste schläft nie. Das Gehirn ist immer aktiv. Ständig strömen Informationen und beeinflussen unser Verhalten. Davon lebt eine ganze Branche. Werbepsychologen wissen: Viele Wege führen nach unten. Ständige Wiederholungen etwa lassen Produktnamen effektiv ins Unbewusste sickern und beeinflussen das Kaufverhalten. Denn was unbewusst im Gedächtnis schlummert, wird später als vertraut und angenehm eingeschätzt – folglich eher gekauft.

Musik schlägt ebenfalls eine breite Schneise. Sie bringt Menschen dazu, in Supermärkten in bestimmte Regale zu greifen. Psychologen der Universität Leicester ließen bei einem Versuch jeden zweiten Tag französische Akkordeon-Weisen erklingen. Prompt kauften die Kunden dreimal mehr französischen Wein als deutschen. Bei Beschallung mit bayerischer Blasmusik griffen sie häufiger zu deutschen Produkten.

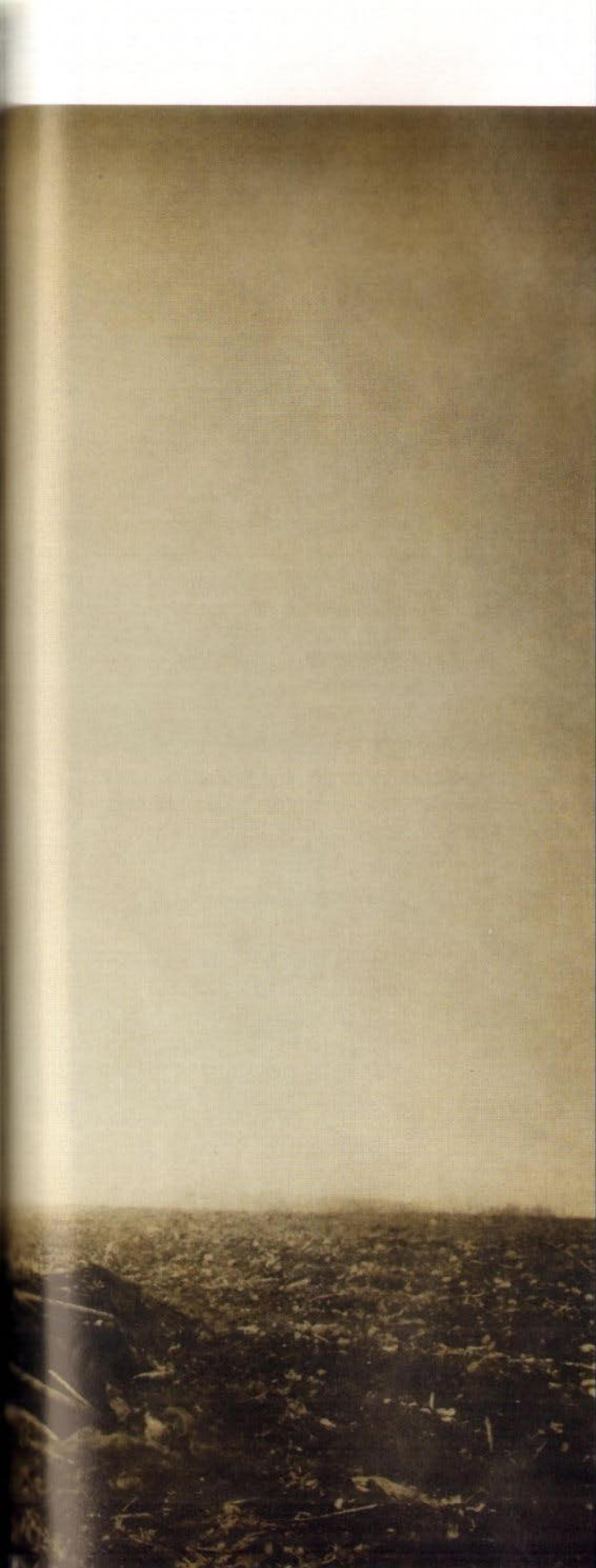
Die Wege der Wahrnehmung sind, oberflächlich betrachtet, einfach: Die meisten der vom Gehirn verarbeiteten Signale bleiben zunächst im riesigen Bereich des Unbewussten, bis sie in die höheren Bereiche der Großrinde gelangen. Damit ein Reiz uns bewusst wird, muss er dort lange genug verweilen (vermutlich einige 100 Millisekunden) oder intensiv genug sein. Er muss einen Schwellenwert überschreiten, um eine ausreichende Menge von Neuronen zu synchronisieren, wie der Gehirnforscher Wolf Singer vom Max-Planck-Institut für Hirnforschung in Frankfurt am Main vermutet (siehe auch Seite 78).

Wissenschaftler der Berliner Charité konnten mittels EEG-Ableitungen zeigen, dass eine Elektrostimulation des Zeigefingers, die nicht bewusst wahrgenommen wird, im Gehirn ankommt – wenn auch nur in den „untergeordneten“ Regionen. Erst wenn der Reiz stark genug ist, werden unter anderem für den Tastsinn zuständige „höhere“ Gebiete des Gehirns mit aktiviert, und die Fingerberührung steigt ins Bewusstsein. Ob unbewusst oder bewusst – alle Reize drängen durch die gleiche Pforte. Vieles gelangt allerdings nie nach „oben“. Ist der Stimulus zu schwach, wird er frühzeitig weggefiltert oder gar unterdrückt, wie eine Studie der Berliner Forscher nahelegt.

Trotzdem ist er wirksam – wie jene Bilder von zähnefletschenden Dobermännern und lächelnden Kleinkindern,



Bevor wir uns eines Gedankens bewusst werden, passiert dieser einen Zensor – eine unbewusste Instanz, die beurteilt, ob sie mit dem Gedanken einverstanden ist oder nicht



Alle Reize dringen durch die gleiche Pforte, doch viele gelangen nie in das Bewusstsein

die John Bargh auf den Bildschirm brachte. Obwohl seine Versuchspersonen nichts gesehen haben konnten – die Fotos erschienen alle unterhalb der Wahrnehmungsschwelle –, ließ er sie „raten“, ob das Unsichtbare etwas Gutes oder Schlechtes gewesen sein könnte. Die Leute tippten intuitiv sehr häufig richtig, wussten aber nicht, weshalb ihnen das gelungen war.

Intuition fällt also nicht vom Himmel, ist keine metaphysische Eingebung. Vielmehr greift das Unbewusste auf Kenntnisse zurück, die sofort abrufbar sind, ohne dass wir darüber nachdenken müssen – und fällt das Urteil. Auch bei kreativen Akten, wenn aus dem Nichts eine Idee „auftaucht“, offenbart sich für einen Augenblick das unermüdlich aktive Unbewusste. Selbst in Träumen kommen Ergüsse der unentwegt arbeitenden Daten-Umwälzanlage im Kopf an die Oberfläche. Im Schlaf, wenn die Reize aus der Umwelt zum Großteil ausgeblendet sind, lässt das Unbewusste der Fantasie freien Lauf.

Jeder Eindruck hinterlässt eine Spur. Der Mensch ist durchsetzt von solchen „Einstimmungen“ mit unbewussten Reizen und „Bedeutungsszenarien“, wie Forscher die innere Tönung umschreiben. Wie oft wissen wir nicht, warum wir verstimmt sind? Weshalb schroff oder grundlos glücklich? Wie oft sind Kleinigkeiten vorausgegangen, die wir übersehen haben, die uns aber trotzdem führen? Eine Filmszene, ein freundliches Wort am Frühstückstisch, ein Beinahe-Unfall auf dem Weg zur Arbeit?

Doch das Unbewusste befiehlt nicht, es arbeitet subtil, flüstert und wispert, es hat ja ohnehin das Sagen. Und es ist nicht nur Herr über Wissensspeicher, Datenfilter, Steuerruder oder Fertigungsautomaten, sondern auch eine Art Dolmetscher. Eine seiner wichtigsten Übersetzungsarbeiten: andere Menschen und deren Absichten in Gesichtern und Gesten schnell und zutreffend zu interpretieren – sie könnten ja Feinde sein.

Für diese Schnelligkeit aber müssen wir zahlen. Manchmal scheitert das mentale Abtastsystem jämmerlich. Vor allem dann, wenn ihm Falschinformationen geliefert werden. Zeigt man Probanden unterschwellig Wörter wie „feindlich“ oder „beleidigend“, dann sehen sie eine Person in eingespielten Filmhandlungen negativer als diejenigen, die neutralen Begriffen ausgesetzt waren. Intuitive Menschenkenntnis kann also irren. Im alltäglichen Leben werden Vorurteile über andere aber nicht durch Laborexperimente ausgelöst, sondern „etwa durch die Hautfarbe“, so John Bargh.

Der „Chamäleon-Effekt“ stammt aus der gleichen Trickkiste und wirkt wie sozialer Klebstoff. Damit bezeichnen For-

Jeder Mensch greift auf seine Erinnerungen zurück und gleicht sie mit der Gegenwart ab

scher die Tendenz, Bewegungen und Gesten von Sozialpartnern unbewusst nachzuahmen. So wurden Versuchspersonen gebeten, mit einem unbekannten Gegenüber im Team bestimmte Aufgaben zu erfüllen. Manche der Mitspieler wurden vorher insgeheim instruiert, Gesten auszuführen, etwa sich an der Stirn zu kratzen oder mit dem Fuß zu wackeln. Bald schon machten die ahnungslosen Teilnehmer die gleichen Gesten nach – und keiner war sich, wie eine Befragung ergab, dessen bewusst. Wenn umgekehrt der Eingeweihte die unwillkürlichen Bewegungen der Testperson imitierte, dann gab diese später an, den Partner sehr sympathisch gefunden zu haben.

Der Mensch – ein Sozial-Roboter? Mit einem müsse *Homo sapiens* sich abfinden, sagt Bargh: mit der „unerträglichen Automatik des Seins“. Das Unbewusste mit all seiner Macht mache vor Zwischenmenschlichem nicht halt. Häufig arbeite es aber als „hilfreicher Diener“, der genau wisse, was gut sei für seinen Herrn. Es erfasse schnell und mühelos Menschen, Objekte und Ereignisse – basierend auf früherer Erfahrung. Es ordne sie ein und richte die Handlungen danach aus. Alles ohne den leisesten Hauch von Überlegung. Gleichsam bewusstlos.

Und wie steht es um unsere selbst gesteckten Ziele? Selbst die gehören uns offenbar nicht so, wie wir meinen. „Glaubten wir früher, dass zielstrebige Menschen immer sehr bewusst vorgehen, so müssen wir das heute revidieren“, sagt der Sozialpsychologe Peter Gollwitzer. Gemeinsam mit John Bargh betreibt er Motivationsforschung. Deren Botschaft: Persönliche Ziele sind nicht überlegt entworfen und verfolgt. Sie leben vielmehr ihr eigenes unbewusstes Leben in uns.

Selbst banalste Klischees wirken. Um etwa Leistungsstreben in Intelligenztests anzuregen, genügt es, bei einem Versuch den Probanden das Bild ihrer Mutter vorzulegen. (Vorher war der mütterliche Ehrgeiz-Faktor in einer verdeckten Befragung geprüft worden.) Mit einem Blick auf das Foto des wohl bekannten Gesichts schnitten die Söhne und Töchter der ambitionierten Erzeugerinnen in den Tests weitaus besser ab.

Damit konnten Ziele der Versuchspersonen unbewusst stimuliert und die darunter liegenden „Motivationsstrukturen“ bedient werden. Selbst Begriffe wie „Streben“ oder „Anstrengen“ – subliminal präsentiert – reichten aus, in einer Teamsituation aus einem normalen Zeitgenossen einen eher egoistischen Menschen zu machen, der unterlegene Mitspieler demütigt. Das Wort „fair“, vorher ins Unbewusste eingepflanzt, machte in einer Verhandlungssituation dagegen rücksichtsvoll und ließ den schwächeren Partner das Gesicht wahren.

Gollwitzer und Bargh gründeten auf etlichen ähnlichen Experimenten ihre viel beachtete „Automotive-Theorie“.

Sie besagt: Ebenso wie bei anderen Fertigkeiten, die durch Wiederholung unbewusst werden können – Autofahren oder Tennisspielen, das Beherrschen einer Fremdsprache –, verfolgen wir unsere einmal bewusst gesetzten Ziele im späteren Leben unbewusst. Der Vorteil ist groß: Ohne Beteiligung des „Ich“ kostet das Strebertum fast nichts.

Sind Menschen also nichts weiter als Pawlow'sche Hunde, die ohne eigenen Antrieb nur reflexhaft reagieren? Nicht immer, sagen die Forscher. In wichtigen Belangen schreitet das Bewusstsein ein, wenn auch immer nur für kurze Momente. Danach taucht es gleich wieder ab und übergibt an das untergründige Regime. „Wir haben das Unbewusste emanzipiert“, sagt Gollwitzer. „Wir haben gezeigt, dass es weder böse noch dumm ist, sondern erstaunlich clever.“

Der Philosoph Alfred North Whitehead hat schon 1911 erkannt: „Die Zivilisation schreitet voran, indem sie die Zahl der Operationen vergrößert, die wir tun können, ohne an sie zu denken.“ Dass Wissen, Erlerntes, Informationen, Wahrnehmungen, biologisches und soziales Verhalten, Ziele und Motive im Hoheitsgebiet des Unbewussten liegen – das scheint nach all den vorliegenden Ergebnissen nicht mehr umstritten zu sein.

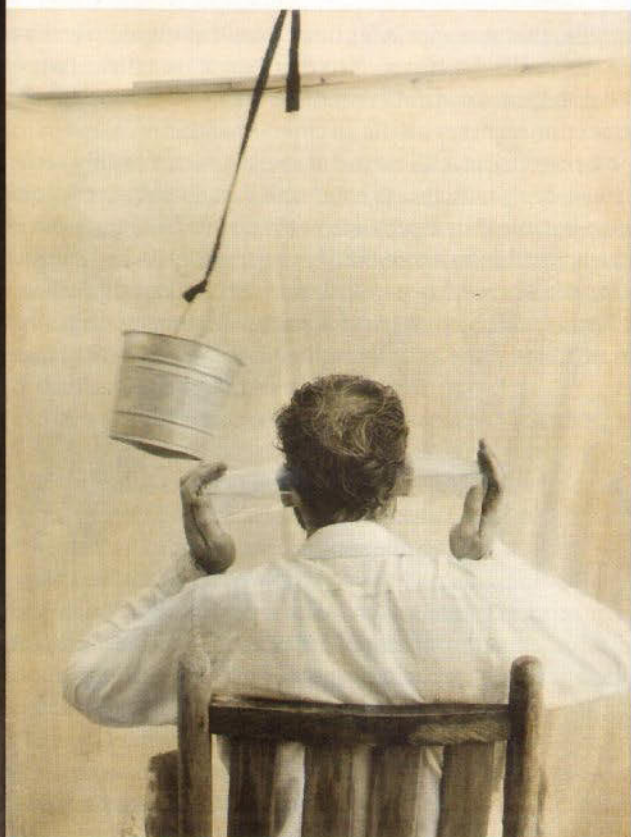
Doch die Expedition ins Innere des Planeten Mensch geht weiter: zum Mittelpunkt des „Es“. In den Höhlen und Nischen der untersten Schichten existiert eine weitere Unterwelt, die psychisches Leben erst ermöglicht. Dort keimen – neben den vorgegebenen genetischen Prädispositionen – die Anlagen für Glück oder Leid, Krankheit und Gesundheit. Nur ein Weg führt in diese tiefen Schichten: der über die frühe Kindheit.

Die ersten Lebensjahre gelten als Ära des Unbewussten. Geradezu visionär habe Freud die überragende Bedeutung der Kindheit erkannt, sagt Gerhard Roth, was sich heute experimentell bestätigen lasse. Nach neuesten Erkenntnissen reifen die zwei großen Systeme im Gehirn unterschiedlich schnell. Bereits im Mutterleib ist das limbische System in der Lage, emotionale Erlebnisreize zu verarbeiten und abzuspeichern – lange bevor kognitives Lernen, Bewusstseinsstrom und autobiografisches Gedächtnis einsetzen. Will sich ein Erwachsener an diese Zeit der „infantilen Amnesie“ (Freud) erinnern, wird er mit großer Mühe lediglich Inseln des Bewusstseins ausmachen.

Die frühe unbewusste „Prägung“ ist der Schlüssel zur menschlichen Psyche, denn in ihr werden erste spezifische Merkmale einer Persönlichkeit ausgebildet. „Die Erziehung



Nur ein Weg führt zu den Wurzeln des »Ich«, zum Zentrum unserer Psyche: der über die frühe Kindheit



Die Verdrängung schrecklicher Erlebnisse ins Unbewusste ist der zentrale Schutzmechanismus unserer Psyche

von Kleinkindern kann demnach so einschneidend sein wie ein hirneingriff, kommentiert Wolf Singer die neuen Erkenntnisse. Bis zum Alter von 20 Jahren bleibe das Gehirn „formbar und weich“.

Das kindliche Unbewusste ist der Kern, das Zentrum, der Mittelpunkt des Planeten Mensch. Hier häufen sich frühe Zuwendung, Ablehnung, Qual und Glückseligkeit an. Eine glühende Herdplatte, ein zu hohes Tempo, stilles Leid der Mutter, riskante Spiele des Vaters – alles schlägt sich direkt und ungefiltert in der neuronalen Struktur eines Kinderhirns nieder. Hier wurzelt, gemeinsam mit den genetischen Anlagen, das Temperament mit Merkmalen wie Ängstlichkeit, Spontaneität, Verwegenheit, Introvertiertheit, Extrovertiertheit.

„Emotionale Konditionierung“ nennt Gerhard Roth den unbewussten Mechanismus, der einem Charakter zugrunde liegt: Das ganze Leben über greift das Individuum auf den Erlebnisspeicher zurück und gleicht ab. Das Gehirn funktioniert aufgrund seiner Geschichte, der wir kaum entfliehen können – sie ist uns nicht bewusst.

Ein faszinierend dynamischer Prozess: Ein ähnlicher Input führt jedes Mal zu einer Veränderung des neuronalen Netzes und zu einem analogen Output. In jedem Moment findet Bewertung statt, deren Ergebnis zusammen mit dem Ereignis abgespeichert wird. Alles, was wir tun – zur Kaffeetasse greifen, einen Freund umarmen, die Toilette putzen –, wird gefiltert und über die emotionale Schleife im Unbewussten abgefragt, und dabei wird entschieden, was gut ist, was Lust bringt oder Schmerz bereitet. Das Erfahrungsgedächtnis vollführt ein Frage-und-Antwort-Spiel: Soll ich das tun oder nicht?

Und ebenso wichtig: Das unbewusste Erfahrungsgedächtnis ist in der Lage, den rational arbeitenden Teil des Gehirns mit seinen Botschaften „als Geisel zu nehmen“, wie es der US-Neurowissenschaftler Joseph LeDoux ausdrückt. Jeder Gedanke eines Erwachsenen muss, bevor er im Bewusstsein aufblitzt, das limbische System passieren, das Reich der Gefühle. Dort ist der Ursprung des kognitiven Aktes, dort wird er angefärbt, dort wird die Vernunft eingestimmt. Alles unterliegt dem gleichen Zensor: Ist das Unbewusste einverstanden oder nicht?

Ein raffiniertes Schutzsystem – das manchmal allerdings kläglich versagen kann. Wundern wir uns nicht ab und zu über falsche Entscheidungen? Rätselhaft, warum die letzte Beziehung trotz rationaler Abwägung wieder in die Brüche ging. Erklärung: Häufig drängt es uns in die Richtung des schon bekannten emotionalen Musters. Wie die Werbebranche setzt auch das Unbewusste auf Wieder-

holungen und auf Vertrautes. So kann uns die „Intuition“ auch hier täuschen, und wir fliegen immer wieder auf den falschen Typ von Partner.

Und die schlechten Omen, die mahnenden Stimmen aus dem Untergrund? Die verdrängen wir nur allzu gern.

Verdrängung – sie ist das Kernstück der Freud'schen Lehre. Aber gibt es diesen berühmten Mechanismus, Unangenehmes dem Zugriff des Bewusstseins zu entziehen, wirklich? Kann der Mensch Leid in einem unterirdischen Labyrinth verstecken? Auch zu dieser seit fast 100 Jahren währenden Debatte haben Neurowissenschaftler Neues beizutragen. Vor einiger Zeit erregte der Psychologe Michael Anderson von der University of Oregon Aufsehen mit der Veröffentlichung der Ergebnisse einer Studie, bei der er mithilfe bildgebender Verfahren die Gehirnarbeit beim Verdrängen plastisch machte.

Die Versuchsanordnung lässt sich im Prinzip wie folgt zusammenfassen: Wenn die Forscher baten, den zweiten Begriff eines ungleichen Wortpaares zu vergessen, dann konnten die Probanden diesen später nicht wiedergeben – und zwar selbst dann nicht, wenn ihnen Geld dafür geboten wurde.

Die bewusste Verdrängung hatte nicht nur zu einem Erinnerungsdefizit geführt, sondern auch zu einer erhöhten Aktivität im bewusstseinsfähigen **präfrontalen Kortex** und einer verringerten im **Hippocampus**, dem Organisator des Wissens-Gedächtnisses. Die Forscher glauben nun, im Zusammenspiel dieser beiden Hirnareale das neuronale Netzwerk identifiziert zu haben, das die Verdrängung unerwünschter Erinnerungen ermöglicht.

Die Experimentatoren haben zwar mit willentlicher Verdrängung gearbeitet, die Freud manchmal „Unterdrückung“ nannte, und nicht mit der Verdrängung im engeren Sinne: dem unwillkürlichen und unbewussten Abwehren von Erinnerungen. Dennoch „könnte die Studie einen Meilenstein bei der Erforschung der seelischen Schutzmechanismen darstellen“, so der Hirnforscher Hans Markowitsch von der Universität Bielefeld.

Denn solche Prozesse könnten eine entscheidende Rolle bei der Verarbeitung traumatischer Erfahrungen spielen. Damit ließen sich Phänomene erklären, die schon lange diskutiert werden. Warum etwa erinnern sich misshandelte Kinder meist schlechter an



Sprache ist eine Grenzgängerin zwischen den Welten, bewusst und unbewusst. Oft sprudelt sie einfach aus uns heraus

Vorfälle, in denen sie Opfer ihrer Familienangehörigen wurden, als an Übergriffe von fremden Tätern? Mögliche Lösung: Für das Kind ist die Erinnerung an den misshandelnden Vater schmerzlicher als die an einen Fremden.

Markowitsch weiß, wovon er spricht, wenn er die „Verletzlichkeit der kindlichen Psyche“ und das „Freud'sche Verdrängungskonzept“ in einem Atemzug nennt. Der renommierte Neuropsychologe hat mehr als 20 Amnesie-Patienten untersucht, die aus psychischen Gründen ihr Gedächtnis „verloren“ haben. Sie alle zeigten Hirnschäden, wie sie etwa nach Unfällen auftreten – und zwar im rechten, vorderen **Schläfenlappen**.

Dort ist das biografische Gedächtnis verankert, das Zeitreisen im eigenen Leben möglich macht.

Ein Beispiel: Ein 23-jähriger Bankkaufmann entdeckt ein Feuer in seinem Keller und schlägt Alarm. Die Feuerwehr löscht den Brand. Am nächsten Morgen ist der Mann verwirrt, kann sich nicht mehr an die letzten sechs Jahre erinnern. Er meint, er sei 17 anstatt 23 – eine Lücke in seiner Biografie. Neue Informationen kann er nicht aufnehmen. Er wird in die Psychiatrie eingewiesen.

Die Diagnose: Er leidet unter Dissoziation, dem radikalsten Schutzmechanismus, um Vergangenheit zu verdrängen. Irgendeine Erfahrung muss derart unerträglich gewesen sein, dass nur noch die Abspaltung half.

MEMO | DAS UNBEWUSSTE

» **SIGMUND FREUD** erkannte als Erster die enorme Kraft des Unbewussten.

» **ES REGIERT** vor allem in entwicklungsgeschichtlich alten Hirnstrukturen, etwa dem limbischen System.

» **DAS KINDLICHE** Unbewusste bildet den Kern der menschlichen Psyche.

» **MANCHE FORSCHER** vermuten, dass sämtliche Gedanken Produkte unbewusster Prozesse sind.

Schon im Mutterleib verarbeitet jene Kraft, die unser Handeln bestimmt, erste Reize

Dabei fällt eine Art Vorhang vor das Bewusstsein, eine Blockade setzt ein – Amnesie. Unbewusst sind die Gedächtnisinhalte aber noch vorhanden.

Kann ein kleines Feuer im Keller einen derartigen Flächenbrand im Gehirn bewirkt haben? Ja, sagt Markowitsch, denn die wahre Ursache liege in der Vergangenheit verborgen. Nach vier Wochen in der Psychiatrie erzählte der Bankkaufmann, dass er als Vierjähriger mit ansehen musste, wie jemand, schreiend und ans Fenster klopfend, in einem Auto verbrannte. Der Brand im Keller hatte offensichtlich die Vergangenheit wieder hervorgerufen.

So überzog eine zweite Welle von Stresshormonen das Gehirn: Die entsetzliche Erinnerung wurde wieder mit aller Gewalt ins Unbewusste gedrückt – und dazu gleich auch noch die vergangenen sechs, durch den Tod der Eltern sehr belastenden Jahre.

Alle Patienten von Markowitsch hatten eine unglückliche Kinderzeit und frühe schlimme Erlebnisse durchlitten, psychisch oder physisch. Beides kann „neurotoxisch“ wirken und jene „Wunden und Narben im Gehirn hinterlassen“, die der Psychologe mithilfe einer **Positronen-Emissions-Tomographie** nachzuweisen vermochte.

Der junge Bankkaufmann hatte Glück: Nach zwölfmonatiger Psychotherapie konnte er die Schockerlebnisse überwinden und schrittweise die Erinnerungslücken wieder füllen – und, wie seine Gehirnbilder unmittelbar zeigten, auch die biologische Wunde im Gehirn heilen. Eine solche Erholung, schätzt Hans Markowitsch, ist bei zehn bis 15 Prozent der Patienten möglich.

Wir können das Unbewusste also befrieden? Ja, sagt der Gehirnforscher. Wenn Menschen das Trauma überwunden haben, ändert sich die Aktivität im Gehirn. Sie wird schwächer in emotionalen Arealen, „da, wo die Panik sitzt“, und verstärkt sich links im **orbitofrontalen Kortex** – jener Region, die mehr mit Gedanken und Sprache zu tun hat. Das zeigt, dass sich das Gehirn abhängig vom Therapiezustand verändert. Die empathische Auseinandersetzung mit dem Patienten kann also helfen. Und vor allem: die Schutzfunktion des Bewusstseins.

„Gesundheit heißt, sich wichtiger Dinge bewusst zu sein“, sagt Markowitsch. Sich mit offenen Sinnen Konflikte und Verhaltensmuster anzuschauen.

„Es geht darum, sich die unbewussten Kräfte, die wir in uns haben, bewusst zu machen“, bestätigt Marianne Leuzinger-Bohleber, die Leiterin des Sigmund-Freud-Instituts.

„Doch der reine Appell an die Einsicht nützt nichts“, ergänzt der Hirnforscher Gerhard Roth. Heilend wirkten nur Gedanken, die mit starken Emotionen verbunden seien.

„Erst dann“, so Marianne Leuzinger-Bohleber, „können Reiter und Pferd eine Einheit werden.“ Die Zügel in der Hand zu halten und die Vitalität des Pferdes zu nutzen – das fördere die Heilung. Dann erst könnten auch neue Erfahrungen gemacht und Netze im Gehirn angelegt werden, die alte, „kranke“ Verknüpfungen umgehen – eine Vorstellung, die von vielen Wissenschaftlern geteilt wird.

Denn sie würde erklären, weshalb Psychotherapien ihre Zeit brauchen, warum die alten Traumatisierungen im Normalfall nicht vergessen werden und die psychoanalytischen „Redekuren“ niemals völlige Heilung gewähren. Menschen können bei der Behandlung nur lernen, das Leid abzuschwächen.

„Sie lernen, das Alte ruhen zu lassen und das Neue zu beginnen“, sagt Hirnforscher Markowitsch. Wie der junge Bankkaufmann, der seine Kindheit überwand.

Es ist eine Debatte, die Freud, dem talentierten Neurologen, gefallen hätte. Seit seinem „Entwurf der Psychologie“ von 1896 hegte er den Traum einer fest auf dem Fundament der Neurologie verankerten Lehre vom „seelischen Apparat“. Wo er das Unbewusste benannte, sprechen seine Erben nun von einem „sich selbst organisierenden biologischen System“.

Das „Ich“ ist nicht Herr im eigenen Haus, das hat allerdings schon Freud gesagt. Und hat damit der Menschheit nach Kopernikus und Darwin, die sie aus dem Zentrum ihrer Welt vertrieben und ihr den Glauben an ihre göttliche Herkunft genommen haben, die dritte Kränkung zugefügt.

Die moderne Hirnforschung, sagt der Philosoph Peter Sloterdijk, sei dabei, eine „neue Kränkung“ zu schaffen. Sie verunsichere die Menschen zutiefst, stelle lieb gewordene Sicherheiten und vielfach eingeübte Denkmuster rigoros infrage und verbanne sie womöglich ein für alle Mal auf den Schutthaufen der Geschichte.

Die Expeditionen, die aufgebrochen sind, den innersten Kontinent des Planeten Mensch zu erkunden, könnten den Kern der menschlichen Natur im Innersten erschüttern. □

Dr. Hania Luczak ist GEO-Redakteurin.

Literatur: Gerhard Roth, „Fühlen, Denken, Handeln. Wie das Gehirn unser Verhalten steuert“, Suhrkamp. Ran R. Hassin, James S. Uleman, John A. Bargh, „The New Unconscious“, Oxford University Press. François Ansermet, Pierre Magistretti, „Die Individualität des Gehirns. Neurobiologie und Psychoanalyse“, Suhrkamp.

»Der Wille ist nicht frei!«

Dass wir die Herren
unseres Handelns sind, ist
eine Illusion, die das Gehirn
uns vorgaukelt, sagen
Neurowissenschaftler. Was
bedeutet das für unser
Selbstverständnis, für den
Umgang mit Straftätern –
und vor allem: für unsere
Idee der Freiheit? Ein
Gespräch mit dem Philo-
sophen und Neurologen
Henrik Walter

Fotos: Martin Parr



Eine Geschichte des Müssens und Wollens: In seiner Fotoserie »The Last Resort« erzählt Martin Parr vom Alltag der britischen Arbeiterschicht in New Brighton, einem heruntergekommenen Seebad nahe Liverpool. Die Besucher dieses »letzten Ferienortes« sind Gefangene der Umstände, ihrer Zeit, ihres Milieus. Aber eben auch freie Menschen, die sich das Recht auf einen Urlaub nicht nehmen lassen. Parrs Bilder illustrieren Gegensätze – zwischen Wille und Zwang, Individuum und Masse, Aktivität und Trägheit







Tausende Menschen, Tausende Sonnenbrände, Tausende Träume vom glücklichen, selbstbestimmten Leben. Doch die Annahme, Entscheidungen völlig frei getroffen zu haben, könnte sich als pure Illusion erweisen – wenn die Hirnforscher recht haben

GEOkompakt: Herr Professor Walter, war es Ihr freier Wille, diesem Interview zuzustimmen?

Prof. Henrik Walter: Es war mein eigener Wille. Sie merken, ich habe das Wort „frei“ weggelassen. Ein deutscher Philosoph hat einmal gesagt, wir sollten einfach den Versuch machen, wann immer wir über den freien Willen sprechen, das Wörtchen „frei“ wegzulassen. Und werden sehen, dass uns fast nichts verloren geht.

Wenn wir jetzt das Wort „frei“ weglassen: Was ist dann Wille?

Wille ist, wenn etwas aufgrund einer bewussten Absicht geschieht und diese Handlung nicht unter Zwang erfolgt. Im Regelfall setzen wir willentliche Handlungen mit kontrollierbaren, steuerbaren, bewussten Handlungen gleich. Bei dieser Definition kommt das Wörtchen „frei“ gar nicht vor.

Bezieht sich das auf jegliche Handlungen?

Auf willentliche Handlungen. Es gibt andere Handlungen, die sind nicht willentlich. Zum Beispiel ein Zucken oder Fahrradfahren. Wenn Sie sich vornehmen: „Ich will um 15 Uhr Kaffee trinken“, dann ist das eine willentliche Entscheidung. Aber wenn die Tasse jetzt einfach da steht und Sie danach greifen, dann ist das eine automatische Handlung. Dazu brauchen Sie Ihren Willen gar nicht.

Und was hat es nun mit dem Begriff „frei“ auf sich?

Manche verstehen darunter eine Form der absoluten Freiheit. Sie ist unabhängig vom Zustand der Welt, von den eigenen Motiven und dem Zustand des Gehirns. Sie meint, dass es möglich wäre, immer so oder auch ganz anders zu handeln. Diese Form der Freiheit kann es jedoch nicht geben.

Weshalb nicht?

Es gibt zunächst eine Voraussetzung, die wir machen müssen: Was immer genau Geist ist – er beruht auf letztlich physischen Prozessen, die weitgehend im Gehirn ablaufen, in Interaktion mit der Umwelt. Diese Prozesse müssen mit dem, was wir von der Physik, der Biologie und der Neurowissenschaft über die Welt wissen, verträglich sein. Und dann entsteht die Frage: Ist diese Welt deterministisch oder indeterministisch?

Können Sie uns das genauer erklären?

Deterministisch würde bedeuten: Es gibt an jedem Punkt in der Geschichte immer nur *einen* Weg, wo es langgehen kann. Es gibt keine echten Alternativen für Entscheidungen. Indeterministisch dagegen bedeutet, dass es echte Verzweigungen gibt, und wenn man der gültigen Physik folgt, ist das so etwas wie absoluter Zufall. Beim Zerfall eines Atoms zum Beispiel kann man nicht sagen, wann und wie es zerfällt. Das ist rein zufällig.

Was hat das mit dem freien Willen zu tun?

Wenn es einen absoluten freien Willen gäbe, dann ginge das nur, wenn die Welt an Punkten der Entscheidungen indeterminiert wäre. Aber – und hier kommt nun das schlagende Argument – damit gewinnen wir gar nichts. Das Einzige, was wir dazugewinnen, ist, dass unsere Handlungen dann zufällig sind.

Doch der Zufall kann uns nicht mehr Freiheit geben. Er kann sie nur einschränken. Denn wenn wir die Ausdrücke „freier Wille“ oder „eigener Wille“ gebrauchen, dann vor allem in solchen Situationen, in denen wir uns für etwas verantwortlich erklären oder verantwortlich gemacht werden. Wir wollen nicht, dass eine Entscheidung vom Stolpern eines Atoms im Gehirn abhängt, sondern allein von unseren Motiven. Von unseren Gründen, die irgendwie im Gehirn realisiert sind. Da hilft uns der Zufall nicht weiter. Im Gegenteil, wir müssen ihn aussperren.

Aber wenn der Zufall nicht weiterhilft, wäre ja die Alternative die deterministische Sicht, die besagt: Alles ist vorherbestimmt. Das klingt doch genauso wenig frei.

Das glauben zumindest die meisten Menschen. Aber die Frage ist, ob Freiheit, das heißt die Wirksamkeit des eigenen Willens, und der Determinismus miteinander vereinbar sind. Genau darüber streiten sich Philosophen schon seit Jahrtausenden. Und viele nehmen eine solche Vereinbarkeit an.

Dann aber kann man nicht mehr an der absoluten Freiheit festhalten, sondern muss einen anderen Begriff des freien Willens haben. „Freier Wille“ heißt dann nicht, ich kann unter genau den gleichen Umständen so oder auch





Bagger und Beton, statt Sonnenschirm und Sandstrand: Selbst in der Tristesse von New Brighton entdeckt der Fotograf so etwas wie Autonomie



Ketchup oder Senf? »Manche Leute sind in dem Sinne unfrei, dass sie nur zwei Alternativen haben«

anders handeln. Sondern „freier Wille“ heißt, meine Handlungen gehen auf meine eigenen, selbst bestimmten Absichten zurück.

Es gibt ein berühmtes Experiment des Neurophysiologen Benjamin Libet, das oft als Argument dafür angeführt wird, dass die Neurobiologie bewiesen habe: Einen freien Willen gibt es nicht. Probanden wurden angewiesen, willkürlich einen Finger zu bewegen. Dabei schauten sie auf die Uhr und sollten sich merken, wann sie ihren bewussten Entschluss gefasst hatten. Gleichzeitig maß Libet die elektrische Aktivität an den beteiligten Hirnarealen und stellte fest: Die neuronalen Vorgänge, die die Bewegung vorbereiteten, setzten 0,3 bis 0,5 Sekunden ein, ehe der Proband sich seiner Absicht bewusst wurde. Was halten Sie davon?

Es ist eines der am meisten überschätzten Experimente in der kognitiven Neurowissenschaft. Ich möchte

zweistufig darauf antworten. Das Erste ist: Selbst wenn dieses Experiment zeigen würde, dass es in diesem speziellen Fall keinen freien Willen gäbe – was nicht der Fall ist –, würde es nichts zu anderen, viel wichtigeren Fällen sagen.

Das heißt, die Entscheidung, einen Finger zu bewegen, ist eine spezielle Situation und bedeutet nichts für andere Handlungen und Entscheidungen?

Richtig. Aber klammern wir das einmal aus. Dann kann man sich erstens klar machen, was das Experiment eigentlich zeigt. Die genaue Instruktion nämlich lautete: „Bewegen Sie Ihren Finger, wann immer Sie den Drang dazu verspüren. Aber bitte ungefähr alle zehn bis 15 Sekunden.“ Zudem erhielten die Versuchsteilnehmer die Instruktion: „Bitte machen Sie das nicht in einem festen Rhythmus, sondern in unregelmäßigen Abständen.“ Im Prin-

zip bedeuten diese Instruktionen, einen Zufallsgenerator zu simulieren. Ich soll meinen Finger bewegen, wann ich will. Aber ich darf mir nicht vornehmen, dass ich es regelmäßig mache. Ich darf mir nicht vornehmen, dass ich es selten mache. Ich darf mir nicht vornehmen, dass ich es zu häufig mache.

Und der zweite Punkt?

Ich bewege in der beschriebenen Art meinen Finger. Wie bekomme ich jetzt eigentlich heraus, wann mein bewusster Wille begann? Die Instruktion lautet: „In dem Moment, in dem Sie merken, dass Sie Ihren Finger bewegen wollen, merken Sie sich, wo der Zeiger der Uhr stand.“ Doch kann ich diesen Zeitpunkt tatsächlich exakt bestimmen? Wie weit kann man dem Gedächtnis trauen? Zudem muss man den Versuch 30- bis 40-mal wiederholen und dann Mittelwerte bilden. Den erinnerten Wert des

subjektiv empfundenen Beginns des Wollens kann man dann in Beziehung setzen zu dem Zeitpunkt, an dem das sogenannte Bereitschaftspotenzial auftritt, das vor einer Bewegung beginnt. Und dann folgert man: Das Gehirn ist ja schon tätig, obwohl das Bewusstsein des Probanden davon noch nichts weiß.

Und stimmt das nicht?

Es ist nicht der Wille im Sinne eines kontrollierten Prozesses, sondern vielmehr das Bemerkte des Einsetzens eines Dranges, das man zu messen versucht. Im Prinzip geschieht Folgendes: Am Beginn des Experiments implementiere ich einen Bewegungsplan („Finger bewegen“), und das ist der eigentliche willentliche Prozess, in dem Bewusstsein eine Rolle spielt. Doch laut Instruktion darf ich die Bewegung nicht sofort ausführen. Ich warte also, bis ich loslegen kann. Wie mache ich das? Man weiß, dass in allen Muskeln ein sehr feines rhythmisches Zittern besteht, das mal mehr, mal weniger stark ist. Wenn ich nun auf den „Drang zur Bewegung“ warte, könnte es sein, dass ich diese Mikrobewegungen intern beobachte und dann, wenn sie eine gewisse Schwelle überschreiten, dieses Überschreiten als Beginn des Willensaktes interpretiere.

Das heißt, die willentliche Entscheidung ist schon gefallen und die Bewegung befindet sich sozusagen in der Warteschleife?

Wahrscheinlich wird in meinem Gehirn immer wieder der Anlauf zu einer solchen Bewegung gemacht, den ich aber unterbreche, weil ich die Bewegung ja nicht regelmäßig ausführen darf und nicht zu schnell, sondern nur alle zehn bis 15 Sekunden. Was ich spüre, ist also gar nicht der Wille, sondern nur die Überschreitung eines bestimmten Schwellenwertes, bei der ich mir sage: „Aha, jetzt ist es also so weit.“

All dies zusammen genommen zeigt meiner Meinung nach, dass in diesem Experiment nicht der bewusste Wille selbst untersucht worden ist. Sondern es wurde eine Beziehung zwischen einer Bewegung, einem Aufmerksamkeitsprozess und einer elektrischen Aktivität festgestellt. Und deshalb ist es überzogen, daraus zu folgern, dass unser Bewusstsein für willentliche Handlungen keine Rolle spiele. Der Begriff der Frei-

heit kommt im Libet-Experiment auch gar nicht an zentraler Stelle vor.

Was verstehen Sie denn unter „frei“?

Frei in einem absoluten Sinn heißt: Gleichgültig was ist, ich kann so oder so entscheiden.

Diese absolute Form der Willensfreiheit kann es ja Ihrer Ansicht nach nicht geben. Was ist die Alternative?

Freiheit in einem moderaten Sinne. Das bedeutet, dass man Freiheitsgrade unterscheidet, Reaktionsmöglichkeiten.

»Der Psychopath ist weniger frei als der Gesunde – also für sein Tun weniger verantwortlich«

Manche Leute sind in dem Sinne relativ unfrei, dass sie nur zwei Alternativen haben, etwa in einem Konflikt: Entweder sie schreien jemanden an, oder sie sagen gar nichts mehr. Jemand, der freier ist in seiner Reaktion, der kann vielleicht noch argumentieren, oder er kann sich etwas überlegen, kann weitere Alternativen erwägen. In diesem Sinne bedeutet „frei“, eine flexiblere Auswahl von Handlungsmöglichkeiten und Kontrollmechanismen zu haben.

Also sind Menschen unterschiedlich „frei“? Müssten sie demnach nicht auch unterschiedlich zur Verantwortung gezogen werden, etwa nach Straftaten?

Im Prinzip ja. Es gibt im deutschen Strafrecht zwei Kriterien, um die Schuldfähigkeit festzustellen: Einsichtsfähigkeit und Steuerungsfähigkeit. Einsichtsfähigkeit meint, jemand kann erkennen, was richtig und was falsch ist. Wenn das nicht gegeben ist, dann ist er auch nicht schuldfähig und hat keinen freien Willen. Das ist relativ unkontrovers. Aber das Schwierige ist die Steuerungsfähigkeit, insbesondere bei schweren Straftaten. Es gibt Menschen, die sich zwar offenbar irgendwie

steuern können, aber von denen die Psychiater dennoch sagen, sie seien krank: Psychopathen.

Was sind das für Menschen?

Psychopathie ist eine besondere Form der Persönlichkeitsstörung, die mit sozial verantwortungslosem, aggressivem und häufig kriminellem Verhalten einhergeht. Solche Patienten nutzen Gewalt, um etwas durchzusetzen. Sie haben dabei weder Reue- noch Schuldgefühle und kein Mitgefühl für andere. Ein Strafrechtler würde nun sagen: Ein Psychopath handelt in böser Absicht. Er kann erkennen, was richtig und was falsch ist, und er kann sich im Prinzip selbst steuern, aber er tut es nicht. Also ist er voll verantwortlich.

Aus neurowissenschaftlicher Sicht ist das nicht ganz richtig. Denn wenn ich einen Psychopathen mit einem Gesunden vergleiche, hat Letzterer in dem zuvor definierten Sinn mehr Freiheit. Denn er kann sein Verhalten flexibler gestalten.

Was folgt daraus im Fall einer Straftat?

Ein Neurowissenschaftler würde sagen, Menschen, die diese bedingte Freiheit in geringerem Maße haben, sind weniger verantwortlich. Das herkömmliche Strafrecht sagt das Gegenteil: Wenn jemand einen Hang zu Straftaten hat, ein Wiederholungstäter ist, dann muss er sogar noch härter bestraft werden.

Wenn wir Psychopathen anders bestrafen, indem wir ihre Veranlagung berücksichtigen, hätten sie dann nicht einen Freibrief für ihre Gewalttätigkeit?

Nehmen Sie das Beispiel Alkohol. Früher war Alkoholismus ein moralisches Versagen. So wurde es in der Gesellschaft behandelt, und so sehen es viele noch heute. Inzwischen aber weiß man, dass Alkoholabhängigkeit eine Erkrankung ist und manche dafür eine Veranlagung haben. Dass sich auch Gehirnstrukturen ändern und man dann Zeit seines Lebens alkoholabhängig ist. Deswegen ist es heute als Erkrankung anerkannt, und die Therapie wird von der Krankenkasse bezahlt.

Jetzt könnte man sich natürlich fragen: Ist das ein Freibrief für Fehlverhalten? Denn die meisten Alkoholkranken werden rückfällig. Eine nicht geringe Anzahl Alkoholkranker wird gewalt-

tätig. Müssten wir nicht alle Alkoholkranken einsperren, um zu verhindern, dass einige gewalttätig werden? Das ist eine Frage, auf die unsere Gesellschaft eine eindeutige Antwort gibt: Nein! Und dafür hat sie gute Gründe.

Erstens ist Alkoholismus eine Krankheit. Zweitens müssten wir dann vielleicht auch alle einsperren, die psychopathische Veranlagungen haben. Das sind mehr als nur die Mörder. Psychopathische Persönlichkeitsstörungen haben eine Auftretenshäufigkeit von etwa einem Prozent in der Bevölkerung. Grob geschätzt, gibt es in Deutschland demnach 800 000 Menschen mit einer solchen Persönlichkeitsstörung. Wollen Sie die alle einsperren?

Es gibt eine gut begründete Vermutung: Die weniger intelligenten Psychopathen landen im Gefängnis, die klugen in Politik und Wirtschaft. Wir müssen also eine Grundsatzentscheidung treffen: Wie viel an Polizeistaat und prophylaktischen Maßnahmen sind wir bereit in Kauf zu nehmen, um Risiken möglichst klein zu halten? Es geht dabei um Fragen, die weit über die Neurowissenschaft hinausgehen.

Kommen wir zurück zum Einzelnen. Wie oft begegnen wir der Frage des freien Willens eigentlich im Alltag? Es fängt ja schon damit an, dass ich morgens aufwache und mir überlege: Bleibe ich im Bett oder gehe ich zur Arbeit?

Er spielt kaum eine Rolle. Weil ich nicht morgens aufstehe und mich frage, mein Gott, habe ich wirklich den freien Willen aufzustehen? Sondern ich überlege mir einfach, soll ich aufstehen oder kann ich noch fünf Minuten liegen bleiben? Und dann bleibe ich vielleicht noch fünf Minuten liegen und stehe anschließend auf. Ich treffe sehr oft Entscheidungen am Tag, mache mir aber selten darüber Gedanken, ob sie frei sind oder nicht. Die meisten unserer alltäglichen Handlungen sind sogar automatisiert: Ich stehe morgens auf, mache mir einen Kaffee, putze mir die Zähne, ziehe mich an und fahre mit dem Auto zur Arbeit.

Doch selbst wenn wir von willentlichen Entscheidungen sprechen, spielen vermutlich unbewusste Motive eine starke Rolle.

Absolut. Die kognitive Neurowissenschaft hat herausgefunden, dass die

Menge an unbewussten Prozessen, die unser Handeln und Entscheiden steuern, viel größer ist, als manche denken. Dass der bewusste, kontrollierte Teil winzig ist. Und dass wir uns gegen unbewusste Motive oder Einflüsse nicht wehren können.

Das geht ja im Grunde in die Richtung dessen, was Sigmund Freud einst gesagt hat: Das „Ich“ ist so etwas wie die Spitze des Eisberges, und alles darunter ist das unbewusste „Es“.

»Freud hatte recht: Ohne Unterbewusstsein kein funktionierender Geist«

Ja. Deshalb sind die Psychoanalytiker inzwischen ganz zufrieden, dass es die Neurowissenschaften gibt. Denn die scheinen zu sagen: „Freud hat doch recht gehabt.“ Offenbar ist unser Gehirn so gestrickt, dass wir uns nur weniger Dinge gleichzeitig bewusst sind und unser Unterbewusstsein die Menge aller Informationen so geschickt jongliert, dass wir immer nur das gerade Wichtige im Bewusstsein haben. Damit unser Geist funktioniert, ist er also darauf angewiesen, dass diese ganze unbewusste Maschinerie richtig arbeitet.

Heißt das: Das Gefühl, ich bin Herr über mich selbst und entscheide ständig bewusst etwas, ist eine Illusion? Und ist diese scheinbare Willensfreiheit notwendig, um handlungsfähig zu sein, und damit sozusagen ein Überlebensvorteil?

Ja. Es gibt sogar manche Leute, die sagen, es ist eine notwendige Illusion. Immanuel Kant würde zum Beispiel sagen, es kann zwar gar keine Freiheit geben – das lasse sich streng logisch beweisen –, aber es müsse sie geben, damit wir moralisch handeln können. Ein typisches Kant-Argument.

Vom Alltäglichen zu ganz extremen Situationen: Könnte ein Mensch aus freien

Stücken beschließen, sich umzubringen? Wäre das möglich?

Aus der Sicht des Psychiaters kann man fragen: Gibt es den Freitod – oder ist nicht jeder, der sich selbst töten will, schon per Definition krank und gestört? Untersuchungen zeigen, dass Menschen, die sich umbringen oder es versuchen, fast immer psychisch erkrankt sind oder sich in einer emotionalen Ausnahmesituation befinden, manche Untersuchungen sprechen von bis zu 99 Prozent.

Betrachten wir nur einmal dieses eine restliche Prozent. Was bedeutet dann Freitod? Wenn man darunter versteht, dass sich jemand ohne eine psychische Erkrankung wohl überlegt dazu entschließt, sein Leben zu beenden: Klar, das kann es geben. Sie gehen ja aber fast noch weiter in Ihrer Frage: Kann es sogar sein, dass jemand frei den Tod wählt, ohne Gründe dafür zu haben?

Einfach um zu beweisen, dass er einen freien Willen hat.

Das würde ich als unvernünftig ansehen. Weil er es damit gar nicht beweisen könnte. Bei Jean-Paul Sartre zum Beispiel, der durchaus auch einen Begriff der absoluten Freiheit vertritt, spielen ja solche existenzialistischen Entscheidungen eine Rolle. Er sagt: Indem jeder Mensch das Nichts wählen, sich den Tod geben kann, ist bewiesen, dass wir eine absolute Freiheit haben. Das würde ich eher soziohistorisch einordnen, bei einem Philosophen wie Sartre, der im Ersten und Zweiten Weltkrieg sozialisiert wurde und für den absolute Freiheit auch unter widrigsten Umständen etwas Wichtiges und Tröstliches war.



Henrik Walter, 46, ist Direktor der Abteilung für Medizinische Psychologie an der Universität Bonn



Martin Parr, 55, ist einer der bedeutendsten britischen Fotografen unserer Zeit



Schönheitswettbewerb in New Brighton: Der freie Wille ist eine Idealvorstellung, die unerreichbar ist – wie der ewige Ruhm

Aber ich würde es weder als einen Beweis akzeptieren noch für besonders vernünftig halten.

Wie ist es mit anderen wichtigen Entscheidungen in unserem Leben. Spielt der freie Wille da eine Rolle oder handelt man eher intuitiv?

Ich denke, dass in existenziellen Situationen Entscheidungen anders fallen als so, wie ich den bewussten Willen beschrieben habe. Das gilt für Lebensentscheidungen, wie zu heiraten oder einen Beruf zu wählen.

Nehmen wir an, jemand will seinen Job aufgeben. Er überlegt sich dann Dinge wie: „Der Beruf macht mir keinen Spaß mehr. Ich könnte Gärtner werden oder Künstler. Andererseits, schaffe ich das überhaupt? Bin ich dazu geeignet? Verdienne ich dann genug Geld? Was mache ich, wenn ich krank werde?“ Es lassen sich weitere Argumente und Ge-

genargumente finden, doch keines wird direkt zu einer Entscheidung führen.

Was macht man dann? Der Volksmund sagt, man schläft drüber. Die Überlegungen, die man gerade angestellt hat, wirken unbewusst in einem weiter. Und eines Morgens wacht man auf und stellt fest: „Jetzt weiß ich, was ich tue.“

Metaphorisch gesprochen, hat mein „geistiger Ball“ in der Hügellandschaft meiner Hirnaktivierungsmuster eine sichere, tiefe Mulde gefunden, aus der ihn so schnell nichts mehr herausbringt.

Zusammengefasst heißt das: Im Grunde ist der Gedanke des freien Willens eine schöne Vorstellung. Aber weder in alltäglichen noch in existenziellen Situationen benötige ich ihn besonders häufig.

Ich würde ihn nicht als schöne Vorstellung bezeichnen, sondern als „regulative Idee“ – ein Begriff von Kant übrigens. Regulative Idee meint, es gibt eine

Idealvorstellung, die aber unerreichbar ist. Eine Art Leitstern oder Leitbild. Vielleicht wie die wahre Liebe oder die Unsterblichkeit oder der ewige Ruhm.

Eine solche Idee reguliert mein Handeln, ohne jedoch wirklich zu sein. Und wie der Glaube an die Unsterblichkeit ein erfülltes Leben verhindern kann oder die Hoffnung auf ewigen Ruhm letztlich eine Illusion ist, so kann auch der feste Glaube an die absolute Freiheit negative Auswirkungen haben.

Ich denke, man kann damit gut leben, dass man Willensfreiheit als eine nützliche, regulative Idee ansieht. □

Das Interview führten der GEOkompakt-Redakteur **Henning Engeln**, 54, sowie die Mitarbeiter **Rainer Harf**, 31, und **Christof Schneider**, 30.

Literatur: Martin Heinze, Thomas Fuchs, Friedel M. Reischies, „Willensfreiheit – eine Illusion?“, Parodos. Michael Pauen, „Illusion Freiheit?“, Fischer. Henrik Walter, „Neurophilosophie der Willensfreiheit“, Mentis.

OPERATION MIT

Ob Depressionen, Angstzustände oder Alkoholismus – der Neurologe Walter

Freeman glaubt um 1950, psychische Erkrankungen durch Schnitte ins Gehirn

heilen zu können. Tausenden treibt er dazu Stahlnadeln in den Kopf

Text: Ralf Berhorst

Der zwölfjährige Howard Dully liegt festgeschnallt auf einem Krankenbett. Vier Elektroschocks hat ihm der Neurologe Walter Freeman versetzt. Nach dem ersten Stromstoß aber kam der Junge schnell wieder zu Bewusstsein. Daraufhin wurde sein Gehirn drei weitere Male unter Spannung gesetzt – mit Erfolg: Howard ist ins Koma gefallen.

Jetzt kann Freeman mit der Operation am Gehirn beginnen. Er greift zu einer 20 Zentimeter langen Stahlnadel mit einer scharfen Klinge an der Spitze. Mit der freien Hand hebt er ein Lid des Jungen an und schiebt das Instrument seitlich am Augapfel vorbei, immer tiefer in den Kopf hinein. Als er an die Wölbung stößt, die Augenhöhle und Gehirn voneinander trennt, nimmt Freeman ein Hämmerchen: Ein kurzer Schlag genügt, um die Stahlnadel durch die dünne Knochenschicht zu treiben.

Jetzt kann Freeman sein Werkzeug direkt in das Stirnhirn des Jungen drücken, fünf Zentimeter tief. Durch die andere Augenhöhle führt er ebenfalls eine Stahlnadel ein.

Dann fasst er beide Instrumente und schwenkt sie hin und her, um so Nervenfasern in den **Stirnlappen*** durchzuschneiden: Signalstränge, die zum **Zwischenhirn** führen, Wahrnehmungen und Gedanken mit Gefühlen verbinden – und die, so glaubt Freeman, in Howards Kopf falsch verknüpft sind.

Die Schnitte ins Hirn sollen seine Persönlichkeit verändern.



Die Lobotomien Walter Freemans locken zahlreiche Zuschauer an. Alle wollen sehen, wie er durch die dünne Knochenwand der Augenhöhlen mit Stahlnadeln in das Hirngewebe sticht. Um Hygiene und Sorgfalt kümmert sich der Neurologe kaum: Häufig operiert er mit bloßen Händen

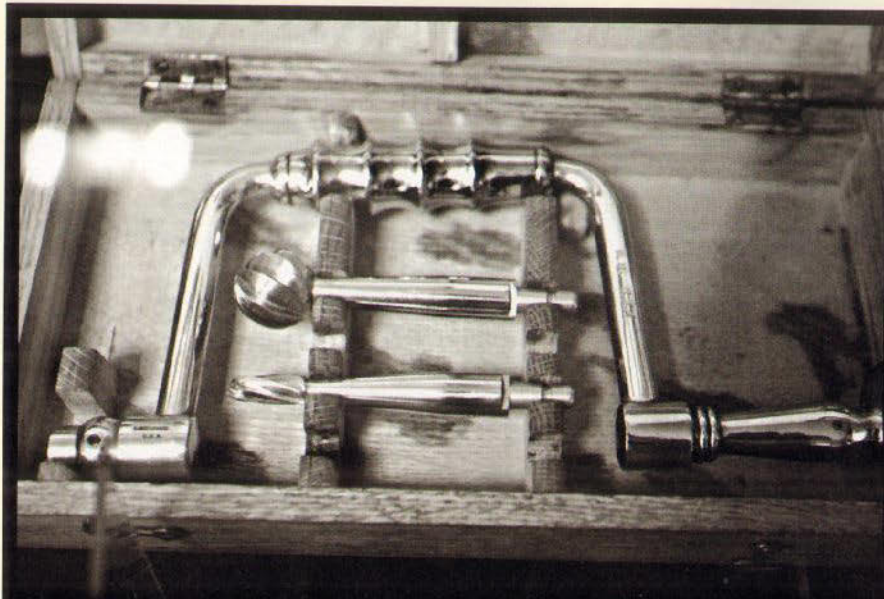
Freeman lässt noch ein Foto machen, dann zieht er beide Stahlnadeln heraus. Nicht einmal zehn Minuten dauert die Operation im Doctors General Hospital in San Jose, Kalifornien. Zehn Minuten, die Howard Dullys Leben beinahe zerstören.

ZWEI MONATE ZUVOR, im Oktober 1960, ist Howards Stiefmutter in Freemans Büro erschienen. Etwas stimme nicht mit dem Jungen. Er sei aufsässig, schneide boshafte Grimassen, benehme sich schlecht bei Tisch. Kleinere Diebstähle habe er schon begangen, etwa Kleingeld aus einem Zeitungskasten geklaut.

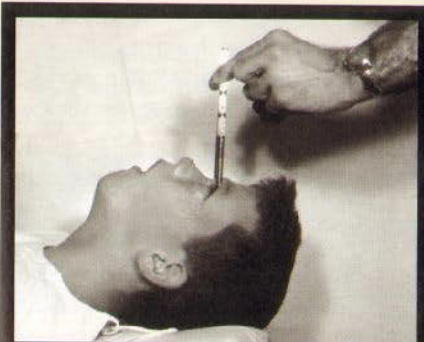
Sechs Psychiater hat die Stiefmutter bereits aufgesucht. Alle haben sie fortgeschickt mit der Diagnose, Howard sei völlig normal. Doch das ist nicht die Antwort, die seine Stiefmutter hören will.

Walter Freeman unterhält sich mit dem Jungen. Howard mag den Psychiater sofort. Der kultivierte, elegante, freundliche Mann hat warme Augen und eine sanfte Stimme. Und er kann zuhören – anders als Howards Eltern. Zu Hause wird der Junge verprügelt, wenn er sich auf dem Heimweg von der Schule verspätet oder unerlaubt eine Banane vom Küchentisch nimmt. Oft ist sein

DEM EISPICKEL



Um am Kopf zu operieren, müssen Chirurgen die Schädeldecke öffnen. Mitte des 20. Jahrhunderts benutzen sie dazu Drillbohrer wie diesen. Walter Freeman findet einen anderen Weg: Er dringt mit einem Pickel an den Augen vorbei ins Hirn seiner Patienten – und macht so die Lobotomie zu einer Schnelloperation



Tiefe Schnitte ins Gehirn sollen am 16. Dezember 1960 den zwölfjährigen Howard Dully von einer angeblichen Schizophrenie heilen

Körper von Blutergüssen übersät. Dabei hat Howard gute Noten und ist ein ausgezeichnete Schachspieler. Aber seine Stiefmutter will ihn loswerden.

Nach mehreren Gesprächen steht Freemans Diagnose fest: Der Junge leide an Schizophrenie. Doch er könne geheilt werden – durch eine „Lobotomie“, eine Operation an den Stirnlappen des

Gehirns, die sein trotziges Wesen besänftigen werde. Die Eltern stimmen zu.

Howard ahnt nicht, was mit ihm geschehen soll, als er 16 Tage später ins Krankenhaus kommt. Er weiß nicht, dass Walter Freeman schon Tausende „lobotomisiert“ hat. Dass der 65-Jährige vorhat, die psychiatrische Medizin zu erneuern – mit einer Operation, die manche für einen Meilenstein der Wissenschaft halten und die andere an ein mittelalterliches Folterritual gemahnt.

WALTER FREEMAN, geboren am 14. November 1895 in Philadelphia, stammt aus einer wohlhabenden Familie. Er studiert Sprachen und Geschichte in Yale, eher ziellos. Dann jedoch wendet er sich der Medizin zu. Freeman faszinieren plötzlich Nervenkrankheiten und die Physiologie des menschlichen Gehirns.

Es sind die Jahre, in denen Sigmund Freuds Psychoanalyse in den USA populär wird. Doch die neue Theorie hat starke Widersacher. Sie glauben, dass

Erkrankungen der Psyche rein organische Ursachen haben: Fehlfunktionen des Nervenapparats, die durch Gespräche nicht zu kurieren sind. Auch Freeman zählt zu den Anti-Freudianern.

Tatsächlich versagt Freuds Analyse bei schweren Psychosen zumeist, viele Patienten werden in den Heilanstalten nur verwahrt. Deshalb wagen Nervenärzte in Europa und den USA immer rabiatare Kuren. Sie lassen Elektrizität durch die Körper Depressiver laufen, traktieren Schizophrene mit Eisbädern und Duschen, injizieren ihnen Malaria-Erreger, um ein „heilendes“ Fieber zu erzeugen, oder giftige Zyanide, um Gehirn und Nervensystem zu stimulieren.

Auch Walter Freeman, der ab 1924 in Washington als Neurologe und Psychiater arbeitet, wendet die Schocktherapien an. Er spritzt Substanzen wie Insulin und Metrazol (ein Analeptikum, dass starke Krampfanfälle auslöst, ähnlich wie bei der Elektroschocktherapie), selbst wenn sich die Patienten danach in so starken Krämpfen winden, dass sie manchmal Knochenbrüche erleiden.

Die Nebenwirkungen nimmt Freeman in Kauf. Denn dass die Psychiatrien in den USA so überfüllt sind, hält er für eine Verschwendung menschlicher Ressourcen. Er will aus Kranken nützliche Mitglieder der Gesellschaft machen – gleich mit welchen Mitteln.

Im Frühjahr 1936 liest Freeman in einem medizinischen Journal von einer radikal neuen Methode: In Portugal operiert der Neurologe Egas Moniz psychisch Kranke direkt am Gehirn, um sie zu kurieren. Er bohrt ihnen zwei Löcher ins Schädeldach und dringt mit einer Kanüle zu den Stirnlappen vor.

Bis dahin ist wenig bekannt über die Funktion der einzelnen Hirnareale. Man weiß aber, dass sich in den Stirnlappen unzählige Nervenfasern verzweigen. Moniz glaubt, dass diese Verbindungswege bei Gemütskranken gleichsam erstarrt sind, dass sich in ihnen fixe Ideen und

Wahnvorstellungen verfestigt haben. Man müsse die Nervenbahnen zerstören und das Gehirn zwingen, neue, gesündere Verbindungen zu knüpfen.

Anfangs spritzt Moniz Alkohol in die Stirnlappenregion, um die Nervenfasern abzutöten. Dann vollführt er mit einer Stahlschlinge oder kleinen Schneideklinge kreisrunde Schnitte, um Nervengewebe zu durchtrennen: ein höchst ungenauer und zerstörerischer Eingriff.

Viele Patienten leiden danach an Fieber, Gesichtstarre, wirken desorientiert und apathisch – alles, so Moniz, nur vorübergehende Symptome.

Nach 20 Operationen verkündet der Portugiese in einem Aufsatz, 70 Prozent seiner Patienten seien völlig kuriert oder in besserer Verfassung als zuvor und sie hätten weder an Gedächtniskraft noch Intelligenz eingebüßt. Besonders gut wirkten die Schnitte ins Gehirn gegen Depressionen.

DOCH DIE ERHEBUNG ist viel zu hastig publiziert, die langfristigen Folgen sind vollkommen ungewiss. Viele Psychiater reagieren empört auf die neue „Psychochirurgie“. Zumal Moniz für seine Theorien jeden Beweis schuldig bleibt.

Walter Freeman aber ist beeindruckt von den Ergebnissen des Portugiesen – ob dessen Theorie tatsächlich stimmt,

Schädel zwei Löcher und setzen an zwölf Stellen Schnitte in die Stirnlappen.

Mehrere Tage danach stottert die Patientin und ist unfähig, leserlich zu schreiben. Doch Freeman und sein Kolle-



Prominentes Opfer: Rosemary Kennedy (rechts), die Schwester des späteren US-Präsidenten, lebt nach ihrer Lobotomie 1941 in geschlossenen Anstalten

ge gratulieren sich zu einem „brillanten“ Ergebnis: Offenbar sind alle Ängste verschwunden – und sie kann bald wieder ihren eigenen Haushalt führen.

Freeman ist wie euphorisiert. Denn auch eine zweite Patientin scheint von ihren Depressionen und Halluzinationen befreit zu sein: Die Buchhalterin kann zwei Monate nach der Operation sogar ihre Arbeit wieder aufnehmen.

der wohl „größten chirurgischen Erfindungen“ der Gegenwart gefeiert.

Nur wenige Wochen später der erste Todesfall: Eine 60-jährige stirbt nach der Operation an einer Gehirnblutung. Doch der Kunstfehler hat keinerlei Konsequenzen für die beiden Ärzte.

Dabei erleiden auch andere ihrer Patienten Hirnschäden, müssen zum Teil gefüttert oder lange gepflegt werden. Rosemary Kennedy, die Schwester des späteren US-Präsidenten, hat nach ihrer Lobotomie 1941 den Verstand eines Kindes und verbringt 63 Jahre in geschlossenen Anstalten.

Selbst Freeman hält den Eingriff zu dieser Zeit nach wie vor für ein letztes, da besonders riskantes Mittel. Zugleich aber propagiert er die Lobotomie auf Kongressen im ganzen Land. Die meisten Fachkollegen bleiben jedoch skeptisch. Sie halten die Operation für zu zerstörerisch, manche auch für kriminell.

Nur einige andere Neurologen erproben die neue Psychochirurgie. Weniger wohl, als sich Freeman erhofft. Zwischen 1940 und 1944 verzeichnen die Krankenakten in den USA 684 Lobotomien. Allein Walter Freeman hat bis 1943 mehr als 200 Patienten operiert, die Erfolgsquote gibt er mit 63 Prozent an.

Sein missionarischer Eifer ist damit nicht gestillt. Nach dem Ende des Zwei-

IN DER KÜCHENSCHUBLADE FINDET FREEMAN SEIN OPERATIONSWERKZEUG: EINEN PICKEL FÜR COCKTAIL-EIS

ist ihm gleichgültig. Der Mann aus Philadelphia träumt davon, ein Pionier der Psychochirurgie in den USA zu werden. Kurzerhand bestellt er einige der Instrumente, mit denen Moniz operiert. Weil er keine chirurgische Ausbildung hat, bittet Freeman einen Neurochirurgen um Hilfe. Gemeinsam üben sie an Leichen die neue Operationsmethode.

Im September 1936 fühlen sie sich für den Eingriff gerüstet. Ihre erste Patientin ist eine 63-jährige Hausfrau aus Kansas, die an Schlaflosigkeit, Ängsten und Depressionen leidet. Sie trepanieren in den

Doch es gibt auch Rückschläge: Die vierte Patientin leidet nach sechs Wochen erneut an ihren alten Angstzuständen. Und beim fünften Eingriff verletzen die beiden Ärzte Blutgefäße im Gehirn des Operierten. Die Folgen: epileptische Anfälle und Blaseninkontinenz.

Die Fehlschläge bremsen Freemans Eifer nicht. Nach nur sechs Versuchen lädt er einen Reporter ein, Zeuge einer „Lobotomie“ zu sein, wie er die Schnitte in die Stirnlappen (engl. = *frontal lobes*) nun nennt. In dem Artikel vom November 1936 wird die Operation als eine

ten Weltkriegs sind die 180 staatlichen Psychiatrien des Landes überfüllt. Hunderttausende, schätzt Freeman, warten in den Anstalten auf Behandlung. Möglichst vielen will er mit einer Lobotomie helfen. Sie soll bald nicht mehr das allerletzte Mittel sein, sondern der erste Schritt zu einer Therapie. Dazu aber muss er den aufwendigen Eingriff vereinfachen.

FREEMAN ERINNERT SICH, dass es einen leichteren Zugang zum Gehirn gibt, als Löcher in die Schädeldecke zu bohren: durch die Augenhöhle (Orbita),



»Falsche« Verknüpfungen in den Stirnlappen sind nach Ansicht der Lobotomisten die Ursache für Geisteskrankheiten. Deshalb versuchen sie, die Nervenverbindungen zu kappen. Dieser Hirnquerschnitt eines Patienten zeigt, dass die Partien nach der Operation stark beschädigt sind (dunkle Areale rechts)

die von den Stirnlappen nur durch eine dünne Knochenwand getrennt ist.

Aber noch fehlt ihm ein geeignetes Werkzeug, die Instrumente des Portugiesen brechen zu leicht. Zu Hause wird er fündig: Ein langer stählerner Pickel, mit dem man Cocktail-Eis zerstoßen kann, scheint genau richtig.

Im Januar 1946 erprobt Freeman erstmals die „transorbitale“ Lobotomie. Einer 29-jährigen Frau, die unter manischen Schüben und Depressionen leidet, schiebt er den Eispickel am Augapfel vorbei ins Stirnhirn. Dann schwingt er das Instrument hin und her, um Nervenbahnen zu durchtrennen. Die Patientin scheint schlagartig geheilt; zwar wirkt sie in ihrem ganzen Wesen auffallend gedämpft, kann aber wieder als Krankenschwester arbeiten.

Diesmal hat Freeman nicht in einem Krankenhaus operiert, sondern in seinem Büro – das spart Zeit und Geld. Auch die Betäubungsmethode ist unkonventionell: Freeman versetzt seine Patienten durch Elektroschocks in ein kurzes



Pionier der Psychochirurgie: Der Portugiese Egas Moniz (1874–1955) entwickelt als Erster eine Methode, Geisteskranke am Gehirn zu operieren

Koma. Nach dem Aufwachen schickt er sie im Taxi nach Hause. Er operiert ohne sterile Handschuhe, ohne Gesichtsmaske und Arztkittel, alles soll schnell gehen.

Freemans Vision: Künftig sollen Psychiater überall im Land die Eispickel-

Lobotomie praktizieren. Die transorbitale Methode dauert ja nur etwa sieben Minuten.

Doch sie ist lebensgefährlich, jederzeit können Blutgefäße im Kopf verletzt werden, kann sich Hirngewebe infizieren. Entsetzt wendet sich der Neurochirurg, mit dem Freeman bis dahin operierte, von ihm ab. Der aber lässt sich nach dem Modell des Eispickels neue Spezialwerkzeuge anfertigen, aus hartem Stahl und mit scharfer Klinge.

Denn inzwischen öffnen ihm immer mehr Psychiatrien im Land ihre Tore.



In den frühen 1950er Jahren ist Walter Freeman (1895–1972) ein Star: Seine Verstümmelungen des Gehirns gelten als medizinische Revolution

Das Personal ist mit den Patienten oft überfordert – und Freemans Versprechungen klingen verlockend. Tatsächlich können viele nach seiner Eispickel-Lobotomie entlassen werden: Weil die Schnitte offenbar alle Emotionen kappen, aus Psychotikern friedfertig-apathische Wesen machen.

Der Operateur hofft, in die Geschichte der Medizin einzugehen – als ein Revolutionär, der alte Menschheitsübel wie Depression und Hysterie ausmerzt. Freeman macht sich möglicherweise sogar Hoffnungen auf den Medizin-Nobelpreis; den jedoch bekommt 1949 Egas Moniz zugesprochen, der Erfinder der herkömmlichen Lobotomie.

Die Ehrung ist wie ein Gütesiegel; sie lässt viele Gegner verstummen. Inzwischen praktizieren Ärzte in vielen

Ländern den Eingriff. Wurden bis dahin weltweit etwa 5000 Lobotomien vorgenommen, so sind es in den ersten vier Jahren nach der Preisvergabe allein in den USA 20 000. Ein Drittel davon nach Freemans transorbitaler Methode.

Er operiert nun überall. Das Chirurgienbesteck passt in seine Jackentasche; er hat ein tragbares Elektroschock-Gerät dabei, ein Hämmerchen sowie einen Fotoapparat – mehr benötigt er nicht.

Allein im Sommer 1951 legt er 11 000 Meilen zurück, operiert wie am Fließband. Im Jahr darauf behandelt er in West Virginia 228 Patienten in zwölf Tagen. Nach der Massen-Lobotomie – vier Menschen sterben – können 81 Patienten die Anstalten verlassen; der Bundesstaat spart Zehntausende Dollar an Unterbringungskosten.

Freeman genießt die großen Auftritte. Einmal operiert er vor einem Auditorium von 50 Ärzten und Reportern. Ein anderes Mal sogar mit gebrochenem Arm. Und er ist fahrlässig. Ein Patient stirbt, weil das Lobotomie-Messer abrutscht, als Freeman wie üblich während der Operation ein Foto macht.

Trotz solcher Pannen erscheinen in populären Magazinen Artikel über den Hirnschneider. Er ist zu Beginn der 1950er Jahre eine Berühmtheit, muss sogar Autogrammkarten verschicken; Anrufer erbitten eine Lobotomie – für sich selbst oder für Verwandte.

Doch dann wird er von einer neuen Erfindung gestoppt: 1954 kommt Thorazine auf den Markt, das erste **Neuroleptikum**. Eine „chemische Lobotomie“, wie

Patienten sind so gedämpft, dass man sie nach Hause entlassen kann. Die Zahl der Psychiatrie-Insassen beginnt zu sinken.

Thorazine ist weitaus ungefährlicher als Freemans Psychochirurgie. Die große Zeit des Lobotomisten ist vorbei.

Walter Freeman zieht 1954 nach Los Altos, Kalifornien. Nur ein Krankenhaus in einem Außenbezirk dort erlaubt ihm noch, Lobotomien durchzuführen.



Howard Dully (v.) mit seinen leiblichen Eltern und seinem Bruder (1951). Sechs Psychiater halten den Jungen für gesund – dennoch wird er lobotomisiert

Los Altos ist die Stadt, in der Howard Dully aufwächst. Hier hat sich noch nicht herumgesprochen, dass die Eis-



Nach seiner Hirnoperation verbringt Howard Dully mehrere Jahre in einer psychiatrischen Klinik. Heute arbeitet er in Kalifornien als Busfahrer

bel gehüllt. Sein Kopf schmerzt, und die Augen sind von Blutergüssen schwarz umrandet (Freeman rät den Operierten stets, eine Sonnenbrille zu tragen).

Nach fünf Tagen wird der Zwölfjährige aus dem Krankenhaus entlassen. Doch er kann nicht zur Schule gehen, wirkt apathisch. Howard scheint ein anderer Mensch geworden zu sein: abgestumpft, interesselos, wie betäubt.

Für Walter Freeman aber ist der Eingriff ein voller Erfolg: „Howard wirft seiner Stiefmutter keine gruseligen Blicke mehr zu“, schreibt er etwa drei Wochen nach dem Eingriff in die Krankenakte.

Ein paar Tage später fährt er im Auto vor. Der Operateur will Howard in San Francisco einem Auditorium von Ärzten vorführen – noch immer führt er unermüdlich seinen Feldzug für die Lobotomie. Doch im Saal wird Empörung laut, als Freeman das Alter des hochgewachsenen Jungen nennt. Er hat ein zwölfjähriges Kind lobotomisiert?

Freeman verliert die Fassung. Er schleudert einen Kasten auf das Podium, gefüllt mit Hunderten von Gruß- und Weihnachtskarten, geschrieben von dankbaren Patienten. „Wie viele Weihnachtskarten bekommen Sie von Ihren Patienten?“, schreit er in den Saal. Dann wird er von der Bühne gebuh.

228 LOBOTOMIEN IN ZWÖLF TAGEN: FREEMAN OPERIERT WIE IM AKKORD

die Herstellerfirma wirbt. Das Medikament unterdrückt Halluzinationen und Wahnvorstellungen. Das Anstaltspersonal kann damit tobende und schreiende Patienten ruhigstellen.

Schon im ersten Jahr wird das Wundermittel an zwei Millionen Menschen erprobt. Der Effekt ist erstaunlich: Viele

pickel-Methode umstritten ist. Jemand muss sie Howards Stiefmutter empfehlen haben.

Am 16. Dezember 1960, um 13.30 Uhr, erledigt Freeman den raschen Eingriff.

AM MORGEN DANACH wacht Howard Dully desorientiert auf, wie in einen Ne-

Der Skandal beschleunigt seinen Abstieg. Dass Freeman weiterhin die Lobotomie an Kindern propagiert, ruiniert seinen Ruf endgültig.

Howard Dullys Leidenszeit beginnt jetzt erst. Zwar spürt er anders als viele andere Patienten Freemans keine Ausfälle, er kann klar sprechen und denken. Doch der Nebel im Kopf bleibt.

Und noch immer ist die Stiefmutter unzufrieden mit seinen Tischmanieren: Sie will ihn aus dem Haus haben. Freeman hilft mit einem Gutachten. Howard kommt zu einer Pflegefamilie, wird dann zu Verwandten abgeschoben.

Obwohl er wieder zur Schule geht, ist seine Stiefmutter entschlossen, ihn in einer Psychiatrie unterzubringen. 1963 wird der 14-Jährige in Handschellen dorthin abtransportiert.

Ein Jahr dauert die Internierung, doch die Ärzte wissen nichts mit dem Jungen anzufangen. Dann kommt Howard auf eine Sonderschule und erneut für zwei Jahre in die Psychiatrie.

1969 findet sich in Freemans Notizen ein Eintrag über Howard Dully: Der Junge mache eine „unbefriedigende“ Entwicklung durch.

MEMO | LOBOTOMIE

»»» **DER PORTUGIESE** Egas Moniz zerstört als Erster Nervenbahnen im Hirn psychisch auffälliger Patienten.

»»» **1946 NIMMT** Walter Freeman erstmals eine Lobotomie mit einem Eispickel vor.

»»» **IMMER WIEDER** kommt es zu schweren Nebenwirkungen und sogar zu Todesfällen.

»»» **ZU BEGINN** der 1950er Jahre werden in den USA Zehntausende Lobotomien vorgenommen.

Zwei Jahre zuvor hat Walter Freeman die letzte seiner etwa 3500 Lobotomien ausgeführt – nach drei Tagen starb die Patientin an einer Gehirnblutung. Kein Hospital in Los Altos erlaubt ihm nun mehr zu operieren.

Freeman verkauft sein Haus, fährt fortan im Campingbus durch die USA. Wie ein Gespenst auf der Spur seiner Patienten, die er besucht und befragt. Die Datensammlung soll seinen Ruf retten.

Doch seine Erfolgsstatistiken sind von zweifelhafter Aussagekraft, stützen sich auf flüchtige Beobachtungen.

Als Walter Freeman am 31. Mai 1972 mit 76 Jahren an Darmkrebs stirbt, praktiziert wohl kaum noch ein Arzt die Lobotomie.

In den Jahrzehnten zuvor, so schätzt ein Historiker, sind rund 100 000 Menschen weltweit lobotomisiert worden, darunter auch Gefängnisinsassen und möglicherweise Dissidenten in der Sowjetunion.

1978 erlässt das US-Gesundheitsministerium strenge Restriktionen gegen jegliche Psychochirurgie, lehnt es jedoch ab, sie gänzlich zu verbieten; in Japan, Australien und Deutschland ist die Lobotomie bereits vorher untersagt worden.

Womöglich steht das Operieren am Gehirn psychisch Kranker heute, im Zeitalter bildgebender Verfahren und moderner Präzisionsinstrumente, vor einer Renaissance (siehe Kasten). Noch aber sind solche Eingriffe sehr selten und werden von Ärzten nur in Erwägung gezogen, wenn alle anderen Behandlungsmethoden erfolglos bleiben – weil Neurologen und Psychiater wissen, dass das Gehirn ein kompliziertes Netzwerk ist, in dem sich einzelne Funktionen nicht genau lokalisieren lassen.

Und weil der Schatten des Lobotomisten Walter Freeman über der Psychochirurgie liegt.

Howard Dully kommt erst im Frühjahr 1969 endgültig frei, mehr als acht Jahre nach seiner Operation. Er hat keine Ausbildung, lebt zeitweise als Obdachloser und von staatlicher Fürsorge. Er lässt sich treiben. Mit 45 Jahren macht er einen Abschluss als Computer-Fachmann, findet aber keine Stelle.

Heute arbeitet er als Busfahrer und lebt mit seiner Frau in San Jose, Kalifornien.

Er wird nie genau herausfinden, was die Schnitte in seinem Gehirn angerichtet haben. □

Dr. Ralf Berhorst, 41, Wissenschaftsjournalist in Berlin, schreibt regelmäßig für GEOkompakt.

Literatur: Howard Dully, Charles Fleming, „My Lobotomy“, Crown Publishers. Jack El-Hai, „The Lobotomist“, John Wiley & Sons.

DIE ZUKUNFT DER PSYCHOCHIRURGIE

Auch heute noch kommt es zu chirurgischen Eingriffen in das Gehirn psychisch Kranker: So könnte sich die Tiefenhirnstimulation, die seit Ende der 1990er Jahre erfolgreich zur Behandlung der Parkinson'schen Krankheit eingesetzt wird, in den nächsten Jahren zu einer Standardtherapie für psychisch Schwerstkranke entwickeln.

Das neue Heilverfahren, das Mediziner etwa an der Universitätsklinik Köln erproben, setzt eine komplizierte Operation voraus. Durch ein winziges Loch in der Schädeldecke wird den Patienten eine etwa acht Zentimeter lange Elektrode mitten ins Hirn geschoben. Ihr Ende zielt auf den *Nucleus accumbens*: eine

haselnussgroße Region, die außer Kontrolle geraten ist und mitverantwortlich ist für schwere Angst- und Zwangsstörungen sowie für tiefe Depressionen.

Die dauerhaft implantierte Elektrode schickt 130 Stromimpulse pro Sekunde



Erst wenn alle herkömmlichen Therapien versagt haben, implantieren Ärzte einen Hirnschrittmacher

ins erkrankte Areal. Der fehlerhafte Takt der Neurone wird durch den Rhythmus des Schrittmachers ersetzt und der Patient im besten Fall von seinem Leiden befreit.

Doch trotz der Erfolge und des relativ geringen Risikos bei dieser reversiblen Operation sind sich die meisten Ärzte einig, dass der Hirnschrittmacher nur als letztes Mittel gewählt werden sollte.

Denn die Tiefenhirnstimulation ist immer ein massiver Eingriff in Geist und Persönlichkeit – so kann sie dazu führen, dass Patienten nach der Operation plötzlich grundlos lachen müssen.

Johannes Kückens

Texte: Hauke Friederichs und
Sebastian Witte

7

**RÄTSEL
DER**

NEUROWISSENSCHAFTEN



**Forscher
verstehen das
Gehirn heute
besser denn je.
Doch auf einige
grundlegende
Fragen haben sie
immer noch
keine Antwort**



Wenn der Mensch denkt, tauschen Nervenzellen chemische und elektrische Signale aus

1. Was ist ein Gedanke?

Gedanken sind flüchtig und frei, man kann sie ordnen, verwerfen oder einfach nur treiben lassen – und sie entstehen meist ohne direkten Anstoß von außen.

Lange gingen Hirnforscher davon aus, dass jedem Objekt unserer Gedanken, sei es eine Person, ein Gegenstand oder eine Tätigkeit, eine bestimmte Nervenzelle im Denkorgan zugeordnet ist. Die Idee schien plausibel: Denke ich, sagen wir, an einen Aston Martin DB4 GT, Baujahr 63, flackert in meinem Gehirn ein spezifisches Neuron auf, in dem eben dieser konkrete Gedanke hinterlegt ist.

Heute ist hingegen klar, dass unser Denken so nicht funktioniert. Vielmehr arbeiten bei jedem Gedanken Netze von Neuronen in der **Großhirnrinde*** zusammen. Es gibt also keine zentrale Stelle, die den Gedanken erfasst. Im Gegenteil: Eine Region analysiert Sinnesdaten, eine weitere verknüpft diese mit Erfahrungen, andere Teile des Großhirns bewerten eine Situation oder formulieren Wörter, um Dinge oder Vorgänge zu benennen.

Kurz: Ein Gedanke ist eine über das ganze Gehirn verstreute Erscheinung.

Eine Unmenge elektrischer Signale breitet sich dabei gleichzeitig in unserem Kopf aus. Wie jedoch das Gehirn aus diesen unzähligen Reizen einen zusammenhängenden Eindruck entwickelt, der etwa dem einer zurückliegenden Urlaubserinnerung entspricht, ist ein bis heute ungelöstes Rätsel.

Denn die Erkenntnis, dass elektrische Signale von einer Nervenzelle zur nächsten fließen, sagt ja noch nichts über deren Bedeutung aus, geschweige denn darüber,

wie die Neuronen-Verbände jeweils zusammenarbeiten.

Die Forscher wissen nur, dass jeder Gedanke mit einem eigenen Muster der Gehirnaktivität einhergeht: mit einem jeweils spezifischen Gedankenabdruck. Und seit einiger Zeit ist es möglich, solche Aktivitätsmuster sichtbar zu machen, die für bestimmte geistige Zustände – und damit bestimmte Gedanken – charakteristisch sind.

„Wenn Sie lernen, diese Muster zu erkennen“, so der Berliner Neurowissenschaftler John-Dylan Haynes, „können Sie feststellen, welche Gedanken jemand gerade hat.“

Haynes hat Dutzende Versuchspersonen getestet: Nur im Kopf sollten sie entscheiden, ob sie zwei Zahlen lieber addieren oder subtrahieren wollten. Der Forscher verfolgte die Gehirnaktivität der Probanden mit einem **Kernspintomographen** und verglich deren Gedankenabdrücke mit zuvor eingespeicherten Mustern. Mit einer Erfolgsquote von mehr als 70 Prozent konnte Haynes so die Absichten seiner Versuchspersonen entschlüsseln – ein aufsehenerregendes Ergebnis. Denn zuvor sei es noch nie gelungen, so Haynes, allein aus der neuronalen Aktivität abzulesen, welche von zwei möglichen Entscheidungen ein Proband getroffen hat.

Maschinen, mit denen man sämtliche Gedanken lesen kann, sind noch Science-Fiction. Doch schon bald könnten die Erkenntnisse der Forscher zur Entwicklung von Systemen führen, die es Schwerstbehinderten ermöglichen, allein mit der Kraft ihrer Gedanken Computer zu bedienen oder eine Prothese zu steuern.

2. Wie rechnet das Gehirn?

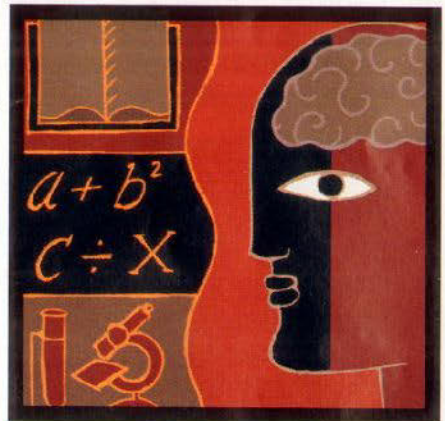
Bereits Säuglinge können die unterschiedlichen Größen kleiner Mengen erfassen. Kindergartenkinder lösen schon einfache Rechenaufgaben, und einige Menschenaffen können kopfrechnen.

Was so simpel klingt, läuft im Gehirn als komplexer Vorgang ab. Selbst bei der Lösung leichter mathematischer Aufgaben arbeiten zahlreiche Hirnregionen zusammen – im Gehirn gibt es nicht den *einen* Ort der Zahl. Welche Netze von Ner-

venzellen daran beteiligt sind, wissen die Forscher jedoch nur in Ansätzen.

Wie allen geistigen Leistungen liegen dem Rechnen neuronale Strukturen und Prozesse zugrunde. Mit bildgebenden Verfahren können Forscher diese sichtbar machen. So entdeckten sie, dass Rechnen viel mit Sprache zu tun hat: Erwachsene arbeiten beim Addieren und bei Einmal-eins-Aufgaben mit auswendig gelernten Lösungen, die sie aus dem Gedächtnis abrufen. Im Gehirn werden dabei sprachverarbeitende Regionen aktiviert.

Dies geschieht in verschiedenen Kulturkreisen vermutlich unterschiedlich. Hirnforscher aus den USA und China stellten Versuchspersonen aus den jeweiligen Sprachräumen einfache Rechenaufgaben. Die Wissenschaftler entdeckten, dass bei den Probanden mit der Mut-



Die Kraft der Ratio: Noch weiß niemand, wie Neurone mathematische Probleme lösen

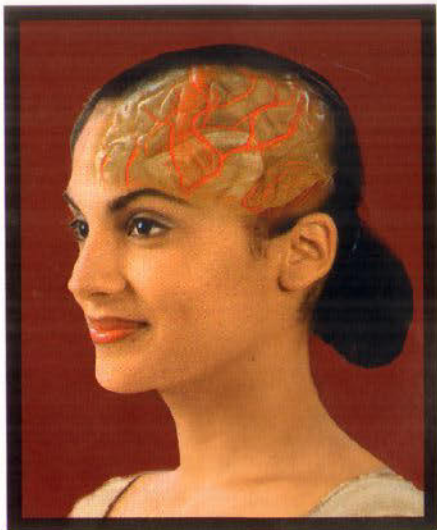
tersprache Englisch andere Bereiche im Gehirn aktiv waren als bei denen, die mit Chinesisch aufgewachsen sind.

Unklar ist, ob dies an den Sprachen selbst und ihren jeweiligen Schriftsystemen oder an kulturellen Faktoren und schulischen Lernmethoden liegt.

3. Denken Frauen und Männer unterschiedlich?

Frauen sind emotionaler, Männer aggressiver; Frauen haben mehr Sprachgefühl, Männer werfen besser: Die Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Gehirnen scheinen größer zu sein, als Wissenschaftler noch vor zehn Jahren angenommen haben. So sind männliche

* Blau hervorgehobene Begriffe werden im Glossar ab Seite 150 näher erklärt.



Die Hirnhälften von Frauen sind stärker miteinander verbunden als die von Männern

Gehirne im Mittel etwa elf Prozent größer (bezogen auf das Körpergewicht ist der Unterschied jedoch nur gering), und ihre Großhirnrinde, in der das bewusste Denken stattfindet, hat einige Milliarden Neurone mehr.

Weibliche Hirne haben dagegen mehr Bereiche mit besonders dicht gepackten Nervenzellen, ihre Gehirnhälften sind besser vernetzt, und ihre Großhirnrinde weist mehr Furchen auf. Doch welche Schlüsse sich daraus ziehen lassen, ist unklar – nur so viel wissen die Forscher bislang: Bei Intelligenztests schneiden Frauen und Männer gleich gut ab.

Wie und wann es in Embryos zu der unterschiedlichen Entwicklung von männlichen und weiblichen Gehirnen kommt, ist Gegenstand der aktuellen Forschung – denn unterschiedliche Hormonkonzentrationen sind wahrscheinlich nicht allein verantwortlich für die ungleiche Ausbildung der Denkkorgane. Experimente an Mäusen zeigen, dass bei männlichen und weiblichen Embryonen bereits vor der Hodenbildung beim Männchen (und damit vor der erhöhten Ausschüttung des Hormons Testosteron) 51 der 12 000 im Gehirn wirkenden Gene anders aktiv sind.

Auf den Menschen übertragen, hieße dies, dass bei Männern und Frauen möglicherweise unabhängig von Hormonen unterschiedliche Hirnstrukturen entstehen. Auch können äußere Einflüsse, wie die nach Geschlecht unterschiedliche Behandlung der Babys durch die Eltern, auf die Entwicklung des Hirns einwirken.

Viele Wissenschaftler sind davon überzeugt, dass gesellschaftliche Einflüsse sowie Erziehung eine so große Rolle für das Denken spielen, dass der biologische Faktor fast bedeutungslos ist. Studien zeigen, dass Männer bei einigen Aufgaben nur dann überlegen sind, wenn ihnen bewusst ist, dass sie eine typische männliche Leistung erbringen sollen.

Ob die anatomischen Unterschiede männlicher und weiblicher Gehirne überhaupt das Denken beeinflussen, bleibt also nach wie vor offen.

4. Auf welche Weise entsteht Intuition?

Viele Menschen vertrauen auf ihr Bauchgefühl – und liegen damit richtig. Diese Form der unbewussten Eingebung ist zwar kein sechster Sinn, aber stark genug, uns schnell und effektiv entscheiden zu lassen. Mehr noch: Ohne Intuition, sagen die Forscher, wären wir im Alltag gar nicht handlungsfähig.

Jeder von uns muss binnen kürzester Zeit Entscheidungen treffen, ohne sich alle Einzelheiten einer Situation bewusst zu machen. Wie aber schafft es das Gehirn, aus wenigen Details rasch nützliche Schlüsse zu ziehen? Welches sind die neuronalen Grundlagen einer intuitiven Entscheidung? Und weshalb arbeitet unser unbewusster Kompass oft so präzise und verlässlich?

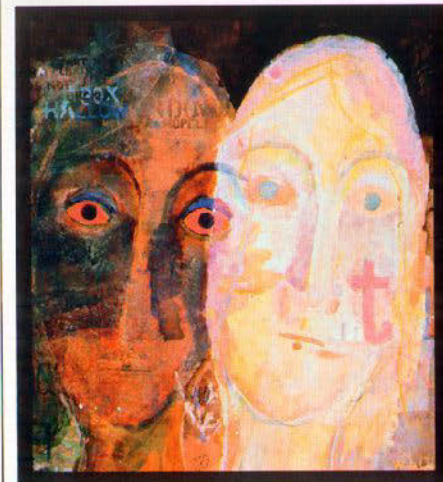
All das ist noch nicht bekannt, doch Studien zeigen: Wenn eine Situation unübersichtlich ist, versagt der analytische Verstand besonders leicht – und dann ist die Intuition dem rationalen Denken überlegen. Dabei schöpft das Bauchgefühl aus unbewusst vorhandenen Erfahrungen, Erinnerungen und Urteilen – und berücksichtigt damit weitaus mehr Informationen als das bewusste Gedächtnis.

„Je komplexer eine Entscheidung, desto mehr sollte man seinem Unbewussten vertrauen“, so der Amsterdamer Psychologe Ap Dijksterhuis. Manche Forscher behaupten gar: Entscheidungen ohne Intuition gibt es gar nicht. Grundlage unserer Motivation sei immer das Gefühl.

Das aber macht den Menschen anfällig für geschickte Verführung. Seit Jahren schon versuchen Wissenschaftler und Werbestrategen, den Kaufimpuls eines

Konsumenten mit den Mitteln der Hirnforschung gezielt zu beeinflussen. Versuche im Kernspintomographen offenbaren, wie etwa ein Markenlogo oder ein TV-Spot beschaffen sein müssen, damit vor allem jene Areale im Gehirn stimuliert werden, die Gefühle und Empfindungen verarbeiten – und die damit für eine Kaufentscheidung ausschlaggebend sind.

Freilich: Eine Aktivität in bestimmten Hirnregionen ist noch kein Beweis dafür, dass anschließend auch gekauft wird.



Zu den Geisteskrankheiten gibt es viele Theorien, aber keine einfachen Erklärungen

5. Wodurch wird der Geist krank?

Nicht jeder, der gerade eine Mozart-Arie hört, hat sein Radio eingeschaltet. Manche Menschen hören Stimmen, die sie für „echt“ halten, die dennoch nicht real sind. Solche akustischen Halluzinationen können auf eine Schizophrenie hinweisen – eine der schwersten psychischen Störungen: Jeder Hundertste ist mindestens einmal im Laufe seines Lebens davon betroffen.

Doch wie eine schizophrene Psychose oder viele andere Hirnleiden im Einzelfall konkret entstehen, ist nach wie vor weitgehend ungeklärt. Sicher ist nur, dass neben psychosozialen Faktoren vor allem die erblichen Grundlagen eine entscheidende Rolle spielen: Wenn ein eineiiger Zwilling an Schizophrenie leidet, besteht für seinen genetisch identischen Bruder ein etwa 50-prozentiges Risiko, ebenfalls daran zu erkranken – bei zweieiigen, also genetisch nicht völlig gleichen Zwillingen, sinkt die Gefahr dagegen auf 17 Prozent.

Die Hoffnung vieler Forscher, das Schizophrenie-Gen zu finden, hat sich jedoch zerschlagen. Vermutlich sind etliche Risiko-Gene daran beteiligt. Sie steuern meist die Produktion bestimmter Proteine, mit deren Hilfe die Gehirnzellen miteinander kommunizieren. Ist die Signalübertragung durch einen Gen-Defekt gestört, kann es leicht zum Ausbruch der Schizophrenie kommen. Auch bei anderen psychischen Störungen, etwa der Manischen Depression, bestimmen Gene das Risiko erheblich mit.

Schon in zehn Jahren aber hoffen Forscher die wichtigsten genetischen Grundlagen der Geisteskrankheiten verstanden zu haben.

6. Wie speichert das Hirn Gesichter?

Ein Mensch kann Tausende Gesichter unterscheiden und speichern. Schon Babys finden Gesichter anziehend, instinktiv schauen sie in andere Mienen. Und sie registrieren schnell, welche Gesichter zu ihrer Familie gehören; das Gesicht der Mutter prägen sie sich bereits kurz nach der Geburt ein.

Ermöglicht wird all dies von Netzen aus Milliarden Neuronen in der Großhirnrinde. Abgelegt werden die einmal wahrgenommenen Gesichter wie andere Gedächtnisinhalte im **Neokortex**.

Die Neurowissenschaftlerin Alumit Ishai hat in einer Studie zum Arbeitsgedächtnis gezeigt, dass bestimmte, mit einem Kernspintomographen aufgezeichnete Erregungsmaxima für Häuser, Gesichter oder Stühle in unterschiedlichen, jeweils eng umgrenzten Regionen lokalisiert sind.

Auch die Ergebnisse anderer Forscher legen nahe, dass vermutlich ein kleiner Bereich in den **Schläfenlappen** auf Gesichter spezialisiert ist. Bei weiteren Versuchsreihen gelang es Ishai, die Zusammenarbeit mit anderen Hirnarealen zu erhellen: Zunächst gelangen die Eindrücke in die Schläfenlappen, werden dort verarbeitet und an jene Teile des Großhirns weitergeleitet, die auf den emotionalen Ausdruck der Gesichter oder ihre soziale Relevanz reagieren. Dort entscheidet sich auch, ob ein Gesicht als schön empfunden wird.



Um ein Gesicht wiederzuerkennen, vergleicht das Hirn alte Sinnesreize mit neuen

Rätselhaft aber bleibt nach wie vor, wie das Gehirn visuelle Informationen über Gesichter verarbeitet und mit gespeicherten Daten abgleicht. Denn wir sind in der Lage, Menschen noch nach Jahren wiederzuerkennen, selbst wenn das aktuelle Bild mit dem gespeicherten Gesicht nicht mehr übereinstimmt, weil das Gegenüber gealtert ist, einen Vollbart trägt oder sich beim Schönheitschirurgen unter das Messer gelegt hat.

All das sind verblüffende Fähigkeiten, mit denen das menschliche Gehirn jedes Computerprogramm bei Weitem übertrifft und die noch immer kein Wissenschaftler erklären kann.

7. Wie funktioniert eine Narkose?

Der Anästhesist setzt die Spritze. Nach kurzer Zeit verliert der Patient jede bewusste Wahrnehmung, seine Reflexe werden gedämpft, und er stellt sogar das selbstständige Atmen ein. Ein Schlauch, in die Luftröhre eingeführt, versorgt den Körper fortan mit Sauerstoff und einem Cocktail aus mehreren Narkosegasen.

Doch was der Betäubte häufig nicht weiß: Die Arbeit der Anästhesisten zeichnet sich vor allem durch Geschick aus. Sie jonglieren in oft lebensbedrohlichen Situationen mit Substanzen, deren Funktionsweise noch immer kaum bekannt ist und die erhebliche Nebenwirkungen auslösen können.

Denn viele Narkotika dämpfen das Nervensystem gleich mehrfach und wirken sich auch auf Atmung und Herzfunktion aus – was fatale Folgen haben kann.

Die Forscher wissen mittlerweile, dass für die einzelnen Teileffekte einer Nar-

kose – Verlust des Bewusstseins, Reglosigkeit, Schmerzunempfindlichkeit, Aussetzen des Gedächtnisses – jeweils nur bestimmte Verbände von Nervenzellen zuständig sind.

Auf der Oberfläche dieser Zellen sitzen spezielle Rezeptoren: Reagieren sie auf einen betäubenden Stoff, wird der Aufbau neuronaler Aktivität vermindert.

Mit diesem Wissen wollen die Fachleute in Zukunft Narkotika entwickeln, die nur jene Nervenzellen blockieren, deren Deaktivierung für eine Operation notwendig ist – unerwünschte Nebeneffekte wären damit ausgeschlossen.

Das größte Problem hierbei ist das Bewusstsein des Patienten: Bei manchen Eingriffen ist vollständige Bewusstlosigkeit unabdingbar, bei anderen wiederum ist sie eher eine ungewollte Begleiterscheinung. Doch solange die Hirnforscher nicht wissen, wie und wo das Bewusstsein entsteht, muss die Wirkung der Narkotika unklar bleiben. Sicher ist bislang



Die Narkose ist ein Zustand, den Forscher noch nicht vollständig verstehen

nur, dass verschiedene Teile des Gehirns gleichzeitig an bewussten geistigen Prozessen beteiligt sind. Vermutlich unterbrechen manche Narkosemittel die Verbindungen zwischen den Hirnregionen: „Als wären in einem Telefonnetz zentrale Stecker herausgezogen“, veranschaulicht die kanadische Physiologin Beverley A. Orser diesen Zustand.

Wo genau aber diese Stecker im Gehirn zu finden sind, kann noch niemand sagen. □

Hauke Friederichs, 27, und Sebastian Witte, 24, sind Journalisten in Hamburg.

WENN BLINDE SEHEN

Die einen berichten vom völligen Erlöschen aller Bilder, die anderen vom Erwachen lichterfüllter, schiefer Erfahrungen. Denn das Gehirn reagiert ungemein flexibel auf den Verlust des Sehsinns, deutlich besser vorstellen als ein Mensch, der durch das wirkliche Sehen »behindert« sei. Der

Fotos: Evgen Bavčar



Die Fotografien des Slowenen Evgen Bavčar sind Mitteilungen aus seiner inneren Bilderwelt – er ist seit seiner Kindheit blind

vielfältiger Imaginationen: Wenn Menschen ihr Augenlicht verlieren, machen sie sehr unter-
Manche Blinde behaupten sogar, sie könnten sich etwa das Innenleben komplizierter Maschinen
Neurologe **Oliver Sacks** über Versuche, diesem Phänomen auf die Spur zu kommen





or einigen Jahren erhielt ich ein außergewöhnliches Buch zugesandt mit dem Titel: „Im Dunkeln sehen – Erfahrungen eines Blinden“. Der Autor, John Hull, Professor für Theologie, war mit 13 Jahren an grauem Star erkrankt; vier Jahre später wurde er auf dem linken Auge blind. Als 48-Jähriger verlor er vollständig die Fähigkeit zu sehen.

Sein Buch ist voller ergreifender Einsichten in Hulls Leben als Blinder. Am meisten hat mich beeindruckt, wie er das allmähliche Verblenden seiner visuellen Vorstellungen und Erinnerungen beschreibt, bis hin zu ihrem gänzlichen Verschwinden – außer in Träumen. Hull nennt diesen Zustand „tiefe Blindheit“.

Damit meint er nicht nur das Erlöschen visueller Bilder und Erinnerungen, sondern auch den Verlust der Vorstellung des Sehens an sich. Denn offenbar verloren Begriffe wie „hier“, „dort“ oder „gegenüber“ für ihn jede Bedeutung.

Selbst die Idee, dass Objekte ein bestimmtes „Aussehen“ haben, verschwand. Er konnte sich zum Beispiel nicht mehr die Ziffer 3 vorstellen – es sei denn, er schrieb sie mit der Hand in die Luft.

Anfangs machte Hull all dies sehr zu schaffen, weil er schon bald auch die Gesichter seiner Frau und seiner Kinder, die Bilder gewohnter und geliebter Orte nicht mehr heraufbeschwören konnte. Dann aber fand er sich mit diesem Zustand ab.

**»Blindheit ist
ein verblüffendes
Geschenk –
eine neue Art,
Mensch zu sein«**

kann. Denn der Regen trommelt auf einem Gartenweg anders als auf dem Rasen, auf Büschen anders als auf einem Zaun. „Regen“, schreibt er, „kann eine bunte Decke über zuvor Unsichtbares werfen. Er zeigt die Fülle einer ganzen Situation auf.“



Der Fotograf Evgen Bavčar sieht seine Aufnahmen nur vor dem geistigen Auge

Dank dieser Eindringlichkeit seiner akustischen Erfahrungen und der geschärften anderen Sinne hat Hull begonnen, eine Vertrautheit mit der Natur zu spüren, die alles zuvor Bekannte übertrifft. Die Blindheit ist für ihn nun „ein dunkles, verblüffendes Geschenk“. Das sei nicht nur eine „Kompensation“, betont er. Vielmehr sei es eine vollkommen neue Art, Mensch zu sein.

Was Hull beschreibt, ist für mich ein erstaunliches Beispiel dafür, wie sich ein Mensch eine völlig neue Identität aufbauen kann, wenn er einer Sinneswahrnehmung beraubt ist.

Es heißt, dass Kinder, die in ihren ersten beiden Lebensjahren das Augenlicht verlieren, sich nicht an das Sehen erinnern können. Sie haben keine bildliche Vorstellungskraft und keine visuellen Eindrücke in ihren Träumen.

Ähnliches geschieht mit Kindern, die vor ihrem zweiten Geburtstag ihren Hörsinn verlieren: Weder wissen sie, dass sie eine Welt der Klänge „eingebüßt“ haben, noch nehmen sie „Stille“ wahr, wie es sich Hörende manchmal vorstellen. Uneingeschränkt glauben sie, in einer Welt zu leben, die allein durch die anderen Sinne geschaffen wird.



Oliver Sacks ist Professor für Neurologie an der Columbia-Universität, New York

Bis zur Lektüre von Hulls Buch erschien mir ungewöhnlich, dass auch bei einem Erwachsenen wie ihm, der auf Jahrzehnte visueller Erfahrungen zurückgreifen kann, das visuelle Gedächtnis in dieser Weise ausgelöscht werden kann. Und dennoch zweifelte ich nicht an der Wahrhaftigkeit seiner Schilderung, die er mit größter Sorgfalt und Klarheit verfasst hatte.

DIE NEUROWISSENSCHAFTLERIN Helen Neville hat in Studien zur Anpassungsfähigkeit des Gehirns nachgewiesen, dass bei Gehörlosen, die von Geburt oder den ersten beiden Lebensjahren an taub sind, die Akustikbereiche des Gehirns nicht etwa verkümmern, sondern funktionstüchtig und aktiv bleiben. Doch üben sie neue Funktionen aus. Sie sind „neu zugeteilt“ worden, so Neville, um fortan *Bildsprache* zu verarbeiten. Umgekehrt zeigen Studien an Blindgeborenen oder früh Erblindeten, dass die für das Sehen zuständigen Areale der **Großhirnrinde*** möglicherweise ähnlich neu zugeteilt werden und nun für die Verarbeitung von *Klang* und *Berührung* zuständig sind.

Mit dieser Neuverteilung der Rindenbereiche können für einen Blinden der Tastsinn und die übrigen Sinne eine Intensität gewinnen, die für einen Sehenden wohl unvorstellbar ist. Eine überragende Begabung für räumliche Wahrnehmung spielte beispielsweise

* Blau hervorgehobene Begriffe werden im Glossar ab Seite 150 näher erklärt.

eine wichtige Rolle bei der Arbeit des blinden Biologen Geerat Vermeij, der eine Vielzahl neuer Muschel- und Schneckenarten allein dadurch bestimmte, dass er winzige Unterschiede in Form und Kontur ihrer Schalen zu ertasten vermochte.

ANGESICHTS SOLCHER ENTDECKUNGEN und Berichte haben Hirnforscher erkannt, dass das Gehirn in gewisser Weise flexibel und formbar ist – zumindest in den ersten Lebensjahren. So haben italienische Wissenschaftler nachgewiesen, dass sich bei sehenden Probanden nach 90 Minuten in völliger Dunkelheit die taktile und räumliche Wahrnehmung merklich verbessert. Offensichtlich ist das Gehirn selbst von Erwachsenen fähig, sich zu verändern.

Hulls Erfahrung, so nahm ich nach der Lektüre seines Buches an, ist also charakteristisch für alle spät Erblindeten. Daher erstaunten mich die Zuschriften blinder Menschen, die ich nach der Veröffentlichung eines Essays über Hulls Blindheit erhielt. Offenbar konnten viele meiner Leser Hulls Erlebnisse nicht teilen. Sie sagten, sie hätten ihre Bilder und visuellen Erinnerungen durchaus nicht vergessen – selbst nach Jahrzehnten der Blindheit nicht.

Eine Frau, mit 15 erblindet, schrieb: „Ich betrachte mich als ‚visuellen‘ Menschen. Ich ‚sehe‘ weiterhin die Dinge vor mir. Während ich diese Zeilen gerade schreibe, sehe ich meine Hände auf der Tastatur. Ich fühle

mich in einer ungewohnten Umgebung erst wohl, wenn ich mir in meiner Vorstellung ein Bild von ihr machen kann.“

Hatte ich mich geirrt, als ich Hulls Erfahrung für eine typische Reaktion auf das Erblinden hielt?

Dieser Eindruck verstärkte sich, als ich den Brief eines australischen Psychologen namens Zoltan Torey erhielt. Er schrieb, er sei mit 21 Jahren bei einem Unfall in einer Chemiefabrik erblindet. Im Juni 1951 zog er dort einen Stöpsel aus einem Säurefass: „Das Letzte, was ich klar erkennen konnte, war ein Lichtschimmer in der Säureflut, die sich über mein Gesicht ergoss und mein Leben veränderte. Ein Funkeln, eine Nanosekunde lang, eingerahmt von der schwarzen Rundung des kaum einen halben Meter entfernten Fasses. Das ist die letzte Szene, jener dünne Faden, der mich mit meiner Vergangenheit als Sehender verbindet.“

Als klar wurde, dass seine Hornhaut unrettbar beschädigt war, riet man ihm, sein Bild von der Welt auf das zu stützen, was er hörte und ertastete – also, so Torey, das „Sehen und die visuelle Vorstellung einfach zu vergessen“. Das aber konnte oder wollte er nicht. „Ich beschloss sofort herauszufinden, wie weit mein durch fehlende Seheindrücke benachteiligtes Gehirn gehen würde.“

So etwas klingt abstrakt, fast wie ein Experiment. Aber in seiner Schilderung spürte ich, welche mächtigen Gefühle ihn zu diesem Entschluss trieben: die



Manche Blinde verlieren nicht nur das Sehvermögen. Auch visuelle Erinnerungen und Vorstellungen versinken im Dunkel

panische Angst vor der Dunkelheit, aber auch der leidenschaftliche Wunsch, Licht und Sehen – und sei es nur in Erinnerung und Vorstellung – nicht zu verlieren.

Torey entwickelte ein erstaunliches Geschick darin, in Gedanken Bilder zu erschaffen, sie festzuhalten und zu beeinflussen. Er konnte eine innere Welt konstruieren, die ihm fast so real erschien wie jene Sinneswelt, die er verloren hatte – manchmal sogar noch konkreter: eine Art gesteuerter Traum.

Dank dieser Bilderwelt entwickelte er Fähigkeiten, die man einem Blinden kaum zugetraut hätte. „Ich habe eigenhändig das Dach meines mehrgiebeligen

Hauses gedeckt“, schrieb er, „und zwar allein aufgrund der konzentrierten Kontrolle meines in zwischen vollkommen formbaren mentalen Raumes.“ Toreys Nachbarn waren entsetzt, als sie ihn allein auf dem Dach seines Hauses sahen – noch dazu in tiefer Nacht.

Diese Bilderwelt ermöglichte es ihm zudem, auf eine vollkommen neue Weise zu denken: Torey

war schon bald fähig, vierstellige Zahlen miteinander zu multiplizieren, indem er sich die gesamte Rechenoperation auf einer Tafel vorstellte und die einzelnen Schritte in verschiedenen Kreidefarben „aufmalte“.

Er konnte sich sogar in das Innere einer Maschine versetzen, etwa eines arbeitenden Differenzialgetriebes, „als sähe ich es aus dem Gehäuseinneren. Ich konnte die Zahnräder greifen, ineinanderfassen, sich drehen und die nötige Bewegung hervorrufen sehen“. Und er begann sich vorzustellen, wie ein Atom aufgebaut ist.

Ja, er glaubte sogar, mittels visualisierter Gedanken und Simulationen – ergänzt durch eine Fülle neurowissenschaftlicher Daten – die Komplexität des menschlichen Gehirns begreifen zu können.

SEIT VIELEN JAHREN reist die blinde Deutsche Sabriye Tenberken – häufig allein – durch Tibet, wo Blinde jahrhundertlang wie Untermenschen behandelt worden sind. Praktisch im Alleingang hat sie diese Situation verändert. Sie hat eine tibetische Blindenschrift entwickelt, Blindenschulen gegründet und geholfen, deren Absolventen in Gemeinschaften zu integrieren.

Sabriyes Sehkraft war von Geburt an geschwächt. Als Kind hatte sie eine besondere Vorliebe für Farben, und so vermochte sie, als es ihr nicht mehr möglich war, Konturen und Formen zu erkennen, einzelne Objekte zumindest anhand ihrer Farben auseinanderzuhalten.

Denn sie verfügt über eine ausgeprägte Synästhesie – also über besondere Vernetzungen im Hirn, die dazu führen, dass bei einer Sinnesreizung neben der zuständigen Region ein weiteres, eigentlich für andere Eindrücke zuständiges Areal angeregt wird.

„So lange ich mich erinnern kann, riefen Zahlen und Worte augenblicklich Farben in mir hervor. Zum Beispiel ist die Ziffer 4 goldfarben, die 5 hellgrün und die 9 zinnoberrot. Auch Wochentage und Monate haben ihre Farben. Ich ordne sie in geometrischen Figuren an, in Kreissegmenten, so wie Kuchenstücke. Wenn ich mich erinnern will, an welchem Wochentag sich etwas Bestimmtes ereignet hat, leuchtet auf meinem inneren Bildschirm als Erstes die Farbe des Tages auf, dann sein Platz in dem Kuchen.“

Obwohl Sabriye Tenberken seit mehr als 20 Jahren blind ist, kann sie mit ihren übrigen Sinnen, mit Beschreibungen, visuellen Erinnerungen und einem ausgeprägten synästhetischen Gespür „Bilder“ von Landschaften und Räumen hervorrufen – so lebendig und detailreich, dass sie ihre Zuhörer staunen lassen.

Allerdings unterscheiden sich diese Bilder manchmal deutlich von der Realität. Etwa, als sie mit einem Gefährten einen großen Salzsee in Tibet besuchte. Dort angekommen, wandte sich Tenberken, wie sie glaubte, dem See zu und sah vor ihrem inneren Auge „am Rande einer riesigen, türkisgrünen Wasserfläche einen Strand aus kristallinem Salz wie Schnee im Licht der Abendsonne glitzern. Auf dunkelgrünen Bergrücken hüteten ein paar Nomaden ihre grasenden Yaks.“ Doch sie hatte in die falsche Richtung „geblickt“ – nicht auf den See, sondern auf Felsen und eine graue Landschaft.



Wer das Augenlicht verliert, entwickelt oft ein feines Gehör und nimmt Geräusche wahr, die Sehende kaum beachten

Dank seiner Vorstellungskraft konnte der blinde Zoltan Torey sein Hausdach decken



Mithilfe der geschärften anderen Sinne entwickeln manche Erblindete eine unbekannte Vertrautheit mit der Natur

Doch kleine Malheurs dieser Art bringen sie nicht aus der Fassung: Sie ist froh, eine so lebhaftere Vorstellungskraft zu haben. Im Grunde stellt sie sich Dinge eher wie ein Künstler vor – und diese Imaginationen können impressionistisch sein, romantisch und sogar in sich unstimmig –, während Zoltan Toreys Vorstellung wie die eines Ingenieurs funktioniert und deshalb bis in alle Einzelheiten präzise sein muss.

DREI VISUELLE ERFAHRUNGEN blinder Menschen: John Hull mit seinem bereitwilligen Abstieg in die bildlose „tiefe Dunkelheit“, Zoltan Torey mit seiner minutiösen Konstruktion einer inneren Bilderwelt und Sabriye Tenberken mit ihrer impulsiven, geradezu dichterischen visuellen Freiheit sowie ihrer besonderen Gabe zur Synästhesie.

Gibt es also überhaupt so etwas wie eine „typische“ Blindenerfahrung?

Vor einigen Jahren traf ich zwei weitere Menschen, die im Erwachsenenalter erblindet waren. Dennis Shulman, ein klinischer Psychologe und Psychoanalytiker, ist ein untersetzter, bärtiger Mann um die 60, der als Teenager nach und nach seine Sehkraft verlor.

Shulman hat andere Erfahrungen gemacht als Hull: „Auch nach 35 Jahren der Blindheit lebe ich immer noch in einer Welt der Bilder. Ich habe überaus lebendige visuelle Erinnerungen. Meine Frau, die ich nie gesehen habe, stelle ich mir bildlich vor. Auch meine

Kinder. Sogar mich selbst sehe ich – allerdings so, wie ich mich das letzte Mal erblickt habe, also als ich 13 war. Ich halte viele öffentliche Vorträge und schreibe dazu meine Notizen in Braille-Schrift. Wenn ich sie in Gedanken durchgehe, sehe ich sie vor mir: Es sind visuelle Bilder, keine Tastzeichen.“

Arlene Gordon, eine frühere Sozialarbeiterin sagt, sie erlebe die Dinge ganz ähnlich: „Wenn ich meine Arme bewege, sehe ich sie, obwohl ich seit mehr als 30 Jahren blind bin.“

Offenbar übersetzt sie jede Armbewegung sofort in ein inneres Bild. Und wenn sie zu lange einem Hörbuch lauscht, ermüden ihre Augen: Sie scheint den Klang der gesprochenen Sätze in gedruckte Zeilen eines imaginären Buches zu verwandeln. Diese Anstrengung führt nach einer gewissen Zeit dazu, dass ihre Augen zu schmerzen beginnen.

Das erinnerte mich an Amy, eine Kollegin, die mit neun Jahren ihr Gehör verlor. Sie kann so gut von den Lippen lesen, dass ich manchmal vergesse, dass sie taub ist. Als ich ihr einmal geistesabwesend den Rücken zukehrte, während ich mit ihr sprach, fuhr sie mich an: „Ich kann dich nicht mehr hören.“

„Du meinst, du kannst mich nicht mehr sehen.“

„Du nennst es vielleicht sehen“, erwiderte sie, „aber für mich ist es hören.“

Obwohl völlig gehörlos, entwickelt sie weiter den Klang einer Stimme in ihrem Kopf.

Die Neurowissenschaft liefert zunehmend Be-
weise für solche außerordentlich zahlreichen Vernet-
zungen und Interaktionen zwischen den einzelnen
sensorischen Regionen des Gehirns. So wird es sehr
schwierig, zu behaupten, etwas sei rein visuell oder
rein akustisch. Die Welt der Blinden, der Erblindeten,
kann offenbar besonders reich an solchen Zwischen-
zuständen sein. Zuständen, für die wir keine gemein-
same Sprache haben.

Wer zu sehen vermag, der erzeugt so nahtlos und
spontan seine eigenen Bilder, dass es den Anschein hat,
man könne „Realität“ unmittelbar erfahren. Vielleicht



Wie auf einen »Monitor« rufen sich manche Blinde präzise
Bilder von Figuren oder Dingen vor ihr geistiges Auge

muss man erst auf Menschen treffen, die durch Hirn-
schädigungen einen Teil ihrer visuellen Möglichkeiten
eingebüßt haben, um den enormen Aufwand von Ana-
lyse und Synthese zu begreifen, der für einen scheinbar
so simplen Akt wie das Sehen notwendig ist.

Arlene, die Sozialarbeiterin, empfindet sich in vie-
lerlei Hinsicht noch als visueller Mensch. „Ich habe ein
deutliches Farbempfinden“, sagt sie. „Ich wähle meine
Kleider selbst aus, und wenn ich erst einmal weiß, mit
welchen Farben ich es zu tun habe, denke ich: Ach ja,
das wird gut zu dem passen.“

Zudem reise sie gern – kürzlich erst habe sie
Venedig „gesehen“. Ihre Reisegefährten hätten ihr
alle Örtlichkeiten beschrieben, dann habe sie aus die-
sen Details, aus ihrer Reiselektüre sowie den eigenen
Erinnerungen ein visuelles Bild konstruiert.

„Sehende reisen gern mit mir“, sagt sie. „Ich stelle
Fragen, sie schauen hin und sehen Dinge, die sie
sonst nicht gesehen hätten. Sehende Menschen sehen
oft überhaupt nichts! Es ist für uns etwas Gegenseitiges –
wir bereichern jeder die Welt des anderen.“

DER FRANZOSE JACQUES LUSSEYRAN erblindete durch
einen Unfall kurz vor seinem achten Geburtstag –
ein Alter, das er später geradezu „ideal“ nannte.

Zum einen habe er zu diesem Zeitpunkt schon viele
Erfahrungen gemacht, zum anderen sei „das Verhalten
eines Achtjährigen weder körperlich noch geistig

voll ausgeprägt. Sein Körper ist noch unglaublich flexi-
bel“, schreibt er in seiner Biografie „Das wiedergefun-
dene Licht“.

Und diese Beweglichkeit war tatsächlich besonders
bezeichnend für seine Reaktion auf die Blindheit.

Anfangs stand der Verlust im Mittelpunkt – sowohl
der Bilder als auch des Interesses an ihnen: „Kurz nach
dem Erblinden vergaß ich die Gesichter meines Vaters
und meiner Mutter, die Gesichter der meisten Men-
schen, die ich mochte. Ich hörte auf, mich zu fragen,
ob Leute hell- oder dunkelhäutig sind, ihre Augen blau
oder grün. Ich merkte, dass sehende Menschen viel zu



Die Sehrinde im Gehirn Erblindeter reagiert hypersensitiv
auf alle möglichen Reize aus der Innenwelt

viel Zeit damit vergeuden, auf diese bedeutungslosen
Eigenschaften zu achten. Ich dachte nicht mal mehr an
sie. Menschen schienen für mich derartige Merkmale
gar nicht mehr zu haben. Manchmal hatten Frauen
und Männer in meinen Gedanken keine Köpfe oder
Finger mehr.“

Und dann begann Lusseyran, sich eine imaginäre
Bilderwelt zu erschaffen und sie für seine Zwecke ein-
zusetzen.

Zunächst, so schildert er es, war da eine Empfin-
dung von Licht. Ein formloses, flutendes, strömendes
Strahlen – eine „Befreiung“: eine spontane, geradezu
eruptive Erregung des **visuellen Kortex** (des für die
Verarbeitung von Bildern zuständigen Bereichs der
Großhirnrinde), dem die visuellen Informationen,
die er bis dahin über die Augen und die Sehnerven
erhalten hatte, nun fehlten.

Kaum war der visuelle Kortex, sozusagen das inne-
re Auge, aktiviert, schuf Lusseyran in Gedanken eine
Art „Bildschirm“, auf den sich alles, was er dachte oder
wünschte, projizieren und wie auf einem Computer-
monitor verändern ließ.

„Dieser Bildschirm war nicht rechteckig oder qua-
dratisch wie eine Tafel, bei der man rasch an den Rand
stößt. Mein Bildschirm war immer so groß, wie ich ihn
gerade brauchte. Weil er keinen Platz im Raum hatte,
war er überall gleichzeitig. Gewöhnlich erschienen
Namen, Gestalten und Objekte auf meinem Schirm

mit einer bestimmten Form, aber nicht einfach nur schwarz-weiß, sondern in allen Regenbogenfarben. Nichts kam mir in den Sinn, ohne in ein bestimmtes Licht getaucht zu sein. In wenigen Monaten hatte sich meine Welt in ein Maleratelier verwandelt.“

Er berichtet von Spaziergängen mit einem sehenden Freund namens Jean. Als sie gemeinsam eine Anhöhe oberhalb des Seine-Tals erklommen, sagte Lusseyran: „Sieh doch nur! Diesmal haben wir es bis ganz nach oben geschafft. Du kannst sogar die ganze Fluss Schleife sehen, wenn dich die Sonne nicht zu sehr blendet.“

Erstaunt riss Jean die Augen auf und rief: „Stimmt genau!“ Lusseyran schreibt nicht ohne Stolz: „Diese Szene wiederholte sich zwischen uns später noch tausendfach in ähnlicher Weise.“

In seiner Welt, meinte Jean, gäbe es im Vergleich zu der von Jacques Lusseyran recht wenige Bilder und nicht annähernd so viele Farben. Darüber ärgerte er sich manchmal. „Da fragt man sich doch, wer von uns beiden nun eigentlich blind ist.“

IN EINEM ESSAY empört sich Lusseyran über die „Tyrannei“ und „Verklärung“ des Sehens und schreibt, es sei geradezu die „Aufgabe“ der Blinden, die Sehenden daran zu erinnern, dass es tiefere, sich gegenseitig beeinflussende Wahrnehmungsarten gibt.

„Ein blinder Mensch hat ein besseres Gespür für Empfindungen, für Geschmack und Berührung“, schreibt er und bezeichnet dies als „Gabe der Blinden“.

All diese Begabungen, so Lusseyran, verschmelzen bei Blinden zu einem einzigen, fundamentalen Sinn. Zu einer hohen Aufmerksamkeit, einer bedächtigen, beinahe greifbaren Achtsamkeit, einer sinnlichen, vertrauten Einheit mit der Welt, die durch das Sehen mit seiner schnellen, flatterhaften und oberflächlichen Art verhindert wird.

Dennis Shulman, der blinde Psychoanalytiker, sagt, er sei durch die Intensivierung seiner übrigen Sinne sensibler geworden für die Stimmung anderer Menschen und für feinste Nuancen ihrer Rede und Selbstdarstellung.

Er könne jetzt viele Patienten mit der Nase erkennen, und oft spüre er Spannungszustände oder Ängste, von denen sie selbst noch nichts ahnten. Stimmen und Gerüche offenbarten seiner Meinung nach die Abgründe der Menschen.

Für ihn seien die meisten Sehenden, so scherzt er, „visuell abhängig“.

WAS ABER GESCHIEHT GENAU, wenn der visuelle Kortex nicht länger durch Seheindrücke eingeschränkt oder beeinflusst wird? Die einfache Antwort lautet: Isoliert von der Außenwelt, reagiert der Sehkortex hypersensitiv auf alle möglichen Reize aus der Innenwelt – beispielsweise auf seine eigene Aktivität,

**»Sehende
Menschen
sehen häufig
überhaupt
nichts!«**



Tasten, Schmecken, Riechen, Hören: Die übrigen Sinne modellieren die Welt, wenn die sonst übermächtigen Sehreize fehlen



Wie Künstler malen manche Blinde innere Bilder, andere können mit sinnlichem Gespür Landschaften beschreiben

auf Signale aus anderen Hirnarealen und auf die Gedanken und Gefühle des Blinden. Wenn das Augenlicht sich verschlechtert, kommt es manchmal zu Halluzinationen. Geometrische Muster tauchen auf, gelegentlich auch stumme, sich bewegende Gestalten oder Schauplätze, die ohne jeden Bezug zu Bewusstsein, Intention oder Kontext einfach spontan aufscheinen und wieder verschwinden.

Seit einigen Jahren beschäftigen sich Wissenschaftler sehr intensiv mit den neuronalen Grundlagen der visuellen Vorstellungskraft, denn die lassen sich nun dank bildgebender Verfahren untersuchen, etwa mittels der **Positronen-Emissions-Tomographie** (PET) oder der **Kernspintomographie**.

Die Forscher sind zu dem Schluss gekommen, dass eine visuelle *Vorstellung* den Sehkortex in ähnlicher Weise und Intensität aktivieren kann wie eine visuelle *Wahrnehmung*. Zugleich haben Studien über die Folgen von Blindheit gezeigt, dass die Sehareale im Hirn bereits wenige Tage nach dem Erblinden neue Funktionen erhalten können. Wenn die Tage dann zu Monaten werden, vermögen sich die neuen Funktionen dauerhaft herauszubilden.

Zoltan Torey, der diese Forschungen genau verfolgt, führt John Hulls Verlust der visuellen Vorstellungskraft und Erinnerung darauf zurück, dass er sich anders als Torey gar nicht bemüht habe, sie zu erhalten, zu intensivieren und zu systematisieren. Möglicherweise ist es Torey auf seine Weise geglückt, einen

eigentlich unvermeidlichen Verlust neuronaler Funktionen im Sehkortex zu verhindern.

Doch womöglich vollzieht sich eine solche neuronale Degeneration auch einfach von Individuum zu Individuum sehr unterschiedlich – unabhängig davon, ob sich der Blinde nun bewusst Bilder vorstellt oder nicht. Zudem ist es möglicherweise von Bedeutung, dass Hulls Augenlicht allmählich und über mehrere Jahre nachließ, während Torey vollständig und schlagartig erblindete.

Vielleicht verweist der Unterschied zwischen den beiden aber auch auf eine tiefer liegende Veranlagung, die ganz unabhängig von Blindheit existiert. Denn wie ist es eigentlich um die visuelle Vorstellungskraft bei Sehenden bestellt?

ALS ICH ETWA 14 JAHRE ALT WAR, wurde mir zum ersten Mal bewusst, dass es große Unterschiede in der Fähigkeit gibt, sich Bilder vorzustellen und ins Gedächtnis zu rufen. Meine Mutter war Chirurgin und beschäftigte sich mit vergleichender Anatomie. Eines Tages brachte ich ihr aus der Schule das Skelett einer Eidechse. Sie betrachtete es eine Minute lang aufmerksam, drehte es in den Händen hin und her.

Dann stellte sie es beiseite und begann, eine Reihe von Zeichnungen davon anzufertigen, ohne noch einmal hinzuschauen. Sie drehte es in Gedanken mehrfach um jeweils 30 Grad und entwarf so nach und nach eine Serie von Skizzen.

Es war für mich unbegreiflich, wie ihr das gelungen war. Und als sie mir erklärte, sie „sehe“ das Eidechsen skelett klar und deutlich vor ihrem geistigen Auge und brauche es ja nur jeweils um ein Zwölftel eines Kreises zu drehen, war ich völlig verwirrt. Ich selbst konnte vor meinem geistigen Auge so gut wie gar nichts sehen – höchstens blasse, flüchtige Bilder, über die ich keinerlei Kontrolle hatte.

Ich erlebte solche lebendigen Bilder nur, wenn ich einschlief und träumte (und einmal, als ich sehr hohes Fieber hatte). Wenn ich versuchte, mir etwas vorzustellen, sah ich so gut wie nichts oder überhaupt nichts.

Später aber, in den 1960er Jahren, erhielt ich doch noch einen lebhaften Eindruck davon, was es bedeutet, über mentale Imaginationskraft zu verfügen. Damals experimentierte ich eine Zeit lang mit großen Mengen von Amphetaminen – also mit Drogen, welche die Wahrnehmung auf erstaunliche Weise verändern und beispielsweise die visuelle Vorstellungskraft dramatisch steigern können.

Dank der Amphetamine war ich in der Lage, äußerst genaue anatomische Zeichnungen anzufertigen. Ich brauchte lediglich einen Blick auf ein Bild oder ein Modell zu werfen, und es blieb mir über Stunden lebhaft und unverändert im Gedächtnis. Ich musste dieses Bild nur gedanklich auf das Papier vor mir projizieren – so klar und deutlich, als würde es von einem Projektor auf das Blatt geworfen – und die Umrisse anschließend mit einem Stift nachziehen.

Als die Wirkung der Drogen ein paar Wochen darauf nachließ, war ich nicht mehr fähig, mir etwas vorzustellen, Bilder zu projizieren, zu malen. Und daran hat sich seither nichts geändert.

VOR EINIGER ZEIT HIELT ICH auf einer medizinischen Konferenz in Boston einen Vortrag über Toreys und Hulls Erfahrungen mit ihrer Blindheit und berichtete, wie „unbehindert“ Torey auf mich dank der von ihm entwickelten Vorstellungsfähigkeit wirkte – und wie „behindert“ Hull mir in mancher Hinsicht durch den Verlust dieser Gabe erschien.

Nach meinem Vortrag kam ein Mann aus dem Publikum auf mich zu und fragte, wie es sehenden Menschen meiner Meinung nach möglich sei, ohne visuelle Vorstellungskraft auszukommen – denn er selbst könne sich überhaupt nichts bildlich vorstellen, zumindest nicht, wenn er es absichtlich versuchte.

Er hatte angenommen, dies treffe auf alle Menschen zu, bis er an der Universität an einem psychologischen Test teilnahm und dabei feststellte, dass ihm offenbar eine Gabe fehlte, über die alle anderen Studenten in unterschiedlichem Maße verfügten.

**Drogen verändern
die Wahrnehmung
und steigern
die visuelle Vorstellungskraft**

Betreten Sie die Schatz- kammer der Geschichte!

geschichte.zvab.com

Über 600.000 Geschichtsbücher im weltweit größten Online-Antiquariat für deutschsprachige Titel.

ZVAB.com
ZENTRALES VERZEICHNIS ANTIQUARISCHER BÜCHER

Bücher jeder Zeit.



Auch wenn sie ihr Gegenüber nie gesehen haben, machen sich manche Blinde ein genaues Bild von Gesichtern

„Und was machen sie beruflich?“, fragte ich ihn, da ich mich wunderte, in was für einem Job dieser arme Mann überhaupt erfolgreich sein könnte.

„Ich bin Gefäßchirurg“, antwortete er. „Außerdem arbeite ich als Anatom. Darüber hinaus entwickle ich Solaranlagen.“

„Aber wie erkennen Sie die Bedeutung von dem, was Sie sehen?“, wollte ich wissen.

„Das ist kein Problem“, erwiderte er. „Ich denke, im Gehirn gibt es so etwas wie Abbilder oder Modelle, die ich mit dem vergleiche, was ich sehe oder tue. Aber ich erlebe sie nicht bewusst. Ich kann sie nicht gezielt hervorrufen.“

Das schien der Erfahrung meiner Mutter zu widersprechen – sie hatte ganz eindeutig eine äußerst lebendige und leicht zu manipulierende Vorstellungskraft. Doch dies könnte einfach eine zusätzliche Gabe, ein Luxus, und nicht eine notwendige Voraussetzung für ihre Karriere als Chirurgin gewesen sein.

Galt das vielleicht auch für Zoltan Torey? Konnte es sein, dass seine hoch entwickelte Fähigkeit zur bildlichen Vorstellung längst nicht so unverzichtbar war, wie er glaubte? Hätte er nicht all das, was er getan hatte – vom Tischlern bis zum Dachdecken –, auch tun können, ohne sich dazu bewusst Bilder vorzustellen?

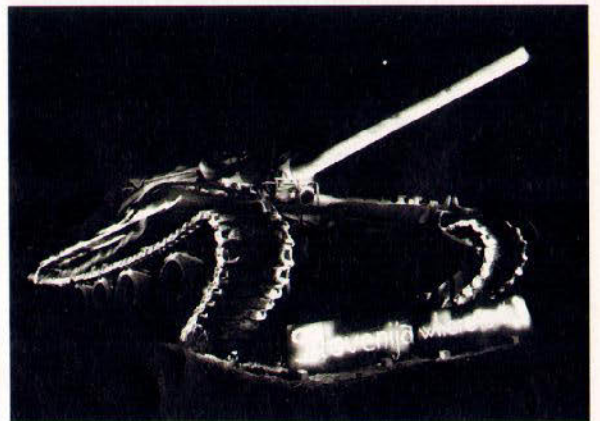
DIE ROLLE DER VISUELLEN Vorstellungskraft hat um 1880 der Brite Francis Galton erforscht. Galton versuchte ihr mithilfe eines Fragebogens auf die Spur zu kommen. Mit Fragen wie: „Können Sie sich präzise die Gesichtszüge aller nahen Verwandten und vieler anderer Personen vorstellen? Vermögen Sie die Person, die

Sie sich vorstellen, nach Belieben stehen, sitzen oder sich langsam drehen zu lassen? Sind Sie in der Lage, diese Person so klar zu erkennen, um sie in Ruhe zeichnen zu können?“

Der Gefäßchirurg aus Boston wäre an diesem Test hoffnungslos gescheitert – bei genau solchen Fragen hatte er als Student versagt. Aber wie unwichtig war das am Ende doch.

Francis Galton selbst äußerte sich nur zurückhaltend und widersprüchlich über die Bedeutung einer solchen Vorstellungsgabe. Erst verkündete er in seinen Schriften, dass „Wissenschaftler, als Berufsstand gesehen, nur über eine schwach ausgebildete Veranlagung zur bildlichen Vorstellung verfügen“, um kurz darauf zu behaupten, dass „eine lebendige Vorstellungsgabe im Zusammenhang mit komplexen Prozessen höherer Abstraktionen sehr bedeutsam ist“.

Er war der Meinung, es sei „eine Tatsache, dass Mechaniker, Ingenieure und Architekten in der Regel fähig sind, geistige Bilder äußerst klar und präzise zu sehen“. Doch dann fuhr er fort, er sähe sich „zu der Feststellung genötigt, dass sich ein Mangel an Vorstellungskraft derart wirksam durch andere Wahrnehmungsformen aufwiegen lässt, dass Menschen, die von sich behaupten, keine inneren Bilder zu sehen, den-



Die sensorischen Hirnregionen sind so stark vernetzt, dass man vom rein Visuellen oder Akustischen nicht sprechen kann

noch lebensgetreu beschreiben können, was sie einmal gesehen haben“.

Mein Vetter, ein Architekt, behauptet, sich nichts bildlich vorstellen zu können. Also habe ich ihn gefragt: „Und wie denkst du dann?“ Er sagte: „Ich weiß es nicht.“ Aber weiß das überhaupt jemand?

Wenn ich versuche, über meine eigenen inneren Bilder nachzudenken, bin ich mir unsicher, ob Worte, Symbole oder Abbildungen jeglicher Art die primären Werkzeuge des Denkens sind – oder ob es Formen des Denkens gibt, die all dem vorausgehen. Denkformen, die im Grunde keinen definierbaren Charakter haben.

Psychologen sprechen manchmal von „Interlingua“ oder „Mentalese“, um so etwas wie eine ureigene

Sprache des Gehirns benennen zu können. Und der große russische Psychologe Lew Wygotski sprach von einem „Denken in reinen Bedeutungen“.

Ich weiß nicht, ob das nun Blödsinn ist oder tiefe Einsicht – auf diesem Riff strande ich meist, wenn ich über das Denken nachdenke.

MEMO | BLINDHEIT

» **ERBLINDETE** entwickeln zuweilen ein verblüffendes visuelles Vorstellungsvermögen.

» **FÄLLT DAS AUGE** aus, interpretiert der visuelle Kortex Reize aus der Innenwelt des Gehirns.

» **VORSTELLUNGEN** von Bildern erregen dieselben Hirnpartien wie echte Seheindrücke.

DIE VORSTELLUNGSKRAFT befreit und verwandelt, vereint und schafft, während sie auf solch „niedere“ Fähigkeiten wie Erinnerung und Assoziation zurückgreift. Erst durch diese Imagination, diese „Vision“, lassen wir unsere individuelle Welt entstehen.

Auf dieser Ebene kann man in den eigenen mentalen Landschaften nicht mehr unterscheiden, was visuell ist und was akustisch, was Bild, was Sprache, was intellektuell, was emotional: Alles ist miteinander verschmolzen und von unseren individuellen Sichtweisen und Werten durchwoben.

Eine solche Vision der Vereinigung leuchtet in John Hulls Biografie ebenso auf wie in der Zoltan Toreys – obwohl der eine „nichtvisuell“ und der andere „hypervisuell“ geworden ist.

Der anfangs scheinbar so wesentliche Unterschied zwischen den beiden Männern ist letztlich gar nicht so deutlich. Auch wenn die Wege, welche die beiden eingeschlagen haben, miteinander unvereinbar scheinen, haben beide ihre Blindheit doch auf ihre Weise „genutzt“ (falls man ein solches Wort überhaupt für Prozesse verwenden darf, die zutiefst rätselhaft bleiben und weit über – oder weit unter – der Ebene des Bewusstseins und jeglicher willentlichen Kontrolle stattfinden).

Sie haben die Blindheit genutzt, um ihr fühlendes Ich und kreative Begabungen zu offenbaren. Beide haben ihre individuellen Welten auf vielfältige und vollkommene Weise Wirklichkeit werden lassen. □

Oliver Sacks, geb. 1933, hat mehr als 40 Jahre lang Kliniken in New York als Neurologe beratend unterstützt und mehrere Bücher über neuropsychologische Erkrankungen geschrieben.

Evgen Bavčar, geb. 1946, erstellt seine Fotokunst nach klaren Konzepten mit Taschenlampen im Dunkeln.
Übersetzung: **Bertram Weiß**.

Literatur: Walter Aue, „Am Ende des Lichts. Die Fotografie des blinden Evgen Bavčar“, Edition Qwert Zui Opü.

ANZEIGE

Konzentrierter. Belastbarer. Ausgeglichener.

Aktivieren Sie Ihre Kraftwerke der Konzentration.

Konzentration ist Ihre Eintrittskarte zu geistiger Fitness – und die können Sie stärken und zur Höchstform bringen. Ihr Gehirn hat das Potenzial, ein Leben lang konzentriert und geistig aktiv zu sein. Die Energie dazu liefern Ihnen Ihre 100 Milliarden Gehirnzellen. Aktivieren Sie Ihre Gehirnzellen – jetzt NEU auch mit **Tebonin® konzent 240 mg**.



Tebonin®

Mehr Energie für das Gehirn.

Bei nachlassender mentaler Leistungsfähigkeit.



Stärkt Gedächtnisleistung und Konzentration.

Ginkgo-Spezialextrakt
EGb 761®

- Pflanzlicher Wirkstoff
- Gut verträglich

NEU



Tebonin® konzent 240 mg 240 mg/Filmtablette. Für Erwachsene ab 18 Jahren. Wirkstoff: Ginkgo-biloba-Blätter-Trockenextrakt. Anwendungsgebiete: Zur Behandlung von Beschwerden bei hirnganisch bedingten mentalen Leistungsstörungen im Rahmen eines therapeutischen Gesamtkonzeptes bei Abnahme erworbener mentaler Fähigkeit (demenzielles Syndrom) mit den Hauptbeschwerden: Rückgang der Gedächtnisleistung, Merkfähigkeit, Konzentration und emotionalen Ausgeglichenheit, Schwindelgefühle, Ohrensausen. Bevor die Behandlung mit Ginkgo-Extrakt begonnen wird, sollte geklärt werden, ob die Krankheitsbeschwerden nicht auf einer spezifisch zu behandelnden Grunderkrankung beruhen. Zu Risiken und Nebenwirkungen lesen Sie die Packungsbeilage und fragen Sie Ihren Arzt oder Apotheker. Dr. Willmar Schwabe Arzneimittel, Karlsruhe.

Stand: Januar 2008. T/01/08/1



Mit der Natur.
Für die Menschen.

Dr. Willmar Schwabe Arzneimittel

www.tebonin.de



IM DARM BRAUCHT MAN KEIN HIRN

Mit einem Wurm kam das Gehirn in die Welt, erreichte im Menschen seine größte Intelligenz und schrumpft seit der Steinzeit wieder – Bandwürmer verzichten sogar ganz darauf

In den leichteren Fällen des Cotard-Syndroms glaubt der Patient lediglich, dass er ein Körperteil oder ein Organ verloren habe, etwa den rechten Arm oder die Leber. In den schweren Fällen geht der Patient davon aus, er sei tot. Manchmal verlangen derart Erkrankte, begraben zu werden. Oder sie vermuten, dass sie sich bereits in der Hölle befinden.

Wie kann ein Mensch so etwas glauben? Man merkt doch sofort, dass man atmet, dass man Hunger kriegt, dass man auf die Toilette muss, all dies müsste doch jemandem zu denken geben, der am Cotard-Syndrom erkrankt ist.

Das zum Glück seltene Cotard-Syndrom ist ein Symbol für unsere Ohnmacht, für unser Ausgeliefertsein an das, was unser Gehirn uns mitteilt. Aber was ist das überhaupt für eine Unterscheidung? Wir machen normalerweise keinen Unterschied zwischen unserem Ich und dem Gehirn: Unser Gehirn, das sind wir.

Das Cotard-Syndrom aber zeigt besonders deutlich, dass auch das Gehirn ein Organ ist, dass es tatsächlich sein eigenes Leben führt wie der Fuß mit seinen Hühneraugen, es kann uns genauso belügen wie ein kurzsichtiges Auge. Wenn drei Menschen denselben Vorfall beobachten, dann erinnert sich jeder ein bisschen anders.

Auch Darmbakterien reagieren sinnvoll, sogar das Darmbakterium besitzt eine Art Intelligenz. Die Grundlage von intelligentem Verhalten scheint darin zu bestehen, dass man Schmerz und Gefahr

vermeidet, indem man sich von einer Gefahr entfernt, und dass man sich dort hinbegibt, wo Nahrung zu erwarten ist oder Sexualität. Jede Spezies will in erster Linie überleben und sich vermehren.

Das Leben wäre verdammt einfach, wenn diese Ziele nicht ständig miteinander in Konflikt gerieten. Der Hirsch zum Beispiel muss sich auf Kämpfe mit Artgenossen einlassen, falls er Wert darauf legt, sich zu vermehren. Die Gazelle muss zum Wasserloch, ausgerechnet dort wartet natürlich der gefährliche Löwe.

Intelligenz bedeutet, zwischen verschiedenen Faktoren erfolgreich abzuwägen – wie groß ist die Gefahr, wie groß ist der zu erwartende Gewinn? Wer immerzu geradeaus mit dem Kopf durch die Wand will, demonstriert das Gegenteil von Intelligenz, zum Beispiel der Hirsch, der seine eigene Kraft falsch einschätzt und sich mit einem viel stärkeren Konkurrenten anlegt.

Intelligenz hat also, behaupte ich, viel mit Durchwursteln zu tun, mit Flexibilität und mit dem Sammeln von Informationen. Ein Lebewesen, das Erfahrungen und Informationen fast unbegrenzt austauschen kann, über Generationen hinweg – wie der Mensch –, muss demnach zum erfolgreichsten Bewohner des Planeten werden.

Und: Das menschliche Individuum ist nicht mehr allein auf sein eigenes Gehirn angewiesen, es kann das gesamte Wissen und sämtliche Kompetenzen nutzen, die andere Gehirne über Jahrtausende gesammelt haben.

Es wird oft gesagt, dass unser leistungsfähiges Gehirn uns zu den Herren der Erde gemacht hat. Man könnte es, finde ich, genauso gut umgekehrt sehen: Wir sind erfolgreich, weil wir uns als erstes Geschöpf von unserem oft fehlerhaften Gehirn und seinem begrenzten Leistungsvermögen emanzipiert haben, wenigstens zum Teil.

Wir müssen nicht mehr jede Erfahrung selber machen, wir müssen nicht mehr alles selber lernen. Gewiss, in Ansätzen gibt es das auch im Tierreich, aber niemand ist darin auch nur annähernd so gut wie wir, und der entscheidende Faktor scheint dabei die Sprache zu sein, dieses perfekte Werkzeug zum Erfahrungsaustausch.

Die Menschheit ist, wenn man so will, zu einem einzigen, riesigen, kollektiven Gehirn verschmolzen, im Zeitalter des Internet erst recht.

Der polnische Science-Fiction-Schriftsteller Stanisław Lem hat in seinem berühmtesten Roman „Solaris“ einen Planeten beschrieben, der genau dies ist – ein riesiges Gehirn, das im All kreist. Lem machte sich gern über die mangelnde Fantasie seiner Autorenkollegen lustig, die sich außerirdische Intelligenz fast immer nur so ähnlich vorstellen können wie das, was es zufällig auf der

»Die Menschheit ist, wenn man so will, zu einem einzigen, riesigen, kollektiven Gehirn verschmolzen«

Erde gibt. Warum soll es nicht auch intelligentes Gas geben oder eben einen Planeten, der ein Gehirn ist? Solaris besiegt seine menschlichen Besucher, weil er noch besser vernetzt ist als sie.

In mancher Hinsicht entspricht die Weltgeschichte des vergangenen Jahrhunderts meiner privaten kleinen Intelligenztheorie. Staaten, in denen Informationen nicht frei ausgetauscht werden konnten und die nicht flexibel waren, sind untergegangen, zum Beispiel die Sowjetunion. Dort hatten die Machthaber ein klares, relativ einfaches, unter allen Umständen unverrückbares Ziel, den Sieg des Kommunismus, alles wurde diesem Ziel untergeordnet, sie waren wie die Fliege, die wieder und wieder gegen eine Fensterscheibe stößt.

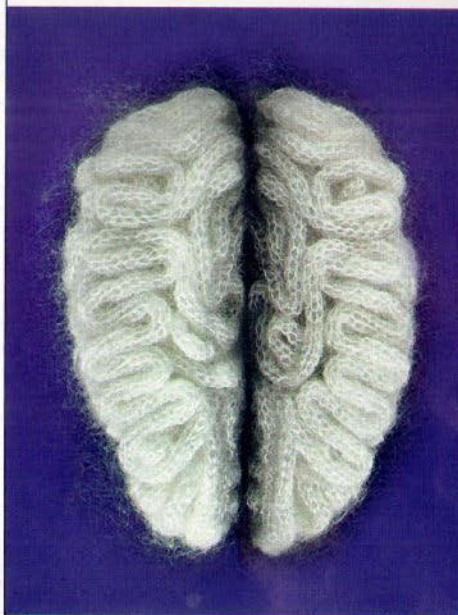
Ich soll, nach Lektüre dieses Heftes, aufschreiben, was es mir gebracht hat. Ein Bild, das sich in meinem Gehirn festgesetzt hat, ist diese Fliege am Fenster, die nicht begreift, warum sie durch das Glas nicht vorankommt. Die Fliege ist dumm, ihr schlichtes Gehirn lernt nicht aus Erfahrung.

Trotzdem sind ausgerechnet die Insekten unsere einzigen ernst zu nehmenden Konkurrenten um die Weltherrschaft. Sollten sich die Menschen irgendwann gegenseitig ausrotten, würden nicht die relativ klugen Delfine, die Hunde oder die Menschenaffen ans Ruder kommen, wahrscheinlich nicht einmal die Ratten, nein, nach den meisten Prognosen würden dann die Insekten den Planeten Erde dominieren. Ich will die Insekten nicht direkt mit den Kommunisten vergleichen, das wäre in vieler Hinsicht fragwürdig, aber sie sind immerhin einfach und klar und ändern nie ihre Meinung.

Ob also ein komplexes Gehirn wirklich ein Vorteil ist oder ein Fluch, werden erst unsere Nachfahren wissen, am Ende aller Tage.

Am Anfang aller Tage, heißt es in der Bibel, schied Gott das Licht von dem Dunkel. Am Beginn des Gehirns und

damit der Intelligenz steht ein überraschend ähnlicher Vorgang – obwohl ich nicht besonders gläubig bin, überrascht mich die Bibel immer wieder. Am ersten Tag der Intelligenzschöpfung scheidet der Wurm das Vorn von dem Hinten. Vorn der Kopf, hinten der After.



Weshalb ist das menschliche Gehirn in den vergangenen 35 000 Jahren kleiner geworden?

Das ist sozusagen die erste Selbsterkenntnis der Schöpfung, die erste Unterscheidung, auch die erste Ungleichheit: vorn und hinten.

Dieses Heft erklärt vieles, naturgemäß lässt es auch einige Fragen offen. Warum müssen alle Lebewesen schlafen, warum braucht jedes Gehirn eine Ruhepause? Dazu gibt es nur Theorien. Und warum wird bei den IQ-Tests der durchschnittlich gemessene Intelligenzquotient immer höher? Eines scheint festzustehen, nämlich, dass die Menschen

vor 100 Jahren nicht wirklich dümmer gewesen sind als heute.

Aber lassen sich die höheren IQs der Menschen heute tatsächlich damit erklären, dass sich *Homo sapiens* nach und nach an die Intelligenztests gewöhnt hat – ähnlich wie er sich an Umweltverschmutzung, an das schlechte Fernsehprogramm und an den Straßenverkehr gewöhnt hat?

Die in diesem Heft vorgestellte Theorie, nach der wir heute stärker in abstrakten Kategorien denken als früher und deshalb bei IQ-Tests besser abschneiden, will mir jedenfalls nicht ganz einleuchten – früher haben doch viel mehr Leute beispielsweise das Lateinische beherrscht, es wurde auch mehr gelesen.

Gleichzeitig, und dies macht die Sache noch verwirrender, wird unser Gehirn möglicherweise immer kleiner, der Steinzeitmensch hatte jedenfalls ein größeres Gehirn als wir. Diese Entwicklung erinnert mich auf eine fatale Weise an den Bandwurm, dessen Hirn ebenfalls immer kleiner wurde und schließlich verschwand, infolge von Luxus und Wohllieben: Dem Bandwurm geht es im warmen, meist gut gefüllten Darm so gut, dass er kein Gehirn mehr braucht.

Auch uns geht es, verglichen mit unseren Vorfahren, sehr gut. Wird unser Gehirn abgebaut, weil der Existenzkampf nicht mehr so gnadenlos ist wie in den vergangenen Jahrtausenden, oder wird es kleiner und dabei leistungsfähiger, wie die Mikrochips?

Den nächsten Schritt der Evolution werden wir jedenfalls selbst in Angriff nehmen, es ist die Verknüpfung unseres Gehirns mit dem Computer. Werden dann auch die Computer das Cotard-Syndrom bekommen, oder werden eines Tages unsere Gehirne abstürzen? □

Harald Martenstein, 54, ist Schriftsteller und Kolumnist in Berlin.

Kompakt erklärt

Wichtige Fachbegriffe – präzise definiert. Die Zahlen geben an, auf welchen Seiten sie vorkommen und wo sie (**blau hervorgehoben**) zum Verständnis eines Textes besonders wichtig sind

Assoziative Areale, Assoziativer Kortex

Weiträumige Areale der **Großhirnrinde**, die untereinander durch Nervenfasern in Verbindung stehen und die unterschiedliche Sinneswahrnehmungen und Informationen zu einem einheitlichen Eindruck zusammenfügen. Diese Fähigkeit ermöglicht es etwa, eine bestimmte Person allein anhand ihres Aussehens, ihres Geruchs oder des Klangs ihrer Stimme zu erkennen. (33, 107)

Astrozytom

Hirntumor, der aus Astrozyten aufgebaut ist. Dies sind sternförmige **Gliazellen** mit zahlreichen Fortsätzen, die in Gehirn und Rückenmark ein stützendes Gerüst für das Nervengewebe bilden. Sie schützen die empfindlichen **Neurone** vor schädlichen Substanzen, darunter Giftstoffe oder Stoffwechselprodukte. (64, 71, 73)

Axon

Fortsatz des Zellkörpers von Nervenzellen, der Signale weiterleitet. **Neurone** besitzen in der Regel nur ein Axon, das beim Menschen mehr als ein Meter lang werden kann. (94–97, 101)

Basalganglien

Tief im Gehirn gelegene **Kerngebiete**, die vor allem der Bewegungskoordi-

nation dienen. Geschädigte Basalganglien führen zu motorischen Störungen, wie sie etwa für Parkinson-Patienten typisch sind. (29, 107, 108)

Biosynthese

Aufbau komplexer organischer Moleküle, etwa von Proteinen oder Aminosäuren, aus meist einfacheren Molekülen im Körper. Der Mensch kann acht Aminosäuren nicht selbst aufbauen – sie müssen über die Nahrung aufgenommen werden. (45, 47)

Dendriten

Wenige Millimeter lange, baumartig verzweigte Fortsätze des Zellkörpers von Nervenzellen. Ein **Neuron** kann Tausende Dendriten haben, über die es mit zahlreichen anderen Nervenzellen verbunden ist und Signale empfängt. (94, 97, 151)

EEG

Siehe **Elektroenzephalographie**.

Ekelzentrum

Vermuteter Bereich in der **Insula**, der für das Ekelempfinden erforderlich ist. (101)

Elektroenzephalographie.

Elektroenzephalogramm (EEG) Verfahren zur grafischen Darstellung von **Hirnströmen**. Elektroden an der Kopfhaut messen die elek-

trische Aktivität von **Neuronen** im Bereich der **Großhirnrinde** und liefern Daten für eine sogenannte **Hirnstromkurve**. Deren Muster ist charakteristisch für die geistige Aktivität des Gehirns und eignet sich insbesondere für die Diagnose von Bewusstseinsstörungen, Hirnverletzungen und -tumoren. (14, 41, 47, 88, 109, 152)

Freie Radikale

Atome oder Moleküle, die ein oder mehrere „ungepaarte“ Elektronen besitzen und deshalb überwiegend instabil und hochreaktiv sind. Freie Radikale entstehen bei der Spaltung von Molekülen – vor allem unter der Einwirkung von Stoffen aus dem Tabakrauch, UV- und radioaktiver Strahlung sowie Umweltgiften, aber auch bei biochemischen Reaktionen in der Zelle. Sie können zu Schäden in Körperzellen führen. (45)

Gamma-Oszillationen

(Auch Gamma-Wellen). **Hirnströme** mit Frequenzen von über 30 Hertz, die mit der **Elektroenzephalographie** gemessen werden können. Sie treten vermutlich auf, wenn im Gehirn bewusste Denkprozesse stattfinden. Dabei senden die **Neurone** in verschiedenen Arealen der **Großhirnrinde** synchron elektrische Impulse aus und erzeugen so ein gemeinsames **Hirnstrommuster**. (88)

Ganglien

„Nervenknoten“, eine kompakte Ansammlung von Nervenzellkörpern und den dazugehörigen Stützellen. Die Ganglien sind durch Nervenbahnen miteinander verbunden und kommen bei Organismen mit zentralem Nervensystem vor. (32)

Gliazellen

Rund 90 Prozent aller Zellen in Gehirn und Rückenmark (die knapp 50 Prozent des Volumens ausmachen) sind **Gliazellen**. Sie leiten keine Signale, sondern bilden Strukturen, die Nervenzellen stützen oder bei der Erregungsleitung helfen, und bauen vermutlich nicht mehr benötigtes Material ab. Im Vergleich zu den **Neuronen** sind sie noch wenig erforscht.

Großhirnrinde (Kortex)

Äußere, gefurchte und stark gefaltete Schicht des **Großhirns**. Bei dem Menschen etwa 1,3 bis 4,5 Millimeter dicke **Großhirnrinde** enthält einen Großteil der **Neurone** und integriert als höchste Instanz die Tätigkeit des gesamten zentralen Nervensystems. (9, 27, 29–31, 33, 34, 37, 40, 47, 48, 61, 74, 80, 83–85, 88, 89, 94, 100, 107, 108, 133, 134, 135, 138, 142)

Hinterhauptslappen

Der kleinste, am Hinterkopf liegende Teil der **Großhirnrinde**, die den hinteren Pol des Gehirns bildet und Teile des **visuellen Kortex** beherbergt. Er verarbeitet vor allem optische Impulse. (29, 84, 93)

Hippocampus

Im Inneren des **Großhirns** gelegene Struktur, deren Form in der Sicht von oben an ein Seeferdchen (griech. = *hippokampus*) erinnert. Der **Hippocampus** ist als Teil des **limbischen Systems** für die emotionale Bewertung wichtig. Er steuert auch die Weiterleitung von Erinnerungen und ihre Speicherung in anderen Gehirnteilen. (48, 58, 59, 61, 114)

Hirnstamm

Entwicklungsgeschichtlich ältester Teil des Gehirns, der zwischen

Zeitleiste

ca. 5000 v. Chr.

In der Jungsteinzeit bohren Heilkundler Löcher in die Köpfe ihrer Patienten (Trepationen), um Schädelverletzungen zu kurieren oder Dämonen und böse Geister zu befreien. 70 Prozent der Behandelten überleben den Eingriff.

ca. 2500 v. Chr.

Ägyptische Gelehrte schreiben in einem Papyrus ihre Erkenntnisse über das Gehirn nieder. Das Schriftstück enthält präzise Beschreibungen verschiedener Schädelverletzungen und ihrer Behandlung. Sogar Gehirnflüssigkeit und Hirnhäute werden bereits erwähnt.

ca. 500 v. Chr.

Erstmals präpariert der griechische Arzt und Philosoph Alkmaion von Kroton Nerven. Er beschreibt sie als

hohle Kanäle. Das Gehirn ist für ihn der Ort des Denkens, weil er erkennt, dass der Sehnerv Auge und Hirn miteinander verbindet.

3. Jahrhundert v. Chr.

Der Anatom Herophilos beschreibt Groß- und Kleinhirn sowie das **Ventrikelsystem**, in dem er den Sitz der Intelligenz vermutet. Je mehr Windungen das **Großhirn** aufweise, desto intelligenter sei der Mensch, glaubt sein Zeitgenosse Erasistratos.

177 n. Chr.

Der Arzt Claudius Galen betrachtet das Gehirn als Ursprungsort der Nerven, Entstehungsort der Sinnesempfindungen und Quelle der willkürlichen Bewegungen sowie als Sitz des Denkens. Den flüchtigen Inhalt der Ventrikel erhebt er zum *spiritus animalis*, dem „Lebensgeist“.

ca. 1250

Das Hirn funktioniere wie ein „Römischer Brunnen“, glaubt der Philosoph und Theologe Albertus Magnus: So wie das Wasser von einer Schale zur nächsten quillt, fließe der *spiritus animalis* durch die Ventrikel und nehme dabei die verschiedenen Zustände Wahrnehmen, Denken und Erinnern an.

1410

In der spanischen Stadt Valencia öffnet das erste Haus für Menschen mit psychischen Störungen.

um 1540

Der flämische Anatom Andreas Vesalius präpariert sorgfältig das Gehirn und beschreibt als Erster Zirkeldrüse und Balken.

1649

Der Körper sei eine Maschine und das Gehirn ein Automat



Die Zirbeldrüse sei der Sitz der Seele, glaubt Descartes

zur Verteilung des *spiritus animalis*, meint der französische Philosoph René Descartes. Er versucht, mechanische Prinzipien der Hirnfunktionen zu entdecken, und versteht die Zirbeldrüse als Vermittler zwischen Körper und Geist – als Sitz der Seele.

1664

Mit seinem Werk „*Cerebri anatome*“ veröffentlicht der eng-

lische Arzt Thomas Willis die bis dahin umfassendste Beschreibung der Hirnanatomie.

1796

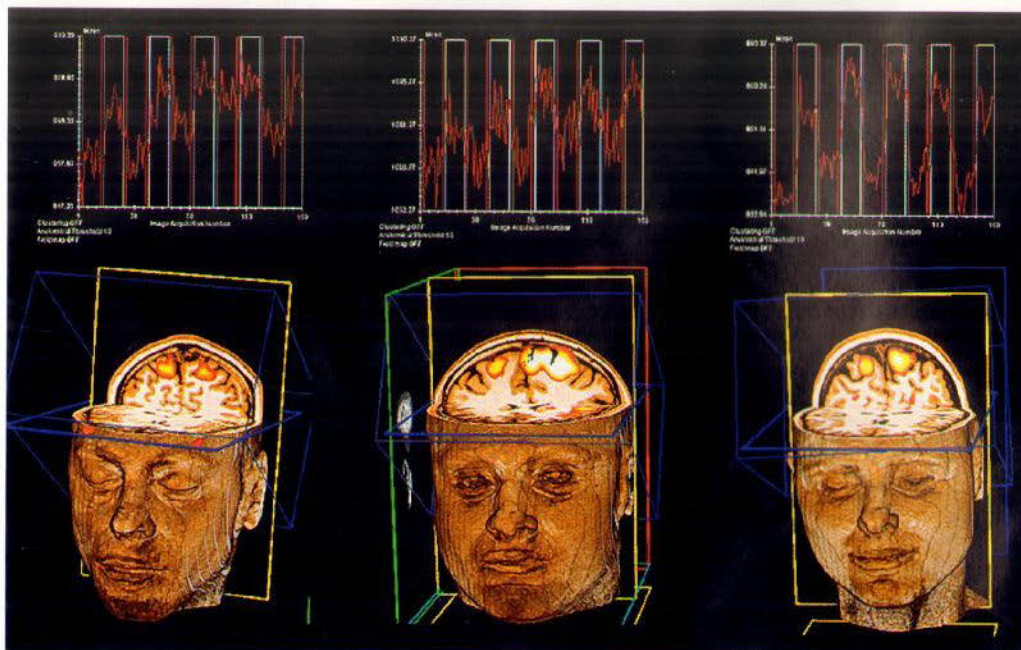
Der Mediziner Samuel Thomas Soemmerring beschreibt als Erster eine Vielzahl von Nervenbahnen. Großes Aufsehen erregt er mit der Behauptung, das Organ der Seele sei in der Flüssigkeit der Gehirnkammern zu finden.

1811

Zwei Nerventypen unterscheidet der schottische Anatom Charles Bell im Rückenmark: Die motorischen Nerven steuern die Muskeln, die sensorischen Nerven leiten Informationen von den Organen zum Gehirn.

1843

Der Berliner Physiologe Emil Du Bois-Reymond beweist erstmals eindeutig, was viele



Die funktionelle Kernspintomographie zeigt das Hirn bei der Arbeit. Bei diesem Versuch sollten sich Probanden vorstellen, Tennis zu spielen. Obwohl sie sich nicht bewegten, war die motorische Hirnrinde, die steuert die Muskeln, aktiv (gelbe Areale)

Rückenmark und **Zwischenhirn** liegt. Der Hirnstamm überwacht vor allem elementare Körperfunktionen. So werden hier Wärme-, Wasser- und Energiehaushalt gesteuert oder auch Atmung und Herzschlag reguliert. (29, 32, 33, 34, 74)

Hirnströme

Die Summe der von **Neuronen** der **Großhirnrinde** ausgehenden elektrischen Aktivität, die in unterschiedlichen Frequenzen, also schnelle oder **langsame Gehirnwellen**, eingeteilt und als **Elektroenzephalogramm** grafisch dargestellt werden kann. (6, 10, 47)

Insula

Teil der **Großhirnrinde**, der chemische Reize, etwa Gerüche oder Geschmack, verarbeitet und Empfindungen wie Ekel oder Genuss auslösen kann. (29, 30, 39)

Kerngebiet

Ansammlung von Nervenzellkörpern im Gehirn. Kerngebiete sind Schaltstationen im Gehirn, an denen Nervenfasern aus unterschiedlichen Bereichen enden und auf andere Nervenzellkörper umgeleitet werden. (38)

Kernspintomographie.

Kernspintomograph (Auch Magnetresonanztomographie, kurz: MRT). Technik, welche die Struktur von Geweben und Organen sichtbar macht und daher zu den „bildgebenden Verfahren“ zählt. Sie basiert auf einem starken Magnetfeld, das auf den Körper einwirkt. Jede Gewebart reagiert dabei anders auf die magnetische Anregung. Der Kernspintomograph registriert diese Unterschiede und stellt so etwa das Innenleben eines Körperorgans in kontrastreichen Bildern (Tomogrammen) dar. Mit der so-

nannten **funktionellen Kernspintomographie** können Forscher auch funktionelle Prozesse eines Gewebes, etwa eine durch Sinneswahrnehmung beanspruchte Hirnregion, wiedergeben. Die aktiven Körperareale sind dabei durch einen lokal erhöhten Blutfluss zu erkennen. (40, 47, 68, 100, 133, 134, 135, 144, 152)

Kleinhirn

Im Hinterkopf gelegener Teil des Gehirns, der vor allem durch Koordination der Muskeln für den richtigen Ablauf der Körperbewegungen sorgt. So hält das Kleinhirn nach einer Lernphase Radfahrer in Balance, ohne dass diese sich noch bewusst um das Gleichgewicht kümmern müssen. (8, 29, 33, 34, 60, 61, 67, 92)

Langsame Gehirnwellen

Hirnströme mit niedriger Frequenz, die das Gehirn beispielsweise in bestimmten Schlafphasen durchlaufen (siehe auch EEG). (48)

Lateraler präfrontaler Kortex

Seitlicher Teil des **präfrontalen Kortex**. (23)

Limbisches System

Miteinander eng verknüpfte Strukturen des Gehirns, darunter **Hippocampus** und **Mandelkern**, die maßgeblich an der Entstehung und Kontrolle von emotionalem Verhalten (Angst, Wut, Sexualität, Aggression), an Lernprozessen und an der Gedächtnisbildung beteiligt sind. (58, 107, 112, 113, 114)

Mandelkern (Amygdala)

Struktur im Großhirn, die tief im **Schlafenlappen** liegt und zum **limbischen System** gehört. Der Mandel-

Forscher schon lange vermutet haben: Elektrischer Strom fließt durch das Nervensystem. An Froschnerven leitet er Impulse ab.

1861

In Paris behandelt der Arzt Paul Broca zwei Patienten, die zwar Sprache verstehen, aber – bis auf wenige Wörter – die Fähigkeit zu sprechen verloren haben. Nach ihrem Tod entdeckt er, dass in ihren



Charles Bell erkennt, wie Nerven den Körper steuern

Gehirnen die Frontallappen in der jeweils gleichen Region beschädigt sind. Noch heute gilt dieses „Broca-Areal“ als ein Zentrum des Sprechvermögens.

1865

Dank verbesserter mikroskopischer Methoden gelingt es dem deutschen Mediziner Otto Friedrich Karl Deiters erstmals, eine Nervenzelle so genau darzustellen, dass Zellkörper, **Axon** und **Dendriten** zu unterscheiden sind.

1874

Der deutsche Psychiater Carl Wernicke untersucht das Gehirn von Patienten, die zwar flüssig sprechen können, Wortbedeutungen jedoch nicht erkennen. Er identifiziert eine beschädigte Region des linken **Schlafenlappens**, die heute „Wernicke-Areal“ heißt.

1885

Erstmals beschreibt der deutsche Psychologe Hermann Ebbinghaus Unterschiede zwischen Kurz- und Langzeitgedächtnis.

1889

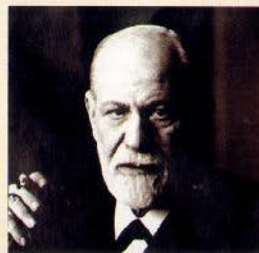
Mithilfe einer neu entwickelten Färbetechnik kann der spanische Mediziner Santiago Ramon y Cajal den Aufbau des Nervensystems entschlüsseln: Es ist ein Netz aus einzelnen Nervenzellen, die über ihre Fortsätze vielfach miteinander verknüpft sind.

1897

Der englische Neurophysiologe Charles Scott Sherrington führt den Begriff **Synapse** für jene Schaltstellen ein, an denen Nervenzellen miteinander und mit anderen Zelltypen in Kontakt treten.

1900

Der Arzt und Begründer der



Sigmund Freud erforscht die Macht des Unbewussten

Psychoanalyse Sigmund Freud beschäftigt sich erstmals systematisch mit dem Unbewussten. Er glaubt, abseits des Bewusstseins herrschen unterdrückte Triebe und sind verdrängte Erlebnisse lokalisiert, die uns heimlich lenken. Damit verändert er das Selbstverständnis des Menschen nachhaltig.

1903

An Hunden entdeckt der russische Physiologe Iwan

Petrowitsch Pawlow den konditionierten Reflex: Die Haustiere lernen, einen Klingelton mit Fressen zu assoziieren. Anschließend reagieren sie schon auf das Läuten, als erhielten sie Futter. Pawlow nimmt an, dass die Beziehung zwischen dem Organismus und seiner Umwelt vom Hirn gesteuert wird, und legt damit einen wichtigen Grundstein für die Neurowissenschaft.

1905

Die französischen Psychologen Alfred Binet und Théodore



Iwan Pawlow: Ein Reflex lässt Hunde an Futter denken

kern spielt eine wichtige Rolle für das Gefühlserleben. (29, 38, 39, 40, 58, 59, 61)

Motorkortex

Areal im **Stirnlappen** der **Großhirnrinde**, das willkürliche Muskelbewegungen steuert. (29, 65, 92–94, 99)

Neokortex

Der stammesgeschichtlich jüngste Teil der Säugetierhirne. Er macht beim Menschen mehr als 90 Prozent der **Großhirnrinde** aus und umfasst unter anderem mehrere Areale der Sinneswahrnehmung sowie den **Assoziativen Kortex**. (33, 135)

Nervengewebe

Klare, farblose Flüssigkeit, die zum einen das Gehirn und das Rückenmark umgibt, zum anderen das **Ventrikelsystem** im Gehirn und den Zentralkanal im Rückenmark ausfüllt. Sie dient zum Temperatúrausgleich, versorgt das Denkorgan mit Nährstoffen aus dem Blut, stützt das Nervengewebe und schützt es zudem wie ein Wasserkissen vor Reibung, Druck und Stößen. (29, 71, 76)

Neuroleptikum

Substanz, die den Körper entspannt und innere Ängste vermindert, ohne das Bewusstsein oder intellektuelle Fähigkeiten zu beeinträchtigen. Neuroleptika werden hauptsächlich zur Behandlung psychischer Krankheiten wie Schizophrenie oder Wahnvorstellungen eingesetzt. (130)

Neuron (Nervenzelle)

Grundeinheit des Nervensystems. Neurone sind in der Lage, elektrische Signale rasch weiterzuleiten. Jede Nervenzelle besitzt Zellfortsätze: bis zu Tausende **Dendriten** und meistens nur ein **Axon**. Durch diese

Fortsätze ist jedes Neuron mit zahlreichen anderen verbunden. (27, 28, 30–33, 47, 48, 61, 68, 80, 85, 87–89, 94, 95, 99, 100, 109, 131, 133–135)

Orbitofrontaler Kortex

Jener Teil des **präfrontalen Kortex**, der sich direkt über der Augenhöhle vorn im Schädel befindet und vermutlich eine wichtige Rolle bei der Bewertung von erlernten Emotionen spielt („Sitz des ethischen Empfindens“). Verletzungen dieses Areals führen zu einer Verarmung des Gemüts und zu Gleichgültigkeit. Betroffene Menschen mit verminder-



Mehrere Hirnareale bilden das limbische System (hellrot), das an der Entstehung von Gefühlen beteiligt ist

ten Antrieb zeigen Selbstvernachlässigung, solche mit vermehrtem Antrieb dagegen Witzelsucht oder anstößiges Benehmen. (115)

Positronen-Emissions-Tomographie (PET)

Bildgebendes Diagnoseverfahren, das funktionelle Prozesse in Organen und Geweben sichtbar macht. Mit einer Spezialkamera messen Ärzte die Strahlung eines schwach radioaktiven Stoffes, den sie dem Patienten zuvor verabreicht haben. Die Substanz reichert sich im Körper dort an, wo die Stoffwechselaktivität

erhöht ist, etwa in schnell wachsenden Tumoren oder aktiven Gehirnregionen. (47, 115, 144, 152)

Präfrontaler Kortex

Vorderstes, im Stirnbereich liegendes Areal der **Großhirnrinde**, das an höheren geistigen Fähigkeiten beteiligt ist (Bewusstsein, Planung, Selbstkontrolle, Gedächtnis, Lernen). Im präfrontalen Kortex werden Entscheidungen getroffen, die – durch eine Verbindung mit dem **limbischen System** – auch von emotionalen Empfindungen beeinflusst werden. (23, 29, 61, 114)

Prämotorischer Kortex

Teil der **Großhirnrinde**, der dem **Motorkortex** vorgelagert ist und ihm hilft, Bewegungen vorzubereiten und auszuführen. (100)

Rezeptoren

Zellen oder Moleküle, die Reize wahrnehmen. Solche Reize können sowohl physikalischer als auch chemischer Art sein und aus der Umwelt wie auch aus dem Körperinneren stammen. (28, 66, 96, 97, 108, 135)

Scheitellappen

Hinter der **Zentralfurche** liegender Großhirnlappen, der an der zentralen Verarbeitung von sensorischen Reizen wie Druck, Temperatur, Berührung und Schmerz beteiligt ist und für das räumliche Vorstellungsvermögen und das mathematische Denken eine entscheidende Rolle spielt. Menschen mit vergrößertem Scheitellappen können Aufgaben, die dort bearbeitet werden, vermutlich besonders gut lösen. (29, 63, 64, 74, 84)

Schlafenlappen

Seitliche Region der **Großhirnrinde**, die durch eine Furche vom **Stirn-** und einem Teil des **Scheitellappens** abgegrenzt ist, akustische Daten registriert und das sensorische Sprachzentrum beherbergt. Hier werden etwa Gegenstände und Gesichter erkannt, Informationen der Sinneswahrnehmung gesammelt und diese an den **Hippocampus** weitergeleitet. (29, 48, 58, 84, 114, 135, 151)

Schirinde

Siehe **visueller Kortex**. (30, 40, 85, 92, 93, 142)

Seitenventrikel

Ein Paar lang gestreckter, bogenförmig verlaufender Hirnkammern unterhalb der **Großhirnrinde**. Die beiden Seitenventrikel sind Teil des sogenannten **Ventrikelsystems**. (29, 71, 72, 74)

Stirnlappen

Jener Teil der **Großhirnrinde**, der vor der **Zentralfurche** liegt. Er ist beim Menschen besonders stark ausgeprägt und beherbergt den **präfrontalen Kortex**. Auch Humor und Persönlichkeit sind in ihm verankert. (23, 25, 29, 37, 41, 84, 126, 127–129)

Synapse

Kontaktstelle zwischen zwei **Neuronen** – oder zwischen einem Neuron mit einer Sinnes-, Muskel- oder Drüsenzelle. Mithilfe von Synapsen werden Signale von Zelle zu Zelle übertragen. (47, 60, 61, 96, 97, 98, 99, 151)

Thalamus

Größter Teil des **Zwischenhirns**, Sammel-, Schalt- und Integrations-

dore Simon entwickeln den ersten Intelligenztest.

1913

Reize werden nach dem „Alles-oder-nichts-Gesetz“ durch das Nervensystem geleitet, beweist der englische Physiologe Edgar Douglas Adrian. Er erkennt, dass ein Stimulus entweder einen elektrischen Impuls vollständig entlädt oder gar nichts auslöst.

1929

Mit Elektroden misst der deutsche Psychiater und Neurologe Hans Berger an der menschlichen Kopf-oberfläche Schwankungen elektrischer Spannung. Er entwickelt so das erste Verfahren, mit dem sich Hirnaktivität bildlich darstellen lässt: das **Elektroenzephalogramm (EEG)**.

1935

Eine Arbeitsgruppe um Alfred

Lee Loomis entdeckt Veränderungen der **Hirnströme** während des Schlafes. Die Forscher teilen anhand ihrer Messungen den Schlaf in mehrere Stadien ein, die zur Grundlage der modernen Schlafforschung werden.

1936

Der portugiesische Neurologe Egas Moniz stellt die frontale Lobotomie als Therapie für psychisch Kranke vor: Er durchtrennt Nervenbahnen zwischen dem Frontallappen und den tieferen Hirnregionen. Manche Patienten werden nach dem Eingriff apathisch, andere gefühllos.

1942

In Amerika erkennen der Neurophysiologe Warren S. McCulloch und der Mathematiker Walter Pitts, dass ein Verband von Neuronen wie eine Rechenmaschine logische Operationen bewältigen

kann. Sie gehen davon aus, dass das Gehirn hauptsächlich dazu da ist, Informationen zu verarbeiten.

1953

Die US-Forscher Eugene Aserinsky und Nathaniel Kleitman definieren eine neue „aktive“ Schlafphase namens REM (engl. = rapid eye movement), in der sich die Augäpfel unter den geschlossenen Lidern schnell bewegen.

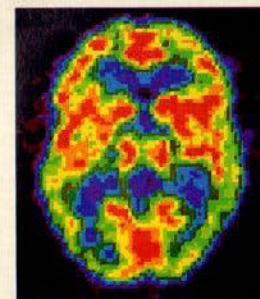
1957

Chemische Stoffe (Neurotransmitter) leiten an den Kontaktstellen zwischen den Neuronen Reize weiter, erkennt der australische Physiologe John Carew Eccles. Damit beschreibt er als Erster die „chemische Synapse“.

1957

Die Neurochirurgen Wilder Penfield und Theodore Rasmussen identifizieren

das motorische und das somatosensorische Rindennfeld, wo Bewegungen der Gesichtsmuskeln, Finger, Arme und Beine kontrolliert bzw. Tast- und Berührungssreize verarbeitet werden. In beiden Bereichen nehmen jedoch Lippen, Zunge, Mundregion, Finger und Hände deutlich mehr Platz ein als der Rumpf oder die Beine.



Im REM-Schlaf ist das Hirn sehr aktiv (rot, PET-Aufnahme)

1962

Untersuchungen des US-amerikanischen Neurobiologen Roger Wolcott Sperry und seiner Kollegen an Epilepsie-Patienten, bei denen die Verbindung zwischen den beiden Hirn-Hemisphären durchtrennt worden ist, zeigen: Die Gehirnhälften sind auf unterschiedliche Aufgaben spezialisiert.

1974

Eine US-Forscherguppe um Michael Phelps entwickelt den ersten **Positronen-Emissions-Tomographen (PET)**.

1990

Der japanische Hirnforscher Seiji Ogawa entwickelt die **funktionelle Kernspintomographie (fMRI)**. Sie erlaubt es, Stoffwechselunterschiede im Gehirn von Personen nachzuweisen und so die Funktion einzelner Hirnareale zu untersuchen.

stelle, die – mit Ausnahme des Geruchssinns – alle Informationen aus der Umwelt oder der Innenwelt des Körpers filtert, damit die **Großhirnrinde** nicht von Signalen überflutet wird. Er ist durch auf- und absteigende Nervenbahnen mit dem **Hirnstamm**, dem **Kleinhirn** und der **Großhirnrinde** verbunden. (29, 39)

Ventrikelsystem

Hohlraumssystem im Inneren des Gehirns, in dem sich **Nervengewebe** befindet. (150)

Visueller Kortex

Areale im hinteren Teil der **Großhirnrinde**, die visuelle Informationen verarbeiten. Dazu zählen derzeit mehr als 30 verschiedene Regionen, die bei Primaten rund die Hälfte der Hirnrindenoberfläche einnehmen. (142, 143, 147)

Vorderhirn

Bildet mit dem **Kleinhirn** und dem **Hirnstamm** das Gehirn, ist für die Mehrzahl aller kognitiven Prozesse wie Lern- und Gedächtnisleistungen verantwortlich. (33)

Zentralfurche

Furche in der **Großhirnrinde**, die eine markante Trennungslinie zwischen **Stirnlappen** und **Scheitellappen** bildet. (29, 74)

Zwischenhirn

Tief im Inneren des Gehirns verankerte Schaltstelle zwischen **Hirnstamm** und **Großhirnrinde**, die zum **Vorderhirn** gehört. Das Zwischenhirn ist unter anderem an der Regulation von Körperfunktionen und an der Verarbeitung emotionaler Empfindungen beteiligt. (29, 82, 126)

Texte: Sebastian Witte; Bettina Süsssemilch

1990

Eine Arbeitsgruppe um die italienischen Neurowissenschaftler Giacomo Rizzolatti und Vittorio Gallese beschreibt Nervenzellen, die nicht nur bei einer aktiven Bewegung feuern. Selbst wenn man die Handlung nur beobachtet, sind diese sogenannten Spiegelneurone aktiv. Die Forscher glauben, dass solche Zellen Sprachfertigkeit und Empathie ermöglichen.

1999

An der Universität von Princeton (USA) zeigen Forscher um Joe Tsien, dass bei Mäusen durch die Manipulation eines bestimmten Gens das Lernvermögen gesteigert werden kann.

2002

Forschungsergebnisse einer Arbeitsgruppe um Adrian Owen aus Cambridge in Großbritannien zeigen, dass Patienten im Wachkoma möglicherweise weit mehr wahrnehmen können – etwa bekannte Gesichter –, als Mediziner bis dahin angenommen haben.

Christof Schneider

BILDNACHWEIS/COPYRIGHT-VERMERKE

Anordnung im Layout: l. = links, r. = rechts, o. = oben, m. = Mitte, u. = unten

Titel: Illustration: Tim Wehrmann für GEOkompakt. Fotos: Porträt oben: Whiteman/Zefa/Corbis; weitere o.: Getty, Corbis; unten v. l. n. r.: Robert Lebeck/Stern/Photo Press; Rainer Harf; Ferdinand Schmutzer/Anzenberger; Thorsten Futh/laif
Editorial: Werner Bartsch für GEOkompakt: 3 o.; ©NBCIO.com: 3 m.; Lars Lindemann: 3 u.

Inhalt: David Ichioka: 4 o.; Shana und Robert Parke Harrison, courtesy of Jack Shainman Gallery, NYC: 4 m. l.; Jochen Stuhmann für GEOkompakt: 4 u. l.; Martin Parr/Magnum Photos/Ag. Focus: 4 u. r.; Ian Hanning/Rea/laif: 4/5; Alfred Eisenstaedt/Time + Life Pictures/Getty Images: 5 u.
Expeditionen in das Labyrinth des Denkens: Vision Photos/Ullstein-Bild: 6/7; Michael Volz/laif: 8 o. + u.; James King-Holmes/SPL/Ag. Focus: 8/9; Eva Haebler/laif: 10; Michael Volz/laif: 11 o.; Raphael Gaillard/Gamma/laif: 11 u.; l. Hanning/Rea/laif: 12/13; Ulrich Baatz/laif: 14; Peter Sibbald/Redux/laif: 14/15; BSIP/Superbild: 16/17; Sovereign/ISM/Ag. Focus: 17 r.; Andreas Herzau/laif: 18/19

Was ist Intelligenz?: Dorling Kindersley: 20; mit freundl. Genehmigung von www.tickle.de: 21 + 23; mit freundl. Genehmigung von www.mensa.de ©European IQTest/Dr. Abbie Salny: 22 + 24
Die Geburt des Geistes: Thierry Berrod/Mona Lisa Production/SPL/Ag. Focus: 26; Anatomical Travelogue/NAS/Okapia: 27; Rainer Harf für GEOkompakt: 28 l. + r., 32 + 33; Eric Tschernie: 28 m., 30, 31 + 34

Ich fühle, also bin ich: Alfred Eisenstaedt/Time+Life Pictures/Getty Images: 36; Peter Marlow/Magnum Photos/Ag. Focus: 38 o.; Nick Ut/AP: 38 u.; Robert Lebeck/Stern/Picture Press: 39 + 41; Dennis Connor/Bettmann/Corbis

Die rätselhafte Welt der Träume: Matthias Langer, Varel: 42/43 + 46; David Ichioka: 44, 45 + 47; Ralf Kiefner: 49

Kartograph des Schädels: akg-images: 50; Bettmann/Corbis: 51 o.; SPL/Ag. Focus: 51 u.

Die Archive im Kopf: APTN/AP: 54 o. + 56; Darren McCollister/Getty Images: 54 m. + u.; Xinhua/actionpress: 55 o. + 58; Rafiq Maqbol/AP: 55 u. + 59; Michael Hanschke/Getty Images: 57 o.; Jürgen Schwarz/AP: 57 u.; James Cavallini/Photo Researchers: 61

Die Hirnwerker: Marcus Vogel für GEOkompakt: 62–76

Die Erfindung des Ich: Mary Evans Picture Library/Interfoto: 79; Interfoto: 80; Walter Schels: 81 + 86; Kim Taylor/naturepl.com: 82; Bildarchiv Hansmann/Interfoto: 85; Karger-Decker/Interfoto: 89

Feuerwerk der Neurone: Tim Wehrmann und Jochen Stuhmann: 90–99

Zellen, die uns menschlich machen: Peter Menzel/Ag. Focus: 100; Manuel Escalera/El Pais SL: 101 o.; Norbert Neetz/epd: 101 u.

Die Macht, die uns lenkt: Shana und Robert Parke Harrison; courtesy of Jack Shainman Gallery, NYC: 102–114

Der Wille ist nicht frei!: Martin Parr/Magnum Photos/Ag. Focus: 116–125

Operation mit dem Eispickel: Bettmann/Corbis: 126 + 128; Robert Sciarino/Star Ledger/Corbis: 127 o.; George Washington University, Gelman Library: 127 u.; Neil Bordon/SPL/Ag. Focus: 129 o.; AP: 129 m.; Boyer/Roger Viollet/Getty Images: 129 u.; Howard Dully: 130 l.; The New York Times/Redux/laif: 130 r.; B.S.I.P./Superbild: 131

Sieben Rätsel der Neurowissenschaften: Pasieka/SPL/Ag. Focus: 132; MedicalRF.com/Corbis: 133 o.; images.com/Corbis: 133 u.; Yoor Levy/photolibrary.com: 134 o.; Louise Williams/SPL/Ag. Focus: 134 u.; Coney Jay/SPL/Ag. Focus: 135 o.; Will McIntyre/NAS/Okapia: 135 u.

Wenn Blinde sehen: Evgen Bavar: 136–147; James Leynse/Corbis: 138 r.

Im Darm braucht man kein Hirn: Andreas Achmann und Daniel Wagner für das „SZ-Magazin“ 05/2008: 149

Glossar: Leemage/picture-alliance: 150 + 151 u. l.; Adrian Mark Owen: 151 o.; Bettmann/Corbis: 151 u. r.; F. Schmutzer/Anzenberger: 152 u. l.; Hank Morgan/Science Source/Okapia: 152 u. r.

Vorschau: Keystone France/laif: 154; Abbas/Magnum Photos/Ag. Focus: 155 o.; Lucille Reyboz/Rapho/laif: 155 m. l.; Daniel Lainé 155 m. r.; Abid Katib/Getty Images: 155 u. l.; Steve McCurry/Magnum Photos/Ag. Focus: 155 u. r.

Für unverlangt eingesandte Manuskripte und Fotos

übernehmen Verlag und Redaktion keine Haftung.

© GEO 2008, Verlag Gruner + Jahr AG & Co KG, Hamburg, für sämtliche Beiträge

Einem Teil dieser Auflage liegen folgende Beilagen bei: Gruner + Jahr AG & Co KG, Hamburg

GEOkompakt

Gruner + Jahr AG & Co KG, Druck- und Verlagshaus, Am Baumwall 11, 20459 Hamburg, Postanschrift für Verlag und Redaktion: 20444 Hamburg, Telefon 040/37 03 0, Telefax 040/37 03 56 47, Telex 21 95 20, Internet: www.GEOkompakt.de

HERAUSGEBER

Peter-Matthias Gaede

CHEFREDAKTEUR

Michael Schaper

GESCHÄFTSFÜHRENDE REDAKTEURE

Martin Meister, Claus Peter Simon

CHEFS VOM DIENST

Dirk Krömer

Rainer Droste (Technik)

TEXTREDAKTION

Dr. Henning Engel (Heftkonzept)

Jörn Auf dem Kampe, Malte Henk

ART DIRECTOR

Torsten Laaker

BILDREDAKTION

Freie Mitarbeiter: Katrin Kaldenberg, Lars Lindemann, Tatjana Stapelfeldt

VERIFIKATION

Susanne Gilges, Bettina Süsssemilch

Freie Mitarbeiter: Dr. Eva Danulat, Alice Gayler, Johannes Kückens, Stefan Sedlmair

TEXT-MITARBEIT

Dr. Hania Luczak

Freie Mitarbeiter: Dr. Ralf Berthor, Ute Eberle, Hauke Friedrichs, Rainer Harf, Bas Kast, Ute Kehse, Johannes Kückens, Harald Martenstein, Martin Paetsch, Alexandra Rigos, Prof. Dr. Oliver Sacks, Christof Schneider, Christian Schüle, Prof. Dr. Henrik Walter, Bertram Weiß, Sebastian Witte

ILLUSTRATION

Freie Mitarbeiter: Rainer Harf, Jochen Stuhmann, Eric Tschernie, Tim Wehrmann

SCHLUSSREDAKTION

Ralf Schultze

Assistenz: Hannalore Kochl

REDAKTIONSASSISTENZ: Ursula Arens

HONORARE: Angelika Györfy

BILDADMINISTRATION UND -TECHNIK: Stefan Bruhn

BILDARCHIV: Bettina Behrens, Gudrun Lüdemann, Peter Müller

REDAKTIONSBURO NEW YORK: Nadja Masri (Leitung), Tina Ahrens, Christof Kalt (Redaktionsassistentin); 535 Fifth Avenue, 29th floor, New York, NY 10017, Tel. 001-646-884-7120, Fax 001-646-884-7111, E-Mail: geo@geo-ny.com

Verantwortlich für den redaktionellen Inhalt: Michael Schaper

VERLAGSLEITUNG: Dr. Gerd Brüne, Ove Saffe

ANZEIGENLEITUNG: Andre Freilicht

VERTRIEBSLEITUNG: Ulrike Klemmer, DPV Deutscher Pressevertrieb

MARKETING: Julia Duden (Ltg.), Anja Stalp

HERSTELLUNG: Oliver Fehling

ANZEIGENABTEILUNG: Anzeigenverkauf: Ute Wangermann, Tel. 040/37 03 29 32, Fax: 040/37 03 57 73; Anzeigenposition: Carola Kirschmann, Tel. 040/37 03 23 93, Fax: 040/37 03 56 04

Es gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 4/2008

Der Export der Zeitschrift GEOkompakt und deren Vertrieb ins Ausland sind nur mit Genehmigung des Verlages statthaft. GEOkompakt darf nur mit Genehmigung des Verlages in Leserkreisen geführt werden.

Bankverbindung: Deutsche Bank AG Hamburg, Konto 0322800, BLZ 200 700 00

Heft-Preis: 8,00 Euro • ISBN 978-3-570-19785-1

© 2008 Gruner + Jahr Hamburg

ISSN 1614-6913

Litho: 4mat Media, Hamburg

Druck: Mohn Media Mohndruck GmbH, Gütersloh

Printed in Germany

GEO-LESERSERVICE

FRAGEN AN DIE REDAKTION

Telefon: 040/37 03 20 73, Telefax: 040/37 03 56 48

E-Mail: briefe@geo.de

ABONNEMENT- UND EINZELHEFTBESTELLUNG

ABONNEMENT DEUTSCHLAND Jahres-Abonnement: 29 €

BESTELLUNGEN: DPV Deutscher Pressevertrieb

GEO-Kundenservice

20080 Hamburg

Telefon: 01805/861 80 03*

KUNDENSERVICE ALLGEMEIN: (pers. erreichbar) Mo-Fr 7:30 bis 20:00 Uhr

Sa 9:00 bis 14:00 Uhr

Telefon: 01805/861 80 03*

Telefax: 01805/861 80 02*

E-Mail: geo-service@guj.de

24-Std.-Online-Kundenservice: www.MeinAbo.de/service

ABONNEMENT ÖSTERREICH GEO-Kundenservice

Postfach 5, 6960 Wulfrath

Telefon: 0820/00 10 85

Telefax: 0820/00 10 86

E-Mail: geo@abo-service.at

ABONNEMENT SCHWEIZ GEO-Kundenservice

Postfach, 6002 Luzern

Telefon: 041/329 22 20

Telefax: 041/329 22 04

E-Mail: geo@leserservice.ch

ABONNEMENT ÜBRIGES AUSLAND GEO-Kundenservice, Postfach, CH-6002 Luzern;

Telefon: 0041-41/329 22 20, Telefax: 0041-41/329 22 04

E-Mail: geo@leserservice.ch

BESTELLADRESSE FÜR GEO-BÜCHER, GEO-KALENDER, SCHUBER ETC.

DEUTSCHLAND GEO-Versand-Service

Werner-Haas-Straße 5

74172 Neckarsulm

Telefon: 01805/06 20 00*

Telefax: 01805/08 20 00*

E-Mail: service@guj.com

SCHWEIZ GEO-Versand-Service 50/001

Postfach 1002

CH-1240 Genf 42

ÖSTERREICH GEO-Versand-Service 50/001

Postfach 5000

A-1150 Wien

BESTELLUNGEN PER TELEFON UND FAX FÜR ALLE LÄNDER

Telefon: 0049-1805/06 20 00, Telefax: 0049-1805/08 20 00

E-Mail: service@guj.com

*14 Cent / Min. aus dem deutschen Festnetz, Mobilfunkpreise können abweichen

Religiöse Prachtentfaltung:
Eröffnung des Zweiten Vatikanischen Konzils im Petersdom,
Rom, 11. Oktober 1962

GEOkompakt Nr. 16 erscheint am 10. September 2008

WARUM GLAUBT DER MENSCH?

Von den Anfängen der Menschheit bis heute: Wie die Spiritualität in die Welt kam, was sie bewirkt – und weshalb sich die großen Glaubensgemeinschaften durchgesetzt haben

Bisher erschienen:



GEBURT DER ERDE
Als sich der Blaue Planet formte



DER KÖRPER
Wie er sich entwickelt und funktioniert



TECHNIK
Nanoroboter, Megajets, denkende Häuser



EVOLUTION
Der weite Weg vom Affen zum Homo sapiens



GEHEIMNIS NATUR
Das Leben der Tiere und Pflanzen



UNIVERSUM
Urknall, Sternensinseln, Leben im Weltall



GENE Wie das Erbgut Körper und Verhalten steuert



DIE URZEIT
Panzertiere, Dinosaurier, Terrorvögel

Er stiftet Frieden, Ruhe und Glück – und treibt Fanatiker an. Große Kulturleistungen der Menschheit gehen auf ihn zurück, aber auch grausame Kriege. Liebe und Hass, Vernunft und Ekstase: Der Glaube ist eine Allmacht, die nicht verschwinden will. Unsere Vorfahren erfanden aufwendige Bestattungskulte, bemalten Höhlenwände mit schamanistischen Motiven; heute stillen viele unterschiedliche Religionen das Bedürfnis nach Spiritualität. Und der Weg zum Transzendenten ist auch außerhalb der Gebetsäle nicht weit: Man kann auf persönliche Schutzgeister vertrauen, auf unerklärliche Heilkräfte und mysteriöse Wunder...

GEOkompakt-Reporter erkunden die vielgestaltige Landschaft des Glaubens in Deutschland. Besuchen Kirchen, Moscheen und Meditationsräume. Recherchieren in den Archiven des Vatikans. Beschreiben die Mechanismen, nach denen eine Sekte funktioniert,

WEITERE THEMEN

» **EVOLUTION:** Welche Überlebensvorteile das religiöse Denken verschafft.

» **GLAUBE UND GESUNDHEIT:** Spiritualität kann heilen – aber auch krank machen.

» **ATHEISMUS:** Weshalb manche Menschen nicht glauben.

» **JESUS:** Wie Forscher das Leben des Mannes aus Nazareth rekonstruieren.

und sprechen mit Hirnforschern, die dem Glauben mit wissenschaftlichen Methoden auf der Spur sind.

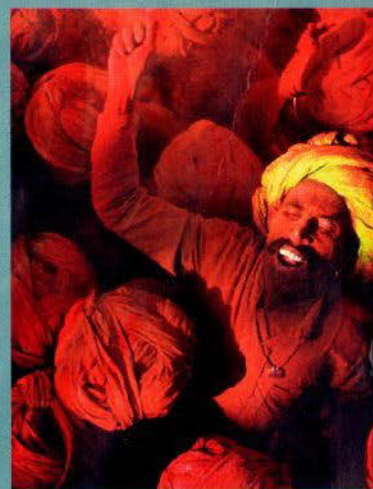
Eine Bestandsaufnahme der Spiritualität – mit großen Dossiers, in denen das Wichtigste zu allen Weltreligionen übersichtlich dargestellt wird.



Religiöse Trance beim Gottesdienst eines evangelikalen TV-Predigers in Georgia, USA. Fundamentalistische Glaubensrichtungen finden weltweit neue Anhänger



Auf der Suche nach Spiritualität wenden sich viele Deutsche dem Buddhismus zu



Hinduistische Frühlingszeremonie: Rituale geben Halt in einer komplizierten Welt



Heiliger Ort des Islam: die Große Moschee in Mekka während der Pilgerzeit



Das Problem Hexerei: Wie Afrika unter dem Glauben an Magie leidet



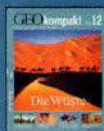
KLIMA Wie es entsteht, weshalb es sich ändert



DAS MEER Eine Welt voller erstaunlicher Lebewesen



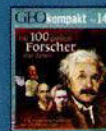
INSEKTEN Das geheimnisvolle Reich der Sechsbewer



DIE WÜSTE Wo das Leben an seine Grenzen stößt



STEINZEIT Wie unsere Vorfahren überlebten



100 FORSCHER Wie Naturwissenschaftler die Welt erklären

Die übernächste Ausgabe:

DAS WUNDER KIND

Die ersten zwölf Jahre – vom Kleinkind zur Persönlichkeit: Wie sich Intelligenz, Sinne und Körper entwickeln. Was Gene, Umwelt und Erziehung bewirken

More than meets the eye.



Masterpiece Squelette.
Lässt tief in ihr perfektes Inneres blicken.
Mehr dazu: www.mauricelacroix.de

MAURICE  LACROIX

Manufacture Horlogère Suisse