

## Natürliche Intelligenz

*Manche Philosophen sehen Philosophie als das an,  
was man mit einem Problem macht bevor es klar genug ist,  
um es mit Wissenschaft lösen zu können.* Jerry A. Fodor, Philosoph

Bei Fragen der Leistungsfähigkeit und der Eigenschaften von künstlicher Intelligenz wird in der Regel der Mensch als Maß aller Dinge zu Vergleichen herangezogen. Das trifft insbesondere auf die Eigenschaften zu, die es bei der künstlichen Intelligenz noch nicht gibt, nämlich Bewusstsein, Vernunft und freier Wille. Verständnis über die Realisierbarkeit dieser Eigenschaften kann man nur erlangen, wenn man sie zunächst beim Menschen selbst studiert. Aus diesem Grund befasst sich das erste Kapitel mit einer kurzen Beschreibung der natürlichen Intelligenz.

Bis vor wenigen Jahrhunderten war die Funktion unseres Gehirns noch weitgehend unbekannt. Dies führte zu teils abstrusen Vorstellungen über den Geist und seine Beziehung zur Körperlichkeit. In Philosophie und Theologie nahm man sich dieses so genannten Geist-Körper-Problems intensiv an und schrieb zahllose Abhandlungen darüber. In den westlichen Ländern diente sich bis zum Zeitalter der Aufklärung die Philosophie der christlichen Religion an und sah ihre Hauptaufgabe darin, diese zu stützen. Vor allem die Werke von Immanuel Kant haben dann erstmals zu einer kritischeren Haltung und zu einer Versachlichung der Diskussion geführt. Kant zielte vor allem gegen die Metaphysik und die spekulative Theologie. Dafür gebührt ihm Respekt und Hochachtung. Dennoch ist auch seine Philosophie nicht frei von Denkfehlern und Irrtümern. Einige davon werden im Verlauf dieses Buchs näher besprochen. Arthur Schopenhauer hat einige der Mängel in Kants Philosophie aufgedeckt und versucht, eine davon befreite Philosophie zu entwickeln. Viele seiner Erkenntnisse sind noch heute überzeugend, doch auch seine Philosophie bedarf aus heutiger Sicht Korrekturen. Die besagten Fehler sind zum überwiegenden Anteil auf das zu dieser Zeit geltende me-

chanistische Weltbild zurückzuführen, sie ändern daher nichts an der Genialität beider Philosophen.

Erst in den letzten Jahrzehnten kam es zu erheblichen Fortschritten in der Hirnforschung. Besonders trugen dazu neue bildgebende Verfahren wie die Kernspintomographie (MRT), die funktionelle Kernspintomographie (fNMR) und die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) einerseits sowie zeitlich hochauflösende Methoden wie das Elektroenzephalogramm (EEG) und das Magnetenzephalogramm (MEG) andererseits bei. Diese naturwissenschaftlichen Erkenntnisse konnten auch von der Philosophie auf Dauer nicht ignoriert werden. So setzen sich in neuerer Zeit Sichtweisen durch, die sich vom Glauben an mysteriöse Substanzen abwenden und sich mehr auf rein naturwissenschaftliche Erklärungen stützen.

Ein gewisses Verständnis über die Art und Weise, wie das menschliche Gehirn funktioniert, kann man aus der Evolution ableiten. Der erste Abschnitt 1.1 ist daher diesem Thema gewidmet. Es gibt eine ganze Reihe von Untersuchungen und Experimenten, mit denen man die Leistungsfähigkeit menschlicher Intelligenz testen kann. In Abschnitt 1.2 sind einige dieser Ergebnisse dargestellt. Bisher ist es jedoch noch nicht gelungen, objektiv und umfassend zu erklären, was das Bewusstsein ausmacht. So gibt es noch keine naturwissenschaftlich fundierte Theorie des Bewusstseins (Abschnitt 1.3). Noch schlechter sieht es mit der Frage nach der Vernunft und dem freien Willen aus (Abschnitt 1.4). Hier bestehen sogar Zweifel, ob der Mensch überhaupt über diese Dinge verfügt. In Abschnitt 1.5 werden noch einmal die verschiedenen philosophischen Standpunkte zum Geist-Körper-Problem etwas eingehender dargestellt.

## 1.1 Die Evolution der natürlichen Intelligenz

*Aus dem Kampf der Natur, aus Hunger und Tod geht also unmittelbar das Höchste hervor, das wir uns vorstellen können: die Erzeugung immer höherer und vollkommenerer Wesen.*

Charles Darwin, Begründer der Evolutionstheorie

*Ich habe nicht die Absicht, die gentechnische Veränderung des Menschen als eine erstrebenswerte Entwicklung zu preisen, sondern möchte nur feststellen, dass sie stattfinden wird, ob wir es wollen oder nicht. Deshalb überzeugen mich Science-fiction-Visionen wie »Star Trek« nicht, in denen die Menschen in einer vierhundert Jahre entfernten Zukunft praktisch unverändert sind.* Stephen Hawking, Physiker

Eine der wichtigsten Fragen in Zusammenhang mit der Entwicklung künstlicher Intelligenz ist die, ob es prinzipiell möglich ist, Bewusstsein künstlich zu erzeugen. Da bis jetzt bewusstes Denken nur bei der natürlichen Intelligenz vorhanden ist, wollen wir uns zunächst mit deren Entwicklung etwas eingehender befassen.

Nach der derzeit allgemein anerkannten Theorie entstand unsere Welt vor etwa 14 Milliarden Jahren durch den so genannten Urknall. Unser Sonnensystem mit der Erde entwickelte sich vor ungefähr fünf Milliarden Jahren durch die Zusammenballung von interstellarem Gas und Staub. Damit auf einem Planeten wie unserer Erde aber auch Leben entstehen kann, ist eine ganze Reihe von einschränkenden Voraussetzungen zu erfüllen. Zunächst muss die Sonne die richtige Größenordnung der Masse haben. Massereichere Sterne haben erheblich kürzere Lebenserwartungen; die verfügbare Zeitspanne für die Entwicklung von intelligentem Leben wäre in ihrer Umgebung dann zu kurz. Auf der anderen Seite darf die Masse eine gewisse Größe nicht unterschreiten, um im Innern noch genügend Druck und Temperatur zur Zündung der Kernfusion zu erreichen. In der richtigen Größenordnung liegt aber ein recht hoher Prozentsatz der Sterne, sodass diese Voraussetzung unkritisch ist. Sehr viel kritischer ist dagegen der Abstand der Erde zur Sonne. Die Oberflächentemperatur stellt sich aus dem Gleichgewicht zwischen der von der Sonne zu-

gestrahlten Energie und der von der Erde an den Weltraum abgestrahlten Energie ein. Bei einem geringeren Abstand werden die Oberflächentemperaturen zu hoch, sodass der größte Teil des Wassers in Form von Dampf vorliegt. Andererseits würde ein größerer Abstand das Wasser zu Eis gefrieren lassen. Aber gerade das Wasser war zur Entwicklung des Lebens von entscheidender Bedeutung. Insgesamt liegt der brauchbare Abstandsbereich zur Sonne innerhalb einer Schwankungsbreite von 5 bis 10 %. Bei Sternen mit einer wesentlich geringeren Masse als unserer Sonne liegt dieser Abstandsbereich wegen der geringeren Leuchtkraft näher am Zentralgestirn. Ein geringerer Abstand führt aber zu einer stärkeren Abbremsung der Eigenrotation der Planeten, sofern die Rotationsachse in etwa senkrecht zur Bahnebene steht. Das führt dann langfristig zu einer synchronen Rotation des Planeten: Es wird dann immer die gleiche Hälfte des Planeten beleuchtet, was zu extrem lebensfeindlichen Temperaturen führt. Genauso ungünstig ist generell eine Lage der Rotationsachse in der Bahnebene, weil dann während einer Umdrehung überwiegend das gleiche Gebiet vom Zentralgestirn beleuchtet wird. Zur Lagestabilisierung der Erdachse trägt unser Mond ganz erheblich bei. Ohne diesen Begleiter hätte sich vermutlich in der Vergangenheit die Lage der Erdachse stark verändert, was wiederum zu extremen Temperaturverhältnissen und zur Auslöschung des Lebens geführt hätte. Planeten, die von einem Trabanten der Größe unseres Monds umkreist werden, dürften aber extrem selten sein, denn nach der allgemein anerkannten Theorie entstand unser Mond durch eine Kollision der Erde mit einem Planetoiden von der Größe des Mars.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Masse des Planeten. Eine zu geringe Masse führt dazu, dass Teile der Atmosphärogase in den Weltraum entweichen. So besitzt zum Beispiel unser Mond aufgrund seiner geringen Masse überhaupt keine Atmosphäre. Eine zu große Masse andererseits würde zu einer ungünstigen Zusammensetzung der Atmosphäre führen. Größere Anteile von Wasserstoff und Wasserstoffverbindungen wären die Folge. Außerdem wäre eine mit der größeren Masse verbundene größere Anziehungskraft ungünstig für die Entwicklung höherer Lebensformen.

Um die lebensfeindliche Partikelstrahlung aus dem Weltraum und vor allem von der Sonne abzuschirmen, ist ein Magnetfeld erforderlich. Dies wiederum erfordert einen flüssigen Metallkern in Inneren des Planeten. Bei der Erde werden die hohen Temperaturen im Erd-

inneren durch den Zerfall radioaktiver Elemente aufrechterhalten. Bei der Entwicklung einer für das Leben optimalen Atmosphäre hat nach neueren Erkenntnissen die Plattentektonik der Erdkruste eine wichtige Rolle gespielt. Diese setzt jedoch einen bestimmten Aufbau des Erdinnern und eine dadurch bedingte Temperaturverteilung voraus. Die Plattentektonik ist wichtig für das Recycling von Kohlendioxid: Während der Verwitterung nimmt das Gestein Kohlendioxid aus der Atmosphäre auf. Beim Übereinanderschieben der Plattenränder taucht das Gestein in den flüssigen Erdmantel ein und wird geschmolzen. Dabei wird das Kohlendioxid wieder frei und über Vulkane an die Atmosphäre zurückgegeben.

Die Entwicklung der Erdatmosphäre war wahrscheinlich ebenfalls ein sehr kritischer Vorgang. Die erste Uratmosphäre bestand überwiegend aus Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Stickstoff. Zu diesem Zeitpunkt lag die Temperatur auf der Erdoberfläche noch bei 1500 °C, kühlte sich aber langsam ab. Im Anfangsstadium der Sterne vom Typ unserer Sonne durchlaufen sie eine kurze Phase, in der sie große Gas-mengen abstoßen. Vermutlich wurde hierdurch die Uratmosphäre der Erde teilweise weggeblasen. Sie wurde aber wieder durch Gase ersetzt, die aus Vulkanen ausgestoßen wurden. Es bildete sich so eine zweite Uratmosphäre, die aus Kohlendioxid, Wasserstoff, Methan, Ammoniak und geringen Mengen an Edelgasen bestand. Durch den hohen Anteil an Kohlendioxid lagen die Durchschnittstemperaturen auf der Erdoberfläche wegen des Treibhauseffekts um 40 °C; Wasser lag damit zu einem erheblichen Teil in Form von Dampf vor, der erst in höheren Atmosphärenschichten zu Wolken kondensierte. Das wiederum führte zu einer ständig geschlossenen Wolkendecke. Während der ersten zwei Milliarden Jahren nach Entstehung der Erde wurde das Kohlendioxid langsam durch die Bildung von Silikatverbindungen an der Oberfläche abgebaut. In den obersten Atmosphärenschichten wurden Wassermoleküle durch Photolyse in die Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Während der Wasserstoff aufgrund seines geringen Atomgewichts weitgehend in den Weltraum entwich, wurde der Sauerstoff teilweise an das in den Gesteinen vorkommende Eisen gebunden. Ein weiterer Anteil des Sauerstoffs reagierte mit dem Methan und dem Ammoniak in der Atmosphäre und erzeugte damit Wasserdampf und Stickstoff. Vor etwa zwei Milliarden Jahren war der Kohlendioxidanteil auf unter 5 % gesunken, sodass der Treibhauseffekt nachließ. Durch die sinkende Oberflä-

chentemperatur regneten die Wolken langsam ab. Da die Sonne zu diesem Zeitpunkt noch nicht ihre heutige Strahlungsintensität erreicht hatte, sank die Durchschnittstemperatur auf unter 10 °C. Die Eiskappen an den Polen wuchsen; wäre die Temperatur nur wenig geringer gewesen, wären die gesamten Meere zu Eis erstarrt. Durch das hohe Reflexionsvermögen von Schnee und Eis hätte sich dann die Oberflächentemperatur noch weiter abgesenkt, und die Erde wäre zu einer Eiswüste geworden. Dies dürfte einer der kritischsten Punkte in der Evolution gewesen sein. Bereits eine um ein Prozent größere Entfernung der Erde zur Sonne hätte ausgereicht, um das Klima wie beschrieben umkippen zu lassen.

Wegen der starken UV-Strahlung an der Erdoberfläche war die Entstehung des Lebens an die Zone unterhalb von zehn Meter unter der Oberfläche der Meere gebunden. Erst der langsam ansteigende Sauerstoffgehalt führte vor 420 Millionen Jahren zur Bildung einer Ozonschicht und damit zu einer genügenden Abschirmung, sodass sich Pflanzen auf der Erdoberfläche ausbreiten konnten. Sie sorgten dann über die Photosynthese zu einem starken Anstieg des Sauerstoffgehalts, bis schließlich die heutige Zusammensetzung unserer Erdatmosphäre erreicht war.

Wie in Laborexperimenten bewiesen wurde, können in einer »Ur-suppe« – einem Gemisch von Wasser, Wasserstoff und Ammoniak – durch elektrostatische Entladungen Aminosäuren entstehen. Dies sind die grundlegenden Bausteine des Lebens. Inzwischen gibt es aber auch Hypothesen, nach denen die ersten grundlegenden organischen Bausteine von Meteoriten zur Erde getragen wurden. So haben Wissenschaftler der Universität Bremen in Meteoritengestein Diaminosäuren entdeckt. Diesen Verbindungen wird eine Schlüsselfunktion bei der Entstehung des Lebens zugeschrieben. Es gibt Theorien, wonach sie im interstellaren Raum entstanden sein könnten.

Vor etwa 3,5 Milliarden Jahren entstanden erste Lebensformen in Form von einzelligen. Weitere entscheidende Schritte waren die Photosynthese und die Entwicklung der Vererbung auf Basis von DNA-Molekülen. Nun konnten Fortschritte in der Entwicklung an die folgenden Generationen weitergegeben werden. Damit waren die ersten digitalen Informationsträger geschaffen. Sie erlaubten die Weiterentwicklung zu mehrzelligen Lebensformen bis hin zu den ersten Pflanzen und primitiven Tieren vor 700 Millionen Jahren. Ein weiterer ganz wichtiger Schritt war die Entwicklung der Sexualität. Durch

sie konnte die genetische Vielfalt gewaltig gesteigert werden. In dem Zeitalter des Kambriums (vor 550 Millionen Jahren) breitete sich das Leben auf der Erde förmlich explosionsartig aus. Es entstanden erste Lebewesen mit einem Skelett. Aus ihnen entwickelten sich zunächst die größeren Fische und daraus schließlich die Landlebewesen bis hin zu den Dinosauriern, die dann vor 65 Millionen Jahren, wahrscheinlich durch einen großen Meteoriteneinschlag, ausstarben.

Vor 15 Millionen Jahren tauchten die ersten Humanoiden auf, die sich durch ihren aufrechten Gang von den Tieren unterschieden. Die ständigen Herausforderungen des Überlebenskampfes und die damit verbundene Selektion führten im Laufe der Jahrtausende zu einer ständigen Vergrößerung der Hirnmasse, bis schließlich vor etwa fünfhunderttausend Jahren unser direkter Vorgänger, der *Homo sapiens*, entstanden war. Aus ihm entwickelten sich Untergruppen, die sich nur geringfügig unterschieden. Die meisten waren wohl in Zentralafrika angesiedelt. Eine Untergruppe, die Neandertaler, besiedelten dann vor einhunderttausend Jahren Teile Europas und des mittleren Ostens. Sie waren bereits so weit entwickelt, dass sie kleinere Kunstgegenstände und einfache Steinwerkzeuge herstellen konnten. Dennoch starben sie vor etwa dreiunddreißigtausend Jahren aus. Wahrscheinlich standen sie in unmittelbarer Konkurrenz zu einer etwas weiter entwickelten Untergruppe, die sich in einer neuen Welle von Afrika her nach Europa bewegte. Diese setzte sich schließlich gegenüber allen anderen Untergruppen durch und wurde zu unseren direkten Vorfahren.

Der Aufbau unseres Gehirns lässt zunächst vermuten, dass es ein Spiegel seiner eigenen Evolutionsgeschichte ist. Entwicklungsgeschichtlich ältere Teile entfielen nicht, sondern es kamen immer neue Teile hinzu. Damit ergab sich ein Aufbau in konzentrischen Schichten, bei dem die älteren Schichten innen liegen und die neueren außen. Diese Auffassung wird allerdings in neuerer Zeit von der Hirnforschung angezweifelt. Einerseits kann man das Gehirn nicht in mehr oder weniger wertvolle Teile zerlegen, da alle Teile sehr stark miteinander in Verbindung stehen und nur in ihrer Kombination voll wirksam werden. Andererseits kann man nicht alleine aus der Anatomie auf die Funktion schließen. Insbesondere bei den Vögeln zeigen sich erhebliche Abweichungen von der sonst vorgefundenen Anatomie des Gehirns, und Vögel sind in Relation zu ihrer Gehirnmasse relativ intelligent. Man geht inzwischen sogar davon aus, dass bei den

Gehirnen von Wirbeltieren alle wesentlichen Teile während der Evolution gleichzeitig entstanden sind. Dennoch taucht zumindest die Neuhirnrinde (Neokortex) erst spät in der Evolution auf; ihre Größe scheint eindeutig mit der Intelligenz und dem Bewusstsein korreliert zu sein.

Die innerste Schicht unseres Gehirns besteht aus dem Rückenmark, dem Hirnstamm und dem Mittelhirn. Diese Teile steuern die Grundfunktionen des Lebens wie Atmung, Herzschlag und Kreislauf. Bei Fischen machen sie bereits den größten Teil des Gesamthirns aus. Um dieses Fundament herum liegt der so genannte R-Komplex, bestehend aus dem Riechzentrum, dem Streifenhügel und dem Globus pallidus. Mit diesen Teilen werden Aggressionen, Revierverhalten und soziale Hierarchien gesteuert. Diese Schicht gibt es schon bei den Kriechtieren, weshalb sie auch als Reptiliengehirn bezeichnet wird. Weiter außen folgt bei den Säugetieren das limbische System, bestehend aus Thalamus, Hypothalamus, Mandelkern, Hypophyse und Hippocampus. Diese Schicht ist zuständig für Gefühle, Sozialverhalten und Gedächtnis. Offensichtlich war ein differenziertes Sozialverhalten innerhalb einer Gruppe bei den Säugetieren überlebensnotwendig. Ganz außen liegt schließlich die Neuhirnrinde, die aus Stirn-, Scheitel-, Schläfen-, und Hinterhauptslappen besteht. Hier sitzen das Sprachzentrum, unser räumliches Wahrnehmungsvermögen und unser Bewusstsein. Im Gegensatz zu den Tieren ist diese Schicht beim Menschen aufgefaltet, sodass sie eine größere Oberfläche und damit auch eine größere Leistungsfähigkeit hat.

Wie im folgenden Abschnitt beschrieben wird, zeigt unser Gehirn ein hohes Maß an Redundanz und Flexibilität. Aufgrund der evolutionären Entwicklung unseres Gehirns müssen wir aber trotzdem davon ausgehen, dass es bezüglich Größe und Leistungsfähigkeit genau den Erfordernissen unseres Alltagslebens entspricht und nichts wirklich Überflüssiges enthält. Diese Auffassung lässt sich auch durch experimentelle klinische Ergebnisse stützen. Wird z. B. im frühen Kindesalter eine komplette Hirnhälfte aufgrund einer Erkrankung entfernt, so kann die verbleibende Hirnhälfte fast alle Funktionen übernehmen, ohne dabei große auffällige Defizite zu zeigen. Die gesamte Leistungsfähigkeit bleibt aber dennoch gegenüber vergleichbaren gesunden Gehirnen zurück.

Die gleiche Argumentation gilt auch für das Bewusstsein. Es hat sich mit der größer werdenden Komplexität des Gehirns im Laufe der



Evolution entwickelt. Insofern ist das Bewusstsein kein besonderer Luxus der Natur, sondern die täglichen Herausforderungen des Überlebenskampfes haben die Entwicklung von Bewusstsein erforderlich gemacht. Logischerweise müssen wir dann zumindest den höher entwickelten Tieren ebenfalls ein gewisses Maß an Bewusstsein zuerkennen. Allerdings können wir dieses Maß nicht einfach als proportional zur Gehirnmasse ansetzen. Wie im Folgenden noch beschrieben wird, befindet sich das Bewusstsein beim Menschen überwiegend im Neokortex. Dieser Teil ist der entwicklungsgeschichtlich jüngste Teil des Gehirns. Bei Insekten, Fischen und Reptilien fehlt er fast vollständig. Insofern wird man diesen Tieren kaum ein Bewusstsein zusprechen können. Besonders stark entwickelt ist der Neokortex dagegen bei den Menschenaffen. Sie verfügen teilweise sogar über ein gewisses Maß an Ich-Bewusstsein. So erkennen etwa fast alle höher entwickelten Säugetiere in ihrem Spiegelbild nicht sich selbst, sondern einen Artgenossen. Einige Menschenaffenarten hingegen können sich im Spiegel selbst erkennen. Als Test hat man einem Affen einen roten Punkt auf die Stirn gemalt. Als er sich nach einiger Zeit im Spiegel sah, hat er nicht etwa versucht, an den roten Punkt im Spiegel zu fassen, sondern an seine eigene Stirn: Er hatte sich also selbst im Spiegel erkannt. Allerdings geht das Bewusstsein von Menschenaffen sicherlich nicht so weit, dass sie sich ihren eigenen Tod vorstellen können.

Dass unser Bewusstsein keinen überflüssigen Luxus darstellt, lässt sich auch daraus ableiten, dass bewusste Prozesse in unserem Gehirn langsamer ablaufen als unbewusste und vor allem mehr Energie verbrauchen. Gerade was den Energieverbrauch angeht, hat aber die Evolution durchweg optimale Lösungen gefunden. Es wäre höchst merkwürdig, wenn das hier anders wäre, wenn also unser Körper Energie und Zeit für etwas zur Verfügung stellte, was letztlich überflüssig wäre. Die Evolutionstheorie selbst wird von der modernen Hirnforschung gestützt. Sie kann nachvollziehen, wie mit dem Komplexitätsgrad der Hirne auch deren Leistungsfähigkeit angestiegen ist, dass die Entwicklung stetig verlaufen ist und sich im Rahmen der Naturgesetze erklären lässt.

Irgendwann im Verlauf der Evolution hat das Gehirn unserer Vorfahren, vor allem bedingt durch die komplexen Anforderungen des Lebens in einer Gruppe, die kritische Leistungsgrenze überschritten, die abstraktes Denken ermöglicht. Abstraktes bzw. symbolisches Den-

ken ist die Voraussetzung für die Entwicklung der Sprache. Erst mit der Sprache konnten in größerem Umfang Erfahrungen an nachfolgende Generationen weitergegeben werden. Damit musste nicht mehr jedes Individuum alle Erfahrungen selbst machen, sondern konnte auf den übermittelten Erfahrungen aufbauen. Nach Ansicht vieler Evolutionstheoretiker ist die verstärkte Entwicklung von Bewusstsein eng mit der Entwicklung der Sprachfähigkeit verknüpft.

Die Sprachfähigkeit war der Grundstein zur Entwicklung unserer Zivilisation. Der nächste Meilenstein in dieser Entwicklung war die Erfindung der Schrift. Mit ihr ließen sich Erkenntnisse über längere Zeiträume speichern und übermitteln. Diese Notwendigkeit ergab sich spätestens bei der Organisation der ersten größeren Städte. Die Schrift ist daneben auch eine der Grundlagen der Wissenschaften. Da immer nur wenige Menschen lesen und schreiben konnten und das Kopieren von Schriften mühsam war, waren die Wissenschaften über Jahrhunderte hinweg nur einer kleinen Gruppe von Gelehrten zugänglich. Dies änderte sich schlagartig mit der Erfindung der Buchdruckerkunst durch Johannes Gutenberg um 1452. Es gab zwar schon vorher Druckverfahren mit Holz- oder Steinplatten, aber die Einführung von einzelnen beweglichen Lettern vereinfachte das Verfahren ganz erheblich. Durch die damit reduzierten Herstellungskosten fanden Bücher und Schriften eine weitere Verbreitung. Vor Gutenberg gab es in ganz Europa nur etwa 30 000 Bücher. Der Besitz und das Lesen von Büchern war das Privileg einer kleinen Elite. Um 1500 gab es dann schon mehr als neun Millionen Bücher. Dadurch wurde die Vermittlung von Bildung an breite Bevölkerungsschichten ermöglicht. Sie setzte schließlich ein geistiges Gären in Gang, das den Weg für die Renaissance ebnete. Der letzte große Meilenstein in der Kommunikation war die Einführung des Internets. Damit wurde im Prinzip nahezu unser gesamtes Wissen jedem, der Zugang zum Internet hat, verfügbar. Kommunikation ist die elementare Grundlage jeder Zivilisation. Mit ihr werden die Gehirne der Individuen sozusagen vernetzt und ihre Leistungsfähigkeit wird vervielfacht.

In der Zeitskala der Evolution fallen zwei Dinge besonders auf: Gehen wir von einer restlichen Lebenserwartung der Biosphäre unserer Erde von etwa eine Milliarde Jahren aus, so hat die Entwicklung intelligenten Lebens bis zum Menschen mit 4,5 Milliarden Jahren den größeren Teil der Gesamtlebensdauer der Biosphäre gebraucht. Bei einer geringfügigen Verschlechterung von einem der vielen Faktoren,

die zur Evolution beigetragen haben, hätte die Zeit zur Entwicklung des Menschen nicht ausgereicht. Andererseits liegt das Alter unserer Zivilisation erst bei einigen zehntausend Jahren. Wenn wir unsere Zivilisation nicht selbst ruinieren und die Lebenserwartung der Biosphäre von einer Milliarde Jahren voll nutzen, so stehen wir überhaupt erst am Beginn unserer Zivilisation. Selbst wenn mit dem Ende der Biosphäre unsere Zivilisation zu Ende ginge, hätten wir damit jetzt erst maximal ein Hundertstel eines Promilles unserer Geschichte hinter uns.

Die Entwicklung des intelligenten Lebens auf der Erde war an eine Vielzahl von Ereignissen und Parametern gebunden, deren Auftreten bzw. richtige Größenordnung eine zum Teil äußerst geringe Wahrscheinlichkeit haben. Insofern ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich intelligentes Leben in anderen Sternsystemen entwickelt hat, vermutlich ebenfalls eher gering. Manche Wissenschaftler gehen sogar davon aus, dass die Erde der einzige Planet ist, der intelligentes Leben hervorgebracht hat. Primitive Lebensformen, wie Einzeller, Bakterien usw. dürften dagegen recht weit verbreitet sein, da sie viel extremere Umweltbedingungen aushalten. Auf der anderen Seite zeigen neuere Beobachtungen, dass es wohl doch einen großen Anteil von Sternen gibt, die Planeten besitzen. Generell sind die Abschätzungen für die Wahrscheinlichkeit, dass es eine größere Zahl von erdähnlichen Planeten gibt, in den letzten Jahren ständig gestiegen; damit ist auch die Hoffnung auf die Existenz von außerirdischen intelligenten Lebewesen wieder gestiegen. Eine zuverlässige Abschätzung ist aber im Moment noch nicht möglich.

Bei der Entwicklung der menschlichen Intelligenz spielten extreme Herausforderungen durch Klimaänderungen und gewaltsame Auseinandersetzungen mit konkurrierenden Spezies eine wichtige Rolle. Dieses Prinzip, das über Jahrtausende zur ständigen Vergrößerung unserer Hirnmasse geführt hat, ist spätestens in unserer Zeit durch die Entwicklung der modernen Technologie zum Erliegen gekommen. Mit Hilfe unserer Technologie können wir die Folgen der natürlichen Herausforderungen abmildern. Außerdem können wir durch die modernen Verhütungsmittel die Zahl der Nachkommen bewusst steuern. Es ist insbesondere festzustellen, dass besonders intelligente Menschen im statistischen Mittel nicht mehr Nachkommen haben als weniger intelligente, was im Sinne der Evolution kontraproduktiv ist. Weiterhin führt die mittlerweile hohe durchschnittliche

Lebenserwartung dazu, dass die Todesursachen keinen direkten Einfluss mehr auf die Zahl unserer Nachkommen haben.

Von diesen Einflüssen ganz abgesehen gibt es Grenzen für die Komplexität natürlichen Lebens. Beim Kopieren der genetischen Information können Fehler entstehen. Diese Fehler haben zwar die Evolution überhaupt erst ermöglicht, führen aber zu einer Degeneration, wenn sie zu häufig auftreten. Mit der Komplexität der Gene steigt auch die Zahl der Kopierfehler, sodass es hier eine obere Grenze gibt. Die Natur hat zwar eine Reihe von Reparaturmechanismen entwickelt, diese sind aber wohl weitestgehend ausgereizt. Ein weiterer Grund für das Erliegen der Evolution liegt in der mittlerweile starken Durchmischung der menschlichen Gene. Zufällige Verbesserungen verschwinden wieder weitgehend nach wenigen Generationen. Die kleineren begrenzten Gruppen hingegen, in denen sich vorteilhafte Mutationen besser durchsetzen können, sind heute selten geworden.

Viele Wissenschaftler nehmen an, dass sich unsere Gene bereits in den letzten dreißigtausend Jahren nur noch unwesentlich – wenn überhaupt – verändert haben. Dass damit der Mensch das Endprodukt und sozusagen die Krönung der Evolution darstellt, heißt nicht, dass in den noch vor uns liegenden Milliarden Jahren auf der Erde nichts Überlegeneres nachfolgt: Gleichzeitig mit dem Erliegen der natürlichen Evolution ergeben sich für die Menschheit Möglichkeiten der gezielten künstlichen Weiterentwicklung der Intelligenz. Im Jahr 2001 gelang der Abschluss der Entschlüsselung der menschlichen Gene. Es wird zwar noch einige Zeit dauern, bis auch die Funktionen der einzelnen Gene entschlüsselt sind, aber das ist letztlich nur eine Frage der Zeit. Irgendwann werden wir dann vielleicht auch in der Lage sein, durch Genmanipulation gezielt die Fähigkeiten unseres Gehirns zu verbessern. Ob dies sinnvoll und wünschenswert ist, sei im Moment dahingestellt.

Neben den bereits erwähnten Grenzen der Komplexität der Gene gibt es allerdings noch weitere natürliche Grenzen für die Größe unseres Gehirns. Ein größeres Gehirn würde schon bei der Geburt einen größeren Kopf bedingen, was ab einer gewissen Größe zu erheblichen Problemen bei der Geburt führen würde. Bereits jetzt erfolgt die Geburt beim Menschen im Vergleich zu anderen Primaten etwa zwei Monate früher, da sonst der Kopf für den Geburtskanal zu groß wäre. Daher ist das Gehirn nach der Geburt vergleichsweise unterentwickelt, und das Baby braucht eine sehr intensive Betreuung. Ein

Ausweg für genmanipulierte Menschen wäre hier in der Zukunft das Heranwachsen außerhalb des Mutterleibes. Während wir uns so vielleicht noch eine Verdopplung der Gehirnmasse vorstellen können, liegt dagegen beispielsweise eine Verzehnfachung außerhalb der Möglichkeiten unseres restlichen Körpers.

Weiterhin ist die Geschwindigkeit der Informationsübertragung in unseren Nervenzellen mit etwa 100 m/s recht langsam. Wie in den folgenden Abschnitten noch gezeigt wird, spielt die Synchronisation der Nervenimpulse eine ganz entscheidende Rolle. Bei einer Impulsbreite von etwa einer Millisekunde liegt der Abstand, über den Synchronisation hergestellt werden kann, in der Größenordnung von nur 10 cm, sodass auch von diesem Gesichtspunkt her die Größe des Gehirns begrenzt ist.

Aus dieser Vielzahl von Gründen ist der Weg der gezielten Steigerung der natürlichen Intelligenz über die Genmanipulation – ganz abgesehen von ethischen Bedenken – nur sehr eingeschränkt gangbar und daher eine Sackgasse. Viel bessere Aussichten hat im Gegensatz dazu die Entwicklung der künstlichen Intelligenz.

Dass die Evolution einen tieferen Sinn hat und Ziel gerichtet ist, ist für die Theologie, soweit sie die Evolutionslehre überhaupt akzeptiert, unzweifelhaft. Schließlich mutet dieser Selbstorganisationsprozess so wunderbar und subtil an, dass dahinter ein Lenker stehen muss, der wiederum ein Motiv für seine Schöpfung hat. Die moderne Biologie und die von ihr beeinflussten Philosophen sehen das aber zum Teil völlig anders. So schreibt der Wiener Philosoph Franz M. Wuketits:

*Es gibt keine Indikatoren für einen durchgehenden Fortschritt in der Evolution, und wir finden kein vernünftiges Argument für die Annahme, dass die Evolution irgendein Ziel anstrebt. Der Glaube an evolutiven Fortschritt ist lediglich Ausdruck menschlichen Wunschenkens, und wo die Evolutionslehre mit diesem Glauben vermengt wurde, sollte sie letztlich wieder die Funktion einer Religion übernehmen. Indessen sollten wir – auch wenn's vielleicht schwer fällt – endlich zur Kenntnis nehmen, dass die Evolution nirgendhin geht.*

Andererseits kann man aber auch argumentieren, dass dann, wenn die Existenz unserer Welt irgendeinen Sinn haben sollte, die Entwicklung von bewusstem intelligentem Leben in Form des Menschen

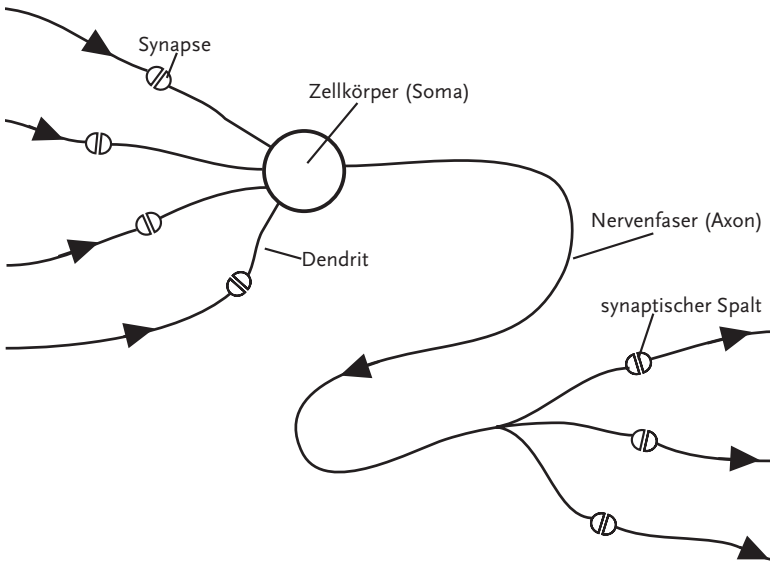
ein zwangsläufiger, erster Schritt war. Eine Welt ohne bewusste Intelligenz kann schließlich nicht wahrgenommen werden. Wenn aber etwas nicht wahrgenommen beziehungsweise von bewusster Intelligenz wenigstens indirekt gemessen werden kann, so stellt sich nach unserem Verständnis der modernen Physik die Frage, ob es überhaupt existiert. Der Standpunkt, dass bereits der Mensch das Endprodukt und damit das letzte Ziel der Existenz unserer Welt ist, muss allerdings als überheblich angesehen werden. Der Mensch stellt zwar mit großer Wahrscheinlichkeit das Endprodukt der natürlichen Evolution dar, aber nicht das Endprodukt der allgemeinen Entwicklung von höherer Intelligenz. Es ist vielmehr so, dass wir jetzt in der Lage sind, unser Schicksal in die eigene Hand zu nehmen, und die Intelligenz selbst weiterentwickeln können.

## 1.2 Eigenschaften der natürlichen Intelligenz

*Nach all dem, was wir wissen, wird das Gehirn nicht von außen gesteuert, sondern erzeugt alle diese Phänomene, die wir als psychische kennen, wie auch alles andere Verhalten selbst. Insofern müssen wir die Erklärung für all das, was wir sind im Gehirn suchen.*

Wolf Singer, Hirnforscher

Lange Zeit war die Funktionsweise unseres Gehirns ein Rätsel, und nach wie vor sind noch viele Fragen offen. Dennoch kennen wir mittlerweile zumindest einige grundlegende Funktionen einzelner Bereiche des Gehirns und auch der Nervenzellen (Neuronen), die die entscheidenden Bausteine des Gehirns bilden. Nach dem Stand der heutigen Neurobiologie resultieren die Leistungen des Gehirns aus den Schalteigenschaften der Neuronen und ihrer »Verdrahtung« zu einem neuronalen Netz. Obwohl sich die Funktion »der Neuronen stark von den Schaltelementen in unseren Computern unterscheidet, bestehen doch gewisse Analogien. Neuronen sind Schaltelemente, die über mehrere Eingangs- und Ausgangskanäle verfügen (Abb. 1-1). Der Zellkörper ist ähnlich aufgebaut wie bei normalen Körperzellen. Die Besonderheit ist ein mehr oder weniger langer Fortsatz, die Nervenfaser (Axon), die sich häufig noch in einzelne Fasern verzweigt. Sie



**Abb. 1-1** Stark vereinfachtes Schema einer Nervenzelle, d. h. eines Neurons (nach P. R. Gerke).

dient der Übertragung von elektrischen Impulsen zu anderen Zellen. Das Neuron selbst ist im Prinzip ein elektrischer Pulsgenerator, der unter bestimmten Eingangsbedingungen Impulse einer Stärke von etwa achtzig tausendstel Volt ( $80 \text{ mV}$ ) mit der Dauer einer tausendstel Sekunde ( $1 \text{ ms}$ ) erzeugt. Die Axone bilden sozusagen die Verdrahtung zwischen den Neuronen. Sie können eine Länge bis zur Größenordnung von einem Meter erreichen. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Impulse beträgt bis zu  $100 \text{ m/s}$ . Sie ist damit millionenfach langsamer als die Übertragungsgeschwindigkeit elektrischer Impulse in unseren Computern. Für die Belange unseres Körpers reicht sie aber vollkommen aus.

Die Informationsübertragung zwischen Neuronen geschieht über so genannte Synapsen. Man unterscheidet elektrische und chemische Synapsen. Die elektrischen Synapsen leiten die Impulse zwar gedämpft, aber weitgehend unverzögert über sehr enge Zellkontakte weiter. Bei den chemischen Synapsen stehen die Prä- und die Postsynapse nicht in unmittelbarem Kontakt, sondern sind durch den so genannten synaptischen Spalt getrennt. Dieser Spalt wird durch Aus-

schüttung von chemischen Botenstoffen (Neurotransmitter) überbrückt. Sie beeinflussen die Stärke und die Zeitverzögerung, mit der die Impulse weitergeleitet werden. Botenstoffe, die eine schnelle Übertragung bewirken, sind: Glutamat, GABA (Gamma-Aminobuttersäure) und Glycin. Weiterhin gibt es mehr als hundert mittel- und längerfristig wirkende Botenstoffe. Es ist damit klar, dass Chemikalien (Drogen, Neuroleptika), die die Konzentration bestimmter Transmittersubstanzen beeinflussen, einen starken Effekt auf die Informationsverarbeitung im Gehirn erzeugen. In ihrer Wirkung auf das Neuron können einzelne Synapsen erregend oder hemmend sein.

Der Zellkörper (Soma) der Neuronen integriert die ankommenden postsynaptischen Potenziale. Überschreitet die Summe der ankommenden Potentiale einen Schwellenwert, so erzeugt das Neuron selbst einen Impuls; man sagt, sie »feuert«. In die informationsverarbeitende Funktion eines Neurons gehen eine Vielzahl von Faktoren ein. Diese sind unter anderem das Verhältnis von erregenden und hemmenden Synapsen, die räumliche Anordnung der Synapsen und die zeitliche Struktur der ankommenden Potenziale.

Da eine Reihe von analogen Größen (z. B. Zeitabstände) in die Schaltfunktion eines Neurons eingehen, ist sie nicht vollständig durch eine Digitalschaltung zu simulieren. Insbesondere können kleinste Änderungen in der Leitfähigkeit der Zellmembran und in der zeitlichen Abfolge der Eingangsimpulse darüber entscheiden, ob ein Neuron feuert oder nicht. Davon abgesehen haben viele Nervenzellen die Fähigkeit, ohne äußere Reizung zu feuern (Spontanaktivität). Damit ergibt sich im Gegensatz zu unseren heutigen Computern prinzipiell der Zugriff zu nicht berechenbaren, zufälligen Ereignissen. Sieht man aber von dieser Eigenschaft ab, so kann man schon jetzt die Informationsverarbeitung eines Neurons recht gut mit einem Computerprogramm simulieren. Als Beispiel sei das Programm »NeuRA« der Heidelberger Forschungsgruppen um Prof. G. Wittum und Prof. B. Sakmann genannt.

Die Anzahl der Synapsen pro Neuron ist gewaltig, sie erreicht Werte bis zu 20 000. Im Durchschnitt sind es mindestens 1000 pro Neuron. Das menschliche Gehirn besitzt mehr als 100 Milliarden Neuronen (die Literaturwerte reichen von 10 Milliarden bis zu 1 Billion). Das ergibt bis zu 100 Trillionen ( $10^{14}$ ) synaptische Verbindungen. Wenn wir jeder dieser Verbindungen nur ein Bit an verarbeitbarer oder speicherbarer Information zugestehen, so ergäbe das in Form von Spei-



cherplatz ausgedrückt eine Obergrenze von 100 Terabit (mit 1 Byte = 8 Bit entspricht das 12,5 Terabyte). Weiterhin besitzt das menschliche Gehirn neben den Neuronen eine enorme Zahl von so genannten Gliazellen. Diese Zellen sind beim Menschen zehnmal häufiger als die Neuronen. Neuere Ergebnisse zeigen, dass eine Gliazelle mit ihren Fortsätzen bis zu 100 000 Neuronen kontaktiert und deren Aktivität beeinflusst, wodurch die Informationsverarbeitung des Gehirns eine enorme Komplexität aufweist.

Die Schaltgeschwindigkeit der Neuronen liegt bei etwa 0,005 Sekunden, oder anders ausgedrückt: Die Taktfrequenz liegt bei 200 Hz. Einige Neuronen erreichen Frequenzen bis zu 500 Hz. Im Vergleich dazu liegen die Taktfrequenzen der Schaltbausteine in unseren heutigen Computern im Gigahertz-Bereich. Sie arbeiten also mehr als 10 Millionen Mal schneller. Wie ist dann die weitgehende Überlegenheit unseres Gehirns gegenüber den Computern zu verstehen? Die Antwort darauf ist recht einfach: während die Mikroprozessoren in den Computern überwiegend sequenziell arbeiten, arbeitet unser Gehirn extrem parallel, d. h. im Gehirn können Milliarden von Neuronen gleichzeitig arbeiten.

Unabhängig von der Arbeitsweise einer intelligenten Maschine kann man ein Maß für die Rechenleistungsfähigkeit allgemein angeben. Die gebräuchlichsten Einheiten sind: Millionen Instruktionen pro Sekunde (MIPS) oder Millionen Gleitkomma-Operationen pro Sekunde (Mega-FLOPS). Angaben in Mega-FLOPS sind mehr bei wissenschaftlichen Berechnungen geeignet, während Angaben in MIPS für Aufgaben im Bereich der Bildverarbeitung und der Mustererkennung sinnvoller sind. Gleitkomma-Operationen erfordern mehrere Einzelinstruktionen, sodass je nach Organisation einer Maschine die Angabe in Mega-FLOPS einen kleineren Wert (Faktor 2 bis 10) ergibt. Diese Angaben sind allerdings nur ein sehr grobes Maß für die Leistungsfähigkeit. Multipliziert man die oben angegebene Zahl der im Gehirn zu verarbeitenden oder speicherbaren Information mit der maximalen Taktfrequenz, so bekommt man eine theoretische obere Grenze für die Leistungsfähigkeit des Gehirns von  $2 \cdot 10^{16}$  Schaltvorgängen pro Sekunde. Dieser Wert dürfte aber bei weitem nicht erreicht werden, denn nur ein geringer Teil der synaptischen Verbindungen der Neuronen wird ständig verändert, und nur ein kleiner Teil der Neuronen arbeitet zur gleichen Zeit. Weiterhin wird ein Teil der Neuronen als Massenspeicher genutzt und steht damit nicht un-

mittelbar als »Prozessor-Hardware« zur Verfügung. Berücksichtigt man noch, dass zur Ausführung einer Instruktion ein ganze Reihe von einzelnen Schaltvorgängen nötig ist, so kommt man für die Leistungsfähigkeit unseres Gehirns auf Werte zwischen 0,1 Millionen und 100 Millionen MIPS, wobei der obere Wert auch hier sicherlich noch zu hoch gegriffen ist. Der Einfachheit halber wollen wir hier im Folgenden von einem Wert um 10 Millionen MIPS ( $10^7$  IPS) ausgehen. Diese Abschätzung kann immer noch um mehrere Größenordnungen daneben liegen, aber es ist wenigstens ein Anhaltspunkt für Vergleiche mit der künstlichen Intelligenz. In der Literatur werden zuweilen Werte angegeben, die um den Faktor 10 bis 100 größer sind. Dabei werden aber die oben genannten Faktoren nicht genügend berücksichtigt. Eine Angabe der Leistung des menschlichen Gehirns in Mega-FLOPS ist wenig sinnvoll, weil gerade bei dieser Art von Berechnungen die Leistung extrem niedrig ist, nämlich weit unter 1 FLOPS.

Ein Hinweis, dass der Wert von 10 Millionen MIPS nicht völlig falsch ist, kann man auch aus dem Vergleich von Schach spielenden Computern mit Menschen ableiten. So hatte der IBM-Computer Deep Blue, der 1997 den Schachgroßmeister Gari Kasparow schlug und damit bewies, dass er zumindest beim Schachspielen einem menschlichen Gehirn ebenbürtig ist, eine Rechenleistung von 3 Millionen MIPS. Dieser Wert liegt nach obiger Abschätzung in der gleichen Größenordnung wie der angegebene Wert für ein menschliches Gehirn. Solche Vergleiche sind aber etwas problematisch, denn beim Menschen spielen bildhafte Vorstellungen und das Verfolgen bestimmter Strategien eine große Rolle. Dagegen basierte der Algorithmus von Deep Blue auf dem exakten Durchspielen einer sehr großen Menge von Zügen. Bei einem neueren Vergleich zwischen dem Computer Deep Fritz und dem Schachgroßmeister Vladimir Kramnik in 2002 wurde Gleichstand erreicht. Diesmal hatte der Computer nur 1,3% der Rechenleistung von Deep Blue, aber einen verbesserten Algorithmus. Dies führt zu der Vorhersage, dass bis etwa zum Jahr 2010 optimierte Schachprogramme auf PCs jeden Menschen schlagen können. Diese Vergleiche zeigen, dass der Wert von 10 Millionen MIPS für die durchschnittliche Rechenleistung eines menschlichen Gehirns eher als obere Grenze angesehen werden sollte.

Um das Jahr 2000 lagen die Werte für Personal Computer noch bei einigen tausend MIPS. Bis etwa zum Jahr 2015 werden sie die Re-

chenleistung des menschlichen Gehirns erreicht haben. Einzelne Großrechenanlagen übertreffen den Wert schon jetzt um Größenordnungen. Im Jahr 2005 wurde ein Wert von etwa 1 Milliarde MIPS erreicht, was einer Leistung von mindestens 100 menschlichen Hirnen entspricht. Der von den Firmen IBM, Sony und Toshiba geplante Superchip »Cell« soll bei einer Taktfrequenz von 4 GHz durch massive Parallelverarbeitung bereits eine Rechenleistung von 2 Millionen MIPS erreichen.

Aufgrund der unterschiedlichen Arbeitsweise von Gehirn und Computer sind die Leistungen je nach Problemstellung äußerst unterschiedlich. So sind reine Rechenarbeiten wie das Verarbeiten großer Datenmengen selbst von leistungsschwachen Computern mit großer Geschwindigkeit und hoher Zuverlässigkeit zu bewältigen. Die Mustererkennung in bewegten Bildern, die Spracherkennung und Sprachverarbeitung sind Bereiche, in denen unser Gehirn noch erheblich effektiver arbeitet. Die Fähigkeit des bewussten Denkens werden wir im Folgenden noch ausführlich diskutieren.

Die Trennung von Hardware und Software ist im Gegensatz zu unseren Computern im Gehirn nicht ohne weiteres möglich. Hier werden die Informationen sozusagen fest verdrahtet in der Hardware, die Programme sitzen förmlich in den Verschaltungsmustern der Neuronen. Daher müssen wir beim Aufwachen nach einem tiefen Schlaf nicht erst irgendwelche Programme in den Arbeitsspeicher laden. Trotz der im Vergleich zur Digitalelektronik sehr unterschiedlichen Arbeitsweise lässt sich die Funktion der Informationsverarbeitung in Neuronen aber mithilfe von Computern, zumindest stark vereinfacht, simulieren. Das gleiche gilt für die Zusammenschaltung mehrerer Neuronen zu so genannten neuronalen Netzen. Eine softwaregestützte Simulation mit normalen seriellen Prozessoren ist allerdings, abhängig von der Problemstellung, nicht sehr effektiv. Günstiger ist es, die Hardware schon so aufzubauen, dass sie in ihrer prinzipiellen Funktionsweise den natürlichen neuronalen Netzen ähnelt. Wie später noch beschrieben wird, ist dieser Aufbau aber nur eine Frage der Recheneffektivität und nicht der Qualität.

Wegen der gewaltigen Zahl der Synapsen pro Neuron ergibt sich eine extreme informationstechnische Erreichbarkeit der Neuronen untereinander. Bereits nach drei Ebenen von Neuronen kann eine Größenordnung von einer Milliarde Neuronen erreicht werden. Dadurch, dass es unterschiedliche Typen von Neuronen gibt, wird das

Bild noch komplizierter. In der Hirnrinde ist allerdings auch eine gewisse vertikale Strukturierung der Anordnung festzustellen. Ob ein Neuron als Prozesselement oder als Speicher genutzt wird, hängt aber nicht mit seinem Typ zusammen. Insbesondere kann man auch keine bestimmten Hirnregionen als reine Speicher ermitteln. Die Einteilung unseres Gedächtnisses in Kurzzeit-, Mittelzeit- und Langzeitgedächtnis spiegelt sich auf der Ebene der Neuronen nicht unmittelbar wieder.

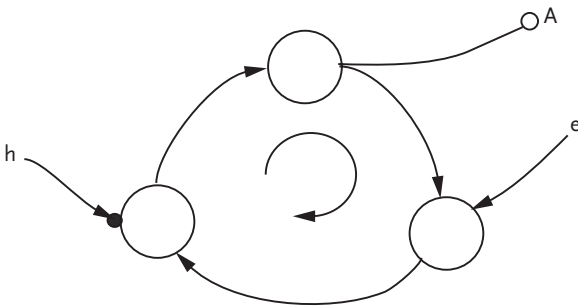
Die Frage, wie die Speicherung von Information in den Neuronen funktioniert, war lange Zeit völlig ungeklärt. Mittlerweile haben sich aber die meisten Hirnforscher der in den Fünfzigerjahren des vorigen Jahrhunderts von J. O. Hebb formulierten Hypothese angeschlossen. Dieser Hypothese zufolge ändern sich die Übertragungseigenschaften der Synapsen durch Gebrauch, d. h. Stimulierung. Führt z. B. die Impulsübertragung einer Synapse zum Feuern eines Neurons, so wird diese Synapse sozusagen damit belohnt, dass ihre Erregungswirkung verstärkt wird. Wenig genutzte Synapsen werden dagegen in ihrer Erregungswirkung abgeschwächt. Im Netz der Neuronen werden dadurch mit der Zeit Impulswege gangbarer, die häufig genutzt werden.

Für unser Mittel- und Langzeitgedächtnis scheinen biochemische Vorgänge notwendig zu sein. So haben Untersuchungen gezeigt, dass die Langzeitspeicherung nur funktioniert, wenn die cerebrale Proteinsynthese intakt ist. Weiterhin weiß man aus der Untersuchung von Patienten, denen aus klinischen Gründen der Hippocampus beidseitig entfernt wurde, dass dieser eine ganz entscheidende Rolle bei der Informationsspeicherung spielt. So verfügen diese Patienten weiterhin über ein Langzeitgedächtnis, sind aber nicht in der Lage, sich irgendwelche Dinge neu zu merken. An Ereignisse vor ihrer Operation können sie sich aber problemlos erinnern.

Die beschriebene Hypothese reicht allerdings nicht aus, um das Kurzzeitgedächtnis zu erklären, denn biochemische Prozesse oder gar das Wachstum von Synapsen brauchen eine gewisse Zeit. Wenn wir z. B. eine Telefonnummer aus dem Telefonbuch entnehmen und diese Nummer dann anwählen, so gehen wir in der Regel so vor, dass wir die Nummer in unserem Kopf ständig wiederholen, bis sie eingetippt ist. Wenn wir dabei abgelenkt werden, ist die Gefahr groß, dass wir die Zahl nicht mehr richtig in Erinnerung haben. Diese aktive Form der kurzzeitigen Speicherung kann auf neuronaler Ebene durch

eine Rückkopplung erklärt werden. Die Information läuft dann sozusagen im Kreis, bis sie wieder abgerufen wird.

Mit einer solchen Rückkopplung lässt sich auch die Frage beantworten, wo neuronale Impulse, die nicht nur weitergeleitet werden, ihren Ursprung haben. Eine Quelle sind sicherlich unsere Sinnesorgane. Aber wir können auch ohne äußere Sinneseindrücke spontane Gedanken haben. In diesem Fall müssen die Impulse offensichtlich hirntern erzeugt werden. Neuronen arbeiten in gewisser Weise als Impulsverstärker. Jeder Techniker, der sich mit Verstärkern befasst, kennt das Phänomen der Schwingungserzeugung durch Rückkopplung. Dabei wird ein Teil der Ausgangsleistung wieder dem Eingang des Verstärkers zugeführt, sodass ein geschlossener Verstärkungskreislauf entsteht, der selbst die kleinste Störung bis zur Leistungsgrenze des Systems verstärkt. Im Neuronenmodell können wir uns eine Rückkopplung so vorstellen, dass nach mehreren Neuronenebenen eine oder mehrere Nervenfasern (Axone) mit der Eingangsebene verbunden sind (Abb. 1-2). Wird nun durch eine kleine Erregung oder Störung ein Impuls erzeugt, so kann dieser im Kreis umlaufen, bis ihn eine Hemmung wieder stoppt. Der Impuls ist damit vorübergehend gespeichert. Man spricht hier auch von aktiver Speicherung, wegen der ständigen Aktivität der beteiligten Neuronen, während die Speicherung über die Modulation der Synapsen als passive Speicherung bezeichnet wird. Am Ausgabepunkt A werden dann für die Dauer des Umlaufs periodisch Impulse erzeugt, die wiederum Schaltvor-



**Abb. 1-2** Elektrisch aktive Speicherung durch Rückkopplungseffekt (nach P. R. Gerke). Drei Neuronen sind zu einem Kreis zusammengeschaltet. Eine Erregung bzw. Störung e erzeugt einen Impuls, der

im Kreis umläuft. Eine äußere Hemmung h kann diesen Prozess wieder beenden. Am Ausgabepunkt A werden periodische Impulse erzeugt, die Schaltvorgänge im Gehirn einleiten können.

gänge in anderen Bereichen einleiten können. Wenn größere Hirnbereiche in einen solchen Rückkopplungskreislauf einbezogen werden und die Schwingung längere Zeit ungestört bleibt, kann man sie sogar an der Schädeloberfläche ableiten und messen (Elektroenzephalogramm, EEG).

Abgesehen von Vorgängen auf molekularer Ebene beginnt die hardwaremäßige Organisation unseres Gehirns auf der untersten Stufe mit den Neuronen. Auf dieser Stufe lassen sich einzelne Vorgänge nicht bestimmten intellektuellen Funktionen und Fähigkeiten zuordnen. So gibt es kein einzelnes Neuron, in dem der Begriff »Haus« gespeichert ist. Erst wenn eine größere Zahl von Neuronen zu so genannten Modulen zusammengeschaltet ist, kann man überhaupt von der Speicherung oder der Verarbeitung von Symbolen sprechen. Die Zusammenschaltung vieler solcher Module kann man dann als Funktionsgruppe identifizieren.

Wir wissen, dass unterschiedlichen Bereichen unseres Gehirns verschiedene Funktionen zugeordnet werden können. So gibt es ein Sehzentrum, ein Sprachzentrum, ein Bereich, dem unsere Persönlichkeit zuzuordnen ist usw. Innerhalb dieser Bereiche ist es aber nicht so, dass bestimmte Informationen in ganz bestimmten Neuronen an einem konzentrierten Punkt gespeichert sind. Unser Gehirn arbeitet vielmehr »holographisch«, das heißt die Informationen werden über einen größeren Bereich in verschiedenen Zellen gespeichert. Der Ausfall einzelner Neuronen ist daher in der Regel ohne merkbare Wirkung. Erst wenn ein größerer Bereich (z. B. durch eine Verletzung) ausfällt, hat das beobachtbare Folgen. Längerfristig können die Funktionen von defekten oder ausgefallenen Bereichen aber häufig von anderen Bereichen übernommen werden. Die gesamte Organisation unseres Gehirns ist also flexibel. Im Gegensatz dazu reicht bei den seriellen Prozessoren in unseren Computern meistens schon der Defekt eines einzigen Schaltelements aus, um den gesamten Computer funktionsunfähig zu machen.

Aus der beschriebenen Hierarchie des Gehirns können wir schon an dieser Stelle feststellen, dass Phänomene wie Bewusstsein oder Ich-Identität nicht an einzelnen Neuronen festgemacht werden können. Es gibt keine »persönliche« Neuronen. Das, was unser Hirn von den Hirnen anderer Personen unterscheidet, ist die Verschaltung der Neuronen bzw. ihre informationstechnische Funktion. Trotz einer gewissen Hierarchie zwischen einzelnen Gehirnregionen gibt es kein

oberstes kognitives Zentrum. Insbesondere gibt es keine genau definierte Stelle, an der das Bewusstsein lokalisiert werden kann. Dennoch dürfte für das Ich-Bewusstsein der Stirnlappen des Neokortex eine besondere Rolle spielen. Durch Krankheiten oder Verletzungen dieser Region kann es zu Persönlichkeitsveränderungen kommen. So berichten manche schizophrene Patienten, dass sie sich ferngesteuert fühlen und dass ihre Gedanken eingegeben werden. Ein weiterer Hinweis für die Lokalisierung des Bewusstseins im Stirnlappen ergibt sich aus dem Befund, dass hier die Neuronen weitgehend untereinander »verdrahtet« sind und nur zu einem geringen Prozentsatz Verbindungen zu den anderen Hirnregionen haben. Das deutet darauf hin, dass sich dieser Teil des Gehirns überwiegend mit sich selbst beschäftigt.

Die Feinsteuerung von Bewegungsabläufen findet im Kleinhirn statt. Das Großhirn besteht aus zwei Hälften, die mit etwa 200 Millionen Nervenfasern über den Querbalken (Corpus Callosum) miteinander verbunden sind. Die kognitiven Leistungen sind meistens in der linken Hälfte angesiedelt, während z. B. das Erkennen von Formen, akustischen Eindrücken und Kreativität mehr der rechten Hälfte zuzuordnen sind.

Während das Großhirn wichtig ist für die Kognition und die logische Gedankenarbeit, ist das limbische System – bestehend aus Hippocampus, Mandelkern und Hypothalamus – verantwortlich für unsere Emotionen. Daneben hat es die Aufgabe, Sinneseindrücke und Erfahrungen nach ihrer Wertigkeit zu beurteilen. Insbesondere im Hypothalamus liegen Zentren, die Sexualität und Affekte wie Lust, Wut und Furcht steuern. Im Thalamus findet eine Vorverarbeitung der einströmenden Signale unserer Sinnesorgane mit Ausnahme des Geruchs sinns statt. Bei dieser Vorverarbeitung werden die Signale gefiltert und in gewisser Weise komprimiert. Damit wird verhindert, dass das Großhirn mit Reizen überflutet wird. Die Nerven des Geruchs sinns wirken direkt auf das Großhirn und insbesondere auf das limbische System ein. Der Hypothalamus ist für die hormonelle Steuerung zuständig. Der Hippocampus hat entscheidenden Einfluss auf die Gedächtnisbildung. Im Mandelkern laufen die Sinneseindrücke aus verschiedenen Teilen des Gehirns zusammen. Er dient der emotionalen Verarbeitung (z. B. Steuerung von Angstverhalten).

Der Neokortex kann von der Funktion her in 40 getrennte Areale unterteilt werden, die so genannten Brodmannschen Felder. Einzelne

Felder kann man z. B. der Bewegung bestimmter Gliedmaßen zuordnen. Parallel zur Oberfläche der Großhirnrinde verlaufen sechs mikroskopisch unterschiedliche Schichten. Sie unterscheiden sich durch die unterschiedlichen Anteile verschiedener Typen von Neuronen und die Art ihrer »Verdrahtung«. Weiterhin lässt sich ein säulenartiger Aufbau senkrecht zur Oberfläche des Neokortex feststellen. Diese Säulen bzw. Module haben eine Länge von etwa 3 mm und einen Durchmesser von 0,1 bis 0,5 mm. Sie bestehen jeweils aus etwa 10 000 Neuronen und stellen Funktionseinheiten (Module) dar.

Die oben angegebene Abschätzung der Leistungsfähigkeit des Gehirns basiert auf der Zahl der Neuronen und ihrer maximalen Schaltgeschwindigkeit. Die Zahlen für die Speicherkapazität und die Rechenleistung sind daher theoretische obere Grenzwerte. Wie viel davon wird nun tatsächlich genutzt? Die wirkliche Leistung kann recht gut getestet werden. Wir können z. B. den Umfang des Wortschatzes ermitteln, die Zahl der einzelnen beruflich genutzten Kenntnisse oder die Zahl der gespeicherten Bildmuster. Die Schätzungen für die Gesamtzahl unserer gespeicherten Fähigkeiten liegen bei 100 Millionen. Mit der Abschätzung von 100 Trillionen logischer Verknüpfungen erhalten wir damit pro einzelne Fähigkeit 1 Million Verknüpfungen. Wie man daran erkennt, verfügt das Gehirn über eine sehr große Redundanz. Der Ausfall einzelner Neuronen spielt daher keine große Rolle.

Eine wesentliche Eigenschaft, die die menschliche Intelligenz von der Intelligenz der Tiere unterscheidet, ist die Sprachfähigkeit. Die Anlagen dazu sind in unseren Genen verschlüsselt. Es konnten sogar inzwischen bestimmte Gene identifiziert werden, die auf die Sprachfähigkeit entscheidenden Einfluss haben. Molekularbiologen schätzen das Alter dieser Gene auf etwa 200 000 Jahre. Davon abgesehen kann das menschliche Gehirn nicht als einzigartig eingestuft werden. Mit einem durchschnittlichen Gewicht von 1450 g ist es nicht das größte, denn Elefanten und Pottwale haben weitaus größere Gehirne. Auch in Relation zum Körpergewicht ist es mit 2 % kleiner als das Gehirn von Kleinsäugetern, wie z. B. Spitzmäusen, die 4 % erreichen. Weiterhin ist es von seinem mikroskopischen Aufbau her kaum von Tierhirnen zu unterscheiden. Das, was das menschliche gegenüber dem Gehirn anderer Arten hervorhebt, ist der vergleichsweise große Neokortex.



Der Entwicklungszweig der Menschenaffen hat sich vor etwa sechs Millionen Jahren von dem des Menschen abgetrennt. Obwohl uns Menschenaffen physisch und genetisch sehr ähnlich sind, haben sie die Schwelle zur Sprachfähigkeit nicht erreicht. Der Neuropsychologe Robert Provine von der University of Maryland hat herausgefunden, dass vor allem der aufrechte Gang eine körperliche Voraussetzung zur Entwicklung einer komplexen Lautsprache ist. Nach seiner Ansicht ist ohne aufrechten Gang keine Atmung möglich, mit der sich vernünftig sprechen lässt. Im Gegensatz zu Menschen atmen Vierbeiner wie Hunde und Katzen bei jedem Schritt einmal ein. Ein solcher Atemrhythmus erschwert sicherlich eine flüssige Sprache.

Weiterhin ist an den Skeletten erkennbar, dass beim Menschen der Kehlkopf deutlich tiefer liegt als beim Affen. Damit kann der Mensch den großen Rachenraum als Resonanzkörper nutzen und feine, differenzierte Sprachlaute erzeugen. Paläontologen schätzen, dass sich die anatomischen Voraussetzungen für eine differenzierte Sprache vor etwa 1,8 Millionen Jahren ausgebildet haben. Dies fällt mit der Zeit zusammen, als der *Homo erectus* entstand. Er zeigte gegenüber seinen Vorgängern erste Anzeichen von abstraktem Denken, denn er benutzte Faustkeile. Die Herstellung von Werkzeugen erfordert abstraktes Denken, denn man muss sich bei der Herstellung über die zukünftige Anwendung Gedanken machen. Diese Zusammenhänge weisen darauf hin, dass Sprache und Intelligenz sich gegenseitig positiv beeinflussen. Welches der beiden Phänomene zuerst vorhanden war, ist dabei umstritten. Wahrscheinlich war es so, dass sich mit der schrittweisen Entwicklung von handwerklichen Fähigkeiten auch die Sprache langsam entwickelt hat. Dafür spricht auch, dass der Bereich im Gehirn, der die Feinmotorik der Hand steuert, in der Nähe des Sprachzentrums liegt. Dennoch verfügen auch z. B. Schimpansen und Gorillas über ein gewisses Maß an Abstraktionsvermögen. Sie können z. B. die Bedeutung von einigen hundert Zeichen erlernen.

Hauptsitze unserer Sprachfähigkeit sind zwei größere Bereiche im Gehirn, das Broca- und das Wernicke-Areal. Der Franzose Paul Broca hatte 1861 das Gehirn eines Verstorbenen seziiert, der sein Leben lang zwar jeder Unterhaltung folgen konnte, aber nicht in der Lage war, mehr als nur eine einzige Silbe zu sprechen. Broca fand in der linken vorderen Hirnhälfte eine große Zyste. Bei der Obduktion ähnlich sprachbehinderter Patienten fand er immer wieder krankhaftes Gewebe in der gleichen Stelle; er schloss daraus, dass hier die Sprache

gebildet wird. Später fand der deutsche Arzt Wernicke bei Patienten, die keine Worte verstanden, aber ständig sinnlose Wortketten brabbelten, Schädigungen am linken seitlichen Schläfenlappen. Für ihn war damit klar, dass er das Zentrum für das Verstehen von Sprache gefunden hatte.

Die moderne Hirnforschung kann diese Entdeckungen zwar bestätigen, hat aber festgestellt, dass die genannten Areale nicht bei jedem Menschen an genau der gleichen Stelle sitzen. Weiterhin hat man festgestellt, dass bei Patienten, bei denen diese Areale in jungen Jahren durch Krankheit oder Unfälle verletzt wurden, das Sprachzentrum in die rechte Hirnhälfte abwanderte. Nach neueren Erkenntnissen ist aber das Sprachvermögen nicht ausschließlich in diesen Zentren konzentriert, sondern über große Bereiche des Gehirns verteilt.

Die Sprache selbst ist ein mächtiges Instrument der Kommunikation. Ein gebildeter Mensch verfügt über einen aktiven Wortschatz von rund 10 000 Hauptwörtern und 4000 Verben. Mit Hilfe der Grammatik können daraus 6,4 Billionen unterschiedliche Sätze mit einer Länge von fünf Wörtern gebildet werden. Die meisten Sprachforscher sehen in der Sprache das entscheidende Instrument des Bewusstseins. Klar dürfte jedenfalls sein, dass die Entwicklung der Sprache mit der Weiterentwicklung des Bewusstseins einherging und eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung der Intelligenz des Menschen über das Niveau der Tiere hinaus war. Die dominante Hirnhälfte, in der die Sprache lokalisiert ist, ist in der Regel die linke Hälfte

Die Position einzelner Denkprozesse im Hirn lässt sich über Aktivitätsmessungen von Gehirnregionen bestimmen (z. B. mit der funktionalen Kernspintomographie (fNMR) und der Positronen-Emissions-Tomographie (PET)). Man kann die Position aber auch über die Untersuchung von Patienten ermitteln, die Ausfälle ihres bewussten Denkvermögens infolge eines Schlaganfalls oder eines Gehirntumors erlitten haben. Interessant sind in diesem Zusammenhang der so genannte Wada-Test und »Split-Brain«-Experimente. Beim Wada-Test wird jeweils eine Gehirnhälfte kurzzeitig betäubt. Man erreicht dies durch Injektion eines Betäubungsmittels in die entsprechende Halsschlagader. Anschließend wird eine gezielte Kommunikation mit der wachen Hirnhälfte durchgeführt. Wird die rechte Hirnhälfte betäubt, so kann der Patient den linken Arm nicht mehr bewegen, aber nach wie vor sprechen und nach Aufforderung auf bestimmte Gegenstän-

de deuten. Wird die linke Hirnhälfte betäubt, so ist der rechte Arm gelähmt; der Patient kann in der Regel nicht mehr sprechen und reagiert auch nicht mehr auf verbale Aufforderungen. Gibt man ihm aber während des Tests einen Gegenstand in die linke Hand, so kann er nach dem Test den Gegenstand nichtverbal aus einer Reihe verschiedener Gegenstände auswählen, bestreitet aber, diesen Gegenstand während des Tests in der Hand gehalten zu haben. Dieses Ergebnis zeigt, dass das Sprachzentrum nur in einer der beiden Hirnhälften vorhanden ist. Ähnliche Ergebnisse ergeben sich bei Epilepsie-Patienten, bei denen operativ das Verbindungsglied zwischen den beiden Hirnhälften durchtrennt worden ist (»Split Brain«). Durch spezielle Versuchsanordnungen kann man erreichen, dass bei diesen Patienten jeweils nur eine Gehirnhälfte angesprochen wird. Im Ergebnis sind beide Hirnhälften immer noch, mit gewissen Einschränkungen, zu kognitiven Leistungen fähig. Die rechte Hemisphäre ist bei solchen Patienten zwar über nichtverbale Kommunikation wie z. B. Bildsymbolen ansprechbar, die daraus resultierende Handlung wird aber nicht bewusst wahrgenommen. Dies scheint auch durch die seltenen Fälle bestätigt zu werden, bei denen eine gesamte Hirnhälfte entfernt wurde. Bei Entfernung der subdominanten Hirnhälfte verfügten die Patienten nach eigenen Angaben noch über ihr volles Bewusstsein. Nur einige Fähigkeiten, wie räumliches Vorstellungsvermögen und fast sämtliche musikalische Fähigkeiten gingen verloren. Bei Entfernung der dominanten Hirnhälfte waren die Patienten dagegen völlig apathisch. Etwas besser sehen die Ergebnisse aus, wenn solche großen Eingriffe in einem Alter von unter fünf Jahren durchgeführt werden. Aufgrund der besonders großen Formbarkeit des Gehirns im Kindesalter kann hier die verbleibende Hirnhälfte den größten Teil der Leistungen der entfernten Hälfte nach einiger Zeit übernehmen. Auch die rechte Hirnhälfte trägt jedoch zum Bewusstsein bei. Nach Meinung des Neurologen und Nobelpreisträgers John C. Eccles ist sie immer noch leistungsfähiger als ein nicht-menschliches Primatengehirn.

Die räumliche Lokalisierung von Fähigkeiten im Gehirn scheint überwiegend genetisch programmiert zu sein. Es gibt kein oberstes Bewusstseinszentrum, vielmehr wirken viele Bereiche zusammen. Ereignisse werden jedenfalls dann bewusst wahrgenommen, wenn sie von Aktivitäten der assoziativen Großhirnrinde begleitet sind. Hierbei befasst sich der linksseitige hintere und untere Scheitellap-

pen mit symbolisch-analytischer Informationsverarbeitung. Der rechtsseitige Scheitellappen ist zuständig für die räumliche Orientierung. Das schließt auch die räumliche Zuordnung der eigenen Körperteile ein. Im oberen und mittleren Schläfenlappen liegt das Zentrum für akustische Wahrnehmung und Verarbeitung einschließlich der Sprache. Der untere Schläfenlappen ist verantwortlich für komplexe visuelle Informationsverarbeitung wie das Erkennen von Gesichtern. Der präfrontale Kortex ist im oberen Teil zuständig für die zeitliche Reihenfolge von Ereignissen und Problemen der Außenwelt und deren Lösung. Im unteren Teil liegt das Zentrum für soziales Verhalten und der emotionalen Kontrolle des Verhaltens.

Die beiden Hirnhälften kommunizieren überwiegend über den Querbalken (Corpus Callosum) mit der jeweils anderen Hirnhälfte. Es scheint aber auch noch andere Wege der Kommunikation zu geben. Die Datenrate über den Corpus Callosum schätzt Eccles auf etwa 4 GBit/s. Nach seiner Hypothese ordnen sich im Gehirn größere Mengen von Neuronen (ca. 10 000) zu Funktionsgruppen zusammen, die er Module nennt. In dem, was er »Liäson-Hirn« nennt, hat das Bewusstsein mehr oder weniger starken Zugriff auf einzelne Module. Als Dualist ordnet er das Bewusstsein selbst nicht der physischen Welt zu (Näheres dazu in Abschnitt 2.3).

Der Hirnforscher Gerhard Roth (Universität Bremen) vertritt dagegen einen monistischen Standpunkt. Er sieht das Bewusstsein dort, »wo sich cortikales und limbisches System und damit Wahrnehmungen, Kognition und Gefühle durchdringen und zur Grundlage unseres Handelns werden«.

Es gibt zurzeit weltweit große Anstrengungen, das Gehirn mit naturwissenschaftlichen Methoden genauer zu untersuchen. Eins der ehrgeizigsten Projekte wurde von dem Microsoft-Mitgründer Paul Allen ins Leben gerufen. In dem von ihm gegründeten Institut soll das gesamte Gehirn mit einer räumlichen Auflösung von etwa 25 Mikrometer kartografiert werden. Dabei soll vor allem herausgefunden werden, welche der 30 000 Gene in den einzelnen Regionen aktiv sind und was sie bewirken.

Die bisherige Darstellung der Eigenschaften unseres Gehirns beruht auf Untersuchungen und Experimenten. Sie bedient sich damit einer naturwissenschaftlichen Sichtweise. Viele dieser Erkenntnisse sind erst durch die Entwicklung hochtechnologischer Apparate in den letzten Jahrzehnten möglich geworden. Die Philosophie beschäftigt

sich dagegen schon seit Jahrtausenden mit den Eigenschaften und Fähigkeiten unseres Geistes. Sie unterscheidet folgende Fähigkeiten unseres Geistes: Sinnlichkeit, Verstand, Vernunft, freier Wille und Bewusstsein. Das Urteilsvermögen kann man als Teil des Verstands oder der Vernunft ansehen. Sinnlichkeit umfasst unsere Sinne und unsere Emotionen. Die Theologie fordert darüber hinaus die Existenz einer unsterblichen Seele. In der modernen Hirnforschung kann man sicherlich zwischen Sinnlichkeit, Verstand und Bewusstsein unterscheiden und kann, wie oben beschrieben, Sinnesempfindungen recht genau und Bewusstsein zumindest grob lokalisieren. Dagegen sind freier Wille, Vernunft und Seele Begriffe, die die moderne Hirnforschung weitgehend ausklammert, da sie mit ihren Methoden experimentell nicht analysierbar sind.

Funktionen unseres Gehirns, die durch Algorithmen dargestellt werden können, sind sicherlich auch mit der künstlichen Intelligenz realisierbar. Das Gleiche trifft für unsere Sinnesorgane zu. Ganz entscheidend ist aber, und das ist hier eine der zentralen Fragen, ob es möglich sein wird, Dinge wie Bewusstsein und, falls vorhanden, freier Wille und Vernunft künstlich zu generieren. Aus diesem Grund müssen wir diese Eigenschaften im Folgenden etwas genauer diskutieren.

### 1.3 Bewusstsein

*Es erscheint mir von erheblicher Bedeutung, dass wir nicht als Ich geboren werden, sondern dass wir lernen müssen, dass wir ein Ich haben; ja, wir müssen erst lernen, ein Ich zu sein.*

Karl R. Popper, Philosoph

*Es liegt kein Grund zur Erwartung vor, dass »Ich« oder »das Selbst« nicht durch ein Symbol repräsentiert werden sollte.*

Douglas R. Hofstadter, Kognitionswissenschaftler

Die herausragende Fähigkeit unseres Gehirns ist das bewusste Denken. Wie bewusstes Denken im Einzelnen funktioniert, ist zurzeit noch weitgehend unklar. Das Bewusstsein ist damit neben der Vereinheitlichung der vier grundlegenden Naturkräfte eines der letz-

ten großen Rätsel unserer Welt. In Abschnitt 1.1 wurde bereits festgestellt, dass die Entwicklung des Bewusstseins Teil der Evolution war. Die Evolution spielt sich im Rahmen der Naturgesetze ab und ist selbst Teil der Natur. Damit ist auch die Naturwissenschaft die Wissenschaft, die dieses Phänomen erforschen und aufklären kann.

Nun hat aber unsere Vergangenheit gezeigt, dass Menschen dazu tendieren, unerklärte Phänomene in ihre Religion einzubeziehen. So wurden früher Naturphänomene wie Blitz und Donner als Zeichen der Götter gedeutet. Die Naturwissenschaft hat mit der Entdeckung der Elektrizität eine unspektakuläre Erklärung geliefert. Ähnliches galt noch im letzten Jahrhundert für das Phänomen des Lebens. Mit der Entschlüsselung unseres genetischen Codes ist auch hier eine naturwissenschaftliche Erklärung gelungen. Für unser Bewusstsein fehlt dagegen noch eine vollständige naturwissenschaftliche Erklärung. Aus diesem Grund ist es noch immer einer der zentralen Punkte in den Religionen und der Philosophie. Ein großer Teil der Theologen und Philosophen bestreitet gar, dass Bewusstsein überhaupt naturwissenschaftlich erklärt werden kann. In den letzten Jahrzehnten hat jedoch die Hirnforschung gewaltige Fortschritte machen können. 1994 rief der Nobelpreisträger Francis C. H. Crick dazu auf, dem Rätsel des Bewusstseins endlich mit naturwissenschaftlichen Methoden auf den Grund zu gehen. Seitdem hat es große Fortschritte in der Erforschung der neuronalen Grundlagen von kognitiven Leistungen gegeben. Ob es jemals gelingen wird, das Bewusstsein restlos auf naturwissenschaftliche Grundlagen zu stellen, ist jedoch nach wie vor heftig umstritten.

Die Probleme für die Erklärung von Bewusstsein liegen vor allem daran, dass Bewusstsein eine überwiegend subjektive Erfahrung ist. Wir können zwar versuchen, diese Erfahrung mit Worten zu beschreiben, aber das gelingt genauso wenig wie die Beschreibung unseres subjektiven Empfindens, wenn wir z. B. die Farbe Rot sehen. Wir können zwar die einzelnen physischen Vorgänge beim Farbsehen bis hin zur Nervenleitung ins Sehzentrum recht genau beschreiben, aber das hat nichts mit unserem subjektiven Empfinden zu tun. Dementsprechend können wir auch nicht feststellen, ob jemand anderes die gleichen Empfindungen hat, wenn er die Farbe Rot sieht. Genauso wenig können wir unmittelbar feststellen, ob jemand anderes über ein Bewusstsein verfügt. Es ist zwar plausibel anzunehmen, dass alle Menschen wie wir selbst über ein Bewusstsein verfügen, da wir genetisch weitestgehend identisch sind. Aber das ist zunächst nicht mehr

als eine Vermutung. Was ist, wenn in nicht allzu ferner Zukunft ein Android vor uns steht und behauptet, er verfüge über ein Bewusstsein? Wie können wir das überprüfen?

Wenn Bewusstsein etwas ist, was mit naturwissenschaftlichen Methoden aufgeklärt werden kann, dann müsste es prinzipiell möglich sein, Bewusstsein zu objektivieren. Das scheint aber seiner subjektiven Natur zu widersprechen. Dieses Paradox des Bewusstseins hat schon Platon erkannt. Er sah, dass einerseits der Mensch und damit auch sein Gehirn Teile der Natur sind und damit deren Gesetzen unterliegen, andererseits aber das Bewusstsein und der freie Wille et was sind, was jenseits der physikalischen Welt liegt.

Unserem Bewusstsein zusammen mit unserer Persönlichkeit und unseren wichtigsten Erinnerungen wird in den meisten Religionen der Begriff »Seele« zugeordnet. Sie gilt als nichtmateriell und unsterblich. Nun wissen wir aber, dass Personen, die durch einen Unfall oder durch eine Krankheit eine Schädigung des Gehirns erlitten haben, Teile ihrer Fähigkeiten und Erinnerungen verlieren können. Gerade bei Alzheimer-Patienten ist auch ein langsamer Zerfall der Persönlichkeit eindeutig feststellbar. Diese Tatsachen zeigen, dass Bewusstsein unmittelbar mit der Funktionsfähigkeit unseres Gehirns zusammenhängt und dass Bewusstsein nicht etwas ist, das vorhanden oder nicht vorhanden ist, sondern etwas, das es in allen graduellen Abstufungen geben kann.

Wenn die gespeicherten Informationen des Gehirns nicht auf irgendeine Weise gesichert worden sind, so sind sie spätestens mit dem Tod ein für alle Mal verloren. Eine Datensicherung unseres Gehirns ist vielleicht in ferner Zukunft realisierbar, im Moment jedoch weit außerhalb unserer Möglichkeiten. Ohne eine solche Datensicherung steht aber die Unsterblichkeit unserer Seele in krassem Widerspruch zur Naturwissenschaft.

Die Neurologie und die Neuropsychologie unterscheiden verschiedene Zustände von Bewusstsein. Dazu gehört das Körperbewusstsein, das dazu führt, dass wir unseren Körper als unseren eigenen Körper empfinden. Daneben gibt es das Bewusstsein der eigenen Identität bzw. das Ich-Bewusstsein, das dafür sorgt, dass wir uns mit unserer eigenen Geschichte identifizieren, dass wir uns selbst als Autor unseres eigenen Willens und als Kontrolleur der eigenen Handlungen sehen. Weiterhin sorgt das Bewusstsein für die Unterscheidung zwischen Innenwelt und Außenwelt, d. h. zwischen realen und

imaginierten Ereignissen. Zu diesem Hintergrundbewusstsein kommen wechselnde, aktuelle Bewusstseinsinhalte wie Sinneswahrnehmungen, mentale Zustände und Emotionen. Schließlich kommen noch Intentionen, Handlungsplanungen und das bewusste Ausführen von Handlungen hinzu.

Fragen wir uns zunächst, wozu uns die Evolution überhaupt mit Bewusstsein ausgestattet hat. Es gibt eine Gruppe von Wissenschaftlern, die so genannten Behavioristen, die der Meinung sind, dass das Bewusstsein nur ein unwesentliches Nebenprodukt der Evolution sei und dass Menschen auch ohne Bewusstsein die täglichen Herausforderungen meistern könnten. Allerdings ist die Mehrzahl der Wissenschaftler der gegenteiligen Meinung, dass gerade das bewusste Denken die Grundlage unserer geistigen Entwicklung und unserer Kultur ist. Insbesondere bei der Evolution der höher entwickelten Säugetiere bis hin zum Menschen hat das Bewusstsein vermutlich eine zentrale Rolle gespielt. Erst durch bewusste Denkprozesse konnten die wechselnden täglichen Herausforderungen optimal gemeistert werden.

Das Phänomen des Bewusstseins lässt sich damit umschreiben, dass wir eine permanente Simulation unserer Erfahrungswelt mit uns selbst als Person in unserem Gehirn ablaufen lassen. Dabei sind wir in der Lage, Sinneswahrnehmungen aus unserem Gedächtnis aufzurufen und sie erneut kognitiven Operationen zu unterziehen. Auf diese Weise entstehen Beschreibungen von Beschreibungen, also Metarepräsentationen. Wir können somit unsere eigene Zukunft in unserem Gehirn simulieren. Bei der Untersuchung verschiedener Simulationen können wir herausfinden, durch welche Handlungen wir uns in der Zukunft Vorteile verschaffen können. Damit können wir unsere Zukunft planen und optimieren. Bei diesen Simulationen müssen wir uns selbst als Person einbringen, das heißt, wir selbst sind Teil der Simulation. Das geht aber nur dann, wenn wir uns unserer selbst bewusst sind, also über ein eigenes Bewusstsein verfügen. In der Entwicklungsgeschichte des Menschen wurde es dadurch möglich, z. B. mit der Kenntnis der Jahreszeiten Vorräte anzulegen, neue Werkzeuge zu entwickeln und sich gezielt auf Überfälle rivalisierender Gruppen vorzubereiten. Daneben spielt das bewusste Denken auch im sozialen Verhalten innerhalb einer Gruppe eine wichtige Rolle. Durch Simulation des Gruppenverhaltens und der Kenntnis der Beziehungen der Gruppenmitglieder untereinander können wir unser eigenes Verhalten optimal gestalten. Auch hierbei muss bei der Si-



mulation die eigene Person mit eingebracht werden. Daneben bringt es Vorteile, sich in eine andere Person hineinversetzen zu können. Bei Lebewesen mit einem sehr kleinen Gehirn (z. B. den Insekten) reicht vermutlich die Leistungsfähigkeit des Gehirns nicht aus, um eine umfangreiche Simulation der gesamten Erfahrungswelt ablaufen zu lassen. Stattdessen wird immer nur auf das nächste Ereignis reagiert. Versuche mit einfachen Robotern zeigen, dass dies trotzdem zu erstaunlich guten Ergebnissen führen kann. Dennoch stößt diese Methode sehr schnell an Grenzen.

In Folge unseres Ich-Bewusstseins haben wir die besondere Fähigkeit, über unseren eigenen Tod nachzudenken. Soweit wir das wissen, sind Tiere dazu nicht in der Lage. Zwar verfügen höher entwickelte Säugetiere sicherlich über ein gewisses Maß an Bewusstsein, aber sie können keine langfristigen Zukunftspläne machen, weil ihnen das dazu notwendige Abstraktionsvermögen fehlt. Bei Kindern entwickelt sich das Ich-Bewusstsein erst langsam nach der Geburt, und erst im Alter von einigen Jahren sind sie sich über ihr zeitlich begrenztes Leben im Klaren.

Eine weitere wichtige Grundfunktion unseres Gehirns ist die – zum Teil unbewusst ablaufende – ständige Überprüfung unserer Position in Zeit und Raum. Diese Funktion ist für das Ich-Bewusstsein grundlegend. Beim Aufwachen nach einem längeren Schlaf ist dies das Erste, was unser Gehirn vornimmt. Die Simulation der Außenwelt bedarf auch der ständigen Abstimmung mit den von außen kommenden Reizen und Informationen. In einem Experiment, das in den Fünfzigerjahren des letzten Jahrhunderts an der McGill University (Montreal) ausgeführt wurde, hat man einige Studenten dafür bezahlt, längere Zeit alleine in einem dunklen, schalltoten Raum ohne Kommunikationsmöglichkeiten nach außen zu verbringen. Bei einigen wurde noch zusätzlich der Tastsinn reduziert, indem man sie auf ein Wasserbett legte und Arme und Beine mit Manschetten abdeckte. Nur zum Essen und zur Körperpflege durften sie aufstehen. Einige der Probanden bekamen bereits nach zwei bis drei Tagen Halluzinationen. Keiner konnte normal schlafen, und nach drei Tagen entwickelten alle Teilnehmer Psychosen. Offenbar spielt die Kommunikation mit der Außenwelt für unser Bewusstsein eine ganz wichtige Rolle.

Auch das Erlernen neuer Begriffe erfordert bewusstes Denken. Erst wenn wir uns z. B. die mit einem Begriff verbundenen Assoziationen – wie Gefühle, räumliche Form, Eigenschaften usw. – bewusst ma-

chen, sind wir in der Lage, den Begriff dauerhaft zu speichern. Aus diesem Grund erfordert Lernen auch ein hohes Maß an Konzentration. Bei der Konzentration werden nebensächliche Ereignisse weitgehend unterdrückt. Das Bewusstsein ist in gewisser Weise die oberste Instanz für die Kontrolle unserer Handlungen. Es entscheidet, ob Tätigkeiten mehr oder weniger überwacht werden müssen. So werden gut eintrainierte Fähigkeiten wie das Steuern eines Autos weitgehend unbewusst ausgeübt. Erst wenn kritische Situationen oder eine besonders hohe Verkehrsdichte auftreten, greift das Bewusstsein wieder stärker ein. Es gibt also verschiedene Stufen der Intensität unseres Bewusstseins. Die höchste Stufe wäre dann die Konzentration auf ungewohnte oder neue Situationen, gefolgt von Zuständen geringeren Bewusstseins wie Entspannen, Dösen, Benommenheit, Schlaf, Tiefschlaf bis hin zu verschiedenen Stufen der Bewusstlosigkeit, an deren unterster Stufe das Koma steht.

Unser Bewusstsein in Zusammenarbeit mit dem Kurzzeitgedächtnis dient der direkten Wahrnehmung von Informationen unserer Sinnesorgane, ihrer Verarbeitung und der Steuerung unserer Handlungen. Mit psychologischen Tests hat man festgestellt, dass dieser Vorgang etwa eine Viertel- bis 15 Sekunden dauert. Wir können maximal sechs bis sieben verschiedene Vorgänge oder Ereignisse gleichzeitig bewusst wahrnehmen. Bei einem Computer würde man diese Fähigkeit als »Multitasking« beschreiben.

Das Mittelzeitgedächtnis dient uns zusammen mit dem Bewusstsein z. B. zum Führen einer Diskussion mit mehreren Beteiligten. Wir müssen hierbei im Gedächtnis behalten, was die einzelnen Personen gesagt haben, wie ihre Einstellung zu dem diskutierten Thema ist, wie ihr persönliches Verhältnis untereinander ist usw. Diese Anforderungen gehen somit weit über das hinaus, wozu unser Kurzzeitgedächtnis fähig ist. Es werden hier nicht nur optische und akustische Eindrücke wahrgenommen und zugeordnet, sondern es werden Verknüpfungen hergestellt zwischen uns unmittelbar zufließenden einzelnen Eindrücken und den bereits gespeicherten Ereignissen. Wir werden uns hier größerer Zusammenhänge und Einsichten bewusst. In Analogie zum Computer können wir dieses Mittelzeitgedächtnis mit dem Arbeitsspeicher vergleichen, bei dem alle relevanten Daten kurzzeitig abrufbereit sind und nach Bedarf aus dem Massenspeicher (Langzeitgedächtnis) nachgeladen werden können. Im Unterschied zu unseren heutigen seriellen Computern wer-

den in unserem Gehirn aber die Daten im »Arbeitsspeicher« direkt parallel verarbeitet. Sie werden also nicht erst noch in einen Kurzzeitspeicher geladen und dann seriell bearbeitet.

Das Bewusstsein zusammen mit dem Langzeitgedächtnis dient überwiegend der Planung unseres Tagesablaufs und unserer längerfristigen Lebensplanung. Bei der langfristigen Lebensplanung lassen wir in unserem Gehirn eine Simulation unserer Erfahrungswelt ablaufen, mit uns selbst als Person. Durch Ausprobieren verschiedener Varianten können wir herausfinden, welches eigene Verhalten uns unseren Zielen näher bringt. Es ist gerade diese Fähigkeit, die uns am stärksten von den Tieren unterscheidet. Teil des Langzeitgedächtnisses ist das so genannte Hintergrundbewusstsein. Es umfasst die Erfahrung des eigenen Körpers und seiner Grenzen, der Position des eigenen Körpers in Zeit und Raum, die Ich-Identität und das Gefühl der Kontrolle über die eigenen geistigen und körperlichen Handlungen. Der Bereich, in dem sich diese Vorgänge abspielen, liegt fast ausschließlich im Neokortex. Thalamus und Hippocampus scheinen eine Filterfunktion für die Sinnesreize auszuüben, die zum Bewusstsein gelangen. Sie werden daher auch als »Tor zum Bewusstsein« bezeichnet.

Den Tieren müssen wir zumindest ein Bewusstsein in Zusammenarbeit mit dem Kurzzeitgedächtnis, den höher entwickelten Affenarten auch mit dem Mittelzeitgedächtnis zugestehen. Gerade Schimpansen verfügen über ein hoch entwickeltes Problemlösungsvermögen, das sich nur wenig von Menschen unterscheidet. So kommt der Hirnforscher Gerhard Roth (»Das Gehirn und seine Wirklichkeit«) zu dem Fazit:

*Die These, die häufig betonte Sonderstellung des Menschen ließe sich anhand von Merkmalen seines Gehirns untermauern, ist nicht richtig. Die Annahme, dass beim Menschen noch irgendetwas völlig Neues hinzukommt, das dann den Geist erzeugt, ist nicht gerechtfertigt, auch wenn diese Annahme das Bedürfnis des Menschen nach Einzigartigkeit befriedigen mag.*

Die Entwicklung der verschiedenen Bewusstseinsstufen geht im Kindesalter Hand in Hand mit der Entwicklung der entsprechenden Gedächtnisfähigkeiten. Nach neueren Untersuchungen haben Babys im Alter von sechs Monaten ein Gedächtnis, das nur bis etwa 24 Stun-

den zurückreicht. Mit neun Monaten erreicht das Gedächtnis schon einen Monat. Im Alter zwischen einem und zwei Jahren wird dann das Langzeitgedächtnis voll entwickelt. Das ist dann auch die Grundlage für die Entwicklung des Bewusstseins. Im Alter von etwa 15 Monaten beginnt das Ich-Bewusstsein. Von einem voll entwickelten Bewusstsein geht man erst bei drei- bis vierjährigen Kindern aus. Vollkommen abgeschlossen ist die Entwicklung der neuronalen Verbindungen nie, aber nach der Pubertät werden neue Fähigkeiten weniger in neuen Verbindungen, sondern mehr in Veränderungen der vorhandenen Synapsen gespeichert. Einfluss auf die Verschaltung haben neben der genetischen Programmierung die selbst gemachte Erfahrung und auch alle Interaktionen mit den Bezugspersonen. Die Frage nach dem Anteil der genetischen Programmierung ist nur schwer zu beantworten, da eine Trennung der Ursachen für bestimmte Fähigkeiten zum Teil sehr schwierig ist. Die Grundstruktur der neuronalen Verschaltung scheint jedenfalls genetisch festgelegt zu sein.

Die Gehirnhälften sind bei höher entwickelten Säugetieren bis hin zu den Menschenaffen nur in geringem Umfang spezialisiert. Evolutionstheoretiker interpretieren die stärkere Spezialisierung beim Menschen damit, dass im Verlauf der Evolution die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit so stark waren, dass eine Spezialisierung die effektivere Nutzung der vorhandenen Ressourcen möglich machte. Unser Bewusstsein scheint sich dabei etwas mehr auf die linke Hälfte zurückgezogen zu haben.

Das Bewusstsein ist im Neokortex konzentriert. Dort ist aber keine genaue Position für den Sitz des Bewusstseins lokalisierbar. Es sind insbesondere keine einzelnen Neuronen identifizierbar, die Bewusstsein erzeugen. Es ist wohl so, dass erst das Zusammenwirken einer sehr großen Zahl von Neuronen Bewusstsein erzeugt. Nach neueren Erkenntnissen der Hirnforschung scheint dabei die zeitliche Synchronisation des Feuerns der einzelnen Neuronen von entscheidender Bedeutung zu sein. Bemerkenswert ist auch, dass – im Gegensatz zu den anderen Teilen des Gehirns – nur etwa 10 % der Verbindungen des Neokortex von »außen«, d. h. von anderen Teilen des Gehirns bzw. indirekt von den Sinnesorganen kommen. Das bestätigt auf neuronaler Ebene die Feststellung, dass sich dieser Teil des Gehirns überwiegend mit sich selbst beschäftigt.

Dass Funktionszentren wie das Sprachzentrum oder das Sehzentrum bei den meisten Menschen an etwa der gleichen Stelle im Gehirn zu finden sind, heißt nicht unbedingt, dass diese Stellen genetisch von vornherein für diese Funktionen festgelegt werden. Auch das Sehzentrum entwickelt sich nur deshalb an einer bestimmten Stelle, weil in dieser Umgebung die Sehbahn auf das Gehirn trifft. Bei von Geburt an blinden Menschen übernimmt dieser Bereich des Gehirns andere Funktionen. Wenn wir unser Gehirn bei der Geburt mit einem Computer vergleichen, so entspricht es einem Zustand, in dem nur das Betriebssystem und einige einfache Grundprogramme geladen sind, denn es sind zwar schon alle Neuronen und ein Teil der Verknüpfungen vorhanden, aber die Verschaltung ist noch nicht optimiert. Damit ist auch das Bewusstsein in diesem Zustand noch nicht vorhanden. Es entwickelt sich vielmehr erst langsam in den ersten drei bis vier Lebensjahren. Zur Entwicklung des Bewusstseins scheint die Kommunikation mit der Außenwelt von entscheidender Bedeutung zu sein. Insofern ist Bewusstsein keine Grundfunktion des Gehirns, die sich automatisch entwickelt. Unsere Gene stellen sozusagen nur die »Hardware« mit einigen lebenswichtigen Grundfunktionen und eine eher geringe Vorprogrammierung zur Verfügung. Die eigentliche Programmierung des Gehirns erfolgt über die Kommunikation mit der Außenwelt und den damit verbundenen Lernprozessen. Im Laufe dieses Prozesses werden etwa ein Drittel der neuronalen Verbindungen wieder zerstört, da sie sich als unbrauchbar erwiesen haben. Die anderen werden teilweise verstärkt und für die entsprechenden Aufgaben programmiert.

Dieser Zusammenhang wurde bereits vor 250 Jahren von dem französischen Philosophen Étienne Bonnot de Condillac erkannt. Er vertrat die Ansicht, dass der Ursprung von Kenntnissen und Ideen bis hin zum Bewusstsein ausschließlich in der empirischen Erfahrung liegt. Damit vertrat er die gegenteilige Ansicht von Descartes und Leibnitz, nach deren Meinung das Bewusstsein bereits bei der Geburt vorhanden ist. Mit seiner Einstellung war er der Vorreiter der Konstruktivisten, die sich im letzten Jahrhundert etablierten. Einer der bekannten Vertreter der Konstruktivisten, Jean Piaget, stellte die These auf, dass sich das Bewusstsein eines Kindes durch die Wechselwirkung mit seiner unmittelbaren Umwelt selbst organisiert. Dieser Standpunkt wird durch die Forschung in unserer Zeit weitgehend bestätigt.

Condillac hat eines der interessantesten Gedankenexperimente der Psychologie formuliert, das mit »Statue« bezeichnet wird. Eine Marmorstatue soll ein virtuelles Bewusstsein besitzen und Sinnesorgane, die durch einen Experimentator ein- und ausgeschaltet werden können. Damit soll der Einfluss der Wahrnehmung durch die Sinnesorgane auf das Bewusstsein untersucht werden. Gestartet wird das Experiment mit einem extrem niedrigen Niveau an Intelligenz. Die Statue soll lediglich in der Lage sein, einige einfache Dinge wahrzunehmen und zu speichern. Daneben soll eine gewisse Grundmotivation vorhanden sein, z. B. Neugier. In unserer Zeit können wir die Statue auch als Computer definieren, der über einen Prozessor, einen Speicher und ein Input-Output-Interface verfügt. Daneben soll eine Grundprogrammierung vorhanden sein, die einfache Operationen ausführen kann, wie z. B. Suchen, Speichern und Vergleichen.

Condillac beginnt sein Gedankenexperiment, indem er zunächst nur den Geruchssinn zulässt. Die Statue kann also nur riechen, Gerüche speichern und sich an sie erinnern sowie Gerüche als angenehm oder unangenehm empfinden. Neben dem Geschmacksinn ist der Geruchssinn einer der primitiveren Sinne des Menschen. Ein Bewusstsein, das nur auf dem Geruchssinn aufbaut, kann keine Idee von Form, Farbe, Klang oder Geschmack haben. Als ersten Schritt lernt die Statue, aktuelle Gerüche von vorher gespeicherten, erinnerten Gerüchen zu unterscheiden. Ohne Speicherung können verschiedene Gerüche nicht unterschieden werden. Erinnernte Gerüche bezeichnet Condillac als aktives Fühlen, während die Sinneseindrücke passives Fühlen verursachen, da sie von der Außenwelt erzeugt und getriggert werden. Den Unterschied lernt die Statue mit der Zeit dadurch, dass aktuelle Gerüche klarer und intensiver empfunden werden als erinnerte. Als nächsten Schritt lernt die Statue aktuelle Gerüche mit gespeicherten zu vergleichen und zu identifizieren. Hierzu ist es unter anderem notwendig, die Aufmerksamkeit gleichzeitig auf zwei Ideen richten zu können. Völlig neue Gerüche erzeugen ein besonders hohes Maß an Aufmerksamkeit. Auf der anderen Seite werden gespeicherte Gerüche, die über längere Zeit nicht mehr wahrgenommen werden, vergessen. Mit der Zeit lernt die Statue drei grundlegende Zustände von Aufmerksamkeit zu unterscheiden; einer ist den aktuellen Sinneseindrücken zugeordnet, ein anderer dem Gedächtnis und der dritte der Vorstellung. Zu Beginn konnte die Statue nicht zwischen diesen Zuständen unterscheiden, nur durch die

Erfahrung konnte sich diese Fähigkeit mit der Zeit entwickeln. Am Ende der Entwicklung hat die Statue sicherlich nicht das, was wir unter Bewusstsein verstehen, aber zumindest eine einfache Form von Kognition. Das Entscheidende ist hierbei, dass sich diese Fähigkeit autonom entwickelt und organisiert hat.

Was geschieht nun, wenn wir die anderen Sinne einschalten? Entwickelt die Statue dann ein volles Bewusstsein? Condillac kam zu dem überraschenden Schluss, dass selbst das Sehen und Hören der Statue keine Vorstellung der Außenwelt geben kann, solange sie total passiv bleibt. Die Situation ändert sich erst, wenn der Tastsinn und vor allem eigene Aktion zugelassen werden. Erst wenn die Statue durch eigene Aktion Gegenstände ertasten kann, bekommt sie eine Vorstellung von der Außenwelt. Das Entscheidende ist also nicht eine Vielfalt von hoch entwickelten Sinnen, sondern die Möglichkeit, aktiv neue Erfahrungen sammeln zu können. Condillac kam zu dem Schluss, dass alleine der Tastsinn und die Möglichkeit, aktiv auf die Außenwelt Einfluss zu nehmen, schon ausreichen, um eine Vorstellung von Dingen der Außenwelt und von sich selbst zu erlangen. Damit ist dann auch der Grundstein zur Entwicklung eines eigenen Bewusstseins gelegt.

Man mag die Gedanken von Condillac als reine Spekulation abtun, denn wie sollte man ein solches Gedankenexperiment je auf seine Richtigkeit überprüfen? Nun gibt es aber bedauernde Menschen, denen genetisch bedingt, durch Krankheit oder Unfall einer der wichtigsten Sinne wie Sehen oder Hören nicht zugänglich ist. Leider gibt es unter diesen Menschen sogar einen geringen Prozentsatz, die weder sehen noch hören können. Einer der in der Psychologie besonders häufig zitierten Fälle ist das Schicksal der Helen Keller. Sie wurde durch eine Meningitis im Alter von achtzehn Monaten blind und taub. Ihr Zustand war somit vergleichbar mit Condillacs Statue, mit dem kleinen Unterschied, dass sie bis zu diesem Ereignis eine normale Entwicklung ihres Gehirns durchgemacht hatte und bereits einige Worte sprechen konnte. Doch diese Fähigkeiten entwickelten sich sehr schnell wieder zurück. Sie verhielt sich zurückgezogen, zornig und frustriert; für die Familie war es schwierig, mit ihr umzugehen. Dieser Zustand hielt fünf Jahre an. In dieser Zeit konnte sie aber immerhin einfache Tätigkeiten ausüben. So konnte sie ihr Bett machen, mit ihrem Spielzeug hantieren und durch Tasten bestimmte Personen identifizieren. Einige wenige Wünsche konnte sie durch ih-

re Mimik verständlich machen. Zu ihrem Glück gab aber die Familie nicht auf.

Im Alter von sechs Jahren wurde eine Lehrerin engagiert, die selbst fast blind war und die Blindenschrift perfekt beherrschte. Sie wurde die permanente Begleiterin von Helen Keller für den größten Teil ihres Lebens. Die Lehrerin brachte ihr zunächst etwas Disziplin bei, so dass sie innerhalb eines Monats die einfachen täglichen Tätigkeiten wie Anziehen, Essen usw. beherrschte. Danach versuchte sie ihr das Handalphabet beizubringen, bei dem der Lehrer die Symbole über den Tastsinn auf die Hand des Schülers überträgt. Allerdings stellte sich zunächst kein Erfolg ein. Der Grund für den Misserfolg lag wohl daran, dass Helen die Bedeutung von Worten nicht kannte und damit auch mit den Symbolen nichts anfangen konnte. Der große Durchbruch kam, als ihr die Lehrerin mehrfach das Wort Wasser buchstabierte und danach immer die Hand von Helen in Wasser tauchte. Zum ersten Mal verstand sie den Zusammenhang der Symbole mit den Dingen ihrer Umgebung. Innerhalb weniger Stunden lernte sie danach dreißig weitere Wörter, indem sie bestimmte Gegenstände anfasste und sich von ihrer Lehrerin die entsprechenden Begriffe buchstabieren ließ. Bereits nach einem Jahr konnte sie einfache Sätze schreiben und begann die Blindenschrift zu lernen. Nach einigen weiteren Jahren beherrschte sie die Blindenschrift und konnte sich auch durch ihre Mimik besser verständlich machen. Ihre Fortschritte im Laufe der weiteren Jahre waren so gut, dass sie schließlich ein College erfolgreich besuchte. In ihrem späteren Leben waren ihre Fähigkeiten sogar soweit entwickelt, dass sie sich für gesellschaftliche Themen interessierte und insgesamt vierzehn Bücher schrieb. Sie schrieb über sich selbst, dass sie erst, nachdem sie über eine aktive Möglichkeit der Kommunikation mit der Außenwelt verfügte, auch über ein subjektiv wahrnehmbares Bewusstsein verfügte. Davor empfand sie sich selbst als Phantom.

Das Beispiel der Helen Keller zeigt eindrucksvoll, dass die Kommunikation für die Entwicklung von Bewusstsein von zentraler Bedeutung ist. Weiterhin bestätigt es, dass das Bewusstsein eine Funktion des Gehirns ist, das sich erst nach der Geburt langsam entwickelt. Naturwissenschaftlich wird dieser Standpunkt auch von der Tatsache unterstützt, dass der genetische Bauplan für das Gehirn etwa die Hälfte unserer Gene (30 000) umfasst. Selbst wenn man berücksichtigt, dass einzelne Gene eine große Zahl von verschiedenen Proteinen er-



zeugen können, ist die darin gespeicherte Datenmenge mit schätzungsweise 100 Megabyte recht klein. Daher kann unmöglich ein komplettes Bewusstsein darin verschlüsselt sein. Die Gene enthalten sozusagen nur den Bauplan für die Hardware und ein einfaches Betriebssystem. Weiterhin muss ein Grundoptimierungsziel vorgegeben sein. Dieses ist beim Menschen der Selbsterhaltungstrieb. Teile dieses Triebes sind die Schmerzempfindung sowie das Gefühl von Hunger und Durst bzw. alle Gefühle des körperlichen Befindens. Diese Triebe werden nicht erlernt, sondern vererbt. Während der Pubertät kommt der Sexualtrieb hinzu. Auch er ist fest programmiert und wird wie alle Triebe über die Biochemie des Körpers gesteuert.

Zu den vorgegebenen Grundfunktionen gehören die Steuerung des Bewegungsapparates, der Atmung und die Funktion unserer Sinnesorgane. Die Interpretation der Signale unserer Sinnesorgane muss aber erlernt werden. So muss unser Gehirn erst lernen, aus den Informationen, die unser Sehnerv zum Gehirn leitet, sinnvolle Bilder und Muster zu erkennen. Um unserem Gehirn überhaupt einen Antrieb zu irgendeiner Tätigkeit zu geben, müssen bestimmte Triebe und Gefühle ebenfalls vorprogrammiert sein. Schmerz, Hunger und Durst müssen als etwas Negatives empfunden werden. Auf der anderen Seite müssen die Befriedigung der Triebe positiv empfunden werden. Wir brauchen also so etwas wie eine Grundeinstellung einer Werteskala, um selbst Erfolge feststellen zu können und um unser Handeln optimal zu gestalten.

Eine tiefer gehende Frage ist, wieweit die Vorprogrammierung des Gehirns reichen muss, damit man überhaupt in der Lage sein kann, empirische Erfahrungen zu machen. Schon Immanuel Kant hat sich eingehend mit diesem Thema beschäftigt. In seiner Deduktion der reinen Verstandesbegriffe (die erste Ausgabe der »Kritik der reinen Vernunft«) schreibt er:

*Die Ordnung und Regelmäßigkeit also an den Erscheinungen, die wir Natur nennen, bringen wir selbst hinein, und würden sie auch nicht darin finden können, hätten wir sie nicht, oder die Natur unseres Gemüts ursprünglich hineingelegt. Denn diese Natureinheit soll eine notwendige, d. i. a priori gewisse Einheit der Verknüpfungen der Erscheinungen sein. Wie sollten wir aber wohl a priori eine synthetische Einheit auf die Bahn bringen können, wären nicht in den ursprünglichen Erkenntnisquellen unseres Gemüts subjektive Gründe solcher*

*Einheit a priori enthalten, und wären diese subjektive Bedingungen nicht zugleich objektiv gültig, indem sie die Gründe der Möglichkeiten seien, überhaupt ein Objekt in der Erfahrung zu erkennen.*

Bei unserem heutigen naturwissenschaftlichen Kenntnisstand müssen wir uns allerdings fragen, ob wir eine Möglichkeit sehen, Erkenntnisse a priori, d. h. vor jeder Erfahrung, zu erklären. Wenn wir akzeptieren, dass die Arbeitsweise unseres Gehirns auf Naturgesetzen und der ihnen innewohnenden Logik beruht, so können wir davon ausgehen, dass unser Gehirn überwiegend mit eben dieser Logik algorithmisch arbeitet. Weiterhin haben wir eine subjektive innere Vorstellung von Zeit. Diese innere Uhr zählt wohl zu den angeborenen Grundfunktionen unseres Körpers. Diese subjektiv empfundene Zeit kann aber durchaus von der physikalisch messbaren Zeit abweichen.

Kant zählt neben der Logik und der Zeit zu den von vornherein vorhandenen Grundfunktionen noch die Vorstellung von Raum. Er folgert dies daraus, dass Raum und Zeit Voraussetzung für jede Art der Anschauung von äußeren Dingen sind und damit vor jeder empirischen Erfahrung vorhanden sein müssen. Aus unserer heutigen naturwissenschaftlichen Sicht des Gehirns als neuronalem Netz ist es aber wohl vielmehr so, dass sich räumliches Vorstellungsvermögen und Anschauung von materiellen Dingen miteinander Schritt für Schritt durch empirische Erfahrungen entwickeln. Insbesondere der oben beschriebene Rückkopplungseffekt durch das »Begreifen« von Gegenständen ist wohl hier entscheidend.

Die Kognitionswissenschaft behandelt in der Regel Phänomene wie die optische Mustererkennung und die Spracherkennung als vom Bewusstsein unabhängige Vorgänge. Die dahinter stehende Grundidee ist die, das Gehirn so zu behandeln, als wäre jemand drin, der es zum Rechnen benutzt. Beispielweise beschreibt David Marr die visuelle Wahrnehmung als das Fortschreiten von einer visuellen Anordnung auf der Retina zu einer dreidimensionalen Beschreibung der Außenwelt, die dann der Output des visuellen Systems ist. Das Problem ist dann: wer liest diesen Output? Sitzt an irgendeiner Stelle im Gehirn ein »Homunkulus«? Man muss sich aber darüber im Klaren sein, dass die Annahme eines Homunkulus keinen Schritt weiterführt, sondern das Problem nur verschiebt. Es stellt sich nämlich sofort die Frage, wie der Homunkulus die Bilder verarbeitet. Wir enden

damit bei einem unendlichen Regress. Das Gehirn erzeugt keine Abbilder der Außenwelt, sondern es analysiert die von den Sinnen kommenden Signale auf ihre Bedeutung.

Man kann sicher eine ganze Reihe von Gehirnfunktionen, wie Sehen, Hören, Tasten usw. als in der Regel unbewusst arbeitende Funktionseinheiten ansehen. Erst wenn wir z. B. etwas sehen, was unser Gehirn nicht automatisch erkennt und zuordnen kann, wird unser Bewusstsein bemüht, um dieses Neue genauer zu analysieren. Wenn unser Gedächtnis und unser logischer Verstand nicht weiterhelfen, müssen wir, gesteuert durch unser Bewusstsein, Aktionen unternehmen, um mit der Analyse weiterzukommen. Wir können z. B. das unbekannte »Ding« aus verschiedenen Perspektiven betrachten, es anfassen, daran riechen und, wenn auch das nicht weiterhilft, einen Bekannten fragen usw. Dieser Rückkopplungseffekt ist die elementare Grundlage für die Entwicklung unseres Bewusstseins.

Unsere wichtigsten Kommunikationskanäle sind das Sehen und das Hören. Zur effektiven Nutzung dieser Kanäle wurde in allen Kulturen die Sprache, in vielen auch die Schrift entwickelt. Mit der Entwicklung der Sprache konnten erstmals Episoden und Kenntnisse einem größeren Kreis weitergegeben und so bewahrt werden. Es mussten dann auch nicht mehr alle Erfahrungen selber neu gemacht werden. Damit wurde letztlich auch die begrenzte Speicherkapazität eines einzelnen Gehirns durch externe Speicher (in diesem Fall die Gehirne der anderen Gruppenmitglieder) erweitert. Einschneidende Ereignisse wurden über Generationen hinweg weitervermittelt und dabei zum Teil mystifiziert. Die im Zusammenleben in der Gruppe gemachten Erfahrungen wurden konserviert in Form von moralischen Gesetzen und Traditionen.

Religionen haben ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Entwicklung des Zusammenlebens in größeren Gruppen gespielt. So war die gesamte Umwelt der Steinzeitmenschen beseelt. Berge, Quellen, Felsen waren von Geistern oder Feen bewohnt. In den meisten Kulturen wurden den Göttern Opfer gebracht. Weiterhin gab es Medizinmänner, die direkten Zugang zum Jenseits und zu den Göttern hatten. Diese Entwicklung fand in allen Urvölkern statt, obwohl sie sich zum Teil völlig isoliert und unabhängig voneinander entwickelt haben.

Neuere Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass es in unserem Gehirn eine bestimmte Region im Bereich des Schläfenlappens gibt, die für Religion, Esoterik usw. zuständig ist. Der Neurologe Mi-

chael Persinger hat an der Laurentian University (Kanada) ein helmartiges Gerät konstruiert, das im Bereich des Schläfenlappens ein schwaches wechselndes Magnetfeld erzeugt. Vier von fünf Probanden berichteten, nachdem sie den Helm einige Minuten auf dem Kopf trugen, über heftige als übernatürlich oder spirituell eingestufte Gefühle. Ein weiterer Hinweis auf die Existenz dieses zuweilen als »Gottesmodul« bezeichneten Gebiets ist, dass Schläfenlappenepileptiker während eines Anfalls besonders häufig religiöse Gedanken, Halluzinationen und Erleuchtungen haben. Die Entwicklung dieser Region hat möglicherweise irgendeinen Vorteil in der Entwicklungsgeschichte der Menschheit gehabt. Psychologen sehen die Religion als Teil der menschlichen Natur. Es stehen sich zwei Denkmodelle gegenüber: Nach der Adaptionstheorie hat diese Entwicklung einen Vorteil im steinzeitlichen Überlebenskampf erzeugt, ohne dass sich heute sagen lässt, worin er bestand.. Die Exaptationstheorie geht dagegen davon aus, dass Religiosität ein unausweichliches Nebenprodukt der Entwicklung unserer Intelligenz und unseres Bewusstseins ist, ohne dass sie entwicklungsgeschichtliche Vorteile hervorgebracht hat. Als Menschen sind wir die einzigen Lebewesen, die über sich selbst nachdenken können und mit Unbehagen feststellen können, dass ihr Ich mit dem Tode verlöschen wird. Der Glaube an ein Jenseits, an die Wiedergeburt und einen Gott, der sich um das persönliche Schicksal kümmert, kann Trost spenden.

Ein entscheidender Schritt in der Entwicklung unserer Zivilisation war die Entwicklung von abstrakten Schriftsymbolen. Die ältesten gefundenen Symbole in Form von Höhlenmalereien reichen bis 40 000 Jahre zurück. Systematischer Gebrauch von Symbolen begann vor etwa 10 000 Jahren. Zunächst dienten diese Symbole zum Aufstellen von Inventarlisten und zum Festhalten von Handelsgeschäften. Im alten Ägypten wurden Gräber mit Schriften verziert; hier wurden Namen von Personen und Göttern in symbolischer Form festgehalten. Besonders in den landwirtschaftlich geprägten Gesellschaften wurde die weitere Entwicklung der symbolischen Schrift von den Erfordernissen der Wirtschaft und dem Handel angetrieben. Andere symbolische Technologien entwickelten sich durch die Erfordernisse der Navigation, der Konstruktion und der Messung. So führten diese Erfordernisse zur Entwicklung von kompletten Schriftsprachen mit phonetischem Alphabet und Zahlensymbolen wie etwa im antiken Griechenland.

**Tab. 1-1** Evolution des menschlichen Bewusstseins in vier Stufen (nach M. Donald, »A Mind so rare«).

Stufe	Spezies/Periode	Erscheinungsform
Episodisch	Primaten	Selbsterkenntnis und Ereignis
Mimetisch	frühe Hominiden, <i>Homo erectus</i> , vor 2–0,4 Millionen Jahren	Imitation, gestikulieren
Mystisch	<i>Homo sapiens</i> , vor 0,5 Millionen Jahren bis Gegenwart	Sprache
Theoretisch	Moderne Kultur	Schrift, Symbolik

Der Psychologe M. Donald stellt die Evolution des menschlichen Bewusstseins in vier Stufen dar. Tab. 1-1 gibt eine etwas vereinfachte Übersicht.

Dass unser Bewusstsein durch Ausfälle bestimmter Gehirnregionen beeinträchtigt werden kann, zeigt, dass Bewusstsein unmittelbar mit der Gehirnfunktion und damit mit der Funktion vieler einzelner Neuronen zusammenhängt. Es sind hier also nicht irgendwelche obscure biologische Felder am Werk, ganz zu schweigen von irgendwelchen nichtmateriellen Organen. Unser Ich ist auch nicht einer bestimmten Materie zuzuordnen. Denn im Laufe unseres Lebens wird das Baumaterial unseres gesamten Körpers durch den Stoffwechsel mehrfach ausgewechselt. Davon abgesehen ist es physikalisch gesehen unsinnig, Materie zu individualisieren. Man kann einzelne Atome über ihren Quantenzustand hinaus nicht kennzeichnen. Genauso wenig kann man bestimmte Neuronen als Träger des Bewusstseins identifizieren. Unser Bewusstsein ist ein Ergebnis der Funktion ganzer Hirnregionen.

Um überhaupt zu Ansätzen für eine informationstheoretische Erklärung des Bewusstseins zu kommen, müssen wir zunächst herausfinden, wie einfache Denkprozesse in unserem Gehirn ablaufen. Denkprozesse bestehen auf elementarer Ebene aus der Kommunikation zwischen Neuronen. Bei dieser Stufe beruht die Kommunikation auf dem Austausch von Signalen. Gedanken lassen sich auf dieser Ebene noch nicht identifizieren. Wir müssen daher auf einer höheren Stufe ansetzen, und zwar auf der Symbolstufe. Die Verarbeitung von Symbolen erfordert bereits umfangreiche neuronale Netzwerke, die mit einer großen Menge von einzelnen Signalen miteinander kom-

munizieren. Symbole repräsentieren nicht nur passiv Dinge der Außenwelt, sondern sie können auch aktiv werden, indem sie andere Symbole aktivieren und Zusammenhänge herstellen, die schließlich die komplexe Stufe von Gedanken erreichen. Symbole selbst kann man als Softwarepakete ansehen, die zur Speicherung und Aktivierung der Hardware des Gehirns bedürfen, aber dennoch unabhängig vom konkreten Aufbau der Hardware sind. Bewusstsein ließe sich in diesem Bild als das komplexe Zusammenwirken einer Menge von Symbolen darstellen, die sich gegenseitig aktivieren. Hierbei können die Symbole unterschiedliche Stufen der Abstraktion erreichen.

Subjektive bewusste Erfahrungen wie Gefühle und Farbeindrücke werden dem phänomenalen Bewusstsein zugeschrieben. Das kognitive Bewusstsein befasst sich dagegen mit Dingen der Erfahrung, die in der Regel objektivierbar sind. Dieser Teil des Bewusstseins ist daher der experimentellen Psychologie und den Methoden der kognitiven Neurowissenschaften zugänglich. Gegenstände des phänomenalen Bewusstseins, die in der Philosophie zuweilen als »Qualia« bezeichnet werden, sind jedoch anderen Personen nur schwer zu vermitteln und kaum zu objektivieren. Wir können zwar vermuten, dass eine andere Person den Eindruck der Farbe Rot genauso empfindet wie wir selbst, aber wir können das nicht nachweisen. So lässt sich einem von Geburt Blinden mit noch so vielen Worten keinen Farbeindruck vermitteln. Interessanterweise gibt es eine kleine Zahl von Menschen, die so genannten Synästhetiker, die beim Hören von bestimmten Wörtern Farbempfindungen haben. Vermutlich liegt bei diesen Personen eine angeborene, starke neuronale Verbindung zwischen Sehzentrum und Hörzentrum vor. Sie erleben also tatsächlich bei einigen bewussten Erfahrungen andere »Qualia« als die Mehrzahl der übrigen Menschen. Vergleichende Experimente mit Synästhetikern und »normalen« Menschen deuten darauf hin, dass die Qualia angeboren sind und nicht erlernt werden können.

Für eine naturwissenschaftliche Erklärung des Bewusstseins stellen die Qualia wohl das größte Problem dar. Immerhin können die mit den Qualia verbundenen Vorgänge recht gut im Gehirn lokalisiert werden. Werden die entsprechende Bereiche verletzt oder aus medizinischen Gründen entfernt, so verlieren die Patienten die zuzuordnenden Fähigkeiten. Wird z. B. der Mandelkern beschädigt, so empfinden diese Patienten weder Trauer noch Mitgefühl noch Angst. Die Folgen sind erschreckend: Sie können zwar noch logisch denken, wer-

den aber oft gewalttätig und aggressiv. Auf der anderen Seite können Wahrnehmungsinhalte gezielt mit Hilfe künstlicher elektrischer Impulse erzeugt werden. Die so erzeugten Empfindungen hängen eindeutig davon ab, welche Hirnregion erregt wurde. Hieraus folgert der Hirnforscher Gerhard Roth:

*Dasjenige, was wir als die wichtigsten Wahrnehmungsinhalte erleben, nämlich Modalität und Qualität einer Wahrnehmung, ist ein Konstrukt unseres Gehirns, und zwar aufgrund der räumlichen Anordnung der verschiedenen Verarbeitungszentren, ihrer Topologie, im Gehirn.*

Nach neueren Erkenntnissen der Hirnforschung ist das Bewusstsein von bestimmten Dingen oder Zusammenhängen mit einem bestimmten Muster der Neuronenaktivität verbunden. Offenbar werden Vorgänge dann bewusst, wenn sich Neuronen im Neokortex vorübergehend zu einem größeren Verband zusammenschließen, indem sie synchron feuern. Die genauen Zusammenhänge sind jedoch noch unklar. Psychopharmaka können einen starken Einfluss auf das Bewusstsein ausüben. Rauschdrogen wie Kokain, Heroin, Alkohol, Amphetamine und das Tetrahydrocannabinol aus der Cannabispflanze werden als »bewusstseinsverändernd« eingestuft. Sie beeinflussen vor allem die Signalleitung in den Synapsen. Alle diese Zusammenhänge zeigen, dass das Bewusstsein unmittelbar mit der informationsverarbeitenden Funktion der Neuronen zusammenhängt und nicht etwa einer mysteriösen immateriellen Substanz zugeordnet werden muss.

Fragen wir uns nun noch, worin der Antrieb für unsere Gedanken und schließlich unseres Handelns liegt. Fast unser gesamtes Denken befasst sich mit Optimierungsproblemen im weitesten Sinn. Hierzu muss uns zunächst ein Optimierungsziel bewusst werden. In der Regel ist dieses Ziel die unmittelbare oder langfristige Steigerung bzw. Wiederherstellung unseres Wohlbefindens. Anstöße dazu können hormonell bzw. biochemisch bedingt sein (Hunger, Durst, sexuelles Verlangen), es können aber auch abstrakt abgeleitete Vorstellungen sein, die zum Teil weit in die Zukunft projiziert sind. Ein Beispiel hierfür ist es, Arbeitskollegen und Vorgesetzte von der eigenen Unentbehrlichkeit zu überzeugen, um damit die Stellung in der Firma zu festigen oder gar zu verbessern. Aber selbst solche zunächst abstrak-

ten Ziele dienen der langfristigen Sicherstellung des eigenen Wohlbefindens. In der Regel wird das Nachdenken über die Erreichung eines Ziels zu einer Aktion führen. Beim Nachdenken beispielsweise über unser Hungergefühl kann dies dazu führen, dass wir uns in Richtung Kühlschrank bewegen. Als Folge einer Aktion werden wir über unsere Sinne eine Rückmeldung erhalten. Bei der Analyse der Rückmeldung stellen wir fest, ob uns unsere Aktion dem Ziel näher gebracht hat oder nicht. Darauf folgt wieder Nachdenken und eventuell eine neue Aktion. Dieser Kreislauf entspricht einem Regelprozess. Er wird gestoppt, wenn das Ziel erreicht ist oder wenn uns bewusst wird, dass das Ziel nicht erreichbar ist. Der Prozess des Nachdenkens kann ganz oder zum Teil unbewusst vonstatten gehen. Dort wo es auf eine hohe Reaktionsgeschwindigkeit ankommt, wie z. B. beim Vermeiden von Verbrennungen, kann die Aktion auch vollkommen unbewusst als Reflex ausgeführt werden. Dabei werden größere Bereiche des Gehirns gar nicht in Anspruch genommen.

Das Zentrum für unser Wohlbefinden scheint sich im Hippocampus zu befinden. Diese Erkenntnis geht vor allem auf Versuche mit Ratten zurück, die von A. Routtenberg durchgeführt wurden. Er pflanzte eine Elektrode an die entsprechende Stelle im Rattenhirn ein. Die Ratte selbst konnte über eine Taste schwache Stromstöße über diese Elektrode in ihr Gehirn leiten. Wenn die richtige Stelle im Gehirn getroffen wurde, führte das dazu, dass die Ratte ständig die Taste betätigte. Die Ratte war dann so sehr auf die Stimulierung des Hippocampus fixiert, dass sie darüber sogar die Futteraufnahme vergaß. Auf der anderen Seite konnte durch Untersuchungen von J. E. LeDoux der Mandelkern als Sitz für negative Gefühle wie Angst und Schrecken identifiziert werden.

Insgesamt werden also grundlegende Bewertungen im limbischen System vorgenommen. Das Gedächtnissystem hängt untrennbar mit diesem Bewertungssystem zusammen, da nur solche Ereignisse langfristig gespeichert werden, die zuvor bewertet wurden bzw. mit Emotionen kombiniert waren. Umgekehrt werden zumindest komplizierte Bewertungen nur möglich, wenn Ereignisse mit vorher abgespeicherten Ereignissen verglichen werden können.

Wie kommen wir nun aber von dem grundlegenden Ziel des Wohlbefindens zu den abstrakteren Zielen? Wenn wir zum Beispiel aus ethischen Grundsätzen heraus anderen Menschen helfen, stellt sich die Frage, ob solche edlen Ziele alleine auf die Befriedigung unseres



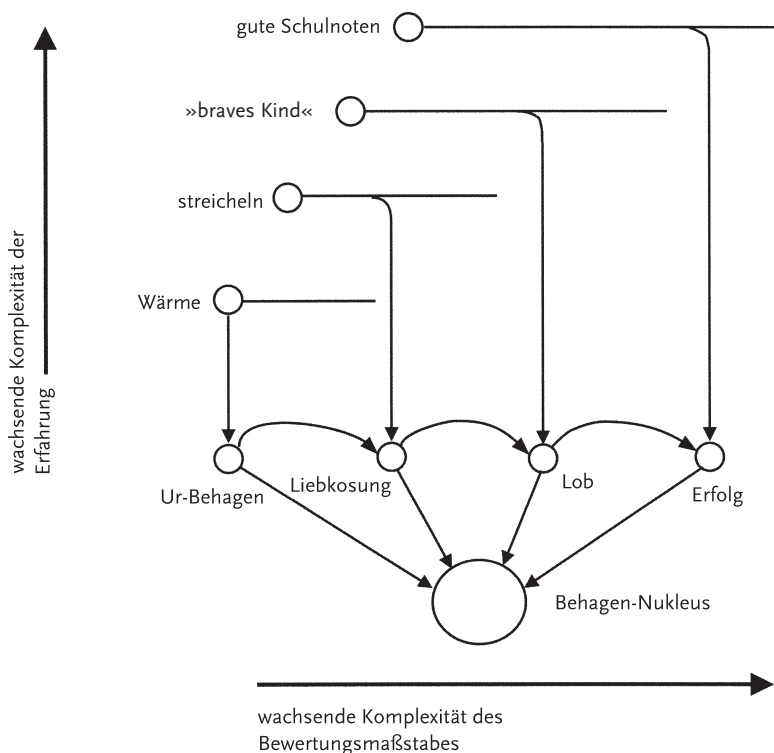


Abb. 1-3 Aufbau von Bewertungsmaßstäben (nach P. R. Gerke).

Wohlbefindens zurückzuführen sind. Nach P. R. Gerke wächst mit der Komplexität unserer Erfahrung auch die Komplexität unserer Bewertungsmaßstäbe. Abb. 1-3 verdeutlicht dies anhand eines einfachen Schemas. Nach der Geburt verfügen wir lediglich über eine primitive Form des Behagens, dass wir hier als Ur-Behagen bezeichnen wollen. Es umfasst eine angenehme Umgebungstemperatur sowie die Befriedigung von Durst und Hunger. Alles das findet ein Baby im Arm seiner Mutter. Die Mutter streichelt dabei häufig ihr Kind. Da diese Liebkosungen in Verbindung mit der Befriedigung des Urbehagens stattfinden, wird diese neue Erfahrung ebenfalls als positiv eingestuft. Wenn das Kind in der Lage ist, einfache Sätze zu verstehen, kommt zum Streicheln häufig ein verbal ausgesprochenes Lob hinzu. Damit wird nach einiger Zeit das verbale Lob als positiv eingestuft. Kommt das Kind dann später in die Schule, so wird es für seine Leistungen

mit zunächst abstrakten Noten beurteilt. Diese Beurteilung wird im Elternhaus zu verbalem Lob oder Tadel führen. Damit wird das Kind in die Lage versetzt, diese abstrakten Beurteilungen in seinen Wertemaßstab einordnen zu können.

Je komplexer die Ziele werden, umso mehr können sie sich von Mensch zu Mensch unterscheiden. Dies liegt überwiegend an der unterschiedlichen Erfahrung, die die einzelnen Menschen im Laufe ihres Lebens machen. Im Zusammenleben führt das dann häufig zu Konflikten. In unserer Gesellschaft versuchen wir die größten Ausuferungen durch Gesetze zu verhindern. Durch die Androhung von Strafen wird jeder bei der bewussten Planung seiner Aktionen abwägen müssen, ob nicht die Befriedigung seines Wohlbehagens strafrechtliche Folgen hat, die dann zu erheblichem Unbehagen führen können.

Wir kommen in diesem Zusammenhang zu der Frage, inwieweit wir für unser Handeln überhaupt verantwortlich sind und ob wir nicht nur Opfer unserer durch die Umwelt bedingten Erfahrungen und der daraus erfolgten Programmierung der Bewertungsmaßstäbe in unserem Hirn sind. Was wir zum verantwortlichen Handeln ganz offensichtlich brauchen, ist ein freier Wille. Diesem Thema ist der folgende Abschnitt gewidmet.

Es bleibt die Frage, inwieweit Bewusstsein wissenschaftlich erklärt werden kann. Klar ist jedenfalls, dass das Bewusstsein vollständig an bestimmte physikalische, biochemische und physiologische Prozesse in unserem Gehirn gebunden ist. So sind z. B. die als Neurotransmitter bezeichneten Stoffe Grundlage unserer Gehirnfunktionen. Blockiert man z. B. die synaptischen Verbindungen der Neuronen, so geht auch das Bewusstsein verloren. Wenn es gelingt, die Funktion unseres Gehirns vollständig auf der Symbolstufe zu erklären, so bedeutet das, dass unser Bewusstsein und alle anderen Funktionen unabhängig von der konkreten Hardware sind. Intelligenz ist dann eine Eigenschaft der Software. Das heißt, diese Funktion könnte dann auch jede andere Hardware übernehmen, die eine genügend komplexe Symbolverarbeitung realisieren kann. Künstliche Intelligenz mit Bewusstsein wäre dann denkbar.

Auf das Problem, die Vorgänge im Gehirn naturwissenschaftlich zu erklären, werden wir wieder bei der Diskussion des freien Willens (im nächsten Abschnitt), beim Geist-Körper-Problem (Abschnitt 1.5)

und bei der Schaffung eines künstlichen Bewusstseins (Abschnitt 2.4) stoßen. An diesen Stellen werden wir ausführlicher darauf eingehen.

Wie wir gesehen haben, ist Bewusstsein eine Eigenschaft, die es in allen graduellen Abstufungen gibt. Es stellt sich daher die Frage, ob mit der Bewusstseinsstufe des Menschen schon die höchstmögliche erreicht ist. Gelingt es, künstliche Intelligenz mit Bewusstsein herzustellen, so ist es vorstellbar, die Leistungsfähigkeit gegenüber dem menschlichen Gehirn generell um Größenordnungen zu steigern (siehe Abschnitt 3.4). Inwieweit damit dann auch das Bewusstsein gesteigert werden kann, ist offen. Was zur Beantwortung der Frage fehlt, ist eine fundierte naturwissenschaftliche Theorie des Bewusstseins. Ob es überhaupt eine solche Theorie geben kann, ist aber eher zweifelhaft. Wie in Abschnitt 2.3 noch ausführlicher dargestellt wird, gibt es gute Argumente, das Bewusstsein als ein Phänomen der Emergenz in neuronalen Netzen zu sehen. Allerdings gibt es eine Klasse von emergenten Phänomenen, die sich nicht mit einer vereinfachenden Theorie erklären lassen.

## 1.4 Gibt es einen freien Willen?

*Alle Theorie spricht gegen die Freiheit des Willens –  
und die gesamte Erfahrung dafür.*

Samuel Johnson, englischer Schriftsteller und Lexikograph

*Ich glaube, spätestens in zehn Jahren hat sich die Einsicht durch-  
gesetzt, dass es Freiheit etwa im Sinne einer subjektiven Schuld-  
fähigkeit nicht gibt.*

Gerhard Roth, Hirnforscher

Wollen wir in der Zukunft Computer bauen und programmieren, die in ihren Eigenschaften dem Menschen in nichts nachstehen, so sollten sie neben dem Bewusstsein auch über das verfügen, was wir als freien Willen bezeichnen. Aber was ist eigentlich ein freier Wille, und gibt es ihn beim Menschen überhaupt? Uns gilt der freie Willen als die oberste Instanz unseres Bewusstseins und als Voraussetzung für unsere Vernunft. Er ist unmittelbar verbunden mit der Existenz ei-

ner Ich-Identität. Rein subjektiv betrachtet haben wir kaum Zweifel, über einen freien Willen zu verfügen. Wir fühlen uns frei, jederzeit irgendetwas Unvorhersehbares und Unberechenbares zu tun. Wenn wir aber unsere Entscheidungen genauer nachvollziehen, so stellen wir fest, dass fast alle aufgrund der vorhandenen Kenntnislage rational waren. Manche Entscheidungen sind natürlich gefühlsbedingt. Gefühle werden aber wiederum über unser Gehirn und die körpereigene Biochemie gesteuert und unterliegen damit nicht unmittelbar unserem Willen. Schopenhauer schreibt dazu als Beispiel (Preisschrift über die Freiheit des Willens):

*Ich kann tun was ich will: ich kann, wenn ich will, alles was ich habe den Armen geben und dadurch selbst einer werden, – wenn ich will! – aber ich vermag nicht, es zu wollen; weil die entgegenstehenden Motive viel zu viel Gewalt über mich haben, als dass ich es könnte. Hingegen wenn ich einen anderen Charakter hätte, und zwar in dem Maße, dass ich ein Heiliger wäre, dann würde ich es wollen können; dann aber würde ich auch nicht umhin können, es zu wollen, würde es also tun müssen.*

Fast alle unsere Entscheidungen folgen logischen Regeln. Selbst wenn man jemanden seinen freien Willen beweisen möchte und aus diesem Grunde eine scheinbar unlogische Handlung vornimmt, die man sonst unter keinen Umständen machen würde, wäre das kein Beweis. Denn unsere Absicht, jemandem etwas zu beweisen, ist letztlich auch eine rein berechnende Handlung. Alle logisch begründeten Willensakte folgen Algorithmen. Sie sind damit deterministisch vorherbestimmt und können aus diesem Grund auch nicht als frei bezeichnet werden. Das Gleiche gilt für alle Willensakte, die aufgrund von Emotionen zustande kommen, denn unsere Emotionen werden vom unbewusst arbeitenden limbischen System erzeugt. Die Ursachen der Emotionen liegen an den von der Außenwelt über die Sinne wahrgenommenen Ereignissen, dem augenblicklichen Zustand der körpereigenen Biochemie und unbewusst ablaufenden Gedanken. Unser Ich-Bewusstsein hat auf diese Dinge keinen Einfluss; daher können auch Willensakte, die ihren Ursprung in den Emotionen haben, nicht frei sein. Welche Willensakte bleiben dann noch als Kandidaten für das Attribut »frei« übrig? Es kommen offensichtlich nur solche in Frage, die weder logisch noch emotional begründbar sind. Wenn wir uns unsere

eigenen Willensakte im Verlauf eines Tages genauer ansehen, so werden wir feststellen, dass da nicht allzu viel übrig bleibt.

Aber dennoch treffen wir zuweilen Entscheidungen, die weder logisch noch emotional begründbar sind. Wenn wir z. B. aus einem Stapel Karten eine herausziehen sollen, so ist die Entscheidung für eine bestimmte Karte in der Regel weder gefühlsbedingt noch logisch begründbar und schon gar nicht berechenbar, sondern rein zufällig. Mit einem Algorithmus sind aber zufällige Entscheidungen nicht erzeugbar. Wir müssen also annehmen, dass die Funktion unseres Gehirns und damit auch die Funktion der Neuronen nicht allein durch Algorithmen erklärt werden können.

Noch bis vor etwa einhundert Jahren basierte unser naturwissenschaftliches Weltbild auf den Newton'schen Gesetzen. Nach diesen Gesetzen kann jede mechanische Bewegung irgendeines Materieteilchens anhand der Anfangsbedingungen, d. h. Position und Geschwindigkeitsvektor, und der einwirkenden Kräfte berechnet werden. Diese Berechenbarkeit geht zumindest prinzipiell so weit, dass dies für jeden Zeitpunkt, egal ob in der Vergangenheit oder in der Zukunft, möglich ist. Mit den Anfangsbedingungen ist sozusagen das Schicksal des Objekts bis in alle Ewigkeit vorherbestimmt. In einem solchen Weltbild gibt es keinen Platz für einen freien Willen. Dementsprechend mühsam waren die Versuche einiger Philosophen, dennoch einen freien Willen zu erklären. Erst mit der Formulierung der Quantenmechanik hielt erstmals der Zufall Einzug in die Physik. Davon abgesehen konnte mit der Chaostheorie gezeigt werden, dass Determinismus der zugrunde liegenden Gesetze keineswegs die absolute Vorhersagbarkeit bedingen.

Nach Meinung der meisten Philosophen ist unsere Vernunft eng mit dem freien Willen verknüpft, denn nur wer frei entscheiden kann, kann auch im eigentlichen Sinne vernünftig bzw. moralisch handeln. Schon Immanuel Kant erkannte aber den Widerspruch zwischen dem freien Willen des Menschen und dem Kausalitätsprinzip. Nach dem Kausalitätsprinzip hat alles eine Ursache, also auch unsere Entscheidungen. Wie können wir dann zu nicht vorhersagbaren freien Entscheidungen kommen? Er löst das Problem nach seiner Vorstellung, indem er die Vernunft dem Kausalitätsprinzip enthebt (Kritik der reinen Vernunft, Elementarlehre):

*... keine gegebene Handlung kann schlechthin von selbst anfangen. Aber von der Vernunft kann man nicht sagen, dass vor demjenigen Zustande, darin sie die Willkür bestimmt, ein anderer vorhergehe, darin dieser Zustand selbst bestimmt wird. Denn da Vernunft selbst keine Erscheinung und gar keinen Bedingungen der Sinnlichkeit unterworfen ist, so findet in ihr, selbst in Betreff ihrer Kausalität, keine Zeitfolge statt, und auf sie kann also das dynamische Gesetz der Natur, was die Zeitfolge nach Regeln bestimmt, nicht angewandt werden.*

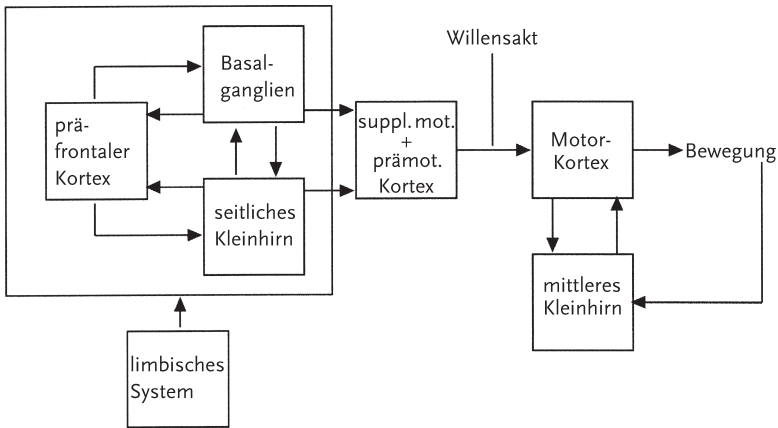
Der Begriff der Vernunft hat im alltäglichen Gebrauch eine klar umrissene Bedeutung. Diese ist allerdings von der jeweiligen Gesellschaft und ihren Traditionen beeinflusst. Wir sprechen von vernünftigen und unvernünftigen Handlungen. Vernünftige Handlungen sind zielgerichtet und moralisch. In dieser Bedeutung existiert zweifellos Vernunft. Gerade in der Philosophie Kants wurde dieser Begriff aber neu definiert und gewissermaßen zweckentfremdet. So führt Kant zunächst den Begriff der Substanz ein. Unter diesen Oberbegriff stellt er einmal die Materie mit ihren Eigenschaften der Undurchdringlichkeit und des Beharrungsvermögens. Daneben stellt er eine nichtmaterielle Substanz, zu der er die Vernunft zählt. Er sieht also die Vernunft nicht als Teil der physischen Welt. Sie ist anders als die Objekte der physischen Welt ein »Ding an sich«. Damit ist sie auch der naturgegebenen Kausalität enthoben. Insbesondere sieht er eine klare Trennung zwischen Vernunft und Verstand. Vernunft als »Ding an sich« ist nach dieser Definition von der empirischen Erfahrung unabhängig. Wenn nach Kant aber die Vernunft keine Erscheinung ist und keinen Bedingungen der Sinnlichkeit unterworfen ist, so muss man sich fragen, ob sie in dieser Definition überhaupt existiert.

Mit unserer heutigen Sicht der Funktionsweise des Gehirns als einem neuronalen Netz und seiner Organisation in verschiedene Funktionsgruppen können wir den Ideen Kants nicht mehr ohne weiteres folgen. Ein erheblicher Teil, wenn nicht sogar die Gesamtmenge unserer Gedanken und Handlungen, die wir nicht als unmittelbar logisch zwingend, sondern als spontan und gefühlsbedingt verursacht sehen, werden vom limbischen System gesteuert. Dies ist der Sitz des emotionalen Gedächtnisses und der Organisator des kognitiven Gedächtnisses. In diesem Bereich steckt damit das, was man als Handlungsautonomie bezeichnen könnte. Da dieser Bereich aber unbewusst ar-

beitet, sind wir ihm weitgehend ausgeliefert. Das Ich-Bewusstsein wirkt bestenfalls beratend auf unsere Handlungen ein, die es als selbst veranlasst empfindet. Insofern ist die subjektiv empfundene Willensfreiheit mehr eine nachträgliche Rechtfertigung unserer Handlungen, während in Wahrheit die höchste Kontrollinstanz das unbewusst arbeitende limbische System ist. Diese Ansicht wird vor allem von Hirnforschern vertreten. So sagt der Hirnforscher Wolf Singer (Max-Planck-Institut für Hirnforschung Frankfurt):

*Das, was wir als freie Entscheidung erfahren, ist nichts als eine nachträgliche Begründung von Zustandsveränderungen, die ohnehin erfolgt wären.*

Auch der Hirnforscher Gerhard Roth sieht im limbischen System die Quelle unserer Willensbildung. Er ist der Überzeugung, dass wesentliche Anteile unserer Handlungssteuerung aus Teilen unseres Gehirns kommen, die dem Bewusstsein grundsätzlich unzugänglich sind. Gerade weil uns diese Quellen nicht bewusst sind, haben wir das Gefühl, frei zu handeln. Von ihm stammt das nachfolgende Diagramm (Abb. 1-4) über den Ablauf der Erzeugung eines Willensakts. Der prämotorische Kortex steuert dabei das Zusammenspiel von Muskeln und Gelenken. Der supplementär motorische Kortex kontrolliert komplexe Bewegungsabläufe und deren Planung. Entschei-



**Abb. 1-4** Schema zur Steuerung willkürmotorischer Handlungen und deren anatomischer Ablauf (nach G. Roth).

dend ist hierbei, dass die im limbischen System, in den Basalganglien und im Kleinhirn ablaufenden Prozesse unbewusst bleiben, während die Vorgänge im präfrontalen Kortex bewusst werden.

Das Problem, das die Philosophie in der Vernunft und dem freien Willen sieht, liegt vor allem in der Frage nach der Kausalität. Das Kausalitätsprinzip selbst ist bei Kant und Schopenhauer eine Erkenntnis a priori. Schopenhauer fasst hierbei das Kausalitätsprinzip etwas allgemeiner und nennt es den Satz vom Grunde. Er ist grundsätzlich auf alle Erscheinungen und damit alle empirischen Erfahrungen anzuwenden. Damit unterliegen dann auch die praktischen Folgen unseres freien Willens dem Kausalitätsprinzip. Wenn alles eine Ursache hat, stellt sich aber die Frage, wie unser Wille trotzdem frei sein kann. Aus Sicht der Naturwissenschaften wird dagegen das Kausalitätsprinzip als ein grundlegendes Naturgesetz angesehen. Unsere Erkenntnis über dieses Prinzip eignen wir uns durch unsere Erfahrungen an, insofern ist es keine Erkenntnis a priori. Als Naturgesetz unterliegt das Prinzip gewissen Einschränkungen: Sein Gültigkeitsbereich ist nur so weit zu fassen, als es auch experimentell bestätigt werden kann. Diese Einschränkung kann nur experimentell d. h. empirisch ermittelt werden, aber nicht a priori. Bereits in der Quantenmechanik stoßen wir aber auf Phänomene, die rein zufällig ablaufen. Ob diese Zufälligkeit nur scheinbar ist, weil wir womöglich tiefer liegende deterministische Naturgesetze noch nicht kennen, ist im Moment nicht endgültig zu beantworten. Wenn es aber tatsächlich in der Natur Bereiche gibt, wo das Kausalitätsprinzip außer Kraft gesetzt ist, so verschwindet der oben diskutierte Widerspruch. Das Problem ist vielmehr dann die Frage, wie unser Gehirn Zugriff auf solche indeterministischen Vorgänge erlangen kann.

Niemand zweifelt daran, dass wir zumindest ein Gefühl der Willensfreiheit haben; aber Gefühle können uns auch täuschen. So ist allein das Gefühl der Willensfreiheit noch kein Beweis für dessen Existenz. Insofern ist es verständlich, dass es insbesondere unter den Naturwissenschaftlern einen zunehmenden Anteil gibt, der die Willensfreiheit als reine Illusion ansieht. Auf der anderen Seite beharrt die Theologie auf der Existenz eines freien Willens und sieht eine naturwissenschaftliche Erklärung als unzureichend an: Was bringt uns die Zugriffsmöglichkeit auf zufällige Ereignisse? Sind wir dann nicht dem Zufall ausgeliefert und nicht wirklich Herr unserer Entscheidungen? Die Theologie fordert stattdessen den Zugriff auf ei-



ne höhere Instanz oder eine Art geheimnisvolle Substanz. Mit dem gleichen Argument kann man dann allerdings auch fragen, was uns diese mysteriöse Substanz bringt. Sind wir dann nicht dieser Substanz ausgeliefert?

Zusammenfassend können wir die folgenden drei verschiedenen Standpunkte zum Problem des freien Willens identifizieren:

- a) Es gibt keinen freien Willen, sondern nur ein Gefühl des freien Willens.
- b) Es gibt einen freien Willen, der naturwissenschaftlich mit dem Zugriff auf einen indeterministischen Zufallsgenerator erklärt werden kann.
- c) Es gibt einen freien Willen, der mit naturwissenschaftlichen Methoden grundsätzlich nicht erklärbar ist.

Position (a) wird von einer Reihe psychologischer Tests unterstützt. So werden häufig die Experimente von Kornhuber (1976) und von Libet (1979) angeführt. Bei diesen Experimenten wurden z. B. Probanden aufgefordert, innerhalb einer Zeitspanne von drei Sekunden spontan eine Fingerbewegung auszuführen. Weiterhin hatten sie sich zu merken, in welchem Moment sie den Entschluss dazu gefasst hatten. Zur objektiven Überprüfung wurden die Muskelkontraktionen über ein Elektromyogramm (EMG) festgestellt und das Bereitschaftspotenzial des Gehirns mit einem Elektroenzephalogramm (EEG) gemessen. Das Experiment zeigte, dass sich das Bereitschaftspotenzial bereits eine halbe Sekunde *vor* dem angegebenen Zeitpunkt des Entschlusses bildete. Das heißt entweder, dass das Bewusstsein hinterherhinkt und damit die Bewegung nicht Folge eines freien Willens sein kann, oder dass die subjektive zeitliche Einordnung des Entschlusses falsch ist. Libet selbst glaubt jedoch, dass die Handlung bis wenige Millisekunden vor ihrer Ausführung noch durch unseren Willen verhindert werden kann. Ein anderes Gegenargument ist, dass der Aufbau des Bereitschaftspotenzials schon Folge von bewussten Vorentscheidungen ist.

Noch nachdenklicher machen die Ergebnisse neuerer Versuche, bei denen man bestimmte Hirnareale mit Elektroden oder mit gebündelten elektromagnetischen Pulswellen aktiviert hat. Werden Bereiche aktiviert, die für die Bewegung bestimmter Glieder zuständig sind (Brodmannsche Felder), so bewegen sich tatsächlich diese Glieder. Das Erstaunliche ist dabei, dass die Probanden hinterher behauptete-

ten, sie hätten genau in diesem Augenblick das entsprechende Glied bewegen wollen. Zumindest in diesen speziellen Fällen scheint der freie Wille eine Illusion zu sein.

Man kann aber in diesen Ergebnissen keinen restlos überzeugenden experimentellen Beweis für die Nichtexistenz eines freien Willens sehen, denn die Versuche betreffen ja nur ganz kurzfristige Entscheidungen. Sie können nicht ohne weiteres auf längerfristige Planungen extrapoliert werden. Immerhin sollten sie aber zu einer kritischeren Einstellung gegenüber unserem Gefühl der Willensfreiheit führen.

Der Psychologe Daniel Wegner von der Harvard University hat im Jahr 2002 ein Buch veröffentlicht mit dem Titel »The Illusion of Conscious Will« (Die Illusion des bewussten Willens). In diesem Buch legt er seine Meinung dar, dass »unsere Erfahrung, eine Handlung gewollt zu haben, nicht beweist, dass der Wille diese Handlung auch selbst verursacht hat«. Er sieht vielmehr in dieser Erfahrung eine nachträgliche Rechtfertigung für unsere Handlungen. Zur Stützung dieser Position hat er eine Reihe von psychologischen Experimenten unternommen. Bei diesen Versuchen zeigte sich, dass sich die Testpersonen sehr stark von anderen Personen in ihren Handlungen beeinflussen ließen, dies aber hinterher vehement bestritten. Wegner erklärt die evolutionäre Entwicklung des Gefühls eines freien Willens damit, dass man in einer Gemeinschaft besser funktioniert, wenn man sich selbst als Akteur sieht.

Douglas R. Hofstadter vertritt in seinem Buch »Gödel Escher Bach« aus Gründen der mathematischen Logik ebenfalls die Position (a). Insbesondere aufgrund des Gödel-Theorems (vgl. Abschnitt 2.2) kommt er zu dem Schluss:

*Solange ein Mensch sich nicht selbst konstruiert und seine eigenen Wünsche aussucht (und auch aussucht, dass er seine eigenen Wünsche aussucht), kann man nicht sagen, dass er einen eigenen Willen hat.*

Und weiter:

*Wir sind keine »selbstprogrammierten Objekte« (was immer das wäre), aber wir verspüren trotzdem ein Verlangen, und das entstammt dem physischen Substrat unserer Mentalität. Gleichermassen*

*können Maschinen eines Tages einen Willen haben, trotz der Tatsache, dass kein magisches Programm spontan im Gedächtnis aus heiterem Himmel auftritt (ein »selbstprogrammiertes Programm«). Einen Willen werden sie haben aus so ziemlich den gleichen Gründen wie wir – vermöge von Organisation und Struktur auf vielen Stufen der Hardware und Software.*

Position (a) wirft sofort ein prinzipielles philosophisches Problem auf: Wenn wir die Existenz eines freien Willens in Frage stellen, wie können wir dann moralisch handeln und wie kommen wir dann zu ethischen Grundsätzen? Sowohl allen theologischen Ansätzen wie auch dem philosophischen Ansatz von Kant wäre damit die Grundlage entzogen. Aber ist zur Erklärung menschlichen Denkens und Handelns ein freier Wille überhaupt zwingend notwendig? Dass die meisten Menschen trotz mancher Bedenken fest vom freien Willen überzeugt sind, ist wohl eher eine Frage des Gefühls und des Wunschenkens, denn sollte der Mensch nicht über einen freien Willen verfügen, hätte das unmittelbare Folgen für die Beurteilung menschlichen Handelns. Ohne freien Willen wären wir für unsere Handlungen nicht wirklich verantwortlich. Strafen hätten dann ausschließlich ihren Sinn in der Abschreckung. Hierzu schreibt Nietzsche in »Fatum und Geschichte«:

*Das Fatum predigt immer wieder den Grundsatz: »Die Ereignisse sind es, die die Ereignisse bestimmen.« Wäre dies der einzig wahre Grundsatz, so ist der Mensch ein Spielball dunkel wirkender Kräfte, unverantwortlich für seine Fehler, überhaupt frei von moralischen Unterschieden, ein notwendiges Glied in einer Kette. Glücklich, wenn er seine Lage nicht durchschaut, wenn er nicht conclusivisch in den Fesseln zuckt, die ihn umstricken, wenn er nicht mit wahnsinniger Lust die Welt und ihren Mechanismus zu verwirren trachtet!*

Zur Notwendigkeit eines freien Willens für die Formulierung von moralischen Gesetzen schreibt dagegen Kant in seiner »Kritik der praktischen Vernunft«:

*Die Autonomie des Willens ist das alleinige Prinzip aller moralischen Gesetze und der ihnen gemäßen Pflichten; alle Heteronomie der Willkür gründet dagegen nicht allein gar keine Verbindlichkeit, sondern*

*ist vielmehr dem Prinzip derselben und der Sittlichkeit des Willens entgegen.*

Seine Argumentation für diese Aussage ist aber nicht wirklich überzeugend. Denn das Streben und die Verwirklichung von eigenem Glück führen nur in einer Gesellschaft mit gewissen moralischen Grundsätzen zum Ziel. Zu dieser Erkenntnis brauche ich Erfahrung und Verstand bzw. Logik. Beides ist aber durch Algorithmen darstellbar und braucht somit keinen indeterministischen Zufallsgenerator und damit auch keinen freien Willen. Diese Art von Moral, die auf Empirie und dem Streben nach eigenem Glück beruht, erkennt Kant aber nicht an. Eine Handlung ist für ihn nur dann moralisch, wenn sie ausschließlich aus Achtung vor dem moralischen Gesetz geschieht, der Zweck der Handlung darf keine Rolle spielen. Man muss sich fragen, ob es unter uns Menschen solche Handlungen überhaupt gibt (die Nichtexistenz wäre aber nach Kant noch kein Gegenbeweis!).

Die Grundlage von Kants Moralphilosophie ist die Existenz eines freien Willens; durch ihn ist sozusagen automatisch ein grundlegendes moralisches Gesetz in Form seines kategorischen Imperativs (»Handle so, dass die Maxime deines Willens jederzeit zugleich als Prinzip einer allgemeinen Gesetzgebung gelten könne«) gegeben. Im Unterschied zu anderen Philosophen (z. B. Schopenhauer) sieht Kant die Quelle dieser Einsicht ausschließlich in unserer Vernunft, empirische Erfahrungen sind dabei vollkommen ausgeschlossen. Aber wie soll ein solches Gesetz in unser Gehirn gelangen, wenn nicht durch Erfahrungen? Moral ist eine Kategorie, die sich auf das Zusammenleben in einer Gesellschaft bezieht. Man muss sich also fragen, wie eine solche Einsicht vollkommen ohne Erfahrung zustande kommen soll. Ein Mensch, der ohne Kontakt zu anderen Menschen aufwächst, kann über keine moralischen Grundsätze verfügen!

Triebkräfte für unser eigenes Handeln sind unsere subjektive Werteskala und Motive, die sich, neben genetischen vorbestimmten Anlagen, durch Erfahrungen in der Interaktion mit der Außenwelt herausbilden. Das Handeln selbst ist dabei zumindest überwiegend rational und damit letztlich algorithmisch. Kriminelle Handlungen sind, wenn man von Affekthandlungen einmal absieht, in der Regel nicht etwa auf zufällige oder unlogische Entscheidungen zurückzuführen, sondern auf eine von der Gesellschaft als falsch anzusehende Werteskala. Die subjektive Werteskala selbst ist ein Produkt aus den

subjektiven Erfahrungen, den inneren (vom Verstand verursachten) logischen Einsichten und der körpereigenen Biochemie. Neuere Untersuchungen zeigen, dass zumindest für die Gewaltbereitschaft auch die genetische Vorbelastung eine Rolle spielen kann. So hat der Psychologe Terrie Moffitt von der University of Wisconsin in einer Studie 442 junge Männer aus Neuseeland untersucht, die in ihrer Kindheit körperlich und seelisch missbraucht wurden und die sich auffallend unsozial verhielten. Bei etwa einem Sechstel der Männer zeigte sich eine abweichende Variante eines Gens, die bei Mäusen bereits als aggressionsfördernd erkannt worden war. Stress und Aggression führen zur Ausschüttung von Neurotransmittern wie Serotonin und Dopamin (einer Vorläufersubstanz von Adrenalin), die als Botenstoffe in den Nervenzellen arbeiten. Sie setzen die Schmerzempfindlichkeit herab und steigern die Aggression. Normalerweise sorgt das Gen für den ordnungsgemäßen Abbau der Substanzen. Die veränderte Form des Gens kann diese Aufgabe jedoch nur eingeschränkt wahrnehmen. Gerade in Zusammenhang mit erlittener Gewalttätigkeit im Kindesalter scheint sich diese Variante des Gens negativ auszuwirken.

Als Argument gegen das A-priori-Wissen von Moral und einem dualistischen Standpunkt gegenüber dem freien Willen können Einzelfälle von Patienten mit Schädigungen des Frontallhirnlappens angeführt werden. Als Beispiel sei hier der Fall einer Patientin des Neurowissenschaftlers Antonio Damasio vom Medical Center von Iowa genannt. Das Mädchen wurde im Alter von 15 Monaten Opfer eines Autounfalls, bei dem der Kopf im Bereich des Frontallhirnlappens schwer verletzt wurde. Als Folge dieser Verletzung terrorisierte sie ab dem dritten Lebensjahr ihre Umwelt. Sie stahl regelmäßig und lieferte sich Schreigefechte mit ihren Eltern und ihren Altersgenossen. Später verweigerte sie trotz ausreichender Intelligenz in der Schule ihre Hausaufgaben und lief oft von zu Hause fort. Sie empfand dabei keinerlei Schuld und konnte auch in einem Erziehungsheim nicht gebessert werden. Dieses Beispiel zeigt, dass die Funktion von Moral mit der physischen Funktionsfähigkeit des Hirns kausal verkoppelt ist.

Schopenhauer liefert eine durchaus noch heute nachvollziehbare Grundlage für Vernunft und Ethik, die genau genommen auch ohne den freien Willen auskommt. Die Ursache für unser zum Teil unvorhersehbares Handeln sieht er in einem Produkt aus dem individuellen Charakter und dem eingetretenen Motiv. Er erkennt drei Grund-

triebfeiern des Menschen: Mitleid, Egoismus und Bosheit. Im Gegensatz zu Kant ist bei ihm die einzige Quelle moralischen Handelns und damit die Grundlage aller Ethik das Mitleid. In »Die Welt als Wille und Vorstellung« schreibt Schopenhauer:

*Wir werden [...] keinen Anstand nehmen, im geraden Widerspruch mit Kant, der alles wahrhaft Gute und alle Tugend allein für solche anerkennen will, wenn sie aus der abstrakten Reflexion und zwar dem Begriffe der Pflicht und des kategorischen Imperativs hervorgegangen ist, und der gefühltes Mitleid für Schwäche, keineswegs für Tugend erklärt, – im geraden Widerspruch mit Kant zu sagen: der bloße Begriff ist für die echte Tugend so unfruchtbar, wie für die echte Kunst: alles wahre und reine Liebe ist Mitleid.*

Nach den Darstellungen über das Bewusstsein im vorigen Kapitel ist klar, dass Mitleid auf unserer Fähigkeit basiert, uns in die Lage anderer Lebewesen hineinzusetzen. Wir leiden sozusagen mit anderen mit, was uns motiviert, etwas gegen das Leiden anderer zu unternehmen. Es ist auch sofort klar, dass Tiere diese Fähigkeit – wenn überhaupt – dann nur zu einem geringen Maße besitzen. Bei ihnen reicht die Komplexität ihres Vorstellungsvermögens nicht weit genug. Die Verhaltensforschung hat gezeigt, dass nur einige Menschengattungen zu einem gewissen Grad über diese Fähigkeit verfügen. Der Unterschied zum Menschen ist aber nur ein gradueller und kein prinzipieller. Kant unterscheidet dagegen zwischen dem Instinkt bei Tieren und dem moralischen Gesetz, das in uns Menschen existiert. Er erkennt bei Tieren weder Bewusstsein noch Vernunft. Für die Vernunft mag das noch zutreffen, aber beim Bewusstsein steht diese Einstellung im Gegensatz zur Evolutionstheorie, der modernen Verhaltensforschung und der Genetik. Man kann Kant natürlich zugute halten, dass er nicht über die Erkenntnisse der Evolutionstheorie und der modernen Verhaltensforschung verfügte. Auf der anderen Seite gehen aber die Philosophen in der Regel davon aus, dass ihre Philosophie immun gegen neue naturwissenschaftliche Erkenntnisse sei, da sie sich in der Regel mit Dingen beschäftigen, die außerhalb empirischer Erkenntnisse stehen (sollten). Es zeigt sich aber zuweilen, dass diese Dinge doch zum Gegenstand der Naturwissenschaften gemacht werden können.

Kritiker von Position (a) zur Existenz des freien Willens könnten noch Folgendes einwerfen: Wenn der freie Wille nur ein Gefühl ist, warum hat uns die Evolution überhaupt damit ausgestattet? Diese Frage hängt eng mit der Erkenntnis unserer Identität zusammen. Psychisch Kranke, die Sinneseindrücke und Handlungen nicht mehr sich selbst als gewollt zuordnen können, haben das Gefühl ferngesteuert zu sein oder erleben ihre eigenen Gedanken als fremde Stimmen. Sie haben dann erhebliche Probleme, ihr Leben zu meistern. Insofern ist zumindest das Gefühl der Selbstbestimmung unentbehrlich und somit von der Evolution her als sinnvolle Ausstattung zu sehen.

Ein weiteres Argument für Position (a) stammt aus der Untersuchung der Hirnfunktionen von notorischen Verbrechern. So hat der Neuropsychiater Adrian Raine von der University of Southern California 41 inhaftierte Mörder und eine genauso große Vergleichsgruppe mit der bildgebenden PET-Methode untersucht. Nach diesen Untersuchungen lässt bei den meisten Verbrechern das Stirnhirn die Aggressionsimpulse aus dem limbischen System – das für die Emotionen zuständig ist – ungehindert passieren. Dieses Ergebnis legt die Vermutung nahe, dass kriminelles Verhalten durch diese Funktionsstörung mit verursacht wird. Das Stirnhirn kontrolliert unsere Emotionen, aber es nutzt sie auch, um moralisches Empfinden zu erzeugen. Gegner der Position (a) argumentieren hier, dass die Abläufe im Gehirn nicht Ursache, sondern nur eine Reaktion auf das in uns vorhandene moralische Gesetz sind.

Das Maß an Mitleid, das ein einzelner Mensch empfindet, ist nach neueren wissenschaftlichen Untersuchungen sehr stark von der Konzentration der körpereigenen Hormone abhängig. So hat insbesondere das männliche Geschlechtshormon Testosteron eine große Wirkung gegen das Empfinden von Mitleid. Das führt dazu, dass Frauen im statistischen Mittel stärker Mitleid empfinden als Männer. Und es ist wohl auch ein Grund dafür, dass Frauen weniger häufig gewalttätig werden als Männer.

Diese Untersuchungen führen zu der Frage, inwieweit Verbrecher überhaupt schuldfähig sind, wenn Ethik und Moral letztlich doch restlos auf Logik und Emotionen zurückgeführt werden können. In unserer Rechtsprechung werden solche Fragen nur dann aufgeworfen, wenn der Angeklagte ein auffälliges abnormes Verhalten an den Tag legt, das von Sachverständigen testiert wird. Medizinische Funktions-

störungen im Gehirn oder in der Biochemie spielen dagegen in der Regel keine Rolle. Dennoch hat die Androhung von Strafen natürlich ihren Sinn. Sie sollte dazu führen, dass der Verstand (soweit vorhanden) kriminelles Handeln unterbindet. Jedenfalls sind in diesem Zusammenhang Begriffe wie Ethik und Moral mit Vorsicht zu gebrauchen, zumindest wenn man Standpunkt (a) vertritt.

Zur Position (b) (»Es gibt einen freien Willen, der naturwissenschaftlich mit dem Zugriff auf einen indeterministischen Zufalls-generator erklärt werden kann.«) müssen wir uns noch einmal etwas genauer der Frage des Zufalls widmen. Hierzu können die Naturwissenschaften und die Technik in Form der künstlichen Intelligenz wichtige Hinweise zum besseren Verständnis liefern. Fragen wir uns daher zunächst einmal, ob Computer in der Lage sind, zufällige Entscheidungen zu treffen. Man kann z. B. ein Programm schreiben, das Zufallszahlen generiert. Diese Zahlen sollten statistisch gleichverteilt sein, d. h. jede Zahl kommt in genügend großen Intervallen mit der gleichen Wahrscheinlichkeit vor. Dennoch sind diese Zahlen dann nicht wirklich zufällig, man spricht daher von pseudozufälligen Zahlen. Grundsätzlich kann man mit exakten Algorithmen keine absolut zufälligen Zahlen erzeugen.

Wenn wir von dieser Pseudozufälligkeit einmal absehen, bleiben noch zwei unterschiedliche Qualitäten von Zufälligkeit. Die schwächere ist die Art von Zufälligkeit, die Gegenstand der Chaosforschung ist, die stärkere Art der Zufälligkeit treffen wir in der Quantenmechanik.

Die schwächere Art der Zufälligkeit basiert zunächst auf deterministischen Naturgesetzen. Beispiele sind die Dynamik von mehr als zwei Körpern und die Meteorologie. Zum Teil lassen sich diese Probleme in Form von Differentialgleichungen darstellen. Aus bekannten Anfangsbedingungen lassen sich dann die Zustände zu jeder Zeit vorausberechnen. Das Entscheidende ist hierbei, dass winzigste Änderungen in den Anfangsbedingungen nach einer gewissen Zeit zu sehr großen Änderungen der gesamten Dynamik führen. Man nennt solche Zustände auch instabil. Das Musterbeispiel ist eine Kugel im Zentrum einer nach außen gewölbten Oberfläche. Es lässt sich in der Praxis nicht vorhersagen, in welche Richtung die Kugel abrollt. Die Ergebnisse bei diesen Problemen sind zwar durchaus deterministisch vorherbestimmt, aber sie sind nicht genau berechenbar; man spricht daher hier auch von deterministischem Chaos. Die Ursache hierzu



liegt darin, dass die Anfangsbedingungen sozusagen mit unendlicher Genauigkeit bekannt sein müssten, was in der Praxis unmöglich ist.

Die Angabe einer Position oder einer Geschwindigkeit mit unendlicher Genauigkeit erfordert jeweils Zahlen mit unendlich vielen Stellen. Weiterhin würde die langfristige, präzise Vorausberechnung von chaotischen Systemen einen Computer mit unendlicher Rechenkapazität und unendlich großem Speicher erfordern. Da wir aber in einem Universum leben, das selbst nur aus endlich vielen Materieteilchen und endlicher Energie besteht, ist ein solcher Computer nicht nur praktisch, sondern auch prinzipiell unmöglich. Damit stellt sich hier die Frage, ob man überhaupt noch von Determinismus reden kann. Davon abgesehen, gehen wir bei der Beschreibung von chaotischen Systemen in der Regel von der klassischen Physik aus. Bei der Messgenauigkeit von Anfangsbedingungen stoßen wir aber unweigerlich auf die Grenzen der klassischen Physik. Damit wird die Feststellung von Anfangsbedingungen ab einer gewissen Genauigkeit auch theoretisch unmöglich.

Wie in Abschnitt 1.2 bereits erwähnt, gehen beim Schaltverhalten von Neuronen analoge Größen wie die Zeitabstände aufeinander folgender Eingangsimpulse ein. Außerdem spielt die analoge Größe der Konzentration von Transmitterstoffen eine Rolle. In diesen Größen liegt eine gewisse statistische Ungenauigkeit, die zumindest teilweise der oben beschriebenen Qualität von Zufälligkeit entspricht. Sie sind damit zwar deterministisch vorbestimmt, aber dennoch absolut unberechenbar und für uns Menschen und jede andere Form von Intelligenz unvorhersehbar. Bereits die hier beschriebene Qualität von Zufälligkeit kann damit als Argument für eine prinzipielle Unberechenbarkeit eines Teils unserer Gedanken angeführt werden. Wegen der Vielzahl der beteiligten Synapsen billigen Hirnforscher dieser Quelle von Zufälligkeit aber nur einen sehr geringen Einfluss zu.

Als weiteres Argument für den Zugang unseres Gehirns zu chaotischen Zufällen kann man die Funktion rückgekoppelter neuronaler Netze in unserem Gehirn (siehe Abb. 1-2) anführen. Wie schon beschrieben, kann es durch die Rückkopplung zur spontanen Erregung solcher Netze kommen, deren Ursprung winzigste Veränderungen in einzelnen Synapsen sein können. Bei einer krankhaften Veränderung des Gleichgewichts von Erregung und Hemmung können sich solche spontanen Erregungen über das gesamte Gehirn ausbreiten und zu

epileptischen Anfällen führen, die geradezu ein Musterbeispiel von chaotischem Verhalten sind.

Im Gegensatz dazu sind unsere derzeitigen Computer nicht in der Lage, über die Pseudozufälligkeit hinauszugehen. Das liegt aber nicht an irgendwelchen prinzipiellen oder technischen Problemen, sondern daran, dass solche Zufälligkeiten bei den Aufgaben, für die unsere Computer gebaut wurden, unerwünscht sind. Wir möchten in der Regel reproduzierbare Ergebnisse von unseren Computern. Der Zugriff auf Zufallszahlen, die nicht von einem Algorithmus erzeugt wurden, kann aber leicht mit einer zusätzlichen Hardware ermöglicht werden. Eine einfache Lösung wäre z. B. die Verstärkung des Stromrauschens eines elektronischen Bauteils. Digitalisiert man diese zunächst analoge Messgröße, so ergeben sich absolut zufällige Werte.

Die zweite, tiefer liegende Art von Zufälligkeit ist die, die wir in der Quantenphysik antreffen. Hier geht die Zufälligkeit nicht auf unsere mangelnde Messmöglichkeit und Rechenkapazität zurück, sondern sie ist prinzipiell in den zugrunde liegenden Naturgesetzen vorhanden. So lässt sich z. B. die Halbwertszeit von radioaktiven Atomkernen eines Isotops recht genau bestimmen, aber es lässt sich prinzipiell nicht vorhersagen, wann ein einzelner, bestimmter Atomkern zerfällt. Es gibt insbesondere absolut keine messbare Eigenschaft, die den Zerfall ankündigt. Auch schon bei Messungen des Orts und des Impulses eines Teilchens geht nach der Heisenbergschen Unschärferelation die Genauigkeit der Messung einer Größe auf Kosten der Messgenauigkeit der anderen Größe. Das führt z. B. dazu, dass die oben erwähnten Anfangsbedingungen in mechanischen Systemen grundsätzlich nicht mit beliebiger Genauigkeit bestimmt werden können.

Ob der Zufall in der nichtrelativistischen Quantenmechanik wirklich grundlegend ist, hängt davon ab, wie man diese Theorie interpretiert. Die mathematische Formulierung der Quantenmechanik mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitswellen ist deterministisch, denn bei genauer Kenntnis der Wellenfunktion und der Anfangsbedingungen lässt sich ihr Zeitverhalten, genauso wie die Bewegungsgleichungen in der klassischen Physik, beliebig weit in die Zukunft vorausberechnen. Dies betrifft aber im Wesentlichen die Verhältnisse von Wahrscheinlichkeiten und nicht die Tatsache, dass sich das Verhalten einzelner Teilchen bzw. Zustände absolut nicht vorhersehen lässt. Bei der Messung, die zu einem so genannten Zusammenbruch der Wellen-

funktion führt, endet der Determinismus, und in das Ergebnis gehen Zufälligkeiten ein. Nach einer möglichen Interpretation gibt es verborgene Parameter, die den Zerfall steuern, sodass die Zufälligkeit eben doch auf deterministische Gesetze zurückgeführt werden kann, die wir nur noch nicht kennen. Dem Physiker Frank Tipler zufolge lässt sich aber zeigen, dass zumindest die quantisierte Relativitätstheorie grundlegend nicht deterministisch ist. Dieser Zusammenhang lässt sich anhand des Informationsverlusts von Materie, die in ein Schwarzes Loch fällt, ableiten (siehe Anhang B). Doch auch diese Hypothese ist nicht unumstritten: Die Verfechter der Brantheorie nehmen an, dass nach dem Verdampfen eines Schwarzen Lochs die Information wieder vorhanden ist. Wenn Tipler Recht behielte, so wäre der beschriebene Indeterminismus ein ontologischer Indeterminismus, d. h. er wäre eine Eigenschaft der Natur selbst. Er ist zu unterscheiden von dem epistemologischen Indeterminismus, der besagt, dass der Indeterminismus nur in unserem Wissen liegt und keine objektive Eigenschaft der Natur ist.

Es sei hier noch einmal darauf hingewiesen, dass eine Vielzahl von Physikern bereits normale Quanteneffekte für indeterministisch halten. Von unserem naturwissenschaftlichen Weltbild her ist jedenfalls klar: Wenn es einen freien Willen gibt, so ist der Zugang zu einem nichtdeterministischen Zufallsgenerator zwingend notwendig. Andernfalls wäre der freie Wille nicht mit den Naturgesetzen vereinbar. Ohne diesen Zugang wäre menschliches Denken rein algorithmisch und damit vorbestimmt.

Nehmen wir aber zunächst einmal an, dass bereits die nichtrelativistische Quantenmechanik indeterministisch ist. Gibt es dann Möglichkeiten, dass quantenmechanische Prozesse Einfluss auf unser Denken nehmen können? Oder anders gefragt: Gibt es eine Möglichkeit, dass Neuronen auf irgendeine Weise grundlegend zufällige Ergebnisse liefern? Sehen wir uns dazu die körpereigene Biochemie an. Die Konzentration einzelner aktiver biochemischer Stoffe – z. B. Neurotransmitterstoffe – ist eine analoge Größe, die lokalen statistischen Schwankungen unterliegt. Bis hierher sehen wir aber noch keinen Einfluss einer quantenmechanisch bedingten statistischen Größe. John C. Eccles hat hierzu folgendes Modell vorgeschlagen. Er zeigt, dass bei der synaptischen Exozytose (Ausschüttung von Neurotransmitterstoffen) die Verlagerung eines Teilchens mit der Masse  $10^{-18}$  Gramm eine Neuronenfeuerung bewirken kann, und er folgert, dass

eine solche Verlagerung unter Umständen aufgrund von quantenmechanischen Fluktuationen eintritt. Hirnforscher bezweifeln aber, ob bei der Vielzahl von Neuronen, die bei Gehirnaktivitäten beteiligt sind, das Feuern eines einzelnen Neurons wirklich etwas Entscheidendes bewirken kann.

Einige Physiker wie Roger Penrose behaupten, dass nur der Zugriff auf die Quantengravitation einen freien Willen begründen kann. Das Problem ist dann, wie hier eine Verbindung zu den Denkprozessen in unserem Gehirn hergestellt werden kann, denn eine Kopplung von Gravitation und Quantenmechanik ist normalerweise nur bei extremen physikalischen Verhältnissen wirksam. Roger Penrose hat dies dennoch in seinem Buch »Schatten des Geistes« versucht. Seine Ausführungen sind aber als absolut spekulativ anzusehen. Frank Tipler sieht eine Möglichkeit darin, dass unser Gehirn eventuell in der Lage ist, Fluktuationen der Vakuumenergiedichte zu registrieren. Ein darauf aufbauender Zufallsgenerator wäre ontologisch indeterministisch. Aber auch diese Idee ist reine Spekulation.

Die Unterscheidung zwischen dem ontologischen Indeterminismus und dem epistemologischen Indeterminismus ist allerdings in Bezug auf den freien Willen als problematisch anzusehen. Wenn wir, wie oben bei der Zufälligkeit von chaotischen Systemen beschrieben, prinzipiell nicht in der Lage sind, uns das notwendige Wissen über die Qualität der Zufälligkeit zu verschaffen, worin liegt dann der Unterschied? Insbesondere stellt sich die Frage, ob es eine Möglichkeit gibt, beispielsweise anhand zweier Zufallszahlenfolgen den eventuell vorhandenen Unterschied festzustellen. Für die über chaotische Systeme erzeugte Zahlenfolge bräuchte man einen Computer von unendlicher Speicher- und Rechenkapazität, um den dahinter liegenden Determinismus zu erkennen. Da es einen solchen Computer nie geben kann, ist dies absolut unmöglich. Anders sieht es bei einer pseudozufälligen Zahlenfolge aus. Hier ist es zumindest im Prinzip möglich, mit einem endlich großen Computer den versteckten Algorithmus herauszufinden.

Ein Beispiel für eine pseudozufällige Zahlenfolge ist:

7 8 5 3 9 8 1 6 3 3 9 7 4 4 8 3 0 9 6 1 5 6 6 0 ...

Ein eventuell hinter dieser Folge stehender Algorithmus ist zunächst nicht erkennbar. Sehen wir uns nun folgende Zahlenfolge an:

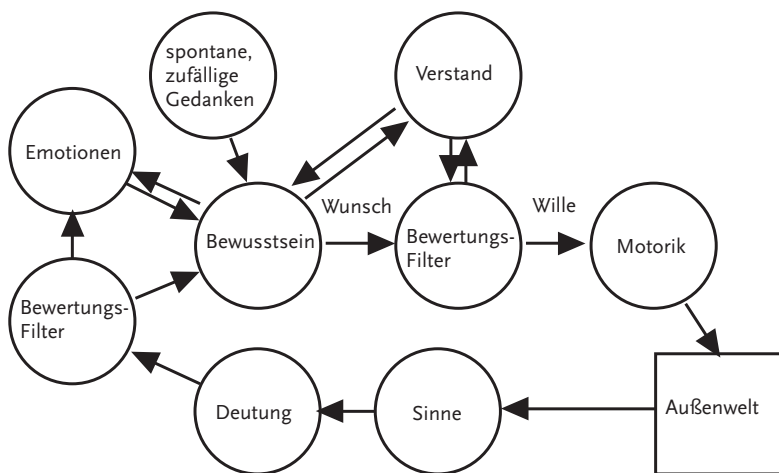


Abb. 1-5 Flussdiagramm zur Erzeugung eines Willens mit Berücksichtigung von Zufälligkeit.

1, -1/3, +1/5, -1/7, +1/9, -1/11, +1/13, -1/15, ...

Die Fortsetzung dieser Zahlenfolge ist leicht vorhersehbar. Das nächst Glied ist offensichtlich +1/17. Das Erstaunliche ist nun, dass sich die erste Zahlenfolge (als Dezimalbruch geschrieben: 0,7853981...) als die Summe der zweiten Zahlenfolge darstellt. Sie ist also gar nicht zufällig, sondern durch einen einfachen Algorithmus berechenbar (das Ergebnis ist übrigens  $\pi/4$ ). An diesem Beispiel wird klar, wie schwierig die Beurteilung der Qualität von Zufälligkeit in der Praxis sein kann.

Es bleibt die Frage, wie der Zufall Einfluss auf unsere Gedanken nehmen kann. Das Flussdiagramm (Abb. 1-5) zeigt die möglichen Quellen zur Erzeugung eines Willensakts unter Berücksichtigung des Zufalls. Wie bereits oben erwähnt, können spontane Gedanken durch Rückkopplungseffekte in neuronalen Netzen entstehen. Von den spontanen Gedanken abgesehen, kann der Zufall aber auch auf alle anderen Funktionen des Gehirns Einfluss nehmen. Die Willensbildung folgt in der Regel nicht strengen Algorithmen, sondern »weichen Algorithmen«. Solche weichen Regeln beinhalten ungenaue Begriffe wie z. B. »ziemlich«, »etwas mehr«, »kalt«, »groß« usw. Man nennt eine auf solche ungenauen Begriffe und Regeln aufbauende Logik »Fuzzy-Logik« (nach dem englischen Wort »fuzzy«, verschwom-

men). Sie wird in Abschnitt 2.5 noch genauer besprochen. Entscheidend ist an dieser Stelle, dass die Fuzzy-Logik mit Wahrscheinlichkeiten arbeitet und daher einen Zufallsgenerator braucht. So spielt beispielsweise bei der Umsetzung eines ungenauen Begriffs in eine präzise Handlung der Zufall eine gewisse Rolle.

Bei der Suche nach der Lösung eines Problems kann man sich die Funktion des Zufalls vereinfacht so vorstellen: beim Nachdenken über die Lösung eines Problems mit dem Verstand werden unserer Bewusstseinsbene Befehle erteilt, alle relevanten im Gedächtnis gespeicherten Informationen, die zur Lösung des Problems beitragen können, abzurufen. Zufällige Gedanken verbinden diese zunächst unzusammenhängenden Informationen willkürlich miteinander. Anschließend werden die so gewonnenen Aussagen in deterministischer Weise, d. h. mit Hilfe von Algorithmen, auf ihre Brauchbarkeit hin überprüft (Bewertungsfilter). Die meisten so gewonnen Aussagen werden unlogisch oder undurchführbar sein. Trifft das gar auf alle Aussagen zu, so kommt das Bewusstsein zur Erkenntnis, dass neue Informationen zum Thema von der Außenwelt beschafft werden müssen. Werden mehrere brauchbare Lösungen gefunden, so werden diese genauer untersucht und bewertet. Die vermeintlich beste wird dann ausgewählt und führt zu einem Willensakt.

Wir können anhand des Beispiels festhalten, dass in unserem Gehirn auch statistisch zufällige Ergebnisse eine Rolle spielen können. Damit kann menschliches Denken nicht zu 100 % berechenbar sein. Diese Unberechenbarkeit ist aber noch kein Nachweis für einen freien Willen, sondern führt nur dazu, dass ein freier Wille im Prinzip mit den Naturgesetzen vereinbar ist. Die Frage, ob unser Gehirn den physikalisch möglichen Zugriff auf indeterministische Vorgänge wirklich nutzt und damit einen freien Willen erzeugt, oder ob sich diese Effekte nur als kleine Störung im Ablauf unserer Gedanken auswirken, ist offen. An der Unberechenbarkeit zumindest eines Teils unserer Gedanken besteht dagegen kein Zweifel.

Kritiker des Standpunkts (b) fragen, was es uns bringt, wenn wir einem Zufallsgenerator ausgeliefert sind. Sind wir dann nicht nur einfach Opfer des Zufalls und in Wirklichkeit doch nicht frei in unseren Entscheidungen? In ihren Augen muss ein freier Wille motiviert und zielgerichtet sein und eine Ich-bezogene Urheberschaft haben. Doch diese Forderung ist in sich widersprüchlich, denn sobald der Wille ein Motiv hat, ist er nicht mehr frei. Ein motivierter Wille wird von unse-

ren Emotion oder unserem logischen Verstand erzeugt. Er hat damit eine kausale Ursache und ist deterministisch. Wenn wir beispielsweise glauben, eine optimale Lösung für ein Problem oder eine Handlung zur Befriedigung eines emotionalen Wunschs gefunden zu haben, so werden wir dies auch verfolgen. Es gäbe dann keinen Grund, sich für etwas anderes zu entscheiden, es sei denn, wir möchten mit dieser Wahl unseren freien Willen demonstrieren. Aber selbst diese Demonstration wäre berechnend und damit auch algorithmisch. Auch der Begriff der Urheberschaft bringt hier nichts wirklich Neues, denn es geht doch gerade darum, woher der Urheber seinen Willen nimmt. Dass es eine Ich-Identität gibt, die mit dem Willen verbunden sein könnte, bestreitet ja niemand. Ein Beispiel für Zufälligkeit ist die unmotivierte Spontaneität unserer Gedanken. Manchmal kommt uns etwas in den Sinn, ohne dass wir dafür einen Grund ausmachen können. Wir können also feststellen, dass vom naturwissenschaftlichen Standpunkt indeterministische Zufälle ausreichen, um einen freien Willen zu erklären. Wie brauchbar diese Freiheit dann ist und ob wir daraus Grundlagen für ein moralisches Handeln ableiten können, bleibt dahingestellt.

Wer an dieser Stelle mehr fordert, sich aber trotzdem nicht dem Standpunkt (c) zuordnen lassen möchte, kann hier nur auf eine neue, nicht-algorithmische Physik hoffen. Wir werden auf dieses Argument von Roger Penrose noch in Zusammenhang mit der Machbarkeit von künstlicher Intelligenz zurückkommen. Es sei aber schon jetzt angemerkt, dass diese Idee sehr spekulativ ist.

Standpunkt (c) (»Es gibt einen freien Willen, der mit naturwissenschaftlichen Methoden grundsätzlich nicht erklärbar ist.«) kann der philosophischen Position des Dualismus zugerechnet werden. Diese Denkweise hat eine lange Tradition in der Philosophie, angefangen in der Antike bei Platon (Welt der Ideen) über das Zeitalter der Aufklärung mit Descartes, Kant (»Ding an sich«) bis in unsere Zeit (beispielsweise mit »Welt 2« bei Karl Popper). Dieser Standpunkt wird auch als einziger von der römisch-katholischen Kirche akzeptiert, denn nur so besteht nach ihrer Lehre die Möglichkeit, sich für das Seelenheil Verdienste zu erwerben. Sie lehnt das beschriebene Zufalls-generator-Modell ab, mit dem Argument, dass die Idee einer unsterblichen Seele und deren Verantwortung vor Gott die unbedingte Freiheit des menschlichen Willens erfordert. Nach christlicher Position kann der Mensch nicht für etwas verantwortlich sein, was Natur-

vorgänge hervorgebracht haben, ganz gleich ob auf deterministische oder indeterministische Weise. Es muss Freiheit jenseits der physikalischen und chemischen Prozesse geben. Solche dualistische Positionen haben das Problem, dass man sie weder durch Experimente noch durch Nachdenken beweisen oder widerlegen kann, sie können also nur geglaubt werden. Damit stellen sie sich aber selbst jenseits wissenschaftlicher Überlegungen.

Aber selbst für die Theologie ist dieser Standpunkt nicht ohne Probleme, denn wenn es einen Gott gäbe, der allmächtig und allwissend ist, dann bliebe für den freien Willen kein Spielraum, denn Gott wüsste schon vorher was wir denken und wie wir handeln. Auf der anderen Seite stellt sich dann z. B. in der christlichen Lehre die Frage, wie Gott unser Handeln beurteilen kann, wenn wir selbst nur Opfer unseres eigenen Handelns sind. Diesen Konflikt hat Paul Tillich versucht zu lösen, indem er Gott nicht als Wesen, sondern (ähnlich wie Kant) als Sein an sich beschreibt. Damit wird alle Information unserer Welt Teil Gottes selbst. Diese Sichtweise ist aber wiederum nicht ohne weiteres mit der christlichen Lehre vereinbar.

Kant sieht in der Existenz des freien Willens keinen Konflikt zur Existenz eines Gottes, er geht im Gegenteil sogar soweit, aus der Existenz eines freien Willens und einem moralischen Grundgesetz auf die Existenz Gottes zu schließen. Er konstruiert eine Moralthologie, in der Gott als das höchste ursprüngliche Gut existiert. Er ist damit die oberste Ursache der Natur, die zum höchsten Gut vorausgesetzt werden muss. Aus heutiger Sicht muss man diese Ideen aber mehr als reines Wunschenken einstufen.

Fassen wir zusammenfassen: Ein freier Wille ist für die Erklärung unseres Handelns nicht zweifelsfrei notwendig. Auf der anderen Seite ist aber der Mechanismus zur Erzeugung eines freien Willens von der Naturwissenschaft her durchaus denkbar. Damit ist die Frage nach der Existenz eines freien Willens noch ungeklärt.

Mancher mag die Zweifel an der Existenz des freien Willens als Kränkung unseres Selbstbewusstseins empfinden. Für den Fall, dass sich die Einsicht gegen die Existenz des freien Willens durchsetzt, schreibt der Hirnforscher Wolf Singer sehr passend (aus: »Ein neues Menschenbild?«):

*Ich könnte mir vorstellen, dass dabei humanere Systeme entstehen, als wir sie jetzt haben. Auch würden all jene ungläubwürdig werden, die*



*vorgeben, sie wüssten, wie das Heil zu finden ist. Den mächtigen Vereinfachern würde niemand folgen wollen. So könnte ein kritisches, aber gleichzeitig von Demut und Bescheidenheit geprägtes Lebensgefühl entstehen, das durchaus Grundlage einer sehr lebhaften Welt sein könnte.*

Ob wir das Problem des Bewusstseins und des freien Willens in der Zukunft abschließend lösen können, hängt davon ab, inwieweit die Naturwissenschaften experimentellen Zugang zu diesen Problemen haben. Als gesichert können wir jedoch festhalten, dass menschliches Denken zumindest teilweise unberechenbar ist.

Gelingt die Herstellung von künstlichem Bewusstsein, so lassen sich damit auch weitergehende, grundlegende Experimente zum freien Willen ausführen (siehe Abschnitt 2.4). Sollte das Ergebnis sein, dass es tatsächlich einen freien Willen gibt, so könnten wir damit auch die künstliche Intelligenz ausstatten, denn wir kennen bisher kein Naturgesetz, das Bewusstsein und den freien Willen auf biologische Körper beschränkt.

## 1.5 Das Geist-Körper-Problem

*Physiker scheinen der Information emotional stark verbunden zu sein. Ich denke, dies kommt von dem Wunsch nach Beständigkeit. Sie müssen akzeptieren, dass sie sterben werden, und dass selbst die Materie, aus der ihr Körper besteht, irgendwann zerfällt. Aber sie wollen, dass wenigstens Information ewig ist.* Stephen Hawking, Physiker

*Jegliche Art von Geist-Gehirn-Dualismus und jeder Glaube an eine Autonomie des Geistes gegenüber dem Gehirn ist mit dem Wissensstand der Hirnforschung unvereinbar.* Gerhard Roth, Hirnforscher

Zuweilen wird das »Geist-Körper-Problem« auch als »Leib-Seele-Problem« bezeichnet. Da der Begriff Seele aber religiös vorbelastet ist, sei hier der Begriff Geist verwendet. In der Vergangenheit wurde

Geist in der Philosophie überwiegend als etwas Immaterielles angesehen. Da unser Geist aber einerseits Einfluss auf unseren Körper nehmen kann und andererseits vom Körper bzw. den Sinnen Informationen über die Außenwelt erhält, stellt sich das Problem, wie hier eine Verbindung des materiellen Körpers zum immateriellen Geist zustande kommen kann. Mit der aufkommenden philosophischen Strömung des Materialismus wurde der Geist erstmals als reine Funktion des Körpers und damit als Folge von physikalischen und chemischen Prozessen im Körper angesehen. Wir wollen hier mit diesem Begriff die subjektiven, mentalen Zustände zusammenfassen. In dieser Einschränkung existiert »Geist« sicherlich.

Im Folgenden sollen kurz die wichtigsten philosophischen Standpunkte zum Verhältnis von Geist und Körperlichkeit diskutiert werden, nicht zuletzt weil sie zeigen, dass die Frage der Herstellbarkeit von künstlichem Bewusstsein ganz erheblichen Einfluss auf unser gesamtes Weltbild und unser Selbstverständnis hat. Die beiden gegensätzlichen Hauptrichtungen sind der Monismus und der Dualismus. Sie lassen sich noch weiter in verschiedene Varianten aufteilen.

Unstrittig ist bei den verschiedenen Varianten, dass in unserem Gehirn die Vorverarbeitung der Sinnessignale und die Steuerung des Bewegungsapparats stattfinden. Das Kernproblem, an dem die Unterschiede festgemacht werden können, ist das so genannte Bindungsproblem: Wie entstehen aus physischen Vorgängen psychische Qualitäten? An welcher Stelle werden z. B. Gefühle wahrgenommen? In der Vergangenheit ging man in der Regel von einer hierarchischen Struktur der Signalverarbeitung aus, an deren Spitze eine Art Homunkulus saß, der die Gefühle erfuhr, die Handlungen plante und über einen freien Willen verfügte. Dieses Bild wurde von der modernen Hirnforschung jedoch weitestgehend widerlegt. Es gibt kein Konvergenzzentrum im Gehirn. Zwar lassen sich bestimmte Fähigkeiten grob lokalisieren, aber es gibt für diese Dinge kein lokalisierbares Steuerzentrum. Psychische Qualitäten scheinen aus dem Zusammenspiel mehrerer Hirnregionen zu entstehen. Entscheidend scheint dabei nach neueren Erkenntnissen die zeitliche Synchronisation des Feuerns der beteiligten Neuronen zu sein. Experimentelle Untersuchungen zeigen, dass diese Synchronisationsprozesse in einem Zeitraster von 25 Millisekunden stattfinden.

Beim **Dualismus** geht man nun von der Annahme aus, dass mentale Phänomene nicht-physische Phänomene sind. Das heißt, man setzt irreduzible geistige Vorgänge voraus, die neben den physischen Vorgängen existieren und nicht auf diese zurückgeführt werden können. Bekannte Vertreter des Dualismus sind der Philosoph René Descartes, der die Welt in eine ausgedehnte und eine denkende Substanz aufteilte, und der Philosoph Karl Popper, der dem Geist und seinen Produkten eine eigene Realität zusprach. Typisch für den Standpunkt des Dualismus sind die von Colin McGinn etwas genauer formulierten Annahmen:

1. Das Bewusstsein ist eine Art »Stoff«.
2. Dieser Stoff wird durch das »Vermögen der Introspektion« erkannt. Bewusstsein ist in genau der Weise das »Objekt« des Introspektionsvermögens, wie die physische Welt das Objekt des Wahrnehmungsvermögens ist.
3. Für ein Verständnis der Körper/Geist-Beziehung müssten wir die »Verbindung« zwischen Bewusstsein und Hirn verstehen.

Das Hauptproblem des Dualismus ist, dass ganz offensichtlich mentale Phänomene physische Phänomene in Gang setzen können. So können wir z. B. durch unseren Willen unseren Körper in Bewegung setzen. Das aber widerspricht dem Kausalitätsprinzip der Naturwissenschaft, nachdem physische Phänomene ausschließlich physische Ursachen haben. Der dualistische Standpunkt zum Geist-Körper-Problem erinnert stark an den Zustand der Biologie in der Mitte des 20. Jahrhunderts, als noch ein großer Anteil der Biologen vom Vitalismus beeinflusst waren, also dem Glauben, dass Dinge durch eine geheimnisvolle Lebenskraft belebt werden. Bereits 1944 verfasste Erwin Schrödinger, einer der Mitbegründer der Quantentheorie, ein Buch mit dem Titel »What is Life?« indem er die Überzeugung vertrat, dass lebende Dinge auf der Grundlage des Aufbaus der Materie zu verstehen seien. Durch die moderne Gentechnik konnte schließlich die Idee vom Vitalismus restlos widerlegt werden.

Dieses Argument gegen den Dualismus wird von der modernen Neurologie gestützt. Sie kann schon heute das Verhalten einfacher Organismen nahezu lückenlos auf die Vorgänge in deren Nervensystem zurückführen. Die Neuronen in unserem Gehirn unterscheiden sich aber kaum von denen einfacher Organismen, wir haben nur eine viel größere Zahl davon, und die Vernetzung ist viel komplexer. Die Kom-

munikation zwischen den Sinnesorganen und dem Gehirn sowie innerhalb des Gehirns läuft über elektrische und chemische Signale, die sich ihrerseits prinzipiell naturwissenschaftlich erklären lassen. Daraus können wir schließen, das auch unser Verhalten alleine auf die Vorgänge in unserem Nervensystem zurückzuführen ist, auch wenn wir aufgrund der extremen Komplexität vielleicht nie in der Lage sein werden, diese Vorgänge bis in alle Details aufzuklären zu können. Es scheint hier tatsächlich so zu sein, dass die größere Komplexität unseres Nervensystems im Verlauf der Evolution zu völlig neuen Qualitäten geführt hat (»Emergenztheorie«).

Eines der Hauptargumente des Dualismus ist die zweite der obigen Annahmen, nämlich dass Bewusstsein nur durch Introspektion erfahren werden kann und damit nicht objektivierbar ist. Demnach ist es naturwissenschaftlichen Verfahren unzugänglich. Man kann zwar aufgrund des Verhaltens einer Person auf deren Bewusstsein schließen, aber es wäre auch denkbar, dass dieses Verhalten ohne Bewusstsein erzeugt wird. Die moderne Hirnforschung beginnt aber selbst dieses starke Argument aufzuweichen. So kann man inzwischen durch bildgebende Verfahren wie PET und fNMR einigermaßen sicher feststellen, ob sich eine Person gerade mit großer Aufmerksamkeit einer Aufgabe widmet und somit in einer besonders bewussten Phase ist. Weiterhin kann man im EEG so genannte  $P_{300}$ -Wellen feststellen, die Rückschlüsse auf den Bewusstseinszustand ermöglichen. Diese Wellen treten etwa 300 Millisekunden (daher die Bezeichnung) nach Darbietung eines Reizes auf, wenn dieser bewusst wahrgenommen wird. Diese aufgeführten Verfahren sind alle noch relativ grob. Man ist noch weit davon entfernt, wirklich Gedanken lesen zu können. Immerhin deuten die Resultate darauf hin, dass es umkehrbar eindeutige Korrelationen von mentalen Zuständen und naturwissenschaftlich nachweisbaren, materiellen Vorgängen gibt.

Eine Variante des Dualismus, die dem oben gezeigten Widerspruch ausweicht, ist der epiphänomenalistische Dualismus. Bei ihm begleiten die geistigen Vorgänge die materiellen Aktivitäten nur, beeinflussen sie aber nicht.

Eine etwas überzeugendere Version des Dualismus wurde von Karl Popper vorgestellt. Sie wird als interaktionistischer Dualismus bezeichnet. Popper teilt die Welt in drei Bereiche auf (genau genommen müsste man ihn daher als Pluralisten oder Trialisten bezeichnen): »Welt 1« ist die Welt der physikalischen Gegenstände, »Welt 2« ist die

Welt der subjektiven Erlebnisse (bzw. der psychischen Zustände), und »Welt 3« ist die Welt der Erzeugnisse des menschlichen Geistes. Seine Definition der Welt 3 ist allerdings durch die Einschränkung auf den menschlichen Geist begrenzt. Weiterhin findet die Evolution mit ihren Verzweigungen in der Tierwelt keinen Platz in seinen drei Welten. Daneben kann auch er die Verbindung von Welt 1 und Welt 2 nicht recht plausibel machen.

Es ist klar, dass die Vertreter des dualistischen Standpunkts die Erzeugung eines künstlichen Bewusstseins für unmöglich halten, da ja die geheimnisvolle Substanz naturwissenschaftlichen Methoden unzugänglich ist. Die moderne Hirnforschung konnte jedoch mit naturwissenschaftlichen Verfahren in den letzten Jahrzehnten erhebliche Fortschritte erreichen, wenn wir auch von einer brauchbaren Theorie des Bewusstseins noch weit entfernt sind. Aus diesem Grund wenden sich immer mehr Forscher vom Dualismus ab.

Den **Monismus** kann man aufteilen in den althergebrachten strengen Materialismus und die moderneren Theorien wie Identitätstheorie, Funktionalismus und Supervenienztheorie. Daneben gibt es noch eine Reihe von Varianten dieser Theorien. Im Materialismus werden geistige Vorgänge auf physische Vorgänge reduziert. Bewusstsein ist demnach eine reine Funktion des Gehirns bzw. der Neuronen. Die Existenz irreduzibler geistiger Vorgänge wird gänzlich bestritten. Beim eliminativen Materialismus geht man sogar soweit, dass man die Existenz von Bewusstsein ganz bestreitet. Nach John R. Searle (»Die Wiederentdeckung des Geistes«) lässt sich der Standpunkt des modernen Materialismus in den folgenden sieben Annahmen zusammenfassen:

1. Wenn es um die wissenschaftliche Untersuchung des Geistes geht, dann sind das Bewusstsein und seine besonderen Merkmale von geringer Wichtigkeit. Es ist durchaus möglich – ja sogar wünschenswert –, Sprache, Kognition und Geisteszustände im Allgemeinen zu erklären, ohne dabei Bewusstsein und Subjektivität zu berücksichtigen.
2. Wissenschaft ist objektiv. Sie ist nicht nur insofern objektiv, als sie Ergebnisse anstrebt, die von persönlichen Vorurteilen und Standpunkten unabhängig sind, sondern – und das ist wichtiger – sie handelt auch von einer Realität, die objektiv ist. Wissenschaft ist objektiv, weil die Realität selbst objektiv ist.

3. Wegen der Objektivität der Realität besteht die beste Methode bei der Untersuchung des Geistes darin, den objektiven Standpunkt (den Standpunkt der dritten Person) einzunehmen. Die Objektivität der Wissenschaft verlangt eine durch und durch objektive Untersuchung der Phänomene. Angewandt auf den Fall der Kognitionswissenschaft bedeutet das: was untersucht werden muss, das ist objektiv beobachtbares Verhalten. Wenn es um reine Kognitionswissenschaft geht, dann ist die Untersuchung des Geistes und die Untersuchung intelligenten Verhaltens (einschließlich seiner kausalen Grundlagen) im großen und ganzen dasselbe.
4. Vom objektiven Standpunkt der dritten Person aus betrachtet gibt es auf die erkenntnistheoretische Frage »Woher könnten wir zu Wissen über die geistigen Phänomene eines anderen Systems gelangen?« nur eine Antwort: Durch die Beobachtung seines Verhaltens. Dies ist die einzige Lösung, die es für das »Problem des Fremdpsychischen« gibt.
5. Intelligentes Verhalten und die Kausalbeziehungen, in denen intelligentes Verhalten steht, sind in gewisser Weise das Wesen des Geistigen. Die Auffassung, es gebe eine wesentliche Verknüpfung zwischen Geist und Verhalten, gibt es in verschiedenen Versionen; sie reichen von der behavioristischen Extremposition (wonach Geisteszustände nichts anderes sind als Verhaltensdispositionen) über funktionalistische Versuche einer Definition geistiger Begriffe durch innere und äußere Kausalbeziehungen bis hin zu Wittgensteins rätselhafter Behauptung: »Ein innerer Vorgang bedarf äußerer Kriterien«.
6. Jede Tatsache im Universum kann von menschlichen Forschern im Prinzip erkannt und verstanden werden. Weil die Realität physisch ist und weil es in der Wissenschaft um die Untersuchung der physischen Realität geht und weil unserer Befähigung zur Kenntnis der physischen Realität keine Grenzen gesetzt sind, deshalb ergibt sich: Wir können alle Tatsachen im Universum erkennen und verstehen.
7. Die einzigen Dinge, die existieren, sind letztlich physisch, und das heißt physisch im Gegensatz zu geistig. Daraus ergibt sich, dass bei den traditionellen Gegensatzpaaren – Dualismus/Monismus, Mentalismus/Materialismus – jeweils das zweite Glied die richtige Auffassung bezeichnet; das erste Glied bezeichnet die falsche Auffassung.

Der strenge Materialismus führt zu einer Reduktion der mentalen Zustände auf physikalische Zustände bis hin zu einer Ansammlung von Elementarteilchen (»Reduktionismus«). Zunächst ist zwar das Aufstellen von umfassenderen neuen Theorien, auf die ältere Theorien reduzierbar sind, im Sinne eines konsistenteren Weltbilds als durchaus positiv zu bewerten. Doch dieser Standpunkt wird dem Geist-Körper-Problem nicht ganz gerecht. Man kann nicht alles soweit reduzieren, bis nur noch die Bewegungen von Elementarteilchen übrig bleiben. Wenn man z. B. den Begriff »Geburtstagsfeier« zunächst auf eine Ansammlung von Personen und Sahnetorten reduziert, diese dann auf ihre Moleküle, und weiter auf ihre Atome reduziert, und schließlich bei einer Ansammlung von Elementarteilchen endet, bleibt von der Bedeutung des Begriffs nichts mehr übrig. Man kann letztlich auf diese Weise alle Gegenstände auf eine Ansammlung von Elementarteilchen reduzieren. Die Funktion der Gegenstände geht aber bei diesem totalen Reduktionismus völlig verloren. Es existieren in unserer Welt mehr als nur die physischen Dinge. Als weiteres Beispiel gegen den radikalen Reduktionismus sei hier die Verknüpfung der Wissenschaften erwähnt. Man kann z. B. die Chemie nicht restlos auf die Atomphysik reduzieren, denn das Wesentliche, was die Chemie ausmacht, ist die Anordnung von Atomen zu Molekülen. Zu den Naturgesetzen der Atomphysik kommt hier also noch eine Information (die der Anordnung) hinzu, die nicht Gegenstand der Atomphysik ist. Ähnlich ist es bei der Genetik. Sie ist mehr als nur die Chemie von Nukleinsäuren. Auch hier muss die Information über die Anordnung der einzelnen Nukleinsäuren-Moleküle hinzukommen. Das Problem des Reduktionismus ist also, dass er Information nicht als etwas anerkennt, dass alleine mit der physischen Welt nicht beschrieben werden kann.

Die Verfechter des radikalen Reduktionismus unterliegen zum Teil einer Fehlinterpretation der modernen Physik. Sie nehmen an, dass alle makroskopischen physikalischen Prozesse auf die Bewegung von Elementarteilchen zurückgeführt werden können (Mikroreduktionismus). Begriffe wie Temperatur oder Entropie sind aber physikalische Größen der statistischen Physik. Statistik funktioniert grundsätzlich nur mit einer ausreichend großen Menge von Einzelereignissen bzw. Teilchen. Bei einem einzelnen Elementarteilchen machen diese Begriffe keinerlei Sinn mehr. Ein anderes Beispiel kommt aus der Quantenphysik. Hier können einzelne Teilchen miteinander ver-

koppeln und dann völlig andere Eigenschaften zeigen als ihre Einzelteile. Diese Beispiele zeigen, dass schon innerhalb der Physik der radikale Reduktionismus nicht funktioniert.

Ein weniger reduktionistischer Ansatz wurde von dem Philosoph Mario Bunge formuliert. Nach seiner Meinung entstehen mentale Zustände erst ab einer gewissen Komplexität des zentralen Nervensystems. Sie lassen sich also nicht an einzelnen Neuronen festmachen. Weiterhin sieht er in der evolutionären Entwicklung der Tiere über die höheren Wirbeltiere bis hin zum Menschen eine Emergenz, die sich nicht im Rahmen des strengen Materialismus erklären lässt. Man nennt daher diese Variante des Materialismus auch »emergentischer Materialismus«. Die Frage, was genau unter Emergenz zu verstehen ist und woher sie kommt, bleibt hierbei aber unbeantwortet.

Mit der Entwicklung der Computer hat sich in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts auch die Einstellung mancher Philosophen geändert. So formulierte in den Siebzigerjahren des vorigen Jahrhunderts der Philosoph Hilary Putnam eine These, die zur Grundlage der Kognitionswissenschaften wurde:

*Es ist denkbar, dass mentale Prozesse wie Wünsche, Überzeugungen, Pläne, Absichten und dergleichen auch in anderen Systemen entstehen können als im menschlichen Gehirn.*

Er erkennt damit an, dass das Denken eine Funktion des Gehirns ist und somit nicht an eine bestimmte Materie gebunden ist. Analog zum Computer unterscheidet er zwischen Hardware (Gehirn) und Software (mentale Zustände, Gedanken usw.). Die Erkenntnisse der Kognitionswissenschaften führten schließlich auch zu den moderneren philosophischen Theorien.

Diese moderneren monistischen Theorien sind nichteliminativ, d. h. sie lassen die Möglichkeit eines Bewusstseins zu. Gemeinsamer Grundgedanke dieser Theorien ist, dass mentale Prozesse mit neuronalen Prozessen korreliert sind. Das heißt schließlich auch, dass die Veränderung eines phänomenalen Bewusstseinszustands nur möglich ist, wenn zugleich eine Veränderung in der physikalischen Welt eintritt. Hierbei ist weitgehend unstrittig, dass diese physikalischen Veränderungen auf das Gehirn beschränkt sind. Man bezeichnet dabei die am Zustandekommen des Bewusstseins beteiligten Bereiche bzw. Funktionsgruppen als »neurales Korrelat des Bewusstseins«.



Bei der **Identitätstheorie** wird darüber hinaus angenommen, dass Arten bestimmter mentaler Zustände mit jeweils genau definierten Hirnzuständen identisch sind. Mentale Zustände sind bei dieser Theorie aber an ein biologisches Hirn gebunden. Diese Theorie wurde Mitte des neunzehnten Jahrhunderts erstmals von dem deutschen Philosophen Theodor Fechner formuliert.

Der **Funktionalismus** geht noch etwas weiter und fordert, dass mentale Zustände durch funktionale Zustände eines wie auch immer aufgebauten Systems erzeugt werden. Hier kommt es also ausschließlich auf die funktionale Verschaltung der Neuronen, d. h. auf die Programmierung bestimmter Hirnregionen an. Die Funktion der Verschaltung ist unabhängig von der Hardware. Eine informationstheoretisch gleichwertige Verschaltung in einem Computer würde somit auch die gleichen mentalen Zustände erzeugen.

Die **Supervenienztheorie** geht nicht so weit, sondern fordert nur, dass verschiedene mentale Zustände durch verschiedene physische Zustände realisiert werden. Der Begriff Supervenienz ist aus der moralphilosophischen Diskussion entlehnt und bedeutet eine asymmetrische Relation bzw. Determiniertheit. Die physischen Zustände lassen sich hierbei nicht restlos auf ganz bestimmte physikalische oder biochemische Vorgänge reduzieren, obwohl sie sich innerhalb der Naturgesetze bewegen. Entscheidend ist aber, dass die mentalen Eigenschaften durch einen gesetzmäßigen Zusammenhang mit den physikalischen Eigenschaften verbunden sind und durch diese determiniert sind.

Die hier vertretene Position lässt sich als eine Variante des **nichtreduktionistischen Physikalismus** ansehen. In dieser Variante werden die Dinge, die sich nicht weiter reduzieren lassen, unter den Begriffen Information und Informationsverarbeitung zusammengefasst. Dabei ist »Information« im weitesten Sinne gemeint, d. h. es zählen auch Begriffe wie Bedeutung, Ideen, Eigenschaften und Funktionen dazu. Begriffe wie Gefühl, Kognition, Intention und schließlich das Bewusstsein sind dann der Informationsverarbeitung zuzuordnen. Man könnte hier zwar auch von Symbolen und Symbolverarbeitung sprechen, der Begriff der Information ist aber etwas allgemeiner. Information im engeren technischen Sinn, wie sie in der von Shannon begründeten Informationstheorie behandelt wird, umfasst dagegen Signale unabhängig von ihrer Bedeutung (mehr dazu im Anhang B). Information bedarf zur Speicherung und Verarbeitung der Existenz

der physischen Welt, sie ist aber nicht an eine bestimmte Materie oder Energie gebunden.

Die physikalischen und biochemischen Vorgänge, die Grundlage der Erzeugung von Gefühlen sind, lassen sich wahrscheinlich in der Zukunft immer besser aufklären. Dennoch lässt sich aber damit die subjektive Erfahrung eines Gefühls nicht erklären. Ähnlich wie in der physischen Welt, wo sich Eigenschaften wie Masse und Ladung zwar beschreiben, aber nicht weiter reduzieren lassen, ist es vermutlich bei den Gefühlen. Sie sind nicht weiter zerlegbare komplexe Formen der Informationsverarbeitung.

Den aus dem dualistischen Standpunkt stammenden Begriffen Seele, Geist, Bewusstsein werden hier die besser definierbaren Begriffe der Information und der Informationsverarbeitung gegenübergestellt. Informationsverarbeitung ist hierbei ein aktiver Vorgang, der sich von reiner Information unterscheidet, die passiv ist und nur Muster zu aktiven Vorgängen enthalten kann. Diese Unterscheidung lässt sich an dem Beispiel der Vollnarkose aufzeigen. Unter Vollnarkose, oder bei dem was man generell als Bewusstlosigkeit definiert, sind alle komplexen psychischen Zustände abgeschaltet, da das Gehirn nur noch in geringem Umfang aktiv ist. Die im Gehirn gespeicherten Informationen sind aber weiterhin voll vorhanden. Das Gehirn ist somit in diesem Zustand nur noch ein passiver Informationsspeicher. Die gespeicherte Information selbst führt also offenbar nicht zu Bewusstsein; erst ihre Aktivierung in einer wie auch immer gearteten Hardware kann Bewusstsein erzeugen. Physikalisch gesehen ist Informationsverarbeitung immer mit dem Verbrauch von Energie verbunden, oder etwas exakter ausgedrückt, mit einer Vergrößerung der Entropie.

Die Dinge, die hier bei der Informationsverarbeitung aufgezählt wurden, bezeichnet Popper als die Welt der subjektiven Erlebnisse. Dies ist aber keine entscheidende Eigenschaft, denn subjektiv sind diese Dinge bestenfalls nur, solange sie auf biologische Lebewesen beschränkt sind. Aber selbst hier zeigt bereits die Hirnforschung, dass mit Hilfe der modernen Verfahren bestimmte subjektive Erlebnisse zumindest recht grob mit objektiven Messungen korreliert werden können.

Information und Informationsverarbeitung sind Begriffe, die eng miteinander verbunden sind. Insofern wäre eine Auftrennung in drei Welten, wie in der Philosophie Poppers, etwas übertrieben. Was bleibt, ist aber zunächst eine klare Abtrennung zur physischen Welt.

Hier könnte somit der Verdacht aufkommen, dass es sich doch um einen dualistischen Standpunkt handelt, bei dem nur einige Begriffe ausgewechselt wurden. Diese noch vorhandene Trennung der Information von der physischen Welt liegt daran, dass die grundlegenden Naturgesetze, soweit wir sie kennen, keine unmittelbaren Aussagen über Information machen. Eine gewisse Ausnahme ist der zweite Hauptsatz der Wärmelehre, der Aussagen über die Entropie und damit der Ordnung bzw. der Information eines abgeschlossenen Systems macht (mehr dazu in Anhang B). Dieses Gesetz ist aber ein abgeleitetes und kein wirklich grundlegendes Naturgesetz. Sollte es gelingen, eine »Theorie für Alles« zu formulieren, so müsste diese Theorie auch Aussagen über Information machen. Manche Physiker sind tatsächlich der Ansicht, dass dies in naher Zukunft möglich sein wird.

Zusammenfassend können wir damit folgende drei Bestandteile der Welt identifizieren:

**1. Physische Welt:**

Materie, Energie, Raum, Zeit, Naturgesetze, Naturkonstanten

**2. Information im weitesten Sinne:**

Eigenschaften, Ideen, Funktionen, Identität, Sprache, Theorien, Mathematik, Kunst, Wissenschaft, usw.

**3. Hochkomplexe Informationsverarbeitung:**

Kognition, Intention, Bewusstsein, Ich-Bewusstsein, Gefühle, Intuition, usw.

Wie in Abschnitt 3,5 noch gezeigt wird, ist es durchaus vorstellbar, dass wir in einer virtuellen Welt leben. Eine solche Welt besteht nur aus Information und Informationsverarbeitung. Die physische Welt existiert hier nur als Vorstellung, ist aber nicht real vorhanden oder befindet sich zumindest auf einer anderen Realitätsebene. Das Umgekehrte, eine physische Welt ohne Information und Informationsverarbeitung können wir uns vielleicht vorstellen, aber sie kann nicht erlebt werden. Insofern ist die Existenz einer solchen Welt nicht nachprüfbar. Damit kann man die Ansicht vertreten, dass Information und Informationsverarbeitung fundamentaler sind als die physische Welt.

Die Naturgesetze und Naturkonstanten müssen bei der Entstehung unseres Universums schon vorhanden gewesen sein. Die Frage ist

demnach, ob die Naturgesetze und die Naturkonstanten also wirklich der physischen Welt, wie oben geschehen, oder nicht eher der Information zugerechnet werden müssten. Aber dies ist letztlich eine kosmologische Frage. Eine physikalische »Theorie für Alles« müsste auch diese Frage beantworten. Da die Informationsverarbeitung grundsätzlich nicht auf biologische Systeme begrenzt ist, spricht in dem hier beschriebenen Weltbild nichts gegen die Machbarkeit von künstlichem Bewusstsein.