



Gerhard Roth

## Die Zukunft des Gehirns

### Einleitung

Eine der häufigsten Fragen, die Hirnforschern von Journalisten gegenwärtig gestellt werden, lautet, ob es möglich ist, Wesen (Computer, Roboter) zu bauen, die Geist und Bewusstsein haben. Vor einiger Zeit machten in der deutschen Geisteswelt Aussagen zum Fortschritt in der Künstlichen-Intelligenz-Technologie Furore. So erklärte der amerikanische KI-Fachmann Ray Kurzweil, in 25 Jahren werde es möglich sein, die Funktionen des menschlichen Gehirns mithilfe eines »fortschrittlichen neuronalen Computers« vollständig zu erfassen. Dieses Wissen ermögliche es dann, Systeme zu bauen, die in ihren »geistigen« Leistungen vom Menschen ununterscheidbar und ihm in einem weiteren Entwicklungsschritt völlig überlegen sind.

Anstatt dies als völligen Unsinn abzutun oder vor Schreck in Ohnmacht zu fallen, kann man auf dem Boden des heutigen Wissens der Hirnforschung bleiben und aus dieser Sicht realistische Abschätzungen hinsichtlich der Möglichkeiten machen, das menschliche Gehirn in seinen wichtigsten Eigenschaften, das heißt dem Besitz von Geist, Bewusstsein und Gefühlen, tatsächlich nachzubauen und zu verbessern. Dabei sind folgende Möglichkeiten denkbar, die einer Verwirklichung des Kurzweil'schen Szenarios entgegenstehen könnten: (1) Die grundsätzliche Unmöglichkeit, das menschliche Gehirn und insbesondere Geist und Bewusstsein nachzubauen, (2) die praktische Unmöglichkeit des Nachbaus und (3) die Unerwünschtheit seiner Folgen.

### Ist die künstliche Erzeugung von Geist und Bewusstsein überhaupt möglich?

Traditionell werden Geist und Bewusstsein, aber auch Gefühle und Wille als Erlebniszustände angesehen, die sich einer naturwissenschaftlichen Behandlung radikal entziehen. Sie scheinen keine der Eigenschaften zu haben, die für Dinge und Geschehnisse der natürlichen

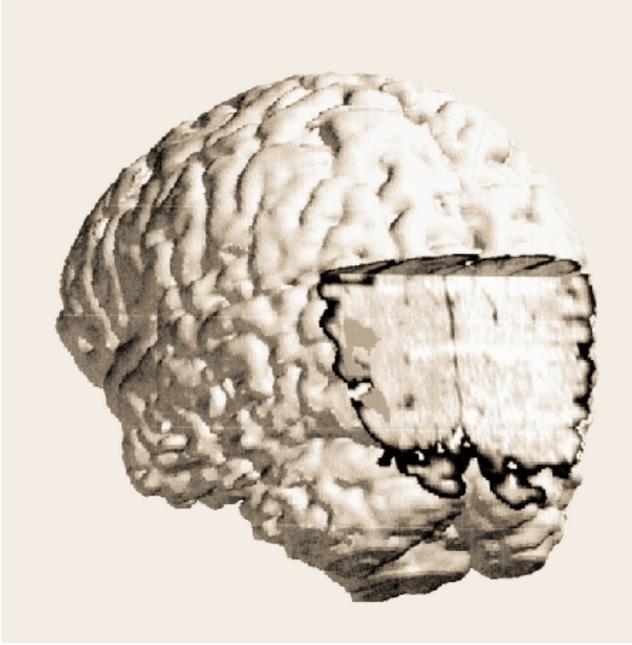


Abbildung 1: Registrierung »geistiger« Aktivität mithilfe der funktionellen Kernspintomografie (fNMR). Gezeigt ist die dreidimensionale Rekonstruktion des Gehirns einer Versuchsperson von schräg unten und hinten. Die Versuchsperson wurde aufgefordert, einen zentralen Fixationspunkt im Gesichtsfeld genau zu fixieren und gleichzeitig ihre Aufmerksamkeit auf andere Geschehnisse im *rechten* Gesichtsfeld zu konzentrieren. In der kernspintomografischen Computerrekonstruktion zeigt sich dabei eine deutliche Aktivitätsänderung (rote Gebiete in den computergrafisch erzeugten Schnittflächen) in der *linken* Gehirnhälfte im Übergangsbereich zwischen Schläfenlappen und Hinterhauptslappen. (Den Kollegen H. J. Heinze, S. A. Hillyard und H. Scheich danke ich herzlich für die Überlassung der Aufnahme.)

Welt charakteristisch sind, das heißt, sie sind unstofflich, haben keinen oder keinen genauen Ort (wir erleben zum Beispiel nicht, dass sie etwas mit dem Gehirn zu tun haben könnten, weil wir unser Gehirn nicht erleben), ihre Zeitstruktur ist höchst verwirrend, und sie unterliegen offensichtlich nicht den Naturgesetzen. Nach dieser dualistischen, der Alltagspsychologie entsprechenden Auffassung (»das Geistige ist wesensmäßig verschieden vom materiellen Körper und Gehirn«) kann es *prinzipiell* keine künstliche Erzeugung von Geist, Bewusstsein, Gefühlen und Willenszuständen geben.

Einem solchen Standpunkt widersprechen jedoch die neuen Erkenntnisse der Hirnforschung. Mit elektro-physiologischen und bildgebenden Methoden lässt sich nachweisen, dass sich in bestimmten Regionen des Gehirns die Aktivität von Neuronenverbänden stark erhöht, wenn sich eine Versuchsperson auf etwas Bestimmtes konzentriert und damit ein erhöhtes Aufmerksamkeitsbewusstsein zeigt (vgl. Abbildung 1). Diese Erhöhung ist aufgaben- und ortsspezifisch, was bedeutet: Wenn es sich um einen visuellen Vorgang, zum Beispiel ein bewegtes oder sonst wie auffälliges Objekt handelt, dann ist innerhalb der Großhirnrinde (Cortex) der Übergangsbereich zwischen Hinterhaupt-, Scheitel- und Schläfenlappen stärker aktiviert; wenn es sich um eine Melodie handelt, dann ist der rechte Schläfenlappen betroffen; wenn es sich um das Verstehen eines komplexen Satzes handelt, dann sind das Broca- und das Wernicke-Sprachzentrum in der linken Großhirnrinde besonders aktiv (vgl. Abbildungen 2 und 3). Geht es um Problemlösen, dann findet

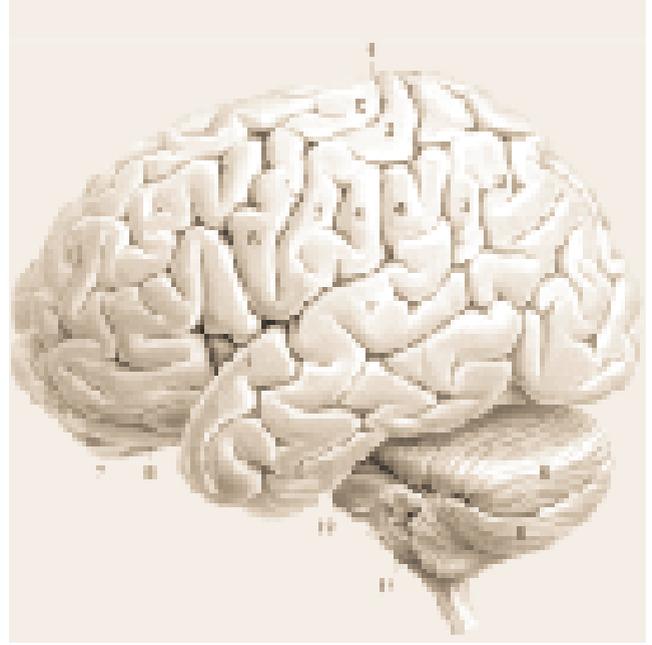


Abbildung 2: Seitenansicht des menschlichen Gehirns. Sichtbar ist die Großhirnrinde mit ihren typischen Windungen (Gyrus/Gyri) und Furchen (Sulcus/Sulci) und das ebenfalls stark gefurchte Kleinhirn. Abkürzungen: 1 Zentralfurche (Sulcus centralis); 2 Gyrus postcentralis; 3 Gyrus angularis; 4 Gyrus supramarginalis; 5 Kleinhirn-Hemisphären; 6 Gyrus praecentralis; 7 Riechkolben (Bulbus olfactorius); 8 olfaktorischer Trakt; 9 Sulcus lateralis; 10 Brücke (Pons); 11 Verlängertes Mark (Medulla oblongata)

sich eine besondere Aktivierung im Stirnhirn. Bemerkenswerterweise geht die jeweilige Hirnaktivierung in dem Maße zurück, in dem die bewusste Aufmerksamkeit zurückgeht, wenn uns zum Beispiel ein Objekt oder Vorgang zunehmend bekannt wird, wenn wir einen Satz schon vielfach gehört haben und wenn das Bewältigen eines Problems zur Routine wird. Damit geht auch einher, dass wir in solchen Fällen die Dinge bzw. das, was wir tun, gar nicht mehr recht wahrnehmen, weil sie zur Routine geworden sind. Das Aufmerksamkeitsbewusstsein, das bei der Bewältigung neuer, komplexer Situationen auftritt, hat also eine genaue hirnhysiologische Entsprechung, ebenso wie sein Nachlassen, sobald die Routine einsetzt.

Es ist inzwischen sogar gelungen, Unterschiede in der Hirnaktivität nachzuweisen, ob eine Versuchsperson felsenfest davon überzeugt ist, ein Objekt oder Gesicht schon einmal gesehen zu haben, oder ob sie eher unsicher ist. Mithilfe des EEG und neuerdings auch bildgebender Verfahren konnte nachgewiesen werden, dass Teile des Stirnhirns, nämlich der so genannte präfrontale Cortex (PFC) und der anteriore cinguläre Cortex (ACC; vgl. Abbildung 3 und 4) sowie der Hippocampus (Abbildung 4), dann besonders aktiv sind, wenn in einer Reihe von Ereignissen etwas Überraschendes oder Unerwartetes eintritt oder wenn Fehler und Abweichungen auftreten (Herrmann et al.). Ebenso lässt sich bei Personen, die perfekt zwei Sprachen beherrschen, nachweisen, welches die Muttersprache ist und welches die erste Fremdsprache, da Mutter- und Fremdspracherwerb von teilweise unterschiedlichen corticalen Nervennetzen geleistet wird. Besonders interessant sind die Untersuchungen, in denen Versuchspersonen Wahrnehmungstäuschungen (Farb-,



Größen-, Kontrast-, Bewegungs-, Gestalttäuschungen usw.) gezeigt werden. Kürzlich konnte von uns gezeigt werden, dass es bei der Präsentation von visuellen Kontrastphänomenen Gebiete gibt, die in ihrer Aktivität genau dem subjektiven Wahrnehmungszustand der Versuchsperson entsprechen (Haynes, Heinze und Roth, in Veröffentlichung). Dies demonstriert, dass es zwischen der Ebene der neuronalen Aktivität und derjenigen der subjektiven Empfindung keine weitere Übersetzungsebene gibt, wie sie Psychologen und Philosophen immer wieder postulierten. Vielmehr sieht es so aus, als gehe aus der Aktivität der so genannten assoziativen Hirnrinde unter bestimmten Bedingungen Bewusstsein *direkt* hervor (wie auch immer dies geschehen mag – niemand weiß es).

Diese wenigen Beispiele aus einer großen Fülle neuer Erkenntnisse zeigen: Zwischen bewussten Leistungen im Bereich des Wahrnehmens, Denkens, Erinnerens, Vorstellens und Fühlens auf der einen Seite und bestimmten

Hirnprozessen auf der anderen gibt es nach heutiger Erkenntnis eine eindeutige Entsprechung, das heißt, einer bestimmten bewussten Leistung entspricht genau ein Hirnprozess. Diese Entsprechung findet sich je nach Leistung bei einzelnen Nervenzellen, kleinen Neuronenverbänden oder der gemeinsamen Tätigkeit vieler Zentren.

Besonders wichtig ist die Tatsache, dass das Erzeugen bewusster geistiger Aktivität im Zusammenhang mit Aufmerksamkeit, Konzentration, Problemlösen und dem Erlernen neuer Fähigkeiten außerordentlich viel Stoffwechselenergie verbraucht (Creutzfeldt). Während das Gehirn insgesamt bereits ein sehr »teures« Körperorgan ist (es verbraucht zehnmal mehr Energie, als ihm von seinem Volumen her zustünde), ist der Energieverbrauch in der Großhirnrinde bei bewussten geistigen Zuständen noch höher. Der Grund liegt darin, dass erhöhte geistige Aktivität, die immer an die Erregung der Großhirnrinde gebunden ist, erhöhte neuronale Aktivität im Zusammenhang mit der kurzfristigen Umverdrahtung corticaler Nervenetze nach sich zieht und dass dies vermehrt Sauerstoff und Zucker verbraucht. Um diesen Bedarf auszugleichen, erhöht sich mit einer kurzen Verzögerung der lokale Blutfluss und schafft mehr Sauerstoff und Zucker herbei. Diese Zusammenhänge nutzen die bildgebenden Verfahren aus, insbesondere die funktionelle Kernspintomografie (vgl. Abbildung 5; Münze und Heinze). Sie zeigen aber auch: Geist ist stoffwechselphysiologisch teuer. Geistige Zustände – welcher besonderen Natur sie auch sein mögen – sind mit bekannten physikalisch-chemisch-physiologischen Prozessen verbunden. Geist fügt sich in das natürliche Geschehen ein, er transzendiert dieses nicht.

Fazit: Wenn es stimmt, dass es im Gehirn »mit rechten Dingen« zugeht, das heißt im Rahmen bekannter naturwissenschaftlicher Gesetzmäßigkeiten, dann ist es zumindest im Prinzip möglich, künstliche Wesen zu bauen, die Geist und Bewusstsein besitzen (ich lasse dabei die wichtige Frage außer Acht, wie man das überprüfen kann). Wie sieht es dann mit der Realisierungsmöglichkeit aus?

### Schwierigkeiten beim Nachbau des Gehirns

Menschliche Gehirne sind die kompliziertesten Systeme, die wir kennen. Sie bestehen aus ungefähr hundert Milliarden Nervenzellen, von denen jede im Durchschnitt mit

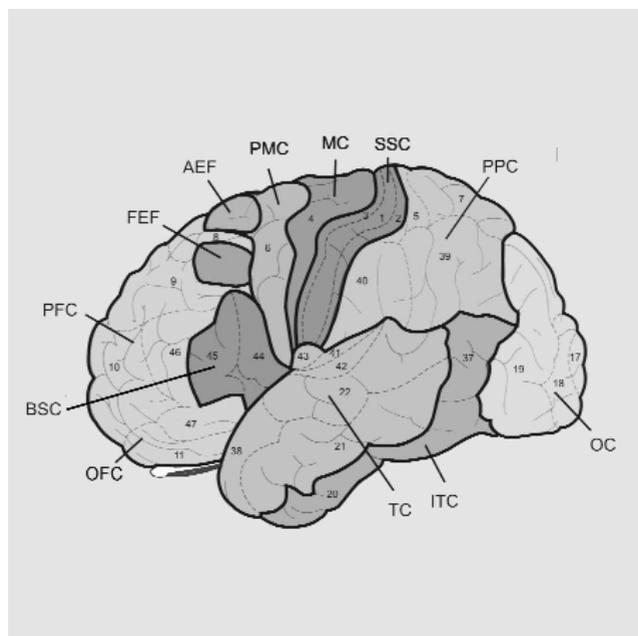


Abbildung 3: Anatomisch-funktionelle Gliederung der seitlichen Hirnrinde. Die Zahlen geben die übliche Einteilung in cytoarchitektonische Felder nach K. Brodmann an. Abkürzungen: AEF = vorderes Augenfeld; BSC = Brocasches Sprachzentrum; FEF = frontales Augenfeld; ITC = inferotemporaler Cortex; MC = motorischer Cortex; OC = occipitaler Cortex (Hinterhauptslappen); OFC = orbitofrontaler Cortex; PFC = präfrontaler Cortex (Stirnklappen); PMC = dorso-lateraler prämotorischer Cortex; PPC = posteriorer parietaler Cortex; SSC = somatosensorischer Cortex; TC = temporaler Cortex (Schläfenklappen). (Nach Nieuwenhuys et al., 1991; verändert)

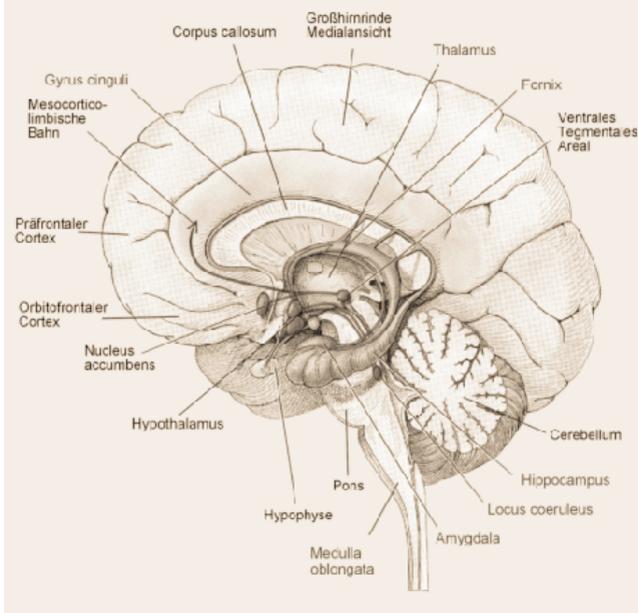


Abbildung 4: Längsschnitt durch das menschliche Gehirn mit den wichtigsten limbischen Zentren. Diese Zentren sind Orte der Entstehung von positiven (Nucleus accumbens, ventrales tegmentales Areal) und negativen Gefühlen (Amygdala), der Gedächtnisorganisation (Hippocampus), der Aufmerksamkeits- und Bewusstseinssteuerung (basales Vorderhirn, Locus coeruleus, Thalamus) und der vegetativen Funktionen (Hypothalamus). (Aus Roth nach *Spektrum der Wissenschaft/Scientific American*, 1994; verändert)

zehntausend anderen über Kontaktpunkte, Synapsen genannt, verbunden ist (Abbildung 5). Jede dieser rund einer Trillion Synapsen ist zusammen mit der dazugehörenden Nervenzelle ein Wunder an Erregungs- bzw. Informationsverarbeitung. Die Nervenzellen im Gehirn sind nicht wahllos (bzw. alle mit allen) verknüpft, sondern höchst selektiv, wobei die Art der Verknüpfung genetisch vorgegeben oder frühkindlich determiniert ist oder durch spätere Erfahrung verändert wird. Im menschlichen Gehirn hat eine einzige Nervenzelle in aller Regel keine besondere Relevanz, sondern es müssen viele, meist Hunderttausende oder viele Millionen, in derselben Weise aktiv sein, damit überhaupt irgendetwas Bemerkenswertes passiert.

Die Grundlage der Erregungsverarbeitung und damit der Informationsverarbeitung im Gehirn sind die besonderen Eigenschaften der Nervenzellmembran. Ihre komplexe Struktur – eine so genannte Phospholipid-Doppelschicht, in die komplizierte Rezeptor- und Kanalstrukturen eingebaut sind – erlaubt es, die Bewegung geladener Teilchen, Ionen genannt, zu steuern, wodurch sich elektrische Spannungen auf- und abbauen und somit Ströme in die Nervenzelle hinein- und aus ihr herausfließen können. Obwohl diese Prozesse inzwischen sehr gut verstanden sind, stimmen die Fachleute darin überein, dass man von einer technischen Realisierung noch sehr weit entfernt ist. Insbesondere sind keinerlei künstliche Materialien in Sicht, die hierfür verwendet werden könnten.

Nehmen wir aber einmal an, wir könnten in ferner Zukunft Mikrosysteme bauen, die den Nervenzellen und ihren Synapsen in den wichtigsten elektrophysiologischen und elektrochemischen Eigenschaften gleichen. Dann müssten wir das Problem der selektiven Verknüpfung

der Zellen über eine Trillion Synapsen lösen. Schon rein technisch wäre dies ein kaum lösbares Problem, denn auch die schnellsten Herstellungsautomaten würden Jahrhunderte dazu benötigen. Überdies müssten sie wissen, *wie* im Einzelnen die Zellen zu verknüpfen sind. Davon haben die Neurobiologen zurzeit noch sehr geringe Kenntnis.

Das Gehirn löst dieses Problem dadurch, dass die Verknüpfungen sich *selbst herstellen*, und zwar vor allem über Mechanismen, die auf einem Wettkampf zwischen Zellen und Synapsen um Aktivierung und Nährstoffe beruhen. Dies nennt man *synaptische Selbstorganisation*. Man kann heutzutage derartige Vorgänge in stark vereinfachtem Rahmen im mathematischen Modell erfassen und in künstlichen Netzwerken simulieren, realistisch nachbauen kann man diese Vorgänge noch nicht.

Diese Selbstorganisationsprozesse unterliegen Einflüssen, die teils aus dem Gehirn selbst und teils aus der Umwelt kommen. Schon vor der Geburt erlernt das Kind aufgrund angeborener Fähigkeiten den Klang und den Duktus der Stimme seiner Mutter. Ebenso verfügt das Neugeborene über ein ganzes Repertoire an Verhaltensweisen und Tricks, mithilfe derer es die Aufmerksamkeit und Zuwendung der Bezugsperson erregt und auf welche die Mutter (oder eine andere Bezugsperson) ebenso angeborenermaßen reagiert (Pauen). Diese gegenseitige Prägungsphase ist außerordentlich wichtig für die weitere Entwicklung des Kindes, und deshalb sind Störungen dieser Mechanismen auf Seiten des Kindes oder der Mutter so verhängnisvoll. Es gibt überzeugende Hinweise darauf, dass bei schweren Gewaltverbrechern und anderen gefühlkalten Menschen (so genannten Soziopathen) solche frühkindlichen Störungen auftraten (Comer, Asendorpf).

Die Entwicklung der Sprache verläuft nach neueren Erkenntnissen bei allen Kindern dieser Welt gleich und in strenger Parallelität mit dem Ausreifen der Sprachzentren und des übrigen Gehirns. Genauso ist es mit der Herausbildung intellektueller Fähigkeiten, der verschiedenen Ich-Empfindungen und Persönlichkeitsstrukturen. Immer findet man, dass das Ausreifen bestimmter Hirnstrukturen das Primäre ist, dem die Ausbildung der entsprechenden Funktionen folgt. Dies zeigt sich besonders deutlich bei der Entwicklung der für den Menschen typischen grammatikalisch-syntaktischen Sprache im Alter von rund zweieinhalb Jahren. Dies ist der Zeitpunkt, an dem das so genannte Broca-Sprachzentrum im linken

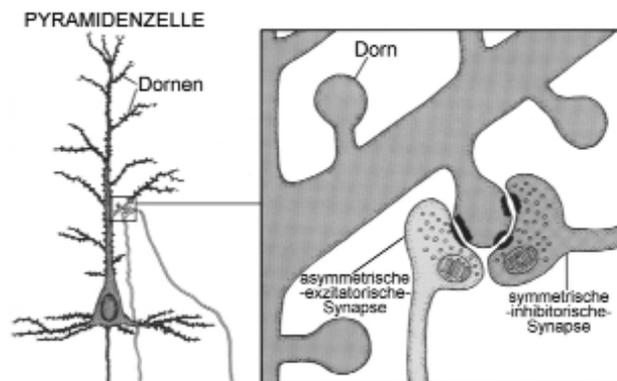


Abbildung 5: Links ist eine der rund 50 Milliarden Pyramidenzellen in der menschlichen Großhirnrinde (Cortex) gezeigt. Jede dieser Zellen ist über Synapsen mit rund 10 000 anderen corticalen Zellen verbunden; die meisten der Synapsen sind so genannte Dornensynapsen. Dieser Typ von Synapsen ist rechts vergrößert dargestellt. Es können gleichzeitig mehrere und funktional unterschiedliche (das heißt erregende und hemmende) Eingänge an einem »Dorn« ansetzen. (Nach *Spektrum der Wissenschaft/Scientific American*, 1994; verändert)

Frontalhirn ein bestimmtes Maß an Feinverdrahtung erreicht hat. Ebenso hängt nach neueren Erkenntnissen die Tatsache, dass Jugendliche erst zum Abschluss der Pubertät zu einiger Vernunft und Selbstkontrolle kommen, mit dem endgültigen Ausreifen des über den Augen angesiedelten Teils des Stirnhirns, des orbitofrontalen Cortex, zusammen (vgl. Abbildungen 3 und 4).

In den letzten Jahren wurde begonnen, die neurobiologischen Grundlagen von Intelligenz und Kreativität zu erforschen. Auch hier zeigte sich eine deutliche Übereinstimmung zwischen Intelligenz und Kreativität einerseits und Eigenschaften des Gehirns andererseits, die insbesondere Leistungen des Stirnhirns betreffen. Diese Eigenschaften sind teils angeboren (man schätzt zu 50 Prozent), teils frühkindlich geprägt (schätzungsweise zu 25 Prozent) oder werden durch spätere Erfahrungen beeinflusst (vermutlich zu 25 Prozent) (Amelang und Bartussek). Dasselbe scheint für all die Merkmale zu gelten, die man Charakter oder Persönlichkeit nennt. Die neue neurobiologische und entwicklungspsychologische Forschung stimmt im Gegensatz zu der noch herrschenden sozialwissenschaftlichen Lehrmeinung darin überein, dass die geistigen und emotionalen Grundzüge des menschlichen Charakters sich früh ausbilden und später nur noch in Grenzen veränderbar sind. Die Gesellschaft hat einen großen Einfluss auf die Entwicklung dieser Merkmale. Dies ist in größerem Ausmaß aber nur in den ersten drei bis fünf Lebensjahren der Fall und in gerin-

gerem Maße während der Pubertät. Wie der Berliner Persönlichkeitspsychologe Asendorpf kürzlich herausgefunden hat, suchen sich die Menschen eher diejenige Umwelt aus, die zu ihnen passt, als dass sie sich einer Umwelt anpassen.

Wir gewinnen hieraus die Einsicht, dass das menschliche Gehirn – und zweifellos dasjenige vieler anderer Tiere – ein selbstorganisierendes System ist, das im Laufe seiner Entwicklung ein hohes Maß an Selbststeuerung, Autonomie, entwickelt. Kern dieser Selbststeuerung ist die Fähigkeit zur Selbstbewertung: Alles, was das Gehirn und sein Organismus tun, bewertet das Gehirn danach, ob es positive Konsequenzen hatte und entsprechend zu wiederholen oder negative Konsequenzen und damit zu unterlassen ist. In unserem Gehirn wird diese Bewertung durch Zentren des limbischen Systems durchgeführt, und zwar in der Regel unbewusst (Abbildung 4). Wir erleben einen Teil dieser Bewertungen dann als Gefühle. Im Laufe der Entwicklung des Säuglings, des Kleinkindes und Jugendlichen und im späteren Leben häuft sich somit ein ungeheurer Vorrat an »limbischem« Vorwissen an, das unser Verhalten weitgehend determiniert. Es garantiert, dass wir alles, was wir tun, im Lichte vergangener Erfahrung tun (Roth).

Das ist sicherlich das Vernünftigste, was man zur Verhaltenssteuerung einsetzen kann, und entsprechend versucht man in der Robotik, Wesen zu konstruieren, die ein gewisses Maß an Autonomie entwickeln können. Dazu ist es freilich nicht nur nötig, dass das autonome Wesen sich selbst bauen oder zumindest »verdrahten« kann (siehe oben), sondern es muss mit der Umwelt interagieren und – vor allem – die Folgen seines Tuns *bewerten* können.

Hier nun liegt der Hund begraben! Wonach denn soll der autonome Roboter sein Tun bewerten? Was ist für ihn positiv und was negativ? Was erzeugt in ihm Lust und was Unlust, was Freude und was Schmerz? Ohne Zweifel sind dies die primären Bewertungskriterien, nach denen das limbische System eines Säuglings arbeitet. Wie man aber Lust und Unlust, Freude und Schmerz in einen autonomen Roboter einbaut, das weiß niemand. Natürlich kann (oder könnte) man einen Roboter so bauen, *als ob* er Freude und Schmerz empfindet und *als ob* er seine Handlungen danach ausrichtet. Aber dies wäre niemals dasselbe wie die tatsächliche Realisierung, sondern eine Erschleichung des Ziels. Ich bin überzeugt davon, dass nur ein tatsächlicher Schmerz und nicht ein simulierter eine verhaltensrelevante Wirkung hat.

Fazit: Das hervorstechende Merkmal des Menschen ist nicht so sehr seine abstrakte Intelligenz (hierin mögen uns Computer schon jetzt überlegen sein), sondern die Fähigkeit zu komplexer Handlungsplanung und zur Selbstbewertung, die beide ihre Wurzeln in der Handlungsautonomie haben. Wie diese technisch zu verwirklichen sein könnten (und nicht bloß per Computersimulation!), weiß bisher kein Mensch.

### Würden wir einen autonom handelnden Roboter wollen?

Nehmen wir einmal an, wir hätten die genannten Probleme alle gelöst und es gäbe Wesen, die nicht nur wahrnehmen und denken, sondern auch fühlen und handeln könnten wie wir. Wir könnten sie all die komplizierten Dinge machen lassen, zu denen wir keine Lust oder Zeit haben oder die zu gefährlich für uns sind (für die einfachen Dinge haben wir ja schon genügend Maschinen). Schnell würden wir entdecken, dass wir mit Handlungsautonomie und wirklich kreativem Denken eine Pandora-Büchse aufgemacht haben. Diese Wesen würden nämlich all die Eigenheiten und Eigentümlichkeiten entwickeln, die den Umgang mit unseren Mitmenschen so schwierig machen, von aggressivem Verhalten bis hin zu Neurosen und Psychosen. So wie es unter uns Menschen ungefähr zehn Prozent gibt, die verhaltensauffällig sind, wird es auch einen gehörigen Teil an solchen Auffälligkeiten bei den künstlichen autonomen Wesen geben. Was passiert, wenn sie dann auch noch viel intelligenter sind als wir? Hier kommen unabsehbare ethische Probleme auf uns zu, die bisher nur in Science-Fiction-Romanen geschildert, aber noch in keiner Ethik-Kommission ernsthaft behandelt wurden.

Fazit: Mit einer *wirklichen* Verhaltensautonomie und einer *wirklich* kreativen Intelligenz erkaufen wir bei zukünftigen Robotern auch deren schwer wiegende Nachteile, dass nämlich diese Wesen ihre eigenen Ideen, Wünsche und Ziele entwickeln, diese dann auch verfolgen und sich zunehmend weniger um *unsere* Belange scheren. Wir würden uns vor ihnen schützen und sie eventuell zerstören müssen, solange noch Zeit dazu ist.

### Literatur

- M. Amelang und D. Bartussek: Differentielle Psychologie und Persönlichkeitsforschung. Stuttgart/Berlin/Köln <sup>4</sup>1997  
 J. B. Asendorpf: Psychologie der Persönlichkeit. Berlin/Heidelberg/New York <sup>2</sup>1999  
 R. J. Comer: Klinische Psychologie. Heidelberg 1995  
 O. D. Creutzfeldt: Cortex Cerebri. Leistung, strukturelle und funktionelle Organisation der Hirnrinde. Berlin/Heidelberg/New York 1983  
 M. Herrmann, M. Rotte, C. Grubich, A. D. Ebert, K. Schiltz, T. F. Münte and H. J. Heinze: Control of semantic interference in episodic memory retrieval is associated with an anterior cingulate-prefrontal activation pattern, in: *Human Brain Mapping* 13, 2001, S. 94-103  
 T. F. Münte und H. J. Heinze: Beitrag moderner neurowissenschaftlicher Verfahren zur Bewußtseinsforschung, in: M. Pauen und G. Roth (Hrsg.): Neurowissenschaften und Philosophie. München 2001, S. 298-328  
 S. Pauen: Wie werden Kinder Selbst-Bewußt? Frühkindliche Entwicklung von Vorstellungen über die eigene Person, in: K. Voegeley, A. Newen (Hrsg.): Selbst und Gehirn: Menschliches Selbstbewußtsein und seine neurobiologischen Grundlagen. Paderborn 2000  
 G. Roth: Fühlen, Denken, Handeln. Wie das Gehirn unser Verhalten steuert. Frankfurt am Main 2001