

Günter Nimtz
Alles Leben hat nur eine Quelle

Elektrizität



Biophysikalische Abläufe
kompakt erklärt

EBOOK INSIDE

 Springer

Alles Leben hat nur eine Quelle:
Elektrizität

Günter Nimtz

Alles Leben hat nur eine Quelle: Elektrizität

Biophysikalische Abläufe
kompakt erklärt

 Springer

Günter Nimtz
II. Physikalisches Institut
Universität zu Köln
Köln, Deutschland

ISBN 978-3-658-20171-5 ISBN 978-3-658-20172-2 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-20172-2>

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

Springer

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2018

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Einbandabbildung: designed by deblik, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Für Ursula, Leopold und Johanna

Vorwort

Die Wissenschaft hebt allen Glauben auf und verwandelt ihn in Schauen.

Johann Gottlieb Fichte (1762–1814)

Forschungsergebnisse werden oft zufällig gefunden, das gilt bis heute. So beispielsweise die Entdeckung der kosmischen Mikrowellen-Strahlung 1964 durch Penzias und Wilson oder des Halbleiter-Quanten-Hall-Effekts 1980 durch von Klitzing [Physik Journal © 2005 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 1617-9439/05/0606-37 4 (2005) Nr. 6.] Beide Entdeckungen wurden mit Nobelpreisen belohnt. So unvoreingenommen beobachtete auch um 1780 Luigi Galvani (oder seine Frau, so heißt es gelegentlich) das Zucken von enthäuteten Froschschenkeln durch elektrische Entladungsfelder, durch kleine künstliche Blitze. Im Falle von Galvani führte so der Zufall zum Beginn der Forschung über

die Bedeutung der Elektrizität für Lebewesen und später speziell für den Menschen. Die Bedeutung der Elektrizität für das Leben, insbesondere das menschliche, ist Inhalt des Buches. Sie betrifft beim Menschen den materiellen Aufbau und seine physischen Funktionen, aber auch seine geistigen Leistungen wie das Denken und sein Gedächtnis.

Geplante Forschung führt trotz oft sehr hohem Kostenaufwand nicht immer oder erst recht spät zu gewünschten oder neuen Erkenntnissen. Das gilt beispielsweise in der Physik für die kostenträchtige Forschung an der Kernfusion zur irdischen Energieerzeugung, wie sie auf der Sonne geschieht. Aber auch die emsigen Arbeiten an der Entwicklung technischer Brennstoffzellen seit den 1950er-Jahren oder an neuen supraleitenden Materialien für Temperaturen nahe der Zimmertemperatur seit 1987 sind Beispiele.

Es herrschen heute schwierige finanzielle Zeiten für Forscher aller Disziplinen, die nur aus wissenschaftlichem Interesse einen neuen Aspekt der Natur erkunden wollen. Wir leben in einer Zeit, in der bevorzugt eng zielgerichtete Forschung gefördert wird. Wie die Vergangenheit jedoch zeigt, führt oftmals der Zufall zu bahnbrechenden Innovationen.

Ich wünsche den Lesern viel Freude an dem einen oder anderen im Buch gezeigten Zufall, der die Wissenschaft grundlegend veränderte.

Köln
Herbst 2017

Günter Nimtz

DANK

Mein Dank für wichtige Vorschläge, Hilfe und Kritik am Zustandekommen dieses Taschenbuchs gilt Herrn Hermann Engesser, Frau Dr. Renate Nimtz-Köster, Herrn Horst Aichmann und Frau Dr. Sabine Kathke.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
	Literatur	5
2	Elektromagnetismus	7
	Literatur	12
3	Ein Blick in das Elektrizitäts-Werk einer Zelle	13
	Literatur	18
4	Elektrische Multitalente auch im Kleinsten	19
	Literatur	27

5	Vier Kraftquellen im Weltall	29
5.1	Die Schwere, oder auch Gravitation genannt	30
5.2	Die starke Wechselwirkung – Die Kräfte zwischen den Atomkern-Bausteinen	34
5.3	Die schwache Wechselwirkung	37
5.4	Die elektromagnetische Wechselwirkung	38
	Literatur	51
6	Die elektromagnetische Wechselwirkung und ihre Folgen: Ionen, Atome, Moleküle und die chemischen Reaktionen	53
7	Elektrosmog: Der Einfluss elektromagnetischer Strahlung auf biologische Systeme	57
	Literatur	59
8	Die Chemie bildet die Struktur von Leben	61
8.1	Zur Entstehung eines Lebewesens	61
8.2	Das Genom	62
8.3	Der menschliche Körper	63
8.4	Membranen hüllen die Zellen ein	65
8.5	Nerven können mehr als wehtun	68
8.6	Hirnaktivität, Schaltzentrale unseres Seins	74
8.7	Ist schlafen besser als Ginkgo?	76
8.8	Die elektrische Manipulierbarkeit des Menschen	78

8.9	Lässt Elektrizität dem Menschen einen freien Willen?	79
8.10	Ist Glauben notwendig?	80
	Literatur	85
Größen und Einheiten		87
Sachverzeichnis		89

Über den Autor



© Günter Nimtz, privat

Günter Nimtz (geb. 1936) entdeckte bei der Arbeit als Elektroingenieur sein Interesse an Physik und Philosophie. Nach der Promotion in Physik mit Philosophie im Nebenfach forschte er auf dem Gebiet der Halbleiterphysik, an Flüssigkristallen und in der Biophysik und schließlich auf dem Gebiet der Fotonik. Seit 1983 ist er Physik-Professor an der Universität zu Köln, mit Gast-Professuren in Kanada, Portugal und China. Daneben war er als Industrierberater bei Bayer, Merck,

XVI Über den Autor

Feldmühle-Nobel und Frankonia tätig, mit mehreren eingesetzten Patenten. Er verfasste über 200 wissenschaftliche Veröffentlichungen und Bücher.

1

Einführung

In einem vergilbten mit feinem Lederrücken gebundenen Buch, der „*Schule der Physik, für Schule und Haus*“, aus dem Jahr 1858 findet sich der spektakuläre Abschnitt „Die galvanische Elektrizität“. Hier beschreibt der italienische Professor der Anatomie in Bologna Luigi Aloisio Galvani (1737–1798) seine bahnbrechenden Untersuchungen an Froschschenkeln. Galvani konnte damals schon zeigen, dass die von ihm erzeugte Elektrizität auch, nur durch die Luft geleitet, die Froschschenkel zu Zuckungen erregen konnte. Weit vorausgreifend traf Galvani seine – wenn auch nicht völlig korrekten – Aussagen über die Elektrizität und ihre Wirkung auf Lebewesen:

„Alle lebendigen Geschöpfe seien, wie Verstärkungsflaschen mit Elektrizitäten geladen; das Gehirn sei die Quelle der positiven Elektrizität, die sich von da aus über

die Nerven verbreite, in den Muskeln dagegen habe die negative Elektrizität ihren Sitz; würden durch den Willen des Geschöpfes Nerven und Muskeln leitend verbunden, so trete eine Bewegung der Glieder ein. Nach dieser Ansicht sollten alle unsere Bewegungen und unser ganzes Leben durch Elektrizität bewirkt werden und alle Menschen und Thiere nichts Anderes sein, als umherlaufende Verstärkungsflaschen“ (Crüger 1858).

So schrieb Galvani um 1790 über das Leben von Mensch und Tier. Eine einfache Messanordnung zur Erzeugung von Froschschenkelzuckungen zeigt Abb. 1.1. Galvanis Landsmann, Alessandro Graf von Volta (1745–1825), Physikprofessor in Como, deutete schon um 1792 Galvanis Beobachtungen anders, und zwar bereits korrekt. Volta, nach dem unsere Spannungseinheit als „Volt“ benannt ist, erkannte, dass die Froschschenkelzuckungen durch eine angelegte Spannung ausgelöst wurden. Diese Spannung entstand durch den Kontakt zweier verschiedener Metalle als eine sogenannte Kontaktspannung – ein Phänomen, das beim Kontakt verschiedener Metalle bei Wasserleitungen zu einer Korrosion führen kann, die oft die Ursache von Wasserrohrbrüchen ist.

Die Elektronen können unterschiedlich leicht in ein benachbartes anderes Metall eindringen und verursachen dabei eine elektrische Kontaktspannung. Der Froschschenkel war sozusagen nur der Spannungsmesser, wie es Abb. 1.1 zeigt. Die von Galvani Verstärkerflaschen genannten Geräte sind Kondensatoren. Die Verstärkung bezieht sich hierbei auf die auf einem Kondensator angesammelte Elektrizitätsmenge, das heißt die elektrische Ladung. Sie kann im Vergleich zur augenblicklichen Elektrizitätsmenge einer

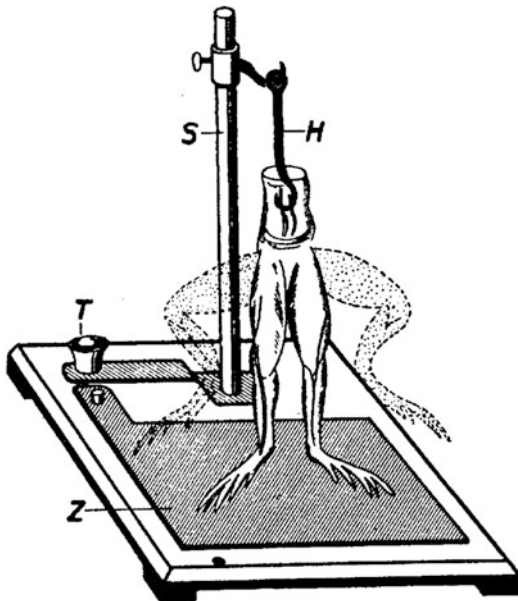


Abb. 1.1 Das schematisierte Froschschenkel-Experiment: Z ist eine Zink-Platte, an die ein Kupferstab S geschraubt ist, der mit dem Kupferhaken H verbunden ist. T ist eine Taste, die den elektrischen Kontakt zwischen H und Z herstellt. Auf der Zinkplatte Z liegen die blanken Zehen auf. Der Haken H berührt die Rückenmarksnerven des Froschschenkels. Beim Betätigen des Tasters erregt die dabei entstehende Kontaktspannung den Schenkel und hebt die Zehen von der Zinkplatte. Die Zehen fallen dann zurück auf die Platte und erleiden den nächsten Spannungsstoß. Es kommt so zu einer Reihe von spektakulären Muskelreizen und Zuckungen. Galvani hatte damals nicht erkannt, dass dieser gesamte elektrische Schaltkreis aus dem Kontakt zweier verschiedener Metalle als Spannungsquelle und dem Elektrolyt des Froschschenkels (hier die leitende Gewebeflüssigkeit) bestand und dabei auf den Schenkelmuskel einwirkte. (Bergmann und Schaefer 1961, Reprinted by permission of Walter de Gruyter GmbH)

Spannungsquelle (zum Beispiel einem Dynamo oder einer Steckdose) sehr stark angehäuft werden kann.

Georg Christoph Lichtenberg (1742–1799), ein kleinwüchsiger und kränklicher Mensch, aber ein brillanter Geist, Professor der Physik an der Universität Göttingen, schrieb in einem Lehrbuch zu diesen starken in der Medizin schon damals eingesetzten Elektroschocks (hier Stoß genannt) folgenden amüsanten Kommentar (Erxleben 1794):

„Zu Paris glaubte man vor einigen Jahren gefunden zu haben, dass der Stoß immer bey ‚frigidis et impotentibus‘ wirke. Der Graf von Artois, der davon hörte, berief dazu die Castraten der Oper; und man fand die Beobachtung falsch. Auf diese Weise ist die Elektrisiermaschine um die Ehre gekommen, dereinst als ein nützliches Instrument in den Versammlungs-Sälen der Consistorien und Ehegerichten zu prangen.“

Galvanis Beobachtungen lösten ein großes Interesse an der Elektrizität aus. Heute wird solch eine Wirkung oft durch den Impact-Faktor einer Fachzeitschrift gemessen. Darunter wird verstanden, wie oft ein Aufsatz dann in Arbeiten anderer Zeitschriften zitiert wird, das heißt ob er weitere Forschungen auf diesem Gebiet angestoßen hat, oder einfach verlegerisch ausgedrückt: In welchem Fachjournal werden die wichtigsten Aufsätze publiziert?

Ein genialer fundamentaler Aufsatz des Physikers Erwin Schrödinger (1887–1961) mit dem Titel *Was ist Leben* erschien um 1944. Das teilweise die heutige Genetik formende Werk ist aus seiner Vorlesungsreihe am Trinity College in Dublin entstanden. Schrödinger zeigt in dieser Studie die physikalischen Grundlagen einer lebenden Zelle

auf. Er erklärt, weshalb die Zelle den Gesetzen der Quantenmechanik gehorchen muss, unter anderem, um die Stabilität der Zelle und ihrer Vererbungsträger bei einer erwarteten Entropiezunahme zu bewahren. Er erklärte die menschliche Nahrungsaufnahme als eine negative Entropiegabe. Er nimmt also an, dass die Nahrungsaufnahme eine Zunahme beziehungsweise eine Konstanz der Ordnung des Lebens bewirkt. Er erläutert das rezessive oder dominante Verhalten mutierter Gene. Das Gen als Träger aller Erbinformationen eines Lebewesens war damals noch nicht definiert. Er konnte aber dessen zu Grunde liegende physikalisch-chemische Eigenschaften bereits durch die bekannten physikalischen Gesetze abschätzen und die Stabilität der Gene auf die Quantenmechanik zurückführen. Seine Deutungen des damals vorliegenden empirischen biologischen Materials fanden schließlich durch die nachfolgenden Experimente meist ihre Bestätigung. Schrödinger zeigte in seinem Buch, dass das Leben mit den physikalischen Gesetzen verträglich ist, ja es durch sie erklärt werden kann (Einführung von E. P. Fischer zu Schrödinger 2015).

Literatur

- Bergmann L, Schaefer C (1961) Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd II. Walter de Gruyter & Co, Berlin, S 86
- Crüger FG (1858) Schule der Physik, 4., vermehrte Aufl. Körner's Verlag, Erfurt/Leipzig
- Erxleben JCP (1794) Anfangsgründe der Naturlehre, 6. Aufl. mit Zusätzen von G. C. Lichtenberg, Göttingen
- Schrödinger E (2015) Was ist Leben? 14. Aufl. Piper, München

2

Elektromagnetismus

Neutrale wie auch elektrisch geladene Atome und Moleküle bilden die Bausteine unseres Körpers. Sie steuern über elektrische Signale alle Funktionen des Menschen. Was erstaunlicher ist, aber immer mehr bestätigt wird, sind die zum Teil sehr komplizierten Molekülaggregate und die zwischen ihnen wirkenden elektrischen Vorgänge. Diese elektrischen Wechselwirkungen bestimmen offenkundig auch unsere Handlungen, Gedanken, und dabei letztlich den gesamten Menschen. Diese menschliche Beschaffenheit mag als zu materialistisch scheinen, dennoch lässt sie sich nachweisen.

Im vergangenen Jahrhundert ist es offenbar geworden, dass der Mensch und alles andere Leben – selbst Pflanzen – ausschließliche Produkte der Elektrizität sind. Neue Messtechniken in Chemie und Physik und die Analysen der neuen Untersuchungsergebnisse führten zu dieser Erkenntnis.

Dieses allgemein sogenannte elektromagnetische Feld und seine Kräfte betreffen die gesamte Substanz sowie auch das Verhalten aller Lebewesen. Bewegte elektrische Ladung ist stets von einem magnetischen Feld begleitet, deshalb wird allgemein vom elektromagnetischen Feld gesprochen.

So erklären die Atom- und die Molekülphysik die Bausteine der lebenden Materie und den Aufbau der biologischen Zellen durch das elektromagnetische Feld. Moderne Untersuchungsmethoden basieren auf der Wechselwirkung dieses Feldes mit Objekten der Umwelt:

- Das Elektrokardiogramm (EKG): Hier werden die elektrischen Signale aufgezeichnet, die die Herzmuskel-tätigkeit verursachen.
- Die Elektroenzephalographie (EEG): Die Aktivität des Hirns zeigen elektrische Schwingungen im Frequenzbereich zwischen 0,5 und 100 Hz an. Diese elektrischen Schwingungen wurden zuerst von dem Neurologen Hans Berger (1873–1941) an der Universität Jena um 1924 aufgezeichnet. Er beobachtete bereits damals, dass die Stärke und die Schwingungsfrequenz mit der gedanklichen Tätigkeit zusammenhängen.
- Die Magnetresonanztomographie oder ursprünglich Kernspinresonanz genannt (MRT): Bei diesem Verfahren wird mit hochfrequenten elektromagnetischen Wellen in einem entsprechenden Magnetfeld quantitativ das Vorhandensein von Wasserstoffkernen nachgewiesen. So zeigt sich zum Beispiel eine vergleichsweise hohe Wasserstoffansammlung bei einer Tumorgeschwulst. Das räumliche Auflösungsvermögen dieser Methode liegt je nach Anlage im Millimeter-Bereich.

- Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT), auch Funktionelle Magnetresonanz-Bildgebung (fMRI) genannt: Mit dieser Methode wird ein geänderter Stoffwechselprozess der Neuronen in bestimmten Hirnbereichen beobachtet. Die Basis für diesen Nachweis beruht auf einem mittelbaren Effekt des desoxygenierten Hämoglobins im Blut der gesteigerten Neuronentätigkeit. Die magnetischen Eigenschaften des Hämoglobins (als eisenhaltiger Proteinkomplex) sind mit seinem Oxidationszustand gekoppelt.
- Magnetoenzephalographie (MEG): Die Gehirnaktivität fußt auf Ionenströmen. Elektrische Ströme sind von einem Magnetfeld umgeben. Dieses extrem kleine Magnetfeld der Hirnströme – etwa hundertmillionenfach geringer als unser bereits schwaches Erdfeld – kann heute nachgewiesen und lokalisiert werden. Der Vorteil von MEG gegenüber den zuvor aufgezählten Methoden liegt an ihrer besseren räumlichen und zeitlichen Auflösung. Diese geringen Magnetfelder werden auf dem Weg zur Messsonde durch die elektrisch heterogenen Kopfsubstanzen nicht abgelenkt. Mit dieser Technik werden auch die verschiedenen Frequenzen der elektrischen Schwingungen der Hirnaktivität bei unterschiedlichen Denkleistungen aufgezeichnet. Dies sind niedrige Frequenzen im Bereich 0,1 bis zu 100 Hz (Brookes und Singh 2013; Lahav et al. 2016).

Alle diese Methoden und weitere Analyseverfahren zeigen schließlich: Auch die körperlichen und psychischen Aktivitäten des Menschen und der anderen Lebewesen, einschließlich der Pflanzen, lassen sich mit diesen Verfahren

als ein Produkt des elektromagnetischen Feldes darstellen und erkennbar machen. Selbst menschliche Gedankengänge werden durch ihre elektromagnetische Aktivität heute beobachtbar und räumlich sowie zeitlich im Hirn bestimmt. Sie sind heute messbar. So durchlaufen im Hirn motorische Gedanken, beispielsweise das Krümmen eines Fingers, einen anderen Weg durch die Hirnbereiche als analytisches oder empathisches Denken beziehungsweise Emotionen. Es konnte auch gezeigt werden, dass diese Wege sogar individuell unterscheidbar sind, also eine Art Fingerabdruck darstellen (siehe auch Abschn. 8.6).

Diese Erkenntnisse über elektrisch verfolgbare motorische Gedanken wurden bereits in der sogenannten Neurotechnik erfolgreich eingesetzt. In dieser jungen Disziplin arbeiten weltweit Mediziner, Genetiker, Biochemiker, Physiker, Informatiker und Ingenieure erfolgreich zusammen. So konnten bereits gedankliche motorische Hirnströme bei Gelähmten an Roboterprothesen extern geleitet zur Funktion gebracht werden. Es gelang beispielsweise, dass eine bis auf ihr Gesicht vollkommen gelähmte Frau mit ihren gedanklich erzeugten motorischen Signalen nun Finger an Roboterprothesenarmen bewegen kann. Für die Signalübertragung wurden 96 Kontakte an die signalisierenden Neuronen unter der Hirnrinde hergestellt und extern mit der Prothese verbunden (Collinger et al. 2013).

Eine weitere Anwendung in der Medizin stellt die tiefe Hirnstimulation gegen Parkinsontremor dar. Hier werden mit tief ins Hirn getriebenen Elektroden die den Tremor verursachenden Neuronen elektrisch ausgeschaltet. Während der eingeschalteten Spannung fällt der Tremor aus (<http://www.parkinson-web.de/content/behandlung/neuro>

chirurgische_therapie/tiefe_hirnstimulation/index_ger.html).

Der Elektromagnetismus ist eine der vier verschiedenen Kräfte Gravitation (Schwerkraft), Elektromagnetismus, starke Wechselwirkung, schwache Wechselwirkung, allgemein Felder genannt, die uns heute im Weltall bekannt sind. Zu den vier unterschiedlichen Feldern zählt die uns wohl bekannteste Kraft der Gravitation, auch Schwerkraft genannt. Die Gravitation verursacht die gegenseitige Anziehung der Massen. Diese Kraft des Gravitationsfeldes zieht uns an den Boden und zwingt den Mond und die Gestirne auf ihre Bahnen. Der englische Naturforscher Isaac Newton (1642–1727) hat das erkannt, er hat die Gesetze der Gravitation als erster formuliert.

Bereits im 18. Jahrhundert schloss Galvani aus seinen Beobachtungen an Tiermuskeln: Der Mensch und die Tiere funktionieren nur durch Elektrizität. Also nur durch eine einzelne Kraft das elektromagnetische Feld, das damals vor der Zeit von Faraday und Maxwell noch wenig erschlossen war. Allerdings hatte Galvani die genaue Arbeitsweise bzw. Funktionsweise in Lebewesen noch nicht durchschaut. Auch dass alle Lebewesen substanziell auf dieser Kraft beruhen, lehrten uns erst sehr viel später die Atomphysik und die Chemie.

Aus den elektrischen Verstärkerflaschen wurden schließlich die erregbaren Nervenzellen, auch Neuronen genannt. Wir finden sie auch als Signale übertragende fadenartige Nerven. Die Neuronen sind über sogenannte Synapsen miteinander verbunden. Die elektrischen Signale, die über diese Nervenbahnen laufen, werden heute Aktionspotenziale genannt.

Literatur

- Brookes M, Singh K (2013) Methods in mind. *Phys World* 39 26:39–44.
- Collinger JL et al. (2013) High-performance neuroprosthetic control by an individual with tetraplegia. *Lancet* 381:557–564.
- Lahav N et al. (2016) K-shell decomposition reveals cortical organization of the human brain. *New J Phys* 18:083013.

3

Ein Blick in das Elektrizitäts-Werk einer Zelle

Die Nervenbahnen bestehen aus über Synapsen verknüpften Neuronen. Die elektrischen Leitungen werden von den Zellmembranen gebildet, die in den Abb. 3.1 bis 3.3 skizziert sind.

Die Membranen sind nur zwischen 0,005 und 0,01 Mikrometer dick. Die technischen Mikrostreifenleiter der heutigen Microchips sind diesen biologischen Membranen sehr ähnlich. Jedoch sind in der Biologie Ionen, in der Technik Elektronen die Träger des elektrischen Stroms. Die Leiter besitzen zwischen ihren elektrisch leitenden Außenschichten eine extrem hohe Isolation durch die Kohlenwasserstoffketten der Lipidmoleküle (siehe Abb. 3.2).

Die impulsartigen elektrischen Spannungssignale laufen über die Nervenbahnen. Abb. 3.4 zeigt ein solches Signal.

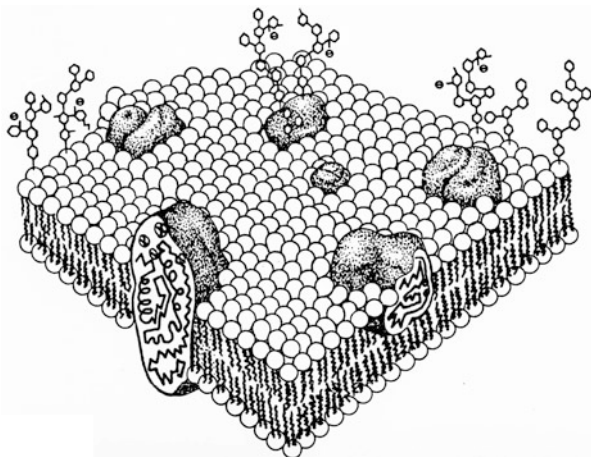


Abb. 3.1 Modell einer elektrisch ungeladenen biologischen Zellmembran, sie umschließt die Zellen (nach Singer und Nicolson (1972)). Die Membran besteht aus einer nur etwa 0,007 Mikrometer starken Doppelschicht von Phospholipidmolekülen (Abb. 3.2 und 3.3). Diese Moleküle sind an den Köpfen hydrophil (wasserfreundlich) und werden von elektrisch leitenden Ionen bedeckt (Abb. 3.3). Die Molekülschwänze ziehen sich an, sie sind wasserabweisend (hydrophob) und formen das Zentrum der elektrisch isolierenden Doppelschicht. In der Membran stecken große Moleküle, die unter anderem spezielle Kanäle für Ionen, aber auch für Substanzen wie Adrenalin bilden. Die sogenannten Betablocker beispielsweise können therapeutisch einen Adrenalinkanal verschließen

Die elektrischen Signale von Tieren und Pflanzen sind den menschlichen sehr ähnlich, und zwar sowohl in der Form als auch in der Spannungsgröße (zum Beispiel bei der Pflanze Mimose; bei einer Berührung werden die Blätter durch solche elektrischen Signale zum Falten gebracht). Die blaue punktierte Sinuskurve in Abb. 3.4 zeigt unsere Netz-

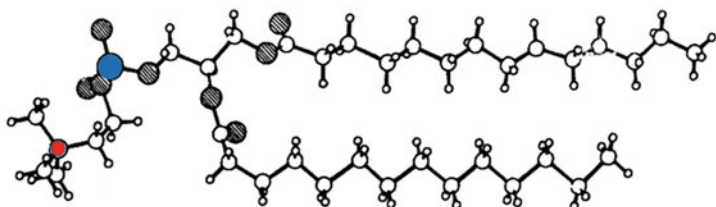


Abb. 3.2 Phospholipide sind die Bausteine der Zellmembran. Die schwarzen Atome in der Kopfgruppe (links im Bild) entsprechen Sauerstoffatomen, rot markiert Phosphor und blau Stickstoff. Die leeren großen weißen Kreise kennzeichnen die Kohlenstoffatome, die kleinen kennzeichnen die jeweils daran gebundenen zwei Wasserstoffatome. Die Membranköpfe werden hydrophil verkettet durch Wasserstoffbrücken-Bindungen an der Membranoberfläche. Die Kohlenwasserstoffketten der Lipidmoleküle bilden die Mittelschicht der symmetrischen Doppelschicht der Membran (Abb. 3.1 und 3.3)

Spannung von 230 V, Frequenz 50 Hz verkleinert um den Faktor 1/10.000.

Nach den inzwischen umfassenderen und gesicherten Erkenntnissen der Physik, Chemie, Neurologie, Physiologie und Psychiatrie sind der Mensch und jedes andere Lebewesen wie auch Pflanzen tatsächlich ein ausschließliches Produkt der elektrischen Kräfte, und sie funktionieren auch durch deren Wechselwirkung. Ihre Bedeutung gilt offenbar nicht nur für die menschlichen Bewegungen, an die damals Galvani dachte, sondern auch für ihren materiellen Aufbau und das physische und psychische Verhalten im Gehirn. Und nicht nur das menschliche Verhalten, sondern auch sein Gewebe und sein Knochenaufbau beruhen auf diesen elektrischen Kräften.

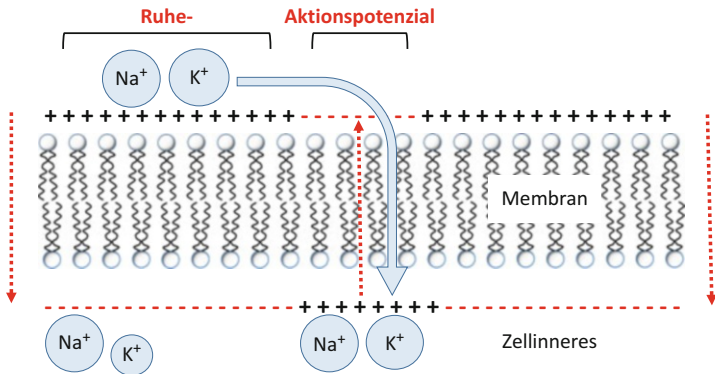


Abb. 3.3 Ein Querschnitt vom Teilstück (Axon) einer Nervenzelle. Die Zellmembranen dienen als Leitung für die Aktionspotenziale. Skizziert sind die zwei Gebiete von Ruhepotenzial und von dem fortlaufenden Aktionspotenzial. Beim Ruhepotenzial überwiegt die positive Ionenanzahl außen, dagegen beim Aktionspotenzial innen. Die elektrische Feldstärke über einer Zellmembran-Doppelschicht beträgt bis zu 100.000 Volt/cm. Ein elektrischer Durchschlag wie beim Blitz in der Luft erfolgt je nach Luftdruck und Feuchte bereits bei 30.000 Volt/cm

Dass das physische und psychische Verhalten von Leben durch eine elektrische Kraft bestimmt wird, erinnert an Arthur Schopenhauers (1788–1860) Behauptung: „Der Mensch kann zwar tun was er will, aber er kann nicht wollen, was er will.“ Dieses damals rein philosophische Diktum steht nicht im Widerspruch zu den heutigen naturwissenschaftlichen Ergebnissen und ist eine bemerkenswerte Stütze des Determinismus: Der Mensch ist ein Teilprodukt seiner Gene, seines sogenannten **Genotyps**. Auch dieser Genotyp basiert aufgrund seines molekularen Aufbaus nur auf elektrischen Kräften.

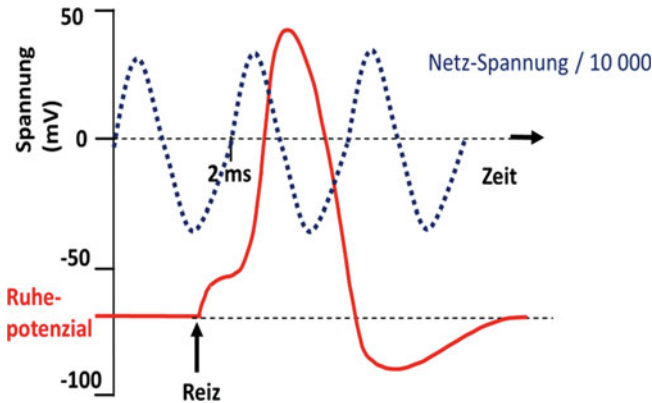


Abb. 3.4 Ein menschliches Aktionspotenzial (dies ist die elektrische Spannung über der Zellmembran als Abweichung des Membranpotenzials einer Zelle vom Ruhepotenzial). Die Spannungssignale (Spannungsimpulse) sind von der Größe 0,1 Volt (= 100 mV). Das Ruhepotenzial entsteht durch die ungestörte stationäre elektrische Ladung an der Zellmembran. Das Potenzial ist die Folge der unterschiedlichen elektrischen Ladungszahl zwischen Ober- und Unterseite der Zellmembran (siehe Abb. 3.3)

Umwelteinflüsse wie Erziehung und soziale Umgebung haben Anteil am speziellen Menschsein und an seinem Verhalten. Physische Umwelteinflüsse finden sich beeindruckend bei Pflanzen: Hier können beispielsweise das Raum- und das Licht-Angebot ihre Größe bestimmen.

Dieses Zusammenspiel von Genotyp und Umwelt bestimmt schließlich den **Phänotyp**, das Gesamterscheinungsbild eines Lebewesens (Graw 2015).

Wie weit sich das menschliche Individuum psychisch und physisch von Umwelteinflüssen prägen lässt, wird vermutlich bereits durch seine Gene festgelegt. Denn es ist

offensichtlich: Jeder Mensch lässt sich unterschiedlich stark durch Erziehung, Umwelt und Gesellschaft beeinflussen. Eine durch die Umwelt verursachte Merkmalsausprägung, die sogenannte **Phänokopie**, ist allerdings nicht vererbbar. Diese Phänokopie und der Genotyp ergeben zusammen also den Phänotyp. So passen sich gewisse Pflanzen in ihrem Größenwachstum dem zur Verfügung stehenden Raum an. Die erreichte Größe wird jedoch nicht vererbt. Nur die Veranlagung, das Wachstum an die Umwelt anzupassen, ist ein Bestandteil des genetischen Erbguts.

Literatur

- Graw J (2015) Genetik. Springer, Berlin/Heidelberg
Singer S J, Nicolson G L (1972) The fluid mosaic model of the structure of cell membranes. Science 175:720–742.

4

Elektrische Multitalente auch im Kleinsten

Was kann ein Mensch überhaupt wahrnehmen? Die wahrnehmbare Materie besteht aus Atomen und Molekülen. Außerdem nehmen wir noch mittelbar Licht und Schall wahr. Der Schall, auch wenn er nicht sichtbar ist, benötigt bereits zu seiner Existenz und zur Ausbreitung Materie. Das Licht sehen unsere Rezeptoren im Auge nicht auf seinem Weg durch ein Vakuum, selbst kaum durch saubere Luft. Erst seine Reflexion in unsere Augen an Wassertropfen, an einer Wand oder an einem beliebigen reflektierenden Gegenstand und natürlich eine Licht-Abstrahlung zeigen uns die Anwesenheit von Licht. Der Schall dagegen ist bewegte Masse, genauer, er ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Stößen. Es findet ein Stoßaustausch wie beim Billard-Spiel oder dem Kugelstoß-Pendel statt. Der Schall benötigt zu seiner Existenz einen materiellen Träger, ein

Gas – hier sind Atome und Moleküle die Träger –, dasselbe gilt in einer Flüssigkeit oder in einem festen Körper. Im Vakuum existiert kein Schall. Die sogenannte Schallmauer entsteht in der Luft, wenn die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Stöße ihrer Partikel (etwa 1 236 km/h, nach dem Physiker Ernst Mach auch 1 „Mach“ genannt) von einem Gegenstand übertroffen wird. Überschreitet ein Geschoss oder ein Flugzeug die Schallgeschwindigkeit, kommt es zu dem bekannten Überschallknall. Dabei werden die Materie-Teilchen vor dem Flugobjekt zusammengepresst, verdichtet und mitgeschleppt. Das löst den hörbaren Knall an der sogenannten Schallmauer aus.

Ein Überschallknall kann auch mit einer Peitsche erzielt werden. Ein uraltes Spiel der Kutscher: Die theoretische Beschreibung des Peitschenknallens gelang dem Ingenieur und Physiker István Szabó. Er war von 1948 bis 1975 Professor für Mechanik an der Technischen Universität Berlin. Die Schallgeschwindigkeit ist mit etwa 21 240 km/h in der stählernen Eisenbahnschiene deutlich grösser als in der Luft. So hört man einen nahenden Zug mit dem Ohr auf der Schiene sehr viel früher als mit dem Ohr in der Luft. Dieser Schallleitungseffekt gehörte zur Unterhaltung der Jugendlichen vor dem Einzug der Computerspiele.

Beim Wassermolekül ist das Sauerstoffatom gegenüber den beiden Wasserstoffatomen etwas negativer geladen, da deren Elektronen sich zum Sauerstoff hin etwas verlagert haben (Abb. 4.1). Das Molekül stellt also einen elektrischen Dipol dar. Solch ein Dipol übt auf andere Ladungen oder Dipole eine Kraft aus. Er kann dabei sogar andere neutrale Materie polarisieren, das heißt seine unterschiedlichen Ladungen etwas gegeneinander verschieben.

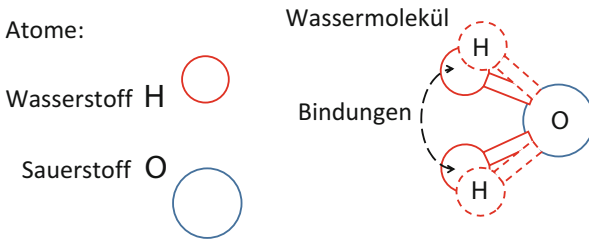


Abb. 4.1 Modell vom Wasserstoffatom **H**, dem Sauerstoffatom **O** und dem Molekül Wasser **H₂O**. Die Arme stellen die elektronischen Verbindungen zwischen den Atomen dar. Die beiden Wasserstoffatome im Wassermolekül können in ihrem Abstand zum Sauerstoff, aber auch in ihrer Spreizung schwingen und auf diese Weise Bewegungsenergie in Form von Wärme aufnehmen. So wird die bei der Molekülbildung aus den isolierten einzelnen Atomen frei werdende elektrische Energie in Bewegungsenergie, also in Wärme verwandelt

Die Abb. 4.1 zeigt schematisch zwei einzelne unterschiedliche Atome und wie daraus ein Molekül aufgebaut wird: das Wasserstoffatom **H**, das Sauerstoffatom **O** sowie das Wassermolekül **H₂O**. Das Molekül ist aus zwei Wasserstoffatomen **H** und einem Sauerstoffatom **O** zusammengesetzt. Moleküle werden in der Natur aus beliebig vielen Atomen zusammengesetzt. Ein Wassermolekül besteht aus nur drei Atomen, die durch elektrische Kräfte zusammengehalten werden und räumlich unter dem Winkel von $104^{\circ} 27'$ angeordnet sind. Das riesige Molekül des menschlichen Genoms ist aus ungefähr 100 000 000 000 Atomen geformt und ist rund zwei Meter lang. Dieses lange fadenartige Gebilde befindet sich unvorstellbar klein auf den Größenbereich von Submikrometer gefaltet in unseren Zellen.

Weshalb bilden die drei Atome das Molekül Wasser? Der gebundene Zustand der drei Atome in einem Molekül Wasser ist energieärmer und damit stabiler als die gesamte Energie der drei einzelnen Atome im isolierten Zustand. Durch den Zusammenschluss der Atome wird Energie freigesetzt. Der Zusammenschluss ist einem Auto ähnlich, das in ein Tal hinab rollt: Es vermindert seine potenzielle Gravitationsenergie, die bei der Talfahrt in Bewegungsenergie umgesetzt wird. Die dabei gewonnene Bewegungsenergie wird dann beim Abbremsen ins Tal in Wärmeenergie verwandelt und schließlich von den Bremsen an die Luft abgeführt. Das Tal bildet nun für das Auto einen an Energie ärmeren und damit einen stabileren, das heißt einen wahrscheinlicheren Zustand als auf dem Gipfel. Die Masse des Autos wird zum Erdinneren angezogen und besitzt so auf dem Gipfel eine größere potenzielle Gravitationsenergie als im Tal.

Bei dem Wassermolekül wird bei der Bindung zum Molekül analog elektrische Energie freigesetzt. Diese Energie wird zu Wärme, wie es die Skizze der Abb. 4.1 andeutet: Die zwei Wasserstoff-Atome schwingen gebunden am Molekül um ihre Ruhelage. Diese Bewegungsenergie entspricht einer Energieform der Wärme. Beim zuvor abgebremsten Auto im Tal schwingen die Atome und Moleküle im Material der heißen Bremsbelege vermehrt. Die schwingenden Partikel besitzen nun mehr Wärmeenergie und geben diese an die Umgebung weiter.

Der Grieche Leukipp (ein Vorsokratiker, er lebte im 5. Jahrhundert vor Christus), sein Schüler Demokrit (460–370 vor Christus, beide lebten in Thrakien) und andere griechische Zeitgenossen legten vor rund 2500 Jahren

den wesentlichen Grundstein für die Beschreibung der Welt, den atomistischen Materialismus: Nach dieser Lehre gibt es die unteilbaren Atome und das Vakuum im Weltall. Diese Atome sind von verschiedener Gestalt, und sie besitzen spezielle Eigenschaften. Man hielt Atome für die kleinste Einheit. Chemisch gesehen stimmt diese Annahme noch heute. Das gilt für den Wasserstoff genauso wie für Gold, für Uran und für alle anderen chemisch reinen Substanzen. Aber wie inzwischen bekannt, sind die Atome selbst doch noch weiter unterteilbar.

Die unterschiedlichen chemischen Atome wie Wasserstoff, Helium, Sauerstoff oder Gold unterscheiden sich nur durch die Zahl ihrer positiv geladenen Protonen in ihrem Atomkern und durch die entsprechende Anzahl der sie umkreisenden negativen Elektronen. Die Atome sind so elektrisch neutrale Gebilde.

Neben den positiv geladenen Protonen befinden sich im Atomkern auch noch elektrisch neutrale Neutronen. Diese sind mit den Protonen durch die sogenannte starke Wechselwirkung in dem extrem kleinen Kernvolumen verbunden. Die Neutronen vermindern durch diese Neutron-Proton-Bindung im Atomkern die wenn auch viel schwächere abstoßende elektrische Kraft der Protonen untereinander. Die Neutronen entsprechen von der Größe her den Protonen. Sie sind allerdings elektrisch neutral, da sie gegenüber dem Proton noch mit einem Elektron verschmolzen sind. Elektronen besitzen eine etwa 1500-fach geringere Masse als Protonen und Neutronen.

Unsere lebensnotwendigen Moleküle bestehen meist aus sehr vielen Atomen, so auch unser Genom. Das über zwei Meter lange beeindruckend vielfältig gestaltete Genom

speichert alle Erbinformationen in Form von DNA (englisch **deoxyribonucleic acid**) auf 46 Chromosomen, bestehend aus rund 3 000 000 000 Basenpaaren. Diese unterschiedlichen Basenpaare sind in der Abb. 4.2 skizziert. Die Basen (Adenin, Cytosin, Guanin, Thymin) werden von einem molekularen Gerüst spiralförmig getragen, wie es Abb. 4.3 zeigt. Das gewaltige Molekül wird auch alpha-Helix genannt. Diese Helix-Struktur wurde von den Forschern Francis Crick (1916–2004) und James Watson (1928*) um 1953 vorgeschlagen. Gemeinsam mit Frederick Wilkins (1920–2004) wurden die Forscher dafür 1962 mit dem Nobelpreis der Medizin belohnt. Die Grundlagen zu dieser Helixstruktur stammen eigentlich von Rosalind Franklins Röntgen-Struktur-Untersuchungen. Sie war zur Zeit der Preisverleihung bereits verstorben (1920–1958). Frederick Wilkins bestätigte ihre Daten und somit das Helix-Model von Crick und Watson.

Das Genom ist der persönliche Träger aller Erbinformationen. Ohne einen Vergleichstest der DNA kommt heute kaum ein Fernsehkrimi mehr aus. Ein DNA-Strang oder ein einzelnes Gen bilden nur einen kleinen Abschnitt des gesamten Genoms. Das Genom besitzt etwa zehnmal so viele Atome wie all seine in der Abb. 4.2 gezeigten Basenpaare zusammen. Basen sind das chemische Gegenstück der Säuren. Es ist erstaunlich, ja unvorstellbar, dass diese vier Basen durch ihre Anzahl und Anordnung in einem Gen der Helix-Struktur den Bau einer neuen Zelle, sogar eines kompletten neuen Lebens bestimmen. Die räumliche Genom-Größe liegt trotz der gewaltigen Länge sehr klein gefaltet vor. Sie liegt im Submikrometer-Größenbereich, also kleiner als 0,001 mm. In jeder Zelle eines Lebewesens mit

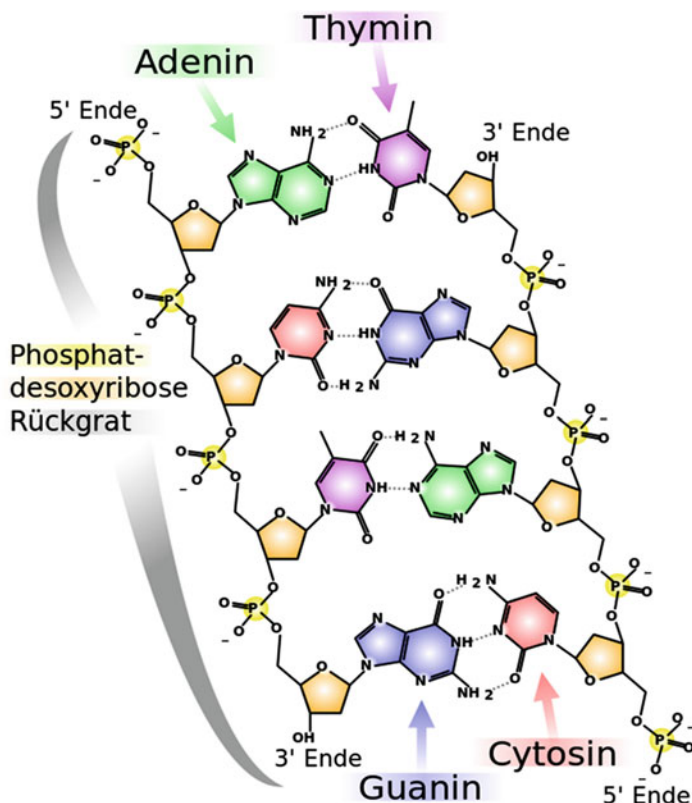


Abb. 4.2 Die vier Basenpaare Adenin, Cytosin, Guanin und Thymin sind durch Wasserstoffbrücken-Bindungen (gepunktete Linien) miteinander verbunden. Das Rückgrat wird durch eine Phosphat-desoxyribose (eine Säure) gebildet (Wikimedia Commons, [Creative Commons Attribution-Share Alike 2.5 Generic](#), [2.0 Generic](#) and [1.0 Generic](#) license)



Abb. 4.3 Struktur einer DNA, hier ein Abschnitt eines Genoms, die spiralförmig die vier Basenpaare (Adenin, Cytosin, Guanin, Thymin) umhüllt. Der Teilabschnitt, auch genannt Gen, mit einer bestimmten Anzahl und speziellen Reihenfolge der vier Basenpaare bestimmt die vererbaren einzelnen Eigenschaften, den Genotyp, so zum Beispiel bei einem Menschen die Augenfarbe, die Ohrenform und die Organe, ja vollständig alles, was ein lebendiges Wesen ausmacht. Die Anordnung und die Anzahl der vier Basenpaare ist der Code, also die chemische Abbildungsvorschrift eines jeden biologischen Produktes. Die Abbildung des Lebens durch diesen individuellen Code verursacht dann durch elektrische Kräfte den individuellen Aufbau des Gewebes und des gesamten Körpers. (http://resizeandsave.online/openphoto.php?img=http://3.bp.blogspot.com/_TKNr6Vj4mQU/TH3d-t056II/AAAAAAAAAHY/pG0wKPWJO_M/s1600/dnahelix.jpg)

einem Durchmesser von der Größenordnung 0,03 nm befindet sich solch ein DNA-Strang von etwa zwei Metern Länge. Allein diese ungeheuerliche Packungsdichte in den Zellen beschäftigt die Genetiker noch intensiv (Arney 2016).

Literatur

Arney K (2016) Herding Hemingway's cats: understanding how our genes work. Bloomsbury Sigma, London

5

Vier Kraftquellen im Weltall

Die Physik hat in den vergangenen zwei Jahrhunderten vier verschiedene Felder und deren Kräfte ausfindig gemacht: Gravitation, starke Wechselwirkung, schwache Wechselwirkung und den das Leben exklusiv bestimmenden Elektromagnetismus.

Die vier Wechselwirkungsmechanismen zwischen der Materie und den Kraftfeld-Wellen gelten vom mikroskopischen bis hin zum makroskopischen Größenbereich des Weltalls und werden theoretisch und experimentell bestätigt. Diese Kraftfelder sind im sogenannten Standardmodell der Physik zusammengefasst und beschrieben.

Materie, auch Masse genannt, ist dabei ein weitgefaster Begriff: Er umfasst alles Materielle, das vom Menschen wahrgenommen, das heißt beobachtet und gemessen werden kann. In den vergangenen Jahrzehnten wurden noch

eine dunkle Materie und eine dunkle Energie postuliert, diese sind jedoch noch hypothetisch und für uns nicht unmittelbar wahrnehmbar. Wirkungen dieser dunklen Größen werden den unerwarteten Bahnen der Sterne, die sich weit außerhalb von den Milchstraßen-Zentren bewegen, und der beobachteten Expansion des Weltalls zugeschrieben.

5.1 Die Schwere, oder auch Gravitation genannt

Die Schwere, oder auch Gravitation, sind Felder der Wechselwirkung zwischen Materie. Ihre Kräfte wirken zwischen Massen. Diese Wechselwirkung zieht den Menschen aufgrund seiner Masse auf den Boden der Erde, sie bestimmt das Gewicht, das heißt die Schwerkraft von Materie auf der Erde. Diese Schwerkraft zwingt die Erde auf ihre Umlaufbahn um die Sonne. Sie bestimmt die Bahnen der Sternbilder. Mit dieser Kraftwirkung verursachen Mond und Sonne auf der Erde die Gezeiten der Meere. Die Gravitation besitzt vergleichsweise zu den anderen bekannten Feldern eine sehr schwache anziehende Kraft zwischen materiellen Körpern. Die Schwerkraft ist proportional zu den miteinander wechselwirkenden Massen. Die anziehende Kraft F zwischen zwei Massen ist gleich dem Produkt der Gravitationskonstanten G und den zwei Massen m_1 , m_2 geteilt durch den quadratischen Abstand r^2 der Massenschwerpunkte, also:

$$F = G m_1 m_2 / r^2$$

Die Gravitation wirkt weitreichend durch das ganze Weltall, auch wenn diese relativ zu den anderen Feldkräften schwache Kraft mit dem Abstand zwischen den wechselwirkenden Massen rasch abnimmt. Die Eigenschaften der Massenanziehung hat der Engländer Isaac Newton 1686 in seinem Werk „[Philosophiae Naturalis Principia Mathematica](#)“ formuliert. Newton konnte mit seinem Gravitationsgesetz die durch den Astronomen Johannes Kepler beschriebenen Umlaufbahnen der Planeten um die Sonne nun mathematisch herleiten.

Durch die Abhängigkeit der Kräfte von den miteinander wechselwirkenden Massen wirkt demnach die Erde auf einen Menschen sechsmal stärker anziehend als der Mond auf die dort am 19. Juli 1969 erstmals gelandeten Besucher der Apollo-Mission 11. Die Mondmasse beträgt nur ein Achtzigstel der Erdmasse.

Der Mond umrundet unsere Erde und verursacht durch seine Anziehungskraft zusammen mit der der Sonne die Gezeiten Ebbe und Flut. Ein belustigender Aspekt der Gravitation: Wenn der Mond über uns steht, wird unser Gewicht durch die Mondanziehung um den Faktor 0,0000001 auf der Waage erleichtert.

Unsere Sonne besitzt die 333.000-fache Masse der Erde. Diese große Sonnenmasse zwingt die Erde und die anderen Planeten auf ihre Umlaufbahnen. Sie würden sonst nicht auf elliptische Bahnen abgelenkt werden und mit konstanter Geschwindigkeit geradeaus weiterfliegen. Letzteres ist eine der Newtonschen Erkenntnisse: In einem kräftefreien, also im feldfreien Raum findet nur eine geradlinige, nicht beschleunigte Bewegung statt. Es gibt auch Kometen, die

wie auf einer Hyperbel die Sonne oder die Erde umfliegen und wieder ins Weltall zurückkehren.

Die schwache Anziehung des relativ nahen Erdsatelliten Mond und die etwas geringere der weit entfernten Sonne auf die Erde bewirken die Meereszeiten. Wie jedoch die Sternbilder mit ihrem gewaltigen Abstand entfernt von der Erde und ihrer nicht messbar kleinen Anziehungskraft den Menschen beeinflussen sollen, liegt im Bereich der Astrologie. Ihre Anhänger schwören auf Horoskope – verwunderlich, denn die Sternbilder sind etwa 100 Lichtjahre von uns entfernt, also etwa 10.000.000.000.000 km. Sie haben einen viel geringeren Einfluss als der Mond auf die zuvor genannte Waage und das Gewicht im Erdfeld.

Doch die Astrologie beeinflusste sogar den Lauf der Geschichte, so zur Zeit des Dreißigjährigen Krieges. Der Feldherr Wallenstein und auch die habsburgischen Kaiser Rudolf II., Matthias I. und Ferdinand II., denen Johannes Kepler (1571–1630) als Hofmathematiker diente, ließen sich Horoskope von diesem berühmten Astronomen erstellen. Sie erhofften von günstigen Sternkonstellationen Kriegsglück. Ganze Städte ließen sich für kommunale Vorhaben die Sterne deuten. Beim Aufenthalt in Regensburg, wo er unter anderem auch kaiserliche Schulden für seine Horoskope eintreiben wollte, starb Kepler 1630. Trotz erheblicher Anfeindungen aus theologischen Kreisen erkannte Kepler das heliozentrische System des Preußen Nikolaus Kopernikus (1473–1543) an.

Lichtteilchen besitzen keine sogenannte Ruhe-Masse. Dennoch wird das Licht durch große Massen wie die Sterne etwas abgelenkt. Darüber dachte bereits Newton nach, quantitativ wurde diese Ablenkung durch Einsteins Allgemeine Rela-

tivitätstheorie vorausgesagt. Die Ablenkung wurde schließlich 1919 von dem englischen Astrophysiker Arthur Eddington (1882–1944) bei einer Sonnenfinsternis gemessen. Dieses Messergebnis machte Einstein und seine Allgemeine Relativitätstheorie weltweit schlagartig berühmt und Einsteins Theorien fanden endlich Anerkennung. Bis dahin gab es unter den Wissenschaftlern noch sehr viele Zweifler an Einsteins Relativitätstheorien. Einstein erhielt deshalb den Nobelpreis nicht für die relativistischen Theorien, sondern für seine quantenmechanische Deutung des fotoelektrischen Effektes.

Um Newton ranken sich mancherlei Geschichten. So führte er um 1705 eine heftige internationale Auseinandersetzung mit dem deutschen Universalgelehrten Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) über die Priorität der Einführung der Infinitesimalrechnung. Beide Wissenschaftler kamen wohl unabhängig auf diesen mathematischen Zweig, der für die Physik von großer Bedeutung ist. Die elegantere Darstellung der Infinitesimalrechnung von Leibniz hat sich bis heute durchgesetzt. Der Newton-Biograf William Stukeley und auch Voltaire berichten, dass Newtons geniale Theorie der Schwerkraft auf seiner Beobachtung der vom Baum stets zum Erdmittelpunkt hin fallenden Äpfel beruhe. Eine weitere Anekdote erzählt, Newton habe die von der Schwerkraft bediente Katzenklappe erfunden, um seiner Katze wegen nicht immer zur Tür laufen zu müssen.

Die Allgemeine Relativitätstheorie sagt eine Raum-Zeit-Krümmung durch starke Gravitationsfelder in der Nähe massenreicher Sterne voraus. Die Lichtbahn folgte bei der Sonnenfinsternis tatsächlich Einsteins vorausberechneter Raum-Zeit-Krümmung. Eine Skizze zur Raum-Zeit-Krümmung zeigt die Abb. 5.1.

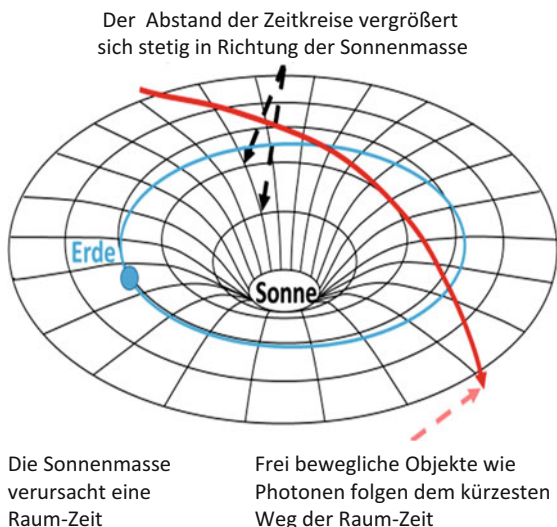


Abb. 5.1 Skizze zur Raum-Zeit-Krümmung durch die Sonnenmasse. Ein die Sonne streifender aus der Ferne kommender Lichtstrahl wird an der Sonne abgelenkt. Mit zunehmender Schwerkraft, das heißt mit abnehmendem Abstand zum Sonnenzentrum gehen Uhren langsamer

5.2 Die starke Wechselwirkung – Die Kräfte zwischen den Atomkern-Bausteinen

Die Bausteine der Atomkerne sind Protonen und Neutronen. Die Protonen sind elektrisch positiv geladen, wohingegen die Neutronen ihrem Namen entsprechend elektrisch neutral sind. Der positiv geladene Atomkern ist von einer entsprechend negativ geladenen Elektronenwolke umgeben. Atome sind also elektrisch neutral.

Zunächst wurde angenommen, die Atome seien nicht noch weiter teilbar. Es zeigte sich jedoch später, dass diese zwei atomaren Kernbausteine aus noch kleineren Unter-Partikeln aufgebaut sind, den sogenannten Quarks, die schließlich die Protonen und Neutronen formen. Jeweils drei von ihnen bilden die Neutronen und die Protonen (der kuriose Name „Quarks“ geht auf das deutsche Milchprodukt namens Quark zurück). Sie wurden von dem theoretischen Physiker Gell-Mann eingeführt. Dieser war ein Verehrer des irischen Dichters James Joyce. In dessen Buch *Finnegans Wake* steht der Satz: „Three quarks for Muster Mark.“ Angeblich besuchte Joyce eine internationale Nahrungsmittelausstellung in Dublin, bei der auch deutscher Quark vorgestellt wurde, ein Käse, den es in Irland und England nicht gibt. Der merkwürdige Name hatte den Literaten offenbar fasziniert (F. Hehl [2002](#), S. 16).

Die Kräfte, die die Protonen und die Neutronen in einem Atomkern zusammenhalten, werden starke Wechselwirkung genannt. Stark bedeutet hier, dass extreme große Kräfte und Energien zur Kernspaltung, also der Trennung von Protonen und Neutronen im Atomkern benötigt werden. Die Umkehrung der Kernspaltung ist die Fusion, die zum Beispiel in der Sonne oder in einer Wasserstoff-Atombombe entsprechend gewaltige Energien freisetzt. Die starke Wechselwirkung besitzt eine extrem kurze Reichweite und wird außerhalb des Kernbereichs eines Atoms rasch schwach und wirkungslos. Der wirk-same Kraftbereich zwischen den Kernteilchen beträgt nur etwa 0,00000000001 Millimeter. In diesen kurzen Längen übertrifft die Kraft der anziehenden starken Wechselwirkung die sehr viel schwächere Abstoßungskraft der elekt-

risch positiv geladenen Positronen. Die zweiten zusammengesetzten Teilchen der Quarks sind die Neutronen. Sie sind elektrisch neutral und stabilisieren mit ihrer stark anziehenden Kraft den Atomkern gegenüber der geringeren abstoßenden elektrischen Kraft zwischen den Protonen.

Entsprechend der Anzahl der elektrisch positiv geladenen Protonen in einem Atomkern werden diese Atomkerne von elektrisch negativ geladenen Elektronen eingehüllt und bilden die unterschiedlichen Atome. Die Atomkernbausteine Protonen und Neutronen sind mehr als tausendfach schwerer als die sie umgebenden Elektronen (Abb. 5.2).

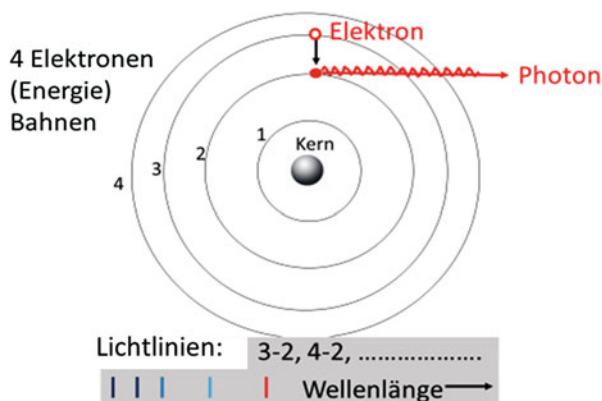


Abb. 5.2 Die vier innersten Elektronenbahnen um einen Atomkern mit einem Übergang von der 3. zur 2. Elektronenbahn unter Emission eines Photons. Die innersten Elektronenbahnen sind die energetisch niedrigsten. Sichtbare Lichtlinien durch strahlende Übergänge im Wasserstoff-Atom sind im Bild unten aufgetragen gegen die Wellenlänge der sogenannten „Balmer Linien“

5.3 Die schwache Wechselwirkung

Es gibt eine noch schwächere Wechselwirkung als die Gravitation. Sie besitzt geringe Kräfte und eine extrem kurze Reichweite und wird deshalb schwache Wechselwirkung genannt. Sie ist jedoch die Ursache für den radioaktiven Beta-Zerfall eines Atoms, bei dem Elektronen ausgestrahlt werden. Diese Wechselwirkung tritt nur im Kernbereich eines Atoms und hier zwischen den Quarks und den Leptonen auf. Unter dem Namen Leptonen werden leichte elementare Teilchen wie die Elektronen und die ungeladenen extrem leichten Neutrinos geführt. Die schwache Wechselwirkung ist zum Beispiel beteiligt an der Bildung der positiv geladenen Protonen aus Neutronen. Sie wirkt nur zwischen Elementarteilchen.

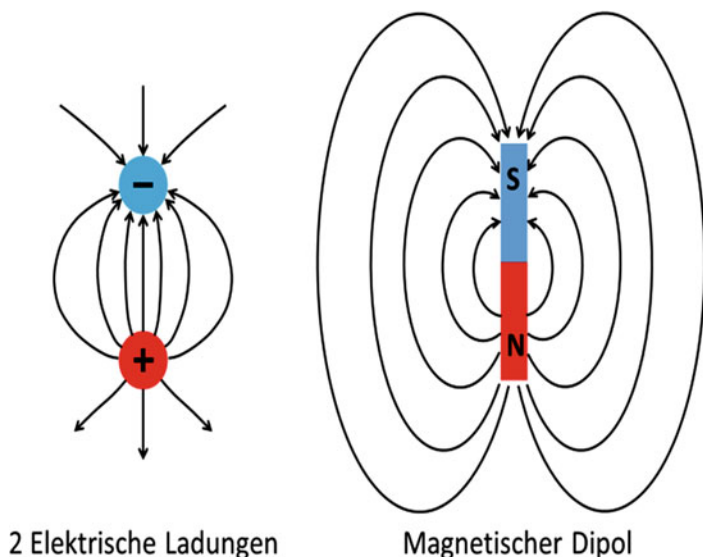
Der zuerst beobachtete radioaktive Zerfall eines Atoms ist der Beta-Zerfall. Hier sendet ein Atom ein Elektron aus. Das Phänomen wurde 1896 von dem französischen Physiker Henri Becquerel zufällig an Uransalzen beobachtet. Eigentlich wollte er bei dieser Entdeckung das Phosphoreszenz-Leuchten, also das optische Nachleuchten der Uransalze untersuchen (Phosphoreszenz wird das Leuchten einer Substanz genannt, wenn sie nach einer Beleuchtung mit Licht oder ultravioletten Strahlen noch eine Zeit lang leuchtet). Becquerel bemerkte jedoch, dass die beobachtete Strahlung kein Nachleuchten, also keine Phosphoreszenz war. Überraschenderweise trat die Strahlung ohne einen äußeren Einfluss bei dem Uransalz auf. Diese Beobachtung der nicht durch eine Beleuchtung des Fotopapier schwärzenden Strahlung wird der Beta-Zerfall

eines Atoms genannt. Ausgelöst wird dieser Vorgang durch die sogenannte schwache Wechselwirkung, die ein Neutron zum Beispiel in einem Uranatom zerfallen lässt. Aus dem Uranatom ist nun ein anderes Atom entstanden.

Ein Neutrino tritt bei Beta-Zerfällen neben dem Elektron auf. Es ist ein elektrisch neutrales Teilchen mit sehr geringer Masse, etwa ein Millionstel kleiner als die Masse eines Elektrons. Dieser Wert konnte erst in den vergangenen Jahren experimentell abgeschätzt werden. Das Neutrino steht in extrem schwacher Wechselwirkung mit anderen Masseteilchen. Es durchfliegen Millionen mal Millionen Neutrinos den menschlichen Körper, ohne dass eines mit ihm in Wechselwirkung tritt. Die uns umgebenden natürlichen Neutrinos gelangen von der Sonne zu uns und entstehen dort bei der Kernfusion von Wasserstoff zu Heliumatomen. Sie stammen also von unserer natürlichen Wärmequelle.

5.4 Die elektromagnetische Wechselwirkung

Oft wurde bisher nur von der elektrischen Kraft oder dem elektrischen Feld gesprochen. Das magnetische Feld und seine Kraft ist eine Folge des elektrischen Feldes. Magnetische Felder entstehen durch bewegte elektrische Ladungen. Die zwei Felder unterscheiden sich unter anderem darin, dass es elektrische Monopole gibt, dass aber nur magnetische Dipole bekannt sind. In Abb. 5.3 sind diese Eigenschaft und deren Feldlinien (Kraftlinien) skizziert.



2 Elektrische Ladungen

Magnetischer Dipol

Abb. 5.3 Feldlinien elektrischer Ladungen und magnetischer Dipole. Elektrische Ladungen treten getrennt auf, Magnete treten nur als Dipole auf. Eine Zerstückelung eines magnetischen Dipols ergibt nur kleinere Dipole

Die elektromagnetische Wechselwirkung zieht elektrisch positiv geladene zu elektrisch negativ geladenen Teilchen. Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab. Die kleinste negative Ladung trägt ein Elektron. Ein Elektron besitzt beides, Ladung und Masse. Allerdings ist die elektrische Abstoßungskraft eines Elektrons von einem zweiten Elektron um den gewaltigen Faktor $2,3 \cdot 10^{39}$ grösser als deren Massenanziehungskraft. Magnete treten nur dipolar auf, sie werden Süd- und Nordpol genannt. Auch hier wie bei

den elektrischen Ladungen stoßen sich gleichnamige Pole ab, ungleichnamige ziehen sich an. Den Kraftlinienverlauf eines Magneten zeigt Abb. 5.3.

Die Sonne bestrahlt uns wärmend mit dem Energiegewinn, der bei der Fusion zweier Protonen entsteht. Bei dieser Fusion wird aus Wasserstoff (genauer aus dem Isotop Deuterium) Helium. Dazu muss allerdings die abstoßende elektrische Energie der beiden Protonen überwunden werden, ehe die Kernkraft der starken Wechselwirkung bei den sehr kleinen Abständen die Abstoßung der Protonen übertrifft. In der Sonne gelingt die Kernfusion durch den Tunnel-Prozess, bei dem in sehr geringem Umfang Protonen den abstoßenden elektrischen Wall durchtunneln und so in den Bereich der starken Wechselwirkung gelangen. Bei der Fusion der Protonen zu einem Heliumatomkern wird eine gewaltige Energie freigesetzt, die auch die Quelle der Sonnenstrahlung ist.

Bei der Wasserstoffatombombe wird zuerst eine Kernspaltung gezündet. Diese heizt die Protonen so stark auf, dass ihre Bewegungsenergie zur Kernverschmelzung über die elektrische Abstoßung hinweg führt. Die gesamte freigesetzte Energie der Atomspaltung und der anschließenden Kernfusion führt bei der Wasserstoffbombe zu einer gewaltigen freigesetzten Energie, mit einer Sprengkraft entsprechend über 10 Millionen Tonnen TNT (Trinitrotoluol). TNT ist der bedeutendste chemische Sprengstoff. Diese Kernenergie-Bomben wiegen nur um die 10 Tonnen. An diesem Sprengkraftverhältnis in Millionengröße erkennt man, welche gewaltigen Kräfte und Energien bei der starken Wechselwirkung in Atomen im Vergleich zu der chemi-

schen, also der elektromagnetischen Wechselwirkung herrschen.

Seit den 1950er-Jahren wird mit hohem Kostenaufwand weltweit geforscht und experimentiert, um den Sonnen-Prozess der Wasserstofffusion für die Energieerzeugung auf der Erde nutzbar zu machen – bislang vergeblich. Der Fusionsprozess hätte den Vorteil, weitaus weniger radioaktive Abfallprodukte zu verursachen als die Kernspaltung der derzeitigen Atomkraftwerke.

Schon bei einem geringen Abstand von den Protonen im Atomkern dominiert die elektrische Wechselwirkung zwischen Ladungen. Und so binden die positiv geladenen Protonen eines Atomkerns die negativ geladenen Elektronen auf Kreisbahnen um den Kern und bilden die elektrisch neutralen Atome (Abb. 4.1). Die Bindungsenergie eines Elektrons an das Kernproton beträgt 13,58 eV (Elektronenvolt) im Wasserstoffatom. Das ist eine sehr kleine Energie im Vergleich zur der mehr als hunderttausendfachen Proton-Neutron-Bindungsenergie in einem Atomkern mit 2.200.000 eV ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Js). Diese scheinbar kleine Energie bezieht sich auf ein einziges Elektron, das einer elektrischen Spannung von 1 V ausgesetzt ist. Ein Elektron auf unserer Steckdose besitzt so die Energie von 230 eV. In einem Kupfer-Leitungsstück befinden sich allerdings je Kubikmillimeter $8,5 \cdot 10^{19}$ Elektronen. Physiker benutzen die Energie-Einheit eV, da sie einzelne Elektronen auf Elementarteilchen wie das oben genannte Proton-Neutron-Paar schießen, um eine Spaltung in entsprechenden elektrischen Feldern der Spannung in V zu erzielen).

Die grüne Lichtlinie liegt energetisch in der Mitte des sichtbaren Lichtes. Sie besteht aus einzelnen Photonen der Energie 2,29 eV. Ein solches Photon reicht also nicht aus, um beispielsweise das Elektron von seinem Wasserstoffatom zu befreien, das heißt das Atom zu ionisieren. Das Licht ist so keine ionisierende Strahlung, es zerstört keine Atome oder Moleküle. Der Abschn. 7 Elektromog berichtet mehr dazu. Zum Vergleich: Der durchschnittliche Jogger verbraucht auf einer 10 km langen Distanz etwa 500 kcal = 0,58 kWh = $1,3 \cdot 10^{22}$ eV.

Die Elektronen umkreisen im Atom die Protonen ähnlich wie die Planeten die Sonne auf Bahnen, die allerdings grob einen um den Faktor ein Milliardstel kleineren Durchmesser besitzen. Sehr interessant und unerwartet ist: Die negativ geladenen Elektronen fallen nicht auf die positiven Protonen des Atomkerns, wie Meteoren auf die Erde. Nein, die Elektronen bleiben auf stabilen Bahnen (Abb. 5.2). Diese sogenannten erlaubten Elektronenbahnen wurden im vergangenen Jahrhundert erkannt und durch die Quantenmechanik beschrieben. Sie entsprechen den diskreten gesetzmäßigen optischen Linienspektren der Atome, die bereits um 1900 gemessen wurden. Die Gesetzmäßigkeit hatte der Basler Mathematiklehrer Johann Balmer (1825–1898) für die Wasserstofflinien bereits 1885 aufgestellt. Die ausgestrahlten Lichtlinien (Farben) und deren Energien entsprechen den Elektronenübergängen zwischen den verschiedenen erlaubten Elektronenbahnen um den Atomkern. Abb. 5.2 zeigt Elektronenbahnen und einen strahlenden Übergang. Die Energien der Farben und somit deren kleinste Lichtteilchen, die Photonen, entsprechen den

Energieunterschieden zwischen den gewechselten Bahnen. Die roten Photonen bilden den energetisch unteren Rand des Lichtes, die violetten den oberen. Die Energie eines Photons ist direkt proportional seiner Frequenz ν . Der Proportionalitätsfaktor ist das Plancksche Wirkungsquantum h . Für das zuvor genannte grüne Photon folgt so eine Energie von $h \cdot \nu = 2,29 \text{ eV}$. Die Wellenlänge λ einer Strahlung ist gegeben durch die Lichtgeschwindigkeit c geteilt durch ihre Frequenz ν : $\lambda = c/\nu$.

Elektromagnetische Strahlung, die energetisch unter dem sichtbaren Rot liegt, ist auch bekannt als Wärme oder Infrarotstrahlung. Noch ärmer an Energie und so deren Frequenzen sind die Quanten unserer Radio- und TV-Wellen bis schließlich zu den niederfrequenten 50 Hertz unserer Stromversorgung. Die elektromagnetischen Wellen werden durch ihre Frequenz eindeutig beschrieben. Sie entstehen beispielsweise durch die Oszillation eines elektrischen Dipols entsprechend der Skizze in Abb. 5.5. Die sichtbaren Lichtwellen umfassen etwa eine Frequenz Oktave (400 THz–800 THz; 1 **TeraHertz** entspricht 10^{12} Hz). Bei höheren Frequenzen werden die elektromagnetischen Wellen Ultraviolett, Röntgen (X-ray) und schließlich Gammastrahlen genannt.

Ein paar Bemerkungen zur Gravitation. Die Planeten würden geradeaus fliegen, hielten Fliehkraft auf Grund ihrer kreisförmigen oder elliptischen Bewegung und ihre Massenanziehung zur Sonne sie nicht auf ihren Bahnen. Die Planeten würden also ohne die Anziehungskraft der Sonne geradeaus weiterfliegen. Das Phänomen der Fliehkraft ermöglichte Kindern auf dem Bauernhof ehemals ein lustiges

Spiel: Sie ließen die nach unten offene volle Milchkanne mit der Hand vertikal kreisen, ohne dass Milch verloren ging.

Ein aktuelles wichtiges technisches Beispiel für das Wechselspiel von Fliehkraft und Erdanziehung sind die geostationären TV-Satelliten. Wir empfangen deren TV-Signale aus gleichbleibender Richtung mit der sogenannten Schüssel, das heißt mit parabelförmigen Antennen. Die geostationären Satelliten haben dieselbe Rotationsgeschwindigkeit wie die Erde und stehen konstant am selben Ort über der Erde. Das Gleichgewicht von Zentrifugal- und Anziehungskraft wird in einer Höhe von 35.786 km über der Erdoberfläche erreicht.

Im Gegensatz zu den Planeten, Satelliten und Kometen, die bei Bewegungsenergie-Verlust und damit geringerer Fliehkraft auf die Sonne oder die Erde stürzen, sind die Elektronenbahnen streng in Energie-Stufen quantisiert. Die Elektronen sind auf erlaubte Bahnen beschränkt. Dies ist ungewohnt nach klassischer Physik: Sie können ihre energetisch niedrigste Bahn nicht unterschreiten und somit nicht auf die positiv geladenen Protonen im Atomkern stürzen. Dieser Wert wird auch Nullpunktsenergie genannt (in Abb. 5.2 entspricht die Bahn 1 der Nullpunktsenergie). Diese Nullpunktsenergie ist kein klassischer, sondern ein quantenmechanischer Effekt der Physik. Sie folgt aus Heisenbergs Unschärfebeziehung. Nach dieser Relation gilt für ein Teilchen an einem genau bestimmten Ort (hier ist dies der Ort der Umlaufbahn), dass sein Impuls und damit seine Energie größer als Null sein müssen. Allgemein kann nach dieser fundamentalen Beziehung der Quantenmechanik nur der Ort oder der Impuls eines Teilchens genau bestimmt

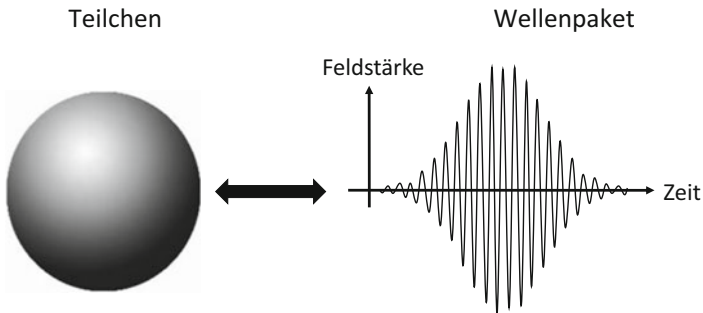


Abb. 5.4 Skizze zum Welle-Teilchen-Dualismus. Dem kugelförmigen Teilchen entspricht ein elektromagnetisches oder ein Schrödinger Wellenpaket

werden. Das Produkt der beiden muss mindestens so groß wie die Planck-Konstante sein. Diese Unschärfebeziehung gilt auch für das Produkt der zwei Größen Energie und Zeit, auch nur eine der beiden kann genau gemessen werden.

Die Elektronen und andere physikalische Teilchen treten dualistisch auf: Je nach dem Messprozess verhalten sie sich teilchenförmig oder wie ein Wellenpaket (Abb. 5.4). In der Zeichnung ist zu erkennen, dass zu Anfang und am Ende des Paketes die Schwingungen an- und abschwellen.

Übergänge zwischen unterschiedlichen Elektronenbahnen werden bei der elektromagnetischen Wechselwirkung durch die Emission oder Absorption von Photonen begleitet. Unser Licht ist ein kleiner Frequenzbereich des Spektrums der elektromagnetischen Wellen. Die Energie (und damit die Frequenz) der Lichtquanten entspricht den Energieunterschieden des Elektronenübergangs zwischen zwei oder mehreren Bahnen. Im sichtbaren Frequenzbereich der Photonen besitzen diese blauen Lichtquanten etwa

die doppelte Energie und damit doppelte Frequenz der roten Linien. Die Frequenzen und damit die Photonenenergien der Mikrowellen der Haushaltsöfen und des W-LANs, der Radiowellen und der Handywellen liegen sehr viele Größenordnungen unterhalb denen des Lichtes.

Eine Anekdote aus der frühen Zeit der Elektrizität zeigt, wie verkannt die potenziellen Auswirkungen dieser Kraft einst waren: Um 1850 fragte der englische Premierminister William E. Gladstone, zeitweise auch Schatzkanzler, den schon berühmten Naturforscher Michael Faraday (1791–1867) nach einem praktischen Wert der von ihm erforschten Elektrizität. Faraday soll geantwortet haben, Gladstone werde für diese Elektrizität wohl bald Steuern eintreiben können. Denn gewiss werde es demnächst zahlreiche elektrische Maschinen geben.

Wie bereits erwähnt, werden magnetische Felder durch bewegte elektrische Ladungen verursacht. So bewirken flüssige Metallströme, die im Erdkern kreisen, das relativ schwache magnetische Feld der Erde. In der Technik werden magnetische Felder durch elektrische Ströme meist in Spulenanordnungen oder in Permanentmagneten erzeugt. In Letzteren bewegen sich die magnetischen Dipole spezieller Atome als ein Kollektiv gleicher Ausrichtung am festen Platz im Magneten. Das Erdfeld ist mit etwa $48 \mu\text{T}$ recht schwach in unseren Breiten. Das bereits erwähnte MEG misst das extrem schwache Magnetfeld der Hirnströme in den Nervenverbindungen. Die Felder dieser Hirnströme sind etwa um 100 Millionen geringer als das bereits schwache Erdfeld. Der große Vorteil des MEG-Verfahrens liegt in

seiner deutlich besseren Orts- und Zeitauflösung. Die Hirnaktivitäten sind mit oszillierenden Strömen verbunden, sie liegen im Frequenzbereich zwischen 0,1 und 100 Hz. So verursacht eine geistige Konzentration höhere Frequenzen als Schlafphasen. Die ersten elektrischen Hirnstrom-Oszillationen wurden bereits 1924 von dem Neurologen und Psychiater Hans Berger (1873–1941) entdeckt. Berger beobachtete bereits damals eine unterschiedliche Frequenz der Hirnströme bei geschlossenen gegenüber geöffneten Augen eines Menschen.

Bei einem sogenannten elektrischen Dipol sind die positive und die negative elektrische Ladung voneinander räumlich getrennt. Ein einfacher elektrischer Dipol ist in Abb. 5.5 skizziert. Wenn die Ladungen hin- und herschwingen, entstehen elektromagnetische Wellen, die sich im Vakuum mit

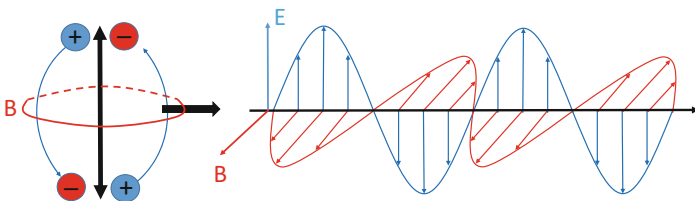


Abb. 5.5 Schema eines elektrischen Dipols aus zwei unterschiedlichen Ladungen. Wenn die Ladungen oszillieren und von der linksseitig gezeichneten in die rechtsseitige Position auf dem Metallstab hin- und herwechseln, dann kehren sich die Feldlinien um und werden in den Raum abgestrahlt. So entsteht die auf der rechten Bildseite gezeichnete, sich ausbreitende elektromagnetische Welle. Elektrische (E) und magnetische (B) Feldkomponenten stehen senkrecht zueinander

der Lichtgeschwindigkeit von 299 700 km/s ausbreiten. Eine solche Anordnung aus einem Metallstab ist eine Antenne für die Sendung und für den Empfang elektromagnetischer Wellen wie zum Beispiel für den Radioempfang. Auf den Autodächern sieht man heute meist dielektrische Antennen, die im Vergleich zu den früheren Metallstäben deutlich verkürzt sind.

Die Elektronenbahnen um den Atomkern entsprechen mit ihrem Bahndrehimpuls einem elektrischen Strom und besitzen so ein Magnetfeld. Daneben haben die Elektronen noch eine Eigendrehung. Diese wird Spin genannt. Auch der Spin (die rotierende Ladung) ist mit einem magnetischen Feld gekoppelt. Dieser Spin ist die Ursache für den permanenten Magnetismus spezieller Atome.

Was für die Elektronen gilt, das gilt analog auch für die gleichfalls elektrisch geladenen Protonen. Der magnetische Spin des Protons im Wasserstoffkern erlaubt uns die Ortung von Wasserstoff und damit eine Blutanhäufung in unserem Körper im MRT. Ein anomaler Wasserstoffgehalt im Gewebe kann zum Beispiel bei Tumoren oder Blutgerinnseln auftreten. So werden Tumore oder Thromben erkennbar.

Was ist die Basis dieses großartigen analytischen Gerätes in der Medizin und Forschung? In einem Magnetfeld kann dieser Spin des Protons bezogen auf das äußere Magnetfeld und so im MRT-Gerät rechts oder links herum eine Präzessionsbewegung ausführen (Abb. 5.6). Die beiden Drehrichtungen des magnetischen Proton-Spins unterscheiden sich energetisch zu der Richtung des angelegten Magnetfeldes. Das Proton mit dem linksdrehenden Spin besitzt in Bezug auf das angelegte äußere Feld eine kleinere Energie als

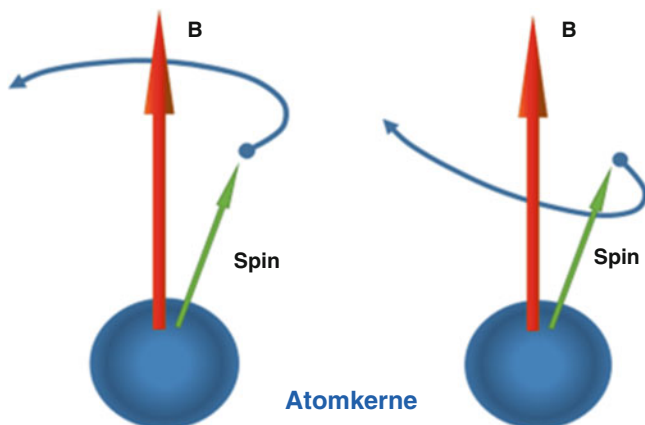


Abb. 5.6 Veranschaulichung der Präzession eines Atomkern-Spins (grün, Drehachse des Protons) um die Richtung eines äußeren Magnetfeldes B (rot) (wie zum Beispiel die kegelförmige Umdrehung der Drehachse eines Kreisel). Der Protonen-Spin ist analog zum Elektronen-Spin. Ist der Spin rechtsdrehend oder linksdrehend so besitzen diese zwei Drehrichtungen in einem Magnetfeld unterschiedliche Energiewerte, deren Energieunterschied proportional mit dem äußeren Magnetfeld B anwächst. Dieses Verhalten von Protonen wird im MRT detektiert. Energetisch entsprechende Photonen werden absorbiert und emittiert und verursachen einen sogenannten Spin-Flip vom unteren in den höheren Energiezustand beziehungsweise umgekehrt. Dieser Vorgang findet örtlich proportional zu der Wasserstoffanzahl statt und wird in einem MRT gemessen. Die zweidimensional schichtförmig aufgenommenen Messwerte werden auf einem Rechner zu einem dreidimensionalen Gebilde zusammengefügt und dargestellt

der rechtsdrehende Spin. Die Drehrichtungen der geladenen Protonenkugel werden Spin-up und Spin-down genannt. Die Energiedifferenz zwischen den zwei unterschiedlich drehenden Spins (Präzession) des Protons ist

proportional zum angelegten äußeren Magnetfeld. Die Aufspaltung führt so zu Energiedifferenzen, die mit entsprechenden Photonen, das heißt mit entsprechenden Hochfrequenzstrahlen örtlich abgefragt und so dem Proton (Wasserstoffatom) räumlich zugeordnet werden können. Die energetisch entsprechenden Photonen verursachen dann einen Spin-Flip, wie die Drehrichtungsänderung des Spins durch die Absorption eines energetisch entsprechenden Photons genannt wird. Je nach der Größe der magnetischen Feldstärke der MRT-Anlage kann die unterschiedliche Protonenverteilung in der untersuchten Materie auf weniger als 1 mm genau bestimmt werden.

Die elektrische Wechselwirkung spielt auch eine Rolle bei den sogenannten van-der-Waals-Kräften zwischen an sich elektrisch neutralen Molekülen und an neutralen Materialien wie an einem Mauerwerk oder Fensterscheiben. Deren neutrale Teilchen oder Partikel lassen sich durch ein äußeres Feld polarisieren. Ein einfacher Dipol ist in Abb. 5.5 skizziert. Wenn getrennte Ladungen oszillieren, wird aus dem Dipol ein Sender für elektromagnetische Wellen. Umgekehrt regt eine elektrische Welle einen Metallstab zum Empfänger von zum Beispiel Radiowellen an. Die Antenne hat im Resonanzfall die Länge der halben Wellenlänge der Strahlung.

Die Eigenschaft der van-der-Waals-Kräfte macht das Wasser zu einem Lösungsmittel und ermöglicht dem Gecko (Klasse der Reptilien) horizontales Deckenlaufen. Der Gecko besitzt an seinen Füßen unzählige nur Mikrometer dünne Härchen, über die van-der-Waals-Kräfte mit den Wänden ausgetauscht werden und der Halt ermöglicht wird.

Literatur

Hehl F (2002) Joyce: quarks' origin unrecovered. Phys World 16

6

Die elektromagnetische Wechselwirkung und ihre Folgen: Ionen, Atome, Moleküle und die chemischen Reaktionen

Neutrale Atome und auch Moleküle können miteinander reagieren und größere oder kleinere Moleküle bilden. Die Baustoffe eines Menschen oder Tieres und auch der Pflanzen sind ausschließlich Atome, Ionen und Moleküle. Die Moleküle sind über die elektromagnetische Wechselwirkung aus einzelnen Atomen zusammengesetzt, wie zum Beispiel das Wassermolekül (Abb. 4.1). Ein Atom ist charakterisiert durch seinen positiv geladenen Kern und der entsprechenden Zahl der ihn umgebenden negativ geladenen Elektronen. So wird beispielsweise der Wasserstoff von einem Elektron, der Kohlenstoff von 6, das Eisen von 26 und das Gold von 79 Elektronen umkreist. Auch die Elektronen verhalten sich wie alle elementaren Teilchen nicht nur als punktförmige Objekte, sie können auch als ein wolkenartig verschmiertes Wellenpaket aufgefasst

werden, wie es in dem in Abb. 5.4 Welle-Teilchen-Dualismus dargestellt ist. Die welligen Strukturen der Wellenpakete entsprechen auch der räumlich verschmierten elektrischen Ladungsverteilung. Die Anzahl der Elektronen je Atom wird durch die Zahl der positiv geladenen Protonen des Atom-Kerns bestimmt. Die positiven Kernladungen werden so durch die entsprechende Anzahl von negativen Elektronen neutralisiert. Durch eine sogenannte chemische Bindung können sich mehrere Atome zu Molekülen vereinigen. Dies geschieht durch eine Überlappung der Elektronenwolken benachbarter Atome oder durch die gegenseitige Anziehung ionisierter, unterschiedlich geladener Atome. Dabei wird die Gesamtzahl der positiven Kerne wiederum durch die entsprechende Anzahl von Elektronen neutralisiert. Die chemischen Eigenschaften der Moleküle sind verschieden von denen der einzelnen Atome.

Der Molekülbau findet über die Elektronen und Protonen der einzelnen Atome statt, also über die elektromagnetische Wechselwirkung. Diese so entstandenen Moleküle haben jetzt völlig unterschiedliche chemische Eigenschaften. Sie besitzen und verursachen entsprechend andere Eigenschaften und Wirkungen. Aus dem Metall Natrium und dem ätzenden Chlor bildet sich zum Beispiel unser Kochsalzmolekül. Oder aus zwei Wasserstoffatomen und einem aggressiven Sauerstoffatom entsteht das Wassermolekül.

Die räumliche Größe eines Genoms als Summe aller Erbanlagen liegt im Sub-Mikrometer-Größenbereich, ist also kleiner als 0,001 Millimeter. In jeder Zelle eines Lebewesens mit einem Durchmesser von der Größenordnung 0,03 Millimeter befindet sich ein vollständiger DNA-Strang

von rund zwei Metern Länge. Elektromagnetische Kräfte bewerkstelligen diese Strukturen sowie die daraus folgenden Baupläne weiterer Zellen und schließlich ganzer Organe und Körperteile.

Stimmt die Zahl der negativ geladenen Elektronen nicht mit der Zahl der positiv geladenen Protonen überein, liegen atomare oder molekulare, elektrisch geladene Ionen vor. Sie werden im Fall positiver oder negativer Ladung auch Kationen beziehungsweise Anionen genannt.

Zwischen Atomen und Molekülen und auch zwischen verschiedenen Molekülen finden also chemische Reaktionen statt. Zwei einfache Beispiele: Sauerstoff der Luft lässt Eisen rosten und Essigsäure löst Kalkablagerungen in Kaffeemaschinen.

7

Elektrosmog: Der Einfluss elektromagnetischer Strahlung auf biologische Systeme

Je nach Frequenz, und damit je nach Photonenenergie der elektromagnetischen Strahlung spricht man von ionisierender oder nichtionisierender Strahlung. Die Grenze zwischen den beiden Frequenz-Bereichen bildet ungefähr das sichtbare Licht. Die ionisierende elektromagnetische Strahlung beginnt mit dem violetten Licht. Hier kann die Energie der Lichtquanten bereits ausreichen, Atome und Moleküle zu ionisieren. Dabei können gesunde Zellen zerstört werden und bösartige Zellen entstehen. Strahlen höherer Frequenzen als die des Lichtes werden Röntgenstrahlen genannt, die mit noch höheren Frequenzen heißen Gammastrahlen. Die Grenzenergie zwischen Röntgen- und Gammastrahlen liegt bei einer Photonenenergie von 200 keV. Ionisierende Strahlung kann insbesondere bei starker Bestrahlung Krebsgewebe verursachen. Die Photonen der sogenannten nicht-

ionisierenden Strahlung besitzen keine ausreichende Energie, um direkt ein Atom oder ein Molekül zu zerstören. Bei hohen Strahlungsintensitäten können diese Strahlen jedoch das Gewebe erwärmen. Diese Eigenschaft wird beispielsweise in den Mikrowellenherden zur Erwärmung von Speisen genutzt. Polare Moleküle wie das Wasser oder Ionen werden von den elektromagnetischen Wellen hin- und herbewegt und verursachen dabei Reibungswärme in ihrer Umgebung. Die Strahlenschutz-Institutionen haben deswegen international frequenzabhängige, obere Grenzwerte der Strahlenleistung zum Schutz der Bevölkerung vorgeschrieben. Diese Werte dürfen auch für Handy, W-LAN, Bluetooth und RADAR-Strahlen nicht überschritten werden.

Seit dem letzten Weltkrieg werden immer wieder der nicht-ionisierenden Strahlung gesundheitsgefährdende Wirkungen nachgesagt. Diese Wirkungen sollen auch bei geringen Strahlungsintensitäten unterhalb der empfohlenen Richtwerte auftreten. Die angeblichen Effekte auf Pflanzen, Tiere und Menschen hielten jedoch nie einer wissenschaftlichen Prüfung stand. Dabei werden in den Medien meist nur die schlechten und selten die guten nachfolgend korrigierten Nachrichten verbreitet (Nimtz 2001; https://www.youtube.com/watch?v=solFcn_oWr0). Die jüngste Untersuchung über den Einfluss von Handy-Strahlung auf Ratten und Mäuse des amerikanischen National Toxicology Programs, sie wurde finanziert mit 20 Millionen US-Dollar, soll das Wachstum von Tumoren an männlichen Tieren nachgewiesen haben. Vorläufige Daten wurden im Frühjahr 2016 veröffentlicht. Ein ausführlicher von Experten referierter Bericht wurde für 2017 angekündigt. Die vorab veröffentlichten Daten erscheinen statistisch und metho-

disch nicht vertrauenswürdig (https://www.youtube.com/watch?v=solFcn_oWt0).

Trotzdem haben verschiedene Medien bereits furchterweckend darüber berichtet (Welt (27.05.2016); Heise-online, KW21 (2016); Scientific American, May 27 (2016)).

Literatur

Nimtz G (2001) Handy, Mikrowelle, Alltagsstrom, Gefahr Elektrosmog. R. Pflaum Verlag, München

8

Die Chemie bildet die Struktur von Leben

8.1 Zur Entstehung eines Lebewesens

Die Basis der Chemie und somit aller ihrer Atombindungen zu Molekülen ist die elektromagnetische Wechselwirkung. Die Bausteine der Lebewesen sind die Zellen. Diese Zellen stellen ein strukturell abgrenzbares, eigenständiges und sich selbsterhaltendes System dar. Es ist in der Lage, Nährstoffe aufzunehmen und deren Energie durch Stoffwechselvorgänge für sich nutzbar zu machen. Die grundlegende Eigenschaft einer lebenden Zelle ist die Fähigkeit, sich zu teilen, wobei zwei neue Zellen entstehen. Jede Zelle enthält die Informationen für alle Funktionen beziehungsweise

Aktivitäten. Die Zellen besitzen so die grundlegenden Fähigkeiten, die als Merkmale des **Lebens** bezeichnet werden.

Nach der Vermutung von Darwin entstand die erste Zelle und damit das erste Leben in einem Teich. Heutige Vorstellungen nennen folgende Bedingungen zur Bildung einer Zelle: Der Teich besaß vermutlich ein an Sauerstoff armes, warmes Wasser, das mit Kohlenstoffatomen und verschiedenen Metallionen versetzt war. Die mögliche Entstehungsumwelt der ersten Zellen wird in dem folgenden Artikel näher untersucht: (Mulkidjanian et al. [2012](#)).

Das John-Craig-Venters-Laboratorium in Rockville, Maryland (USA) wurde berühmt, als es dort 2007 erstmals gelang, das menschliche Genom vollständig zu sequenzieren. Nun gelang es den Forschern in Rockville, das Genom eines Bakteriums künstlich zu ändern, also in die Erbmasse eines primitiven Lebens teilweise einzugreifen. Die genetisch modifizierte Zelle pflanzte sich entsprechend dem eingesetzten Genom fort (Hutchinson et al. [2016](#)).

8.2 Das Genom

Aufbau und Funktionsweise des Genoms sind kompliziert und weitgehend noch unverstanden. Gesichert ist allerdings, dass alle genetischen Prozesse über die Kräfte des elektrischen Feldes ablaufen, also sowohl die Molekülbildung, als auch der Informationsaustausch. Die britische Wissenschaftsjournalistin Kat Arney erwähnte unlängst, dass der renommierte Genetiker Mark Ptashne (*1940) vom Memorial Sloan-Kettering Cancer Center in New York City zu wissenschaftlichen Veröffentlichungen

im Bereich der Genetik sagen würde: „Wissenschaftler benutzen in der Genetik oft das Wort komplex, wenn sie nicht verstehen, wie ein Vorgang abläuft. Es sei eine Standardphrase. Er glaube, dass die Autoren in Wirklichkeit damit meinen, die Vorgänge seien noch voller unverstandener Geheimnisse.“ Laut Ptashne könne das ein Forscher so nicht schreiben, das klänge unwissenschaftlich (Arney 2016).

Der deutsche Botaniker Hans Winkler (1877–1945) prägte um 1920 die Kennzeichnung für diesen fundamentalen Baustein Genom. Als Genom wird demnach die vererbare Information einer Zelle und eines Virus genannt. Die einzelnen Erbinformationsträger des Genoms sind die Desoxyribonukleinsäure (DNA), die Ribonukleinsäure (RNA) und die Chromosomen.

Das gesamte Erbgut, also das Genom, ist unterteilt in einzelne Bereiche, in die Gene. Diese bestehen aus einer Anzahl aneinander geketteter Basenpaare, wobei die spezielle Information aus den jeweiligen Basenpaaren und deren Reihenfolge besteht. Die Basenpaare werden aus den vier Basen (Adenin, Cytosin, Guanin, Thymin) gebildet, die in der Abb. 4.2 dargestellt sind. Der Aufbau eines Genoms ist in den Abb. 4.2 und 4.3 skizziert.

8.3 Der menschliche Körper

Unser Körper ist aus Ionen, Atomen, Molekülen, Zellen und Gewebeflüssigkeiten wie das Blut aufgebaut. Diese Bestandteile bilden die verschiedenen Gewebe, Knochen und Organe. Alle Baupläne, wie beispielsweise die Form

der Nase, die Farbe der Augen und der Haare, die Fingerlängen und die Gestaltung der einzelnen Organe sind bereits im Genom festgelegt. Alle diese Aufgaben werden über die elektromagnetische Wechselwirkung der Bausteine ausgeführt. Zellen ebenso wie die ganzen Organe werden durch die Elektrizität aufgebaut und zusammengehalten. Eine Molekülbildung erfolgt in endothermischen oder exothermischen Prozessen. Im ersten Prozess wird den Atomen zur Molekülbildung Energie zugeführt, im anderen Fall wird bei der Bildung Energie freigesetzt.

Die Photosynthese der Pflanzen ist beispielsweise ein endothermischer Vorgang. Hier findet die Energiezufuhr durch Lichtabsorption, also durch elektromagnetische Energie statt. Farbstoffe einer Pflanze absorbieren Lichtquanten und benutzen deren elektromagnetische Energie zum Aufbau energiereicherer Moleküle aus energieärmeren Molekülen. Ein solcher Farbstoff ist beispielsweise Chlorophyll. Er reflektiert das Grün des Lichtspektrums, aber er absorbiert die roten und die blauen Lichtanteile. Das absorbierte Licht erlaubt nun durch chemische Reaktionen energiereichere Moleküle. So entstehen beispielsweise aus Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff durch Lichtenergie Formaldehyd und andere energiereiche organische Verbindungen in Pflanzen.

Ein Beispiel für eine exothermische Energieabgabe ist die Entstehung von Kohlenstoffdioxid (CO_2). Wenn Kohle zusammen mit dem Sauerstoff der Luft erhitzt wird, bilden sich Kohlenstoffatome, die mit dem Sauerstoff der Luft das Oxid bilden. Bei dieser Molekülbildung wird Energie freigesetzt. Kohle und selbst Erdöl bestehen aus großen Molekülen, die selbst noch bei Zimmertemperatur gegenüber

dem Sauerstoff stabil sind. Die sehr großen Moleküle der Stein- und der Braunkohle bestehen überwiegend aus Kohlenstoffatomen, die mit Atomen wie Stickstoff, Schwefel, Wasserstoff und etlichen anderen verbunden sind. Sie entstanden meist vor etwa 100 Millionen beziehungsweise 5 Millionen Jahren. Diese so gebildeten Riesenmoleküle werden erst durch die Erwärmung aufgebrochen und verbinden sich dann energieabgebend zu Kohlenstoffdioxid, das heute so sehr verdammte CO_2 . Die Kohle hat auch Wasser angelagert, das – wie auch beim Holzverbrennen – zuerst verdampft wird. Andere chemisch ähnliche Produkte sind das Erdöl und das Erdgas. Dies alles sind Beispiele nicht lebendiger Molekülaggregate, sie reproduzieren sich nicht. Lebende Molekülaggregate, also Zellen, pflanzen sich fort durch Zellteilung. Ihre notwendige Energiezufuhr erfolgt meist durch das Molekül ATP (Adenosintriphosphat).

8.4 Membranen hüllen die Zellen ein

So einfach ist die Biologie nicht aufgebaut, wie es damals Galvani aus seinen Beobachtungen schloss: Er glaubte, dass Kondensatoren im Hirn sich über elektrische Leitungen, über die Nerven entladen und dann an den Kondensatoren der entsprechenden Muskeln wirken. Die biologischen Zellen sind von einer Membran umgeben. Die Physikochemiker nennen diese Membranen „lyotrope“ Flüssigkristalle. Diese Kristalle besitzen zwar eine geordnete, aber keine starre Struktur wie ein Festkörper. Die einzelnen Bestandteile sind etwas beweglich, sie sitzen nicht fest an einem

Platz wie die Atome oder Moleküle in einem Festkörperkristall, wie zum Beispiel die Kohlenstoffatome im Diamanten oder die Natriumchlorid-Moleküle in einem Kochsalzkristall. Lyotrop bedeutet gegenüber den üblichen thermotropen Flüssigkristallen, wie sie bei einer Anzeigeeinheit eines Messgerätes oder einem Bildschirm benutzt werden, dass es sich um Strukturen in einer Lösung handelt. Die biologische Zellmembran tritt in einem Lösungsmittel auf, sie ist vom Gewebewasser umgeben. Interessant ist, dass die geometrische Ordnung der Membran durch den Wasserfilm an ihrer Oberfläche verursacht wird. Diese sogenannten Wasserstoffbrücken-Bindungen bestimmen an den Köpfen der langgestreckten Lipid-Moleküle die Membranstruktur (Pearson und Pasher 1979). Die Struktur von Wasserstoffbrücken-Bindungen zwischen Wassermolekülen zeigt Abb. 8.1. Im flüssigen Wasser nahe der Zimmertemperatur sind im Mittel etwa 4,4 Wassermoleküle derartig miteinander verknüpft. Diese sind also bereits ähnlich den Eiskristallen miteinander verbunden.

Im Fall der biologischen Membran sind also die Wasserstoffbrücken mit den Lipidköpfen an der Membranoberfläche verbunden. Sie verursachen so die entsprechende Ordnung der Phospholipide an der Membranoberfläche. Etwa drei Wasserschichten sind derart strukturell mit der Membranoberfläche verbunden (Franks 1983; Nimtz et al. 1985). Beim Verdorren, Verbrennen und Gefrieren von biologischem Gewebe zerfallen diese Membranstrukturen der Lebewesen und Pflanzen, da das die flüssigkristalline Ordnung bildende Wasser die Membranoberfläche verlässt.

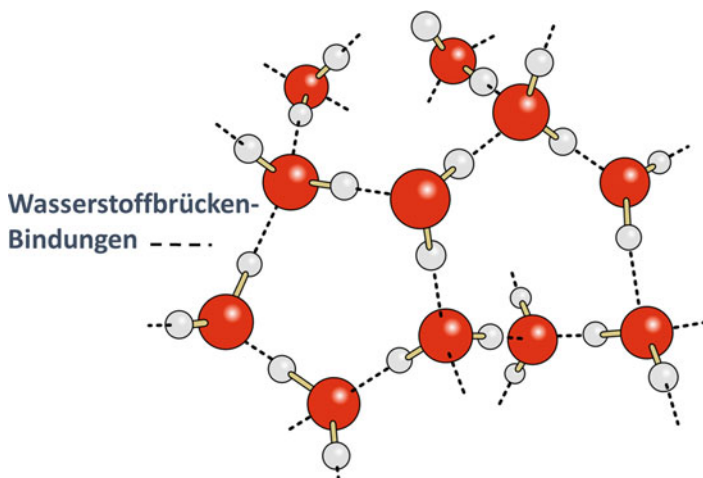


Abb. 8.1 Illustration der Wasserstoffbrücken-Bindungen am Beispiel von 11 Wassermolekülen. Gestrichelt sind die Wasserstoffbrücken angezeigt. Die Wasserstoffatome gehen also noch eine zweite schwächere Bindung zu einem benachbarten Sauerstoffatom ein. Anders ausgedrückt: Das Elektron des Wasserstoffs verteilt seine Aufenthaltswahrscheinlichkeit ungleich groß auf zwei Sauerstoffatome. Die Wasserstoffbrücken-Bindungsenergie beträgt etwa 0,4 meV. Die Bindungsenergie des Wassermoleküls ist dagegen 4 eV stark (Franks 1983)

Der Baustein der menschlichen Membranen ist das in Abb. 3.2 dargestellte Phospholipid. Einen Schnitt durch eine Membran mit zwei verschiedenen Potenzialen durch Ionen-Verschiebung zeigt Abb. 3.3. In der Membran befinden sich richtungsabhängige Kanäle für den Durchlass spezieller Ionen und Moleküle in oder aus der Zelle heraus. Ein populäres Beispiel ist der Stresshormon-Adrenalin-Kanal,

der durch den sogenannten Beta-Blocker gesperrt werden kann und so den Zelleninhalt vor Adrenalinmolekülen schützt. Den Aufbau der Ruhe- und Aktionspotenziale (Abb. 3.4) steuern entsprechend Ionenkanäle. Diese doppelschichtige Membran ist nur etwas weniger als 10 nm ($\leq 0,01 \mu\text{m}$) stark. Auf ihren beiden Seiten sitzen unterschiedlich elektrisch geladene Ionen und erzeugen so eine elektrische Spannung, das Ruhe- und das Aktionspotenzial. Diese Spannung kann, wie es Galvani damals schon vermutete, zum Beispiel vom Hirn aus über Nervenleitungen zu einem Muskel laufen oder auch die elektrischen Signale der Rezeptoren in den Augen und Ohren zur Verarbeitung ans Hirn leiten. Der eigentliche elektrische Leiter ist die Membran der miteinander verbundenen Zellen. Das laufende Aktionspotenzial löst dann beispielsweise eine Muskeltätigkeit aus oder bildet im Hirn ein Bild oder Töne. Das Aktionspotenzial beträgt etwa 0,1 V und erzeugt so eine gewaltige elektrische Feldstärke an der Nanometer starken Membran von über 100 kV/cm. Die Luft besitzt je nach den aktuellen atmosphärischen Bedingungen eine Durchschlagsfestigkeit von nur etwa 30 kV/cm (Hanser 1982).

8.5 Nerven können mehr als wehtun

Galvani sprach bereits von Nerven, über die vom Kopf, als Befehlssender, zu dem entsprechenden Muskel als Empfänger elektrische Signale geleitet würden. Eine Nervenzelle, auch Neuron genannt, zeigt die Abb. 8.2. Sie empfängt und leitet über ihr Axon die Signale an die nächsten Synapsen weiter. Axone können Längen von der Größe Millimeter bis

Meter besitzen. Die Nervenzellen sind miteinander über Synapsen verbunden. Das Wort Synapse kennzeichnet den Ort einer neuronalen Verbindung zwischen einer **Nervenzelle** und einer anderen benachbarten Zelle. Synapsen dienen der **Übertragung** einer **Erregung** von Nervenzelle zu Nervenzelle. Diese können andere Nervenzellen, Sinneszellen, Muskelzellen, oder Drüsenzellen sein. Mit Sinneszellen werden meist Zellen bezeichnet, die mechanische, elektromagnetische oder chemische Reize in elektrische, neuronale Signale umsetzen, wie beispielsweise in der Hörschnecke (Cochlea) der Schall in elektrische Signale umgesetzt wird. Erst diese Signale werden dann ans Hirn zur Interpretation weitergeleitet.

Die Anzahl der Neuronen beträgt im Gehirn eines Erwachsenen knapp unter 100 Milliarden. Ein einzelnes Neuron kann bis zu 200.000 Synapsen bilden. Synapsen berühren sich nicht zur Signalweiterleitung, sie sind jedoch nur 0,02 bis 0,04 Mikrometer voneinander getrennt. Die Abb. 3.3 illustriert die Ladungsverteilung für das Ruhepotenzial und für das Aktionspotenzial auf einem Axon.

Die Evolution hat das Aktionspotenzial als Signal nicht nur für den Menschen entwickelt. Es tritt in nahezu gleicher Quantität bei der Mimose auf. Wird diese Pflanze an einem Blatt berührt, so wird daraufhin ihren benachbarten Blättern signalisiert, sich gleichfalls zu falten und zu erschlaffen.

Dramatischeres bewirkt das Signalisieren mit einem Aktionspotenzial bei der fleischfressenden Pflanze Venus. Diese Pflanze besitzt im Ruhezustand konvex gespannte Blattpaare (Abb. 8.3). Berührt ein Insekt das Blatt an einem der Fühler auf den Blattinnenseiten, so wird ein elektrisches Aktionspotenzial ausgelöst und gespeichert. Stößt das Insekt

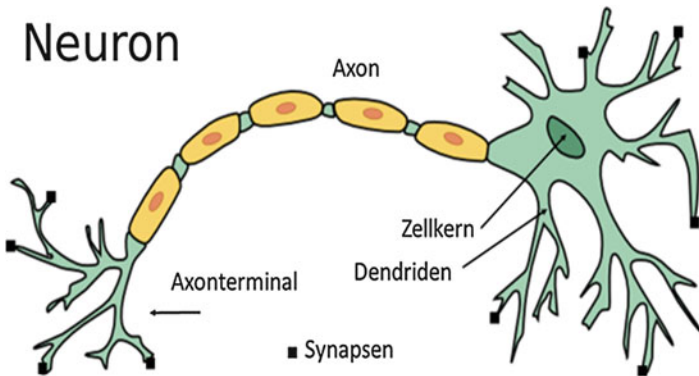


Abb. 8.2 Die Synapsen (die Signalübertragungsstellen). (http://www.wpclipart.com/medical/anatomy/cells/neuron/neuron_large.png)

innerhalb der nächsten etwa 60 Sekunden abermals an einen Fühler des geöffneten Blattes, so wird ein zweites Aktionspotenzial ausgelöst: Das gespannte Doppelblatt springt innerhalb von etwa einer Sekunde in die entspannte, konkave, fast geschlossene Lage. Der zweite Kontakt soll sicherstellen, dass es sich um ein am Blatt interessiertes Insekt und nicht um ein Staubkorn handelt. Die gefangene Beute berührt danach noch wiederholt die Fühler. Durch die nachfolgenden Kontakte wird das gefangene Objekt auf seinen Nährwert für die Pflanze analysiert, um schließlich entsprechend ökonomisch chemisch zerlegt zu werden (Böhm et al. 2016). Den Zustand der gefangenen Beute zeigt die Abb. 8.3 links unten. Nun verdaut die Venus das gefangene Objekt mit entsprechenden Säften. Sie öffnet sich schließlich mit den unverdaulichen Resten, wie es die

Abb. 8.3 rechts unten zeigt. Die Pflanze besitzt also ein Zeitgedächtnis für die beiden ersten Reize. Diese Eigenschaft ist nötig, um eventuelle Staubkörner oder andere nur einmalig anstoßende Objekte auszuschließen. Diese würden erfahrungsgemäß keine Nahrung liefern. Die Autoren Böhm et al. weisen darauf hin, dass ein Kleinkind im Alter zwischen 15 und 18 Monaten das Zählen beginnt. Die Venusfliegenfalle kann bereits nach der Blattöffnung die Kontakte an ihren Fühlern zählen.

Bei dieser Pflanze, vermutlich überhaupt bei einer Pflanze, wurde 1873 zum ersten Mal von dem englischen Physiologie-Professor am University College London John Scott Burden-Sanderson (1828–1905) ein elektrisches Aktionspotenzial gemessen (Burden Anderson 1873). Abb. 8.4 zeigt ein solches Aktionspotenzial, das durch den Reiz einer mechanischen Berührung an einem Blattfühler ausgelöst wurde.

Theologen waren von der Entdeckung der Botaniker im 18. Jahrhundert nicht so begeistert wie Darwin. Sie zitierten aus der Bibel, dass die Pflanzen in der Schöpfung nur als Nahrung von Tier und Mensch geschaffen worden wären. Pflanzen gehörten nicht zur Klasse der Fleischfresser.

Überraschend ist die verblüffende Ähnlichkeit der pflanzlichen Aktionspotenziale mit den menschlichen. So sind auch die Genome der Pflanzen den menschlichen sehr ähnlich: Sie sind aus denselben Basenpaaren aufgebaut. Diese Ähnlichkeit gilt auch für Tiere. Ein bemerkenswertes Beispiel für sogar extern eingesetzte Aktionspotenziale bildet der Zitteraal. Er sendet starke Spannungsimpulse um die 600 V aus. Sie werden durch eine Reihenschaltung von etwa



C. Darwin:
Diese gewöhnliche
Venusfliegenfalle
Ist wegen ihrer Rapidität und
Kraft ihrer Bewegungen eine
der wunderbarsten in der
Welt.



Abb. 8.3 Oben mehrere geöffnete Exemplare von Venusfliegenfallen. Die Halblblätter sind konvex aufgespannt und mit jeweils ein paar Stacheln als Stoß-Sensoren bestückt. Bei einer zweiten Berührung eines Stachels innerhalb von etwa 60 Sekunden schnell das Blatt zusammen, wie es im Bild unten links zu sehen ist. Die Blatthälften sind nun konkav und geschlossen. Die Beute wird nun, bis auf unverdauliche Teile, aufgelöst von der Pflanze aufgenommen (Bild *rechts unten*) (Molis [2001](#); Nimtz [2016](#); Darwin [1875](#))

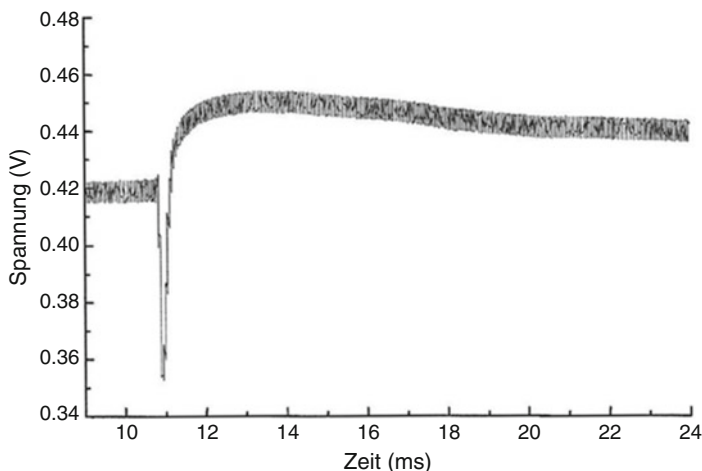


Abb. 8.4 Ein durch Berührung eines Blattstachels ausgelöstes Aktionspotential. Die Spannung ist hier gegenüber Abb. 3.1 umgepolt aufgenommen worden (Molis 2001)

6.000 mit je rund 100 mV geladenen Muskelzellen erzeugt und dauern fast zwei Millisekunden. Die Spannungsimpulse dienen dem bis zu zwei Meter langen Ungeheuer zur Betäubung von Nahrungstieren oder zur Abwehr von Feinden. In schwacher Stärke nutzt das Tier die Impulse auch als Echoorientierungshilfe im Wasser. Alexander von Humboldt hatte um 1800 in Venezuela mit diesen Tieren experimentiert und dabei etliche Wildpferde den Spannungsimpulsen geopfert. Die Versuchstiere fielen im Wasser durch die elektrischen Schläge der Fische in Ohnmacht und ertranken dann jämmerlich (von Humboldt 1807).

8.6 Hirnaktivität, Schaltzentrale unseres Seins

Trotz Jahrhunderte langer Forschung ist noch wenig über die Funktion des Gehirns und das dortige Speichern der Informationen bekannt. Es gibt allerdings eine Aufteilung, eine Art Atlas über die Hirnregionen und deren speziellen, aber gekoppelten Aufgaben entsprechend der Skizze in Abb. 8.5. Die Hirntätigkeit ist auf jeden Fall *sehr komplex*, würde Genetiker Ptashne sagen. Angeblich laufen alle Wahrnehmungen über das Großhirn ein und werden dann je nach Aufgabe an einen der anderen Hirnbereiche geleitet, wobei das Großhirn in verschiedene Lappenbereiche unterteilt wurde. Offenbar sind beide rechts- und linksseitige Okzipallappen (Hinterhauptlappen) für die Verarbeitungen der visuellen Signale verantwortlich.

Im menschlichen Hirn befinden sich fast 100 Milliarden Neuronen (Nervenzellen) und ein Vielfaches davon an Synapsen, über die die Neuronen miteinander kontaktieren. Die Neuronen sind im Hirn von einer größeren Anzahl nicht-neuronischen, sogenannten Glia-Zellen umgeben. Die Gesamtgröße eines Hirns sagt nichts über die Neuronenanzahl und die Intelligenz des Trägers aus. Bekanntlich haben Pferde größere Hirne als zum Beispiel die klügeren Rhesusaffen mit ihren kleineren Hirnen. Die menschliche Neuronenzahl ist die größte unter den Primaten und allen Lebewesen. Dabei bestimmt wie zuvor bereits erwähnt die Hirngröße nicht die Anzahl der Neuronen und die Intelligenz eines Lebewesens. Jedoch wächst die Intelligenz der

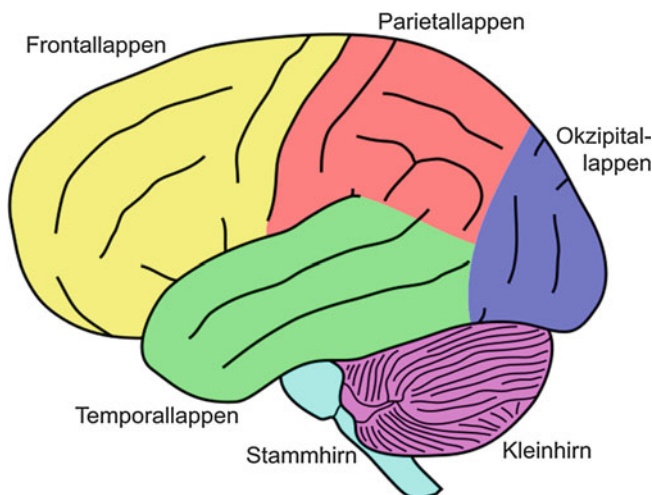


Abb. 8.5 Hirnschnitt mit einer groben Aufteilung der Hirnregionen (Wikipedia. Own work, copyleft: Multi-license with GFDL and Creative Commons CC-BY-SA-2.5 and older versions (2.0 and 1.0))

Lebewesen linear mit der Anzahl der Neuronen (Herculano-Houze [2009](#)).

Im Jahr 2015 publizierten die Neurowissenschaftlerin Emily Finn und Mitarbeiter, dass die Menschen individuelle aktive Spuren bei gleichen Gedankengängen im Hirn zeigen. Diese persönlichen, elektrisch mittelbar nachgewiesenen Aktions-Wege waren in den untersuchten Hirnen reproduzierbar und von denjenigen anderer Testpersonen unterscheidbar. Die Forscher nannten diese beobachteten Spuren der Messwerte deshalb auch den gedanklichen Fingerabdruck eines Menschen. Die individuellen elektrischen

Signalabläufe im Hirn wurden bei verschiedenen Denkaufgaben mit einem fMRI-Messgerät (Funktionelle Magnet-Resonanz-Bildgebung) aufgezeichnet. Diese Hirnströme bilden also individuelle räumliche Linien ähnlich einem Fingerabdruck (Finn et al. [2015](#)).

8.7 Ist schlafen besser als Ginkgo?

Als bekannt und gesichert gilt, dass Gedächtnisleistungen zu einer verstärkten Verknüpfung der Neuronen und zu einer Verdichtung der elektrischen Kontakte im Hirn führen. Im Fachjargon wird dieses Verhalten unter dem Begriff neuronale Plastizität beschrieben.

Die relevanten Moleküle korrespondieren also wieder ausschließlich über die elektromagnetische Wechselwirkung miteinander, um Gedächtnisleistungen zu erbringen. Die hier beobachteten elektrischen Signale bei einer Hirnaktivität werden mittelbar zum Beispiel über eine Blutanhäufung und damit durch die Kernspin-Resonanz der Wasserstoffprotonen verursacht. Auch durch Messungen des Magnetfeldes der aktivierten Hirnströme kann die elektrische Hirnaktivität beobachtet werden. Eine kurze Zusammenstellung der Deutungsversuche des Gedächtnisses verfasste zum Beispiel L. R. Squire ([2004](#)).

Spannend und aufschlussreich sind jüngste Experimente zum Lernerfolg und zur Gedächtnisleistung bei Mäusen. Als Lernaufgabe wurde das Sichbewegen auf einem mehr

oder weniger beschleunigt rotierenden Rundpfosten (Rota-Rod) benutzt. Hierbei müssen sich die Mäuse oben auf dem drehenden Pfosten halten. Bei dem Lernprozess beobachteten die Forscher, dass sich an den Dendriten der Hirnrinde (Cortex) der Mäuse Dornen bilden. Mit diesen Dornen am Ende eines Neurons können weitere Kontakte (Synapsen) mit anderen Neuronen hergestellt werden. So bildet die sogenannte strukturelle Plastizität das Gedächtnis im Hirn. Diese Dornen sind astartige Auswüchse an den Dendriten (Abb. 8.2) im Mikrometerbereich (Yang et al. 2009). Ihre elektrischen Verbindungen (Schaltkreise) zu vielen Neuronen werden der Gedächtnisfunktion zugeordnet. Vermutlich werden die Synapsen der Dornen sowohl kurzlebig, als auch dauerhaft geschlossen. Diese Schaltkreise bilden das postnatale, also das erst von der Umwelt geprägte Gedächtnis (Lichtman und Colman 2000; Yang et al. 2009).

Bemerkenswert ist, dass sich an Mäusen der Schlaf auf eine Dornenbildung an Dendriten in deren Hirn positiv auswirkte und dabei die Gedächtnisleistung verbesserte. Auch bei diesem Experiment mussten die Mäuse ein RotaRod-Training absolvieren. Eine Gruppe der trainierten Mäuse durfte dann schlafen, während eine Vergleichsgruppe wachgehalten wurde. Die beobachtete zusätzliche Dornenbildung, die dadurch erhöhte Synapsenzahl im unmittelbar nachfolgenden Schlaf, wird einer damit gekoppelten gesteigerten Gedächtnisleistung zugeordnet. Ob es auch dem Menschen nutzt, erst kurz vor dem Zubettgehen für Schule oder Beruf am nächsten Tag zu lernen? (Yang et al. 2014).

8.8 Die elektrische Manipulierbarkeit des Menschen

Psychopharmaka und Drogen wie Morphin oder Haschisch beeinflussen unseren Gemütszustand. Sogar die vergleichsweise harmlosen Endorphine („Glückshormone“) können eine Hochstimmung durch sportliche Tätigkeit hervorrufen. Denkwürdig ist auch die Tatsache, dass ein Alkoholgenuß freundliche zu aggressiven Menschen, aber auch umgekehrt verwandeln kann. Der Charakter eines Menschen wird bei all diesen Stoffen chemisch und somit über die elektromagnetische Wechselwirkung mit der Hirnsubstanz beeinflusst.

Im Jahr 2015 wurde von einem weiteren beachtenswerten Experiment am Gedächtnis von Mäusen berichtet. Die Versuchstiere wurden zunächst mit einem erfreulichen Erlebnis konfrontiert, das in ihrer Erinnerung blieb. Die Mäuse waren „high“ gestimmt, hieße das im Jargon. Die bei dieser Gemüts-Stimulation aktivierten Neuronen wurden von den Forschern im Hirn lokalisiert. Anschließend wurden diese hochgestimmten Mäuse heftig eingeschüchtert. Sie zeigten danach ein depressionsartiges, mutloses Verhalten. Durch eine anschließende Bestrahlung mit UV-Licht der anfangs optimistisch aktivierten lokalisierten Neuronen kehrte nun ihre Hochstimmung zurück, das depressive Verhalten schwand (Kamirez et al. [2015](#)).

8.9 Lässt Elektrizität dem Menschen einen freien Willen?

Sogar Hirnforscher geraten bei dieser Frage auf Glatteis: „Bevor ich Luciano kennengelernt habe, dachte ich, vielleicht habe ich keinen freien Willen. Womöglich ist am Ende alles nur Biologie, Physik, Elektrizität, die durch ein paar Zellen schießt.“ Das erklärte die Neurowissenschaftlerin Kia Nobre von der Universität Oxford im Interview, das sie der „Süddeutschen Zeitung“ (03.12.2016) gab, gemeinsam mit Ehemann Luciano Floridi, Philosoph und Oxford-Kollege.

Schopenhauer und andere Denker haben lange vor den heutigen naturwissenschaftlichen Erkenntnissen den freien Willen des Menschen bezweifelt. Die Bioneurologen Gerhard Roth und Wolf Singer haben diese Grundsatzfrage und deren Konsequenzen in den vergangenen Jahren anhand ihrer Forschungsergebnisse ausführlich diskutiert. Singer: „Die Annahme zum Beispiel, wir seien voll verantwortlich für das, was wir tun, weil wir es ja auch hätten anders machen können, ist aus neurobiologischer Perspektive nicht haltbar“ (Pauen und Roth 2008; Singer 2003).

Gestützt werden solche Zweifel an einer Willensfreiheit des Menschen durch umfangreiche Hirn-Untersuchungen an Schwerstkriminellen im Vergleich mit nicht psychopathologisch kranken Schwerstkriminellen und nichtkriminellen Menschen (als psychopathologisch gelten Defizite der Eigenschaften, beispielsweise anomales Verhalten wie Persönlichkeitsstörungen, Mangel an gefühlsbezogenen Eigenschaften und an Einfühlungsvermögen, keine Reue-

oder Schuldgefühle und Verantwortungslosigkeit). Nun konnten diese Verhaltensanomalien mit Defiziten in der grauen Hirnsubstanz korreliert werden. Professor Kent Kiehl von der New Mexico University (USA) und andere Neurobiologen untersuchten die Hirnsubstanzen mit der MRI-Methode. Kiehl und andere Forscher beobachteten an psychopathischen Verbrechern einen Mangel an grauer Materie im limbischen System des Hirns. Damit verbunden ist auch eine deutliche Störung des affektiven Verhaltens dieser Psychopathen. Schon als Jugendliche wiesen sie materielle Hirndefizite auf, ein Hinweis auf eine genetisch bedingte Veranlagung (Kiehl et al. 2001; Kiehl 2014).

8.10 Ist Glauben notwendig?

Leo Tolstoi fragt in „Meine Beichte“: „Wofür lebe ich, weshalb lebe ich?“ Er kommt zu dem Schluss, ohne einen Glauben könne der Mensch nicht leben und zwingend sei eine ethisch und asketisch würdige Lebensführung. Eine jüngere wissenschaftliche Untersuchung behauptet jedoch: „Analytisches Denken fördert religiösen Unglauben“ – so war 2012 ein Bericht im Wissenschaftsmagazin Science überschrieben (Gervais und Norenzayan 2012). Der Aufsatz bestätigte die Erfahrungen in der Jugend beim Hinterfragen des Gottesbildes und beim Nachdenken über das menschliche Sein. Die Altvorderen dachten meist nicht analytisch. Sie gaben keine erhellenden Antworten, sondern empfahlen hilflos aber nachdrücklich, der Mensch müsse glauben. Der Oxforder Biologieprofessor und streitbare Atheist Richard Dawkins (1941*) – auch Darwins Rottweiler genannt –

bezeichnet unreflektierte religiöse Erziehung von Generation zu Generation als „mentalen Kindesmissbrauch“ der Eltern und Erwachsenen. Kinder und Jugendliche sind zunächst autoritätsgläubig, oft bleiben sie es auch noch im Laufe ihres Lebens – nach meiner Beobachtung. Nach Singer ist diese jugendliche Phase mindestens so einprägsam für den Phänotyp des Menschen wie seine genetische Veranlagung. Singers Ansicht ist jedoch nicht wissenschaftlich belegt. Die Erfahrung lehrt, dass der Mensch sich unterschiedlich stark von der Umwelt beeinflussen lässt.

Gibt es einen Schöpfer, einen Gott unserer menschlichen Vorstellung nach, was macht den Menschen aus? Wieso war die Evolution für das heutige Ergebnis Mensch notwendig? Der Mensch kann diese Fragen wohl nicht beantworten. Das erkannten einige Philosophen bereits vor Platon. Später kamen Kant, Nietzsche und Schopenhauer auch zu diesem Schluss. Immerhin können wir heute erkennen, wie das Weltall entstand, unter welchen Umweltbedingungen sich dann Leben entwickelte und es sich bis zum heutigen Menschen hin entwickeln konnte. Aber noch immer verstehen wir nicht, weshalb wir Menschen leben.

Leben wird wissenschaftlich eine scheinbar einfache Zelle genannt: Sie vermehrt sich, pflanzt sich fort und wird unter anderem schließlich ein Mensch. Den Weg dahin hat uns Darwin mit seiner Evolutionstheorie aufgezeigt.

Das menschliche Verhalten ist nach Roth, Singer und anderen Wissenschaftlern ein Produkt des Genoms, der Erziehung und der Umwelteinflüsse. Aber weshalb spielt nicht auch hier die elektrisch übertragene genetische Veranlagung eine Rolle auf die Akzeptanz der Erziehungs- und der

Umwelteinflüsse? (Singer 2015, suhrkamp taschenbuch wissenschaft 1596; Pauen und Roth 2008).

Besonders grausame Mordfälle regen immer wieder zum Nachdenken hierüber an: Weshalb haben einige Menschen Lust am Morden? Weshalb sind andere hingegen unfähig, einen einzigen Menschen, auch nicht einen schlimmen Feind, zu töten? Offenbar gibt es regelrecht mordsüchtige Menschen.

In Philadelphia/USA handelte ein junges Ehepaar krankhaft mordsüchtig, trotz der zu erwartenden Todesstrafe. Das Paar hatte bis zu der Gefangennahme nach eigenen Angaben bereits über 22 Menschen umgebracht und es verspürte weiterhin Mordlust.

Wilhelm Busch schrieb einst bemerkenswert im Nachwort zur „Frommen Helene“: „Das Gute – dieser Satz steht fest – ist stets das Böse was man lässt.“

Am Landgericht Oldenburg wurde 2015 ein Verfahren gegen den Krankenhauspfleger Niels Höger abgeschlossen. Er hatte über 50 schwerkranke Patienten mit überdosierten Medikamenten fast zu Tode gespritzt, um dann nur einige von ihnen erfolgreich reanimieren zu können. Ein Reanimierungsversuch übte auf ihn den Reiz einer extremen Droge aus – also auch eine Form der elektrischen Wirkung.

Gibt es einen allwissenden und allmächtigen Gott, wie es Religionen lehren? Das hätte nach menschlicher Logik zur Folge, dass der Mensch in seinen Handlungen von vornherein festgelegt ist. Ein strittiges Thema ist auch dann die göttliche Gleichgültigkeit angesichts irdischer Katastrophen. So fand Voltaire anlässlich des Erdbebens von Lissabon 1755, bei dem 100.000 Menschen starben, bittere und spottreiche Argumente gegen das allgemeine Gottesbild.

Voltaires Spott richtete sich auch gegen Leibniz' Behauptung „die existierende Welt ist die beste aller möglichen“.

Nach dem heutigen Stand der Naturwissenschaft müssen wir damit leben: Der Mensch ist wohl durch seine Gene und somit durch elektromagnetische Kräfte bestimmt.

In den USA sind zahlreiche Menschen unbeirrt Anhänger des Kreationismus. Sie glauben also an eine Schöpfung vor nicht allzu langer Zeit (nach jüngsten Funden gibt es den Vorfahren unserer Art seit mehreren 100.000 Jahren). In den Südstaaten ist es sogar untersagt, an Schulen Darwins Evolutionstheorie zu lehren. Da waren die Künstler der Alten Schule wie Lucas Cranach und andere große Maler schon weiter: Sie stellten Adam und Eva stets mit Nabel dar. Offenbar waren sie vorausseilende Evolutionisten.

Seit der Erkenntnis, dass das Weltall vor etwa 13,8 Milliarden Jahren seinen Anfang nahm und in einer solchen Zeitspanne auch wieder ein Ende nehmen wird, ist die Endlichkeit des Weltalls bekannt. Zu dieser Entstehungszeit entstanden nach Zurückrechnungen des heutigen Weltalls der Raum, die Zeit und die Materie (Hawking 1991).

Religionen und auch Dichter und Philosophen sprechen über eine nicht-materielle Seele und über ein ewiges Leben und oft auch über eine Ewigkeit in einem Paradies. Materie ist nicht stabil, alle Atome haben eine endliche Lebensdauer, seit der Entstehung von Materie sind die schweren Atome schon lange in leichtere zerfallen, wie zum Beispiel das Element Einsteinium. Es wurde bei den Atombomben-Tests zum ersten Mal nachgewiesen. Dieses Element hat 99 Protonen und es gibt 20 Isotopen davon. Das langlebigste mit der Nukleonenzahl (Protonen + Neutronen) von 252 hat eine Halbwertszeit von nur 471,7 Tagen, es ist

dann in kleinere Atome zerfallen. Die kleinen Atome, wie zum Beispiel der Wasserstoff mit nur einem Proton, verschmelzen zu größeren, so auf der Sonne zu Helium. Die längste Lebensdauer haben Atome mit einer Kernzahl nahe der von Eisen. Eisen gehört zu den stabilsten Elementen mit seinen 26 Protonen und seinen Isotopen von 28 bis zu 32 Neutronen.

Der Mensch kommt gewiss mit seinem Denkvermögen nicht über die in dieser Welt bestehende Physik hinaus, deren Bestandteil er ist. Er gelangt nicht in einen für den Menschen virtuellen metaphysischen Raum. Dieser liegt außerhalb unserer physikalischen, also außerhalb der irdischen Erfahrungen und unseres Erkennungsvermögen. Der Mensch hat offenkundig ein Bedürfnis nach Kausalität, die ja nach seiner täglichen Erfahrung zweifellos besteht – allerdings nur in seiner oberflächlichen irdischen Welt. Die Quantenmechanik hat uns akausale, messbare Prozesse aufgedeckt.

Viele Menschen glauben an einen Kreationismus und an eine beständige Schöpfung, Letzteres trotz der gewaltigen Katastrophen durch Erdbeben, durch Asteroid-Aufschläge und Vulkanausbrüche, bei denen ganze Erdbereiche untergingen. Dennoch, der Mensch glaubt an oder hofft auf ein ewiges Leben und an einen nicht-materiellen Geist oder eine Seele.

Der Mensch sträubt sich oft gegen eine Evolution und einen Determinismus durch seine materiellen Gene. Jedoch, der Mensch ist in seiner vier-dimensionalen Raum-Zeit-Erfahrung begrenzt. Er lebt deshalb mit dem Wunsch und dem Glauben an Selbstbestimmung und Kausalität, den Eigenschaften unseres Seins. Um diese Begrenzung zu

stützen, schafft er sich Götter nach seinem perfektionierten Ebenbild und hofft auf ein paradiesisches Fortleben nach dem Tod.

Literatur

- Arney K (2016) Herding Hemingway's cats. Understanding how our genes work. Bloomsbury Sigma, London
- Böhm et al (2016) The Venus Flytrap *Dionaea muscipula* Counts Prey-induced Action Potentials to Induce Sodium Uptake. *Curr Biol.* <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.11.057>
- Burden Anderson J (1873) On the electromotive properties of the leaf of *Dionaea* in the excited and unexcited states. *Proc R Soc Lond* 21:495–496.
- Darwin C (1875) *Insectivorous plants*. D. Appleton, New York
- Finn ES et al (2015) Functional connectome Fingerprinting: identifying individuals using patterns of brain connectivity. *Nat Neurosci.* <https://doi.org/10.1038/nn.4135>
- Franks F (1983) *Water*. Royal Society of Chemistry, London
- Gervais WM, Norenzayan A (2012) Analytik Thinking Promotes Religious Disbelief. *Science* 336:493.
- Hanser (1982) *Elementare Physik*. Koschinkin & Schirkewitsch, München/Wien, S 217
- Hawking S (1991) Eine kurze Geschichte der Zeit. rororo. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg. ISBN:3-499-60555-4
- Herculano-Houze S (2009) The human brain in numbers: a linearly scales-up primate brain. *Frontiers in Human Neuroscience* 3:1–11
- von Humboldt A (1807) *Ann Phys* 25(1):34–43: Jagd_und_Kampf_der_electrischen_Aale_mit_Pferden
- Hutchinson CA et al (2016) Design and synthesis of a minimal bacterial genom. *Science* 351:1414. & aad6253

- Kamirez S et al (2015) Activating positive memory engrams suppresses depression-like behaviour. *Nature* 522:335–339
- Kiehl K et al (2001) Limbic abnormalities in affective processing by criminal psychopaths as revealed by functional magnetic resonance imaging. *Biol. Psychiatry* 50:677
- Kiehl K (2014) The psychopath whisperer: inside the minds of those without a conscience. Oneworld Publications, London
- Pauen M, Roth G (2008). Freiheit, Schuld und Verantwortung. Grundzüge einer naturalistischen Theorie der Willensfreiheit. Suhrkamp, Frankfurt am Main, edition unseld 12
- Lichtman J, Colman H (2000) Synapse elimination and indelible memory. *Neuron* 25:269–278
- Molis A (2001) Schriftliche Hausarbeit der ersten Staatsprüfung für das Lehramt der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität zu Köln
- Mulkidjanian et al (2012) Origin of first cells at terrestrial, anoxic geothermal fields. *PNAS*. <https://doi.org/10.1073/pnas.1117774109>
- Nimtz G et al (1985) Ber. Bunsenges. Phys Chem 89:842–845
- Nimtz G (2016) https://www.youtube.com/watch?v=solFcn_oWt0
- Pearson R, Pasher I (1979) The molecular structure of lecithin dihydrate. *Nature* 281:499
- Singer W (2003) Ein neues Menschenbild?: Gespräche über Hirnforschung. suhrkamp taschenbuch. Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main
- Singer W (2015) Ein neues Menschenbild? 7. Aufl. Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main
- Squire LR (2004) Memory systems of the brain: a brief history and current perspective. *Neurobiol Learn Memory* 82:171–177
- Yang G et al (2009) *Nature* 462:920–924
- Yang G et al (2014) *Science* 344:1173–1178

Größen und Einheiten

Lichtgeschwindigkeit $c = 2,997 \cdot 10^8$ m/s

1 Lichtjahr (1 Lj) = 9.460.730.472.580,8 km, soweit läuft ein Lichtsignal in einem Jahr. Das Weltall wird auf eine Ausdehnung von der Erde aus gesehen auf mehr als 78 Milliarden Lj geschätzt (Wikipedia Universum).

1000 m=1 km	(Kilometer)
0,01 m =1 cm	(Centimeter)
0,001 m=1 mm	(Millimeter)
0,001 mm=1 μ m	(Mikrometer)
0,001 μ m=1 nm	(Nanometer)

$a \cdot 10^x$ = Zahl a mit x Stellen vor dem Komma, zum Beispiel
 $3 \cdot 10^3 = 3000$

$b \cdot 10^{-y} =$ Zahl b mit y Stellen nach dem Komma, zum
Beispiel $3 \cdot 10^{-3} = 0,003$

k	kilo	1000	10^3	(Tausend)
M	Mega	1.000.000	10^6	(Million)
G	Giga	1.000.000.000	10^9	(Milliarde)
T	Tera	1.000.000.000.000	10^{12}	(Billion)
P	Peta	1.000.000.000.000.000	10^{15}	(Billiarde)

Sachverzeichnis

A

Adenin 24
Aktionspotenzial 11, 17
Allgemeine Relativitätstheorie
 33, 33
Arney, Kat 62
Astrologie 32
Atom 7, 42
Atomkern 23, 35
Atomkernbaustein 36
 Spin 50
Atomkraftwerk 41
Axon 16

B

Bahndrehimpuls 47
Balmer, Johann 42

Basenpaare 25, 26
Berger, Hans 8, 47

C

Chlorophyll 64
Chromosom 24
Crick, Francis 24
Cytosin 24

D

Darwin, Charles 62
Dipol 38
 elektrischer 20, 48
DNA 24, 26
 Strang 24
Doppelschicht 15

E

Eddington, Arthur 33
Eigendrehung 47
Einstein, Albert 32, 33
Elektroenzephalographie
(EEG) 8
Elektrokardiogramm
(EKG) 8
Elektrolyt 3
Elektromagnetismus 7, 11
Elektron 23, 42
Elektrosmog 57
Entstehung eines
Lebewesens 61
Erbinformation 24
Erde 31
Erdfeld 9, 46

F

Faraday, Michael 46
Farbstoff 64
Feldlinien 39
Fingerabdruck 10
Fliehkraft 44
Franklin, Rosalind 24
Frequenz 57
Froschschenkel 1
Experiment 3
Fusion 40

G

Galvani, Luigi Aloisio 1, 2, 2,
4, 11
Gammastrahlen 43, 57
Gecko 49
Genom 23, 24, 24, 62
Genotyp 17, 26
Gesamterscheinungsbild 17
Gewebeblutfluss 3
Gezeiten 30
Gladstone, William E. 46
Gold 23
Gravitation 11, 11, 30, 43
Guanin 24

H

Hämoglobin 9
Heisenbergs
Unschärfebeziehung 45
Helium 23
Herzmuskeltätigkeit 8
Hirnstimulation 10
Hirnströme 46
Frequenz 47
motorische 10

I

Impact-Faktor 4
Infrarotstrahlung 43

J

John-Craig-Venters-
Laboratorium 62

K

Kernbaustein 35
Kernfusion 40
Kernspaltung 35, 40
Kernspinresonanz 8
Kernverschmelzung 40
Körper, menschlicher 63
Kondensator 2
Kraftlinienverlauf 40
Kraftquelle 29

L

Lebewesen, Entstehung 61
Leibniz, Gottfried Wilhelm 33
Lichtabsorption 64
Lichtenberg, Georg
Christoph 4
Lichtteilchen 32

M

Mach, Ernst 20
Magnetismus 47
Magnetoenzephalographie
(MEG) 9, 46

Magnetresonanztomographie
(MRT) 8, 50
funktionelle (fMRT) 9
MEG. *Siehe* Magnetoenze-
phalographie
Membran, biologische 13
Microchip 13
Mikrostreifenleiter 13
Mimose 14
Molekül 7
polares 58
Mond 30

N

Nervenbahn 11, 13
Nervenzelle 11
Neuron 10, 11, 13
Neutron 23, 35, 35, 36
Newton, Isaac 11, 32, 33
Nullpunktsenergie 45

P

Packungsdichte 27
Parkinsonstremor 10
Phänokopie 18
Phänotyp 17, 18
Phospholipid 15
Phospholipidmolekül,
Doppelschicht 14
Photonenenergie 57

Photosynthese 64
 Planck, Max 43
 Planet 31, 42
 Präzessionsbewegung 48
 Proton 23, 35, 35, 36, 42, 50
 Prozess
 endothermischer 64
 exothermischer 64
 Ptashne, Mark 62, 63

Q

Quantenmechanik 45
 Quarks 35, 36

R

Raum-Zeit-Krümmung
 33, 34
 Reibungswärme 58
 Relativitätstheorie, allgemeine
 33, 33
 Rezeptor 19
 Roboterprothese 10
 Röntgen 43
 Röntgenstrahlen 57
 Ruhe-Masse 32

S

Sauerstoff 23
 Sauerstoffatom 20
 Schall 19

Schallmauer 20
 Schopenhauer, Arthur 16
 Schrödinger, Erwin 4, 5
 Schwere 30
 Schwerkraft. *Siehe* Gravitation
 Schwingung,
 elektrische 8

Signal

 elektrisches 7
 motorisches 10
 Singer, Wolf 14, 79, 81

Sonne 30, 42
 Sonnenmasse 31
 Spannungsquelle 4
 Spannungssignale 13
 Spin 47

Sprengstoff 40

Sternbild 32

Strahlung

 ionisierende 57
 nichtionisierende 57
 elektromagnetische 57

Synapse 11, 13

T

Thrombus 48
 Thymin 24
 TNT. *Siehe* Trinitrotoluol
 Trinitrotoluol (TNT) 40
 Tumor 48
 Tunnel-Prozess 40
 TV-Satellit 44

U

- Überschallknall 20
- Ultraviolett 43
- Umwelteinflüsse 17, 17
 - physische 17

V

- van-der-Waals-Kräfte 49, 49
- Verkettung, hydrophile 15
- Verstärkerflasche 2, 11
- Volta, Alessandro von 2

W

- Wärme 43
- Wassermolekül 20, 21
- Wasserstoff 23
- Wasserstoffatombombe 40
- Wasserstofffusion 41

Wasserstoffgehalt,

anomaler 48

Watson, James 24

Wechselwirkung

elektromagnetische 38, 53

schwache 11

starke 11

Welle-Teilchen-Dualismus 44

Wilkins, Frederick 24

Wirkungsquantum 43

X

X-ray 43

Z

Zelle, erste 62

Zellmembran 13, 14, 15

Doppelschicht 16