

Bernd Vowinkel

Maschinen mit Bewusstsein

Wohin führt
die künstliche Intelligenz?

ERLEBNIS
wissenschaft



Bernd Vowinkel

**Maschinen mit Bewusstsein –
Wohin führt die künstliche Intelligenz?**

Erlebnis Wissenschaft bei WILEY-VCH

- Audretsch, Jürgen (ed.)
Verschränkte Welt
Faszination der Quanten
2002, ISBN 3-527-40318-3
- Bartels, Cornelia / Göllner, Heike / Koolman, Jan / Maser, Edmund / Röhm, Klaus-Heinrich
Tabletten, Tropfen und Tinkturen
2005, ISBN 3-527-30263-8
- Emsley, John
Parfum, Portwein, PVC ...
Chemie im Alltag
2003, ISBN 3-527-30789-3
- Emsley, John
Fritten, Fett und Faltencreme
Noch mehr Chemie im Alltag
2004, ISBN 3-527-31147-5
- Emsley, John
Mörderische Elemente
Prominente Todesfälle
2006, ISBN 3-527-31500-4
- Froböse, Gabriele / Froböse, Rolf
Lust und Liebe – alles nur Chemie?
2004, ISBN 3-527-30823-7
- Froböse, Rolf / Jopp, Klaus
Fußball, Fashion, Flachbildschirme
Die neueste Kunststoffgeneration
2006, ISBN 3-527-31411-3
- Froböse, Rolf
Mein Auto repariert sich selbst
Und andere Technologien von übermorgen
2004, ISBN 3-527-31168-8
- Genz, Henning
Nichts als das Nichts
Die Physik des Vakuums
2004, ISBN 3-527-40319-1
- Koolman, Jan / Moeller, Hans / Röhm, Klaus-Heinrich (eds.)
Kaffee, Käse, Karies ...
Biochemie im Alltag
1998, ISBN 3-527-29530-5
- Liedtke, Susanne / Popp, Jürgen
Laser, Licht und Leben
Techniken in der Medizin
2006, ISBN 3-527-40636-0
- Morsch, Oliver
Licht und Materie
Eine physikalische Beziehungsgeschichte
2003, ISBN 3-527-30627-7
- Morsch, Oliver
Sandburgen, Staus und Seifenblasen
2005, ISBN 3-527-31093-2
- Reitz, Manfred
Auf der Fährte der Zeit
Mit naturwissenschaftlichen Methoden vergangene Rätsel entschlüsseln
2003, ISBN 3-527-30711-7
- Renneberg, Reinhard / Reich, Jens
Liebling, Du hast die Katze geklont!
Biotechnologie im Alltag
2004, ISBN 3-527-31075-4
- Schwedt, Georg
Was ist wirklich drin?
Produkte aus dem Supermarkt
2006, ISBN 3-527-31437-7
- Unger, Ekkehard
Auweia Chemie!
2004, ISBN 3-527-31238-2
- Vowinkel, Bernd
**Maschinen mit Bewusstsein –
Wohin führt die künstliche Intelligenz?**
2006, ISBN 3-527-40630-1
- Voss – de Haan, Patrick
Physik auf der Spur
Kriminaltechnik heute
2005, ISBN 3-527-40516-X
- Zankl, Heinrich
Nobelpreise
Brisante Affären, umstrittene Entscheidungen
2005, ISBN 3-527-31182-3

Bernd Vowinkel

**Maschinen mit Bewusstsein –
Wohin führt die künstliche Intelligenz?**



**WILEY-
VCH**

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Autor

Dr. Bernd Vowinkel
Von-Kügelgen-Str. 15
53125 Bonn

1. Auflage 2006

Alle Bücher von Wiley-VCH werden sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag in keinem Fall, einschließlich des vorliegenden Werkes, für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler irgendeine Haftung

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

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

© 2006 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

Printed in the Federal Republic of Germany

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

Satz TypoDesign Hecker GmbH, Leimen
Druck und Bindung Ebner & Spiegel GmbH, Ulm

ISBN 978-3-527-40630-2

ISBN ePDF 978-3-527-64137-6

ISBN ePub 978-3-527-64136-9

ISBN Mobi 978-3-527-64138-3

Inhalt

Vorwort VII

Danksagungen XI

Prolog XIII

1 Natürliche Intelligenz 1

- I.1 Die Evolution der natürlichen Intelligenz 3
- I.2 Eigenschaften der natürlichen Intelligenz 14
- I.3 Bewusstsein 29
- I.4 Gibt es einen freien Willen? 51
- I.5 Das Geist-Körper-Problem 73

2 Die Entwicklung der künstlichen Intelligenz 85

- 2.1 Das Mooresche Gesetz und die Grenzen der Silicium-Technologie 90
- 2.2 Die Turing-Maschine und das Gödel-Theorem 97
- 2.3 Bedeutung, Komplexität und Vorhersehbarkeit 111
- 2.4 Ist künstliches Bewusstsein herstellbar? 119
- 2.5 Konzepte zur Realisierung von künstlicher Intelligenz 133

3 Die nahe Zukunft 149

- 3.1 Neue Technologien und die Grenzen der Physik 151
- 3.2 Von neuronalen Implantaten zum Cyborg 160
- 3.3 Maschinen mit Bewusstsein und Emotionen 174
- 3.4 Die Entwicklung von superintelligenten Wesen 182
- 3.5 Leben in virtuellen Welten und die Frage nach der Realität 187
- 3.6 Gesellschaftliche Auswirkungen 203
- 3.7 Künstliche Intelligenz, Ethik und Religion 208

4	Die ferne Zukunft	221
4.1	Der Aufbau einer Superzivilisation	224
4.2	Kann unsere Zivilisation ewig fortbestehen?	237
4.3	Von der transhumanen zur posthumanen Zivilisation	249
4.4	Gibt es einen letzten, höheren Sinn für die künstliche Intelligenz?	269

Anhang A

	Das Non-cloning-Theorem	287
--	-------------------------	-----

Anhang B

	Information als Gegenstand der Physik	289
--	---------------------------------------	-----

	Glossar	295
--	----------------	-----

	Literatur	301
--	------------------	-----

	Index	311
--	--------------	-----

Vorwort

Die Computertechnik hat in den letzten Jahrzehnten gewaltige Fortschritte gemacht. Setzt sich dieser Fortschritt in der nächsten Zeit mit der gleichen Geschwindigkeit fort, so werden unsere Personal Computer etwa bis zum Jahr 2015 die gleiche Leistungsfähigkeit wie das menschliche Gehirn erreicht haben. Die entscheidende Frage ist, ob diese Maschinen dann auch alle die geistigen Fähigkeiten erwerben können, die wir als zutiefst menschlich empfinden. Dabei geht es vor allem um die Frage nach dem Bewusstsein. Dies ist das zentrale Thema dieses Buches.

Gelingt es tatsächlich, Computer mit allen geistigen Fähigkeiten des Menschen auszustatten, so reicht unsere Fantasie wohl kaum aus, die dadurch bedingten langfristigen Folgen für unsere Zivilisation vorherzusagen. Sie werden auf jeden Fall alles in den Schatten stellen, was wir in unserer bisherigen Geschichte erlebt haben. Ich habe dennoch gewagt, einige Vorhersagen zu machen. Da die künstliche Intelligenz nicht den Einschränkungen des biologischen Lebens unterliegt, ist eine Entwicklung weit über die Fähigkeiten menschlicher Intelligenz hinaus denkbar. Das schließt sogar eine potenzielle Unsterblichkeit ein. Von der Wunschvorstellung, dass der Mensch die Krone der Schöpfung ist, müssen wir uns dann allerdings verabschieden.

Zum Thema der künstlichen Intelligenz gibt es bereits umfangreiche Literatur. Ich möchte in diesem Buch etwas über die Probleme der reinen Machbarkeit hinausgehen und aufzeigen, welche Konsequenzen sich möglicherweise aus der Existenz von Maschinen mit Bewusstsein ergeben. Dies geht bis zu der Vision einer Superzivilisation, dem Leben in virtuellen Welten sowie den Ideen des Trans- und des Posthumanismus. Wegen des teilweise spekulativen Charakters und der vertretenen weltanschaulichen Positionen sollte das Buch nicht als wertneutrale, wissenschaftliche Beschreibung gesehen werden. Es ist vielmehr in einigen Punkten sehr polarisierend; ich er-

warte daher neben Zustimmung auch heftigen Widerspruch. Weiterhin möchte ich mit diesem Buch niemanden von seinem religiösen Glauben abbringen, aber es muss klar sein, dass die Idee eines künstlichen Bewusstseins nur schwer mit der christlichen Lehre zu vereinbaren ist, ganz zu schweigen von den Ideen des Trans- und des Posthumanismus.

Gerade meine längerfristigen Vorhersagen in Kapitel 4 sind naturgemäß sehr spekulativ. Manche Leser werden sie als reine Science-Fiction abtun. In den meisten Science-Fiction-Romanen und -Filmen werden aber die bekannten Naturgesetze ignoriert, indem man Raumschiffe mit Überlichtgeschwindigkeit fliegen lässt und Personen instantan über beliebige Entfernungen »beamt«. Auf der anderen Seite spielen Menschen in ihrer derzeitigen Form die Hauptrollen. Ich halte das für besonders fantasielos und unwahrscheinlich, denn mit dem Anwachsen unserer Kenntnisse und Fähigkeiten im naturwissenschaftlichen und technologischen Bereich werden wir schon bald die Möglichkeit erlangen, uns selbst zu »verbessern« oder mit der künstlichen Intelligenz bewusstes Leben zu schaffen, das uns in jeder Hinsicht überlegen ist. Auch wenn diese Entwicklung von dem überwiegenden Teil der jetzt lebenden Menschen als unethisch empfunden und dementsprechend abgelehnt wird, wird sie sich nicht aufhalten lassen. Auf der anderen Seite wird man auch in der fernen Zukunft die Naturgesetze nicht überwinden können. Raumschiffe werden wahrscheinlich nie mit Überlichtgeschwindigkeit fliegen, aber schon sehr bald ohne Menschen, die sie steuern.

Das vorliegende Buch richtet sich an alle, die an Fragen über die Zukunft der Menschheit interessiert sind und nicht nur an Naturwissenschaftler. Ich habe mich daher bemüht, das Buch in allgemein verständlicher Form zu halten. Soweit das möglich war, habe ich auf Formeln und die Darstellung tiefergehender physikalischer und technologischer Zusammenhänge verzichtet. Eine noch weitergehende Vereinfachung wäre an die Substanz gegangen. Darstellungen, die dennoch ein gewisses Maß an technisch-naturwissenschaftlicher Vorbildung erfordern, habe ich in den Anhang gestellt.

An einigen Stellen muss mit sehr großen Zahlen gearbeitet werden, die sich in der normalen Dezimalschreibweise nicht mehr darstellen lassen. Diese Zahlen werden dann in Exponentialform angegeben. So bedeutet z. B. 10^{32} eine Eins mit 32 Nullen. Wo selbst diese Schreibweise nicht mehr ausreicht, werden die Zahlen in doppelter

Exponentialform angegeben. Es bedeutet dann z. B. $10 \exp(10^9)$ eine Eins mit 10^9 , also einer Milliarde Nullen.

Der bekannte Philosoph Karl Popper schrieb einmal (in: »Auf der Suche nach einer besseren Welt«) über Intellektuelle:

Jeder Intellektuelle hat eine ganz spezielle Verantwortung. Er hat das Privileg und die Gelegenheit zu studieren. Dafür schuldet er seinen Mitmenschen (oder der Gesellschaft), die Ergebnisse seines Studiums in der einfachsten und klarsten und bescheidensten Form darzustellen. Das Schlimmste – die Sünde gegen den Heiligen Geist – ist, wenn die Intellektuellen versuchen, sich ihren Mitmenschen gegenüber als große Propheten aufzuspielen und sie mit orakelnden Philosophien zu beeindrucken. Wer's nicht einfach und klar sagen kann, der soll schweigen und weiterarbeiten, bis er's klar sagen kann.

Dieser Verantwortung möchte ich mich mit diesem Buch stellen. Ich werde mich allerdings unter anderem mit so schwierigen Problemen wie der Frage nach der Herstellbarkeit von künstlichem Bewusstsein befassen und Vorhersagen abgeben über die ferne Zukunft unserer Zivilisation. Dennoch hoffe ich, dass nur eine kleine Zahl von Lesern zu dem Schluss kommt, dass ich besser geschwiegen und weitergearbeitet hätte.

Bernd Vowinkel,
Bonn, im März 2006

Danksagungen

Ich danke dem Direktor am Max-Planck-Institut für Radioastronomie Prof. Dr. Karl Menten, dem Astrophysiker Dr. Wolfgang Hirth und dem Studienrat Johann Winterfeld für die Durchsicht des Manuskripts. Dem Botschafter a. D. Dr. Anton Rossbach danke ich für hilfreiche Diskussionen über den Sinn unserer Existenz.

Da die Neurobiologie und die Hirnforschung für mich als Physiker fachfremd sind, danke ich besonders den Neurobiologen Prof. Dr. Ansgar Büschges (Universität Köln) und Prof. Dr. Christian Steinhäuser (Universität Bonn) für die Durchsicht und Korrektur des 1. Kapitels. Herr Prof. Dr. Steinhäuser nimmt allerdings zu meinen mehr weltanschaulichen Schlussfolgerungen einen anderen Standpunkt ein, wofür ich volles Verständnis habe.

Den Firmen Omron Corporation und Sony Entertainment Robot Company danke ich für die Abdruckgenehmigungen der Fotos ihrer Roboter.

Prolog

»Ach, hallo, Cutie! Ich dachte, du wärst damit beschäftigt, die Installation des neuen Triebwerks zu überwachen.«

»Ist schon fertig«, sagte der Robot gelassen, »und ich bin gekommen, um mit ihnen ein kleines Gespräch zu führen.«

»Oh«, rief Powell, dem das alles höchst unbequem war. »Na, setz dich nur! Nein, nicht auf den Stuhl da. Eines seiner Beine sitzt nicht mehr ganz fest, und du bist ja nicht gerade ein Leichtgewicht.«

Der Robot tat wie ihm befohlen war, und sagte freundlich: »Ich bin zu einem Entschluss gekommen.«

»Fahr fort, Cutie! Wir sind beide ganz Ohr.«

»Ich habe die letzten beide Tage in konzentrierter Selbstbeobachtung verbracht«, sagte Cutie. »Die Resultate sind äußerst interessant. Ich begann mit der einzigen sicheren Annahme, die mir zur Verfügung stand. Ich selbst existiere, weil ich denke ...«

Powell stöhnte. »Schau einer an, ein Robot-Descartes!«

»Wer ist Descartes?« wollte Donovan wissen. »Hör mal, müssen wir wirklich diesem stählernen Idioten ...«

»Sei still, Mike!«

Cutie fuhr unbeirrt fort: »Die Frage, die sich sofort stellte, war: Was ist eigentlich die Ursache meiner Existenz?«

Powells Kiefer sank herab. »Du bist ein Narr. Ich habe dir doch schon gesagt, dass wir dich gemacht haben.«

»Und wenn du es nicht glaubst«, fügte Donovan hinzu, »so werden wir dich mit großer Freude einfach wieder auseinander nehmen.«

Der Robot spreizte voller Verachtung seine starken Hände. »Ich denke nicht daran, auch nur das Geringste einfach Ihrer Autorität wegen zu akzeptieren. Eine Hypothese muss mit Vernunftgründen aufrechterhalten werden, sonst ist sie vollkommen wertlos. Es widerspricht aber allem logischen Denken, dass Sie mich geschaffen haben sollen.«

Powell ließ seine Hand besänftigend auf Donovans plötzlich geballte Faust fallen. »Warum sagst du das?«

Cutie lachte. Es war ein sehr unmenschliches Lachen – der wohl maschinenmäßigste Gefühlsausdruck, den er sich bisher geleistet hatte. Das Lachen war scharf und explosiv, so regelmäßig wie ein Metronom und ebenso unbeirrbar.

»Schauen Sie sich doch einmal selber an!« sagte er. »Ich sage dies keineswegs in verächtlichem Sinn, aber schauen Sie sich doch nur selber an! Das Material, aus dem Sie hergestellt sind, ist weich und schlaff. Ihm fehlt alle Dauerhaftigkeit und Stärke. Periodisch versinken Sie in ein Koma, und die kleinste Schwankung von Temperatur, Luftdruck, Feuchtigkeit oder Strahlungsintensität vermindert Ihre Leistungsfähigkeit. Sie sind ein lächerlicher Notbehelf. Ich aber bin ein vollendetes, ein fertiges Produkt. Ich absorbiere ganz unmittelbar elektrische Energie und verbrauche sie mit einem Wirkungsgrad von nahezu hundert Prozent. Ich bin aus starkem Metall zusammengesetzt, bin ständig bei Bewusstsein und kann mühelos jeden extremen Wechsel aller Umgebung ertragen. Dies sind Tatsachen, die zusammen mit der selbstverständlichen Voraussetzung, dass kein Wesen von sich aus ein anderes schaffen kann, das ihm selbst überlegen ist, Ihre dumme Hypothese in tausend Stücke reißen.«

Isaac Asimov, Auszug aus der Robotergeschichte »Vernunft«

Abdruck mit freundlicher Genehmigung von Random House und Liepman (Rechteinhaber).

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 Mondes 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 Jahrmillionen 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