

## Die Kräfte des Geistes: Gehirn- und Bewußteinsforschung

Zwar werden die 90er Jahre des 20. Jahrzehnt als das „Jahrzehnt der Hirnforschung“ titulierte, aber bislang gibt es noch eine Erklärung dafür, wie in diesem fast drei Pfund schweren Universum in unserem Kopf jenes Phänomen erzeugt wird, das wir Bewußtsein nennen. Philosophen, Theologen, Neurophysiologen, Informatiker, Molekularbiologen und eine Heerschar anderer Forscher versuchten sich bislang vergeblich an diesem Rätsel, und erstaunlicherweise bleibt das Bewußtsein auch noch im 49. Jahrhundert ein Geheimnis für die Menschen.

### Bewußtsein - ein fünfdimensionales Phänomen ?

Bereits relativ früh wurde erkannt, daß bewußtseinstragende Gehirnzellen eine hyperenergetische Zellkernstrahlung abgeben. Die Vorgänge im Bewußtsein von intelligenten Lebewesen sind Abbildungen hyperenergetischer Vorgänge, die sich in der sogenannten Metanoid-Sphäre abspielen; diese stellt eine psionische Aura dar. Für alle ultrahochfrequenten hyperenergetischen Vorgänge gibt es Quantenvorschriften; man fand heraus, daß die kleinste Einheit das Psi-Quant, das Psion, ist. Das Psion stellt das Bindeglied zwischen Geist und Materie dar.

Seit der Begegnung mit den Cappins wissen die Terraner von der ÜBSEF-Konstante, was „Überlagernde Sextabezugs-Frequenz“ bedeutet, aber auch als „Hypersexta-Modulparastrahlung“ bezeichnet wird. Es handelt sich um eine individuelle sechsdimensionale Energiekonstante, die nur bei hochentwickelten Lebewesen anzutreffen ist. Die Cappins konnten diese stark variierende Strahlung anpeilen und mittels Pedotransferrierung ihren Geist über weite Strecken transportieren, um schließlich den Bewußtseinsinhalt des Pedoopfers zu überlagern.

„Bewußtseinsinhalt“ ist ein Sammelbegriff für alle nicht-materiellen Merkmale einer Persönlichkeit; er umfaßt Begriffsmodelle wie „Persönlichkeit“, „Charakter“, „Intelligenz“, „Emotionalität“, „Ich-Identität“ und dergleichen. Der Begriff wird notwendig, um Phänomene wie Teletemporation (Ernst Ellert), Aspekte von Superintelligenzen (ES), Struktur von Konzepten und anderes zu beschreiben, bei dem es zur Trennung von materieller und geistiger Persönlichkeit kommt. Dies setzt voraus, daß wir eine wie auch immer geardete immaterielle „Seele“ haben, die den Körper unter gewissen Umständen „verlassen“ kann.

Hyperphysiker gehen davon aus, daß diese „Seele“ ein höherdimensionales Bewußtseinspotential darstellt. Jedes Gehirn hat ein bestimmtes psionisches Wellenspektrum, eine lange, sehr komplexe Kurve mit zehntausenden von Spitzen, welches nach ihrem Erfinder „Zuckerman-Spektrum“ genannt wird. Das Zuckerman-Spektrum mit seinen charakteristischen Linien und Zacken kann als Teil der ÜBSEF verstanden wer-

den; aus ihm lassen sich Intelligenz und Lebenskraft, geistige Verfassung und möglicherweise Mutantenfähigkeiten ablesen.

Man geht davon aus, daß ein Bewußtsein mit parapsychischen Fähigkeiten eine latente PSI-Basis hat, die an verschiedenen Stellen durch Modulation angeregt werden kann. Psi-Begabungen sind dem ultrahochfrequenten Bereich des hyperenergetischen Spektrums zuzuordnen.

Die verschiedenen paramentalen Aktivitäten erstrecken sich auf verschiedene Frequenzbereiche. Herkömmliche Psi-Phänomene wie Telepathie und Hypnose spielen sich im eher langwelligen Bereich des UHF-Hyperspektrums ab, seltenere Phänomene wie Boyt Margors Fähigkeiten sind im kurzwelligen UHF-Bereich angesiedelt. Die diversen Psi-Fähigkeiten können als ein spitzer Impuls gedacht werden, der aus dem normalen vierdimensionalen Kontinuum in eine andere Existenzebene hineinragt.

Man kennt drei verschiedene Psi-Kategorien, die mentale, die materiell-energetische und die temporale. Telepathie, Hypnose, Suggestion, Gefühlsortung und fotografisches Gedächtnis sind der mentalen Kategorie zuzuordnen, da sie sich auf rein geistiger Ebene abspielen. Telekineten, Teleporter, Parasprinter, Metabio-Gruppierer, Materiedestruktoren und Quintadimtransformer gehören zur materiell-energetischen Kategorie, und zur temporalen Kategorie zählen Teletemporarier und Movatoren.

Die Psi-Fähigkeiten sind mit energiereichen Hyperkräften assoziiert. Vielleicht ist diese Affinität der Grund dafür, daß während der Second Genesis - Krise im Jahr 2909 die Bewußtseinsinhalte von acht Altmutanten in den Hyperraum gelangen konnten. Später wurden sie in den PEW-haltigen Himmelskörper WABE-1000 integriert; das PEW-Metall ist ein Howalgonium-Sextagonium-Zwitter, ein 5-D-Strahler mit sechsdimensionaler Tastresonanz. Im Jahre 3587 gingen die Altmutanten dann im Bewußtseinspotential von ES auf.

Überragende geistige Fähigkeiten wurden auf andere Art und Weise realisiert. Beim Arkoniden Atlan wurde in seiner Jugend der Extrasinn aktiviert, die Haluter besitzen ein Planhirn, das wie ein Computer funktioniert, die cappinschen Tryzom-Tänzer können auf zwei Ebenen gleichzeitig denken, und die Loower waren durch ein besonders zielgerichtetes Denken ausgezeichnet, die Entelechie.

Bei der Superintelligenz ES handelt es sich um ein gewaltiges Potential aus den Bewußtseinen eines uralten Volkes. Wie eine Bewußtseinsverschmelzung vonstatten geht, jedenfalls mußten in ferner Vergangenheit die Bewußtseinsinhalte zunächst von ihren körperlichen Hüllen getrennt werden. Die Entstehung von ES ist noch von einem Geheimnis umgeben, aber es exi-

stiert die Vermutung, daß vor 15 Millionen Jahren auf einer galaktischen Völkerversammlung die Kosmokraten aus der körperlichen Substanz der Milliarden Versammelten von rund 100 verschiedenen raumfahrenden Völkern ein hyperenergetisches Gebilde schufen und darin die Bewußtseine der Entkörperlichten einbetteten: dies war die Geburtsstunde von ES und ESTARTU.

Eine Bewußtseinsfusion im Kleinen fand in den sogenannten Konzepten statt. Nachdem ES im Jahre 3581 die Bewußtseinsinhalte von 20 Milliarden Terranern beim Sturz der Erde in den Schlund in sich aufgenommen hatte, erweist sich, daß die Superintelligenz außerstande war, diesen ungeheuren Zuwachs zu kontrollieren, und es kam zu unkontrollierten Abstoßungen von Bewußtseinsbündeln, die irgendwo materialisierten. Jeweils mehrere Bewußtseinsinhalte fanden sich in einem Trägerkörper zusammen. Im Jahre 3584 entstand EDEN II als neue Heimat der Konzepte, und schließlich erhielten die Bewußtseine im Arresum ihre endgültige Aufgabe, dieses Spiegeluniversum mit Leben zu erfüllen.

Eine Trennung von Geist und Körper wurde mehrmals in der PR-Historie beschrieben. Während eines Transmitterunfalls im Jahre 3428 stieß Alaska Saedelaere während des Hyperraumtransports mit einem Cappin zusammen; ein Fragment des Cappins setzte sich im Gesicht Alaskas fest, und jeder, der das Gesicht anblickte, verfiel dem Wahnsinn.

Die Superintelligenz Seth Apophis zog mit Hilfe eines psionischen Jetstrahls Bewußtseinsplitter von Lebewesen ab und deponierte diese im DEPOT, welches mit dem Frostrubin identisch war.

Die Saddreykaren lösten mittels „Tarkcierung“ das Bewußtsein ihres Heerführers Ordoban aus dessen Körper; dieses existierte dann als stehende Welle im hochfrequenten Bereich des hyperenergetischen Spektrums weiter.

Im Jahre 1170 NGZ entwickelte das Synergistiker-Paar Enza Mansoor und Notkus Kantor den Metalysator, mit dem das menschliche Bewußtsein vom Körper getrennt werden konnte.

Im Rahmen der sogenannten Gehirn-Odyssee in der Galaxis Naupaum wurde Perry Rhodans Gehirn entführt und in fremde Körper integriert. Mit Hilfe der PGT-Technik (Parareguläre-Gleichheits-Transplantation) war es dort möglich, vollständige Gehirne zu transplantieren. Es handelte sich um ein transmitterähnliches Verfahren, bei dem Alt- und Neugehirn energetisch aufgelöst, gegeneinander ausgetauscht und am neuen Lebensort exakt eingepaßt werden. Es sind sowohl Teilverpflanzungen möglich als auch Umpflanzungen von Gehirnen in sehr artfremde Trägerkörper.

Entwickelt wurde das PGT-Verfahren, da die Lebenserwartung der Körper bei Bewohnern von Naupaum die der Gehirne um ein mehrfaches übersteigt. Naupaumer, die es sich leisten können, pflegen vor dem Absterben ihrer Gehirne sich ein junges Fremdhirn als organische Grundlage ihres Bewußtseinsinhaltes

transplantieren zu lassen. Das PGT-Verfahren ist aus hyperphysikalischen Gründen - wegen Besonderheiten des Gravitationsfeldes - innerhalb Naupaums nur auf dem Planet Yaanzar möglich. Realisiert werden konnte das Verfahren nur durch das Vorhandensein der Catron-Ader, eine von den Pehrtus künstlich erschaffene hyperenergetische Verbindung zwischen den Planeten Payntec in der Galaxis Catron und Yaanzar in Naupaum.

Im 9. Jahrtausend v.Chr. existiert im arkonidischen Imperium eine Welt namens Tsopan, der Planet der Bewußtseinsforscher. Die Skinen, die Bewohner dieser Welt, kopierten den Bewußtseinsinhalt des jungen Atlan, um ihn in ihre Bewußtseinsbank zu integrieren. Doch das synthetische Ich konnte entfliehen, und Atlans Bewußtseinskopie gelangte auf einen Planeten im Hyperraum, wo Aras an einem Androidenprojekt arbeitete: diese Androiden sollten nach Tsopan geschafft werden, wo sie die Bewußtseinsduplikate der Aras aus den Speichern der Skinen übernehmen sollten. Doch die Pläne scheiterten; Atlans Bewußtseinsdouble gelangte in einen Androidenkörper, konnte diesen jedoch nicht mehr verlassen.

Später experimentierten Wissenschaftler der Skinen mit Antimaterie, und bei einem dieser Versuche wurde Tsopan zerstört. Im Jahre 2843 n.Chr. treffen Springer auf den „Wanderer aus der Vergangenheit“. Dieser Wanderer war das vor Jahrtausende gespeicherte Bewußtsein des jungen Kristallprinzen Atlan, das im Körper eines Springers eine neue Bleibe gefunden hatte. Schließlich begegnete der Original-Atlan seinem jungen Bewußtseinsdouble im USO-Hauptquartier Quinto-Center, wobei dieses ihm den Zellaktivator raubte. Atlan konnte den Aktivator zurückerobern und seinen kopierten Bewußtseinsinhalt ausschalten.

### **Geistesriesen in der Science Fiction - Vom Homo Gestalt zum Homo superior**

Mutationen können nicht nur zu Veränderungen der körperlichen Struktur führen, sondern auch Gehirn und Geist beeinflussen. Dies führt entweder zu phänomenaler Intelligenz oder zu parapsychologischen Fähigkeiten wie Telepathie oder Telekinese. Dr. Joseph Rhine schuf in den 30er Jahren den Begriff „ESP“ (Extra-Sensory Perception) und führte wissenschaftliche Experimente zum Gedankenlesen durch. Telekinetische Fähigkeiten wurden in den 70er Jahren populär, als Uri Geller in Fernsehsendungen Löffel und Gabel angeblich nur mit Hilfe rein geistiger Kräfte verbog.

A.E. van Vogt beschrieb in „Slan“ (1940) eine Mutation, die dem Menschen physisch und geistig überlegen war und telepathische Begabungen hatte. Der Telepath in Robert Silverberg's „Dying inside“ (1973) hatte moralische Skrupel, mit seinen Gedanken in die Intimsphäre anderer einzudringen. In „The Demolished Man“ (1953) verfolgte ein telepathisch veranlagter Polizist einen Mörder. Heilende Kräfte der Telepathie wurden von L.Ron Hubbard in seiner Geschichte „The Tramp“ (1938) erörtert, wobei der Autor seine hier

erwähnten Gedanken später zu der Wissenschaft der „Dianetics“ ausweitete.

Wesen mit hypnosuggestiven Fähigkeiten, die kraft ihrer Gedanken andere Menschen beeinflussen konnten, wurden spätestens seit den Filmen um „Dr. Mabuse“ populär. In Curt Siodmak's „Donovan's Brain“ (1942) gewann ein kriminelles Gehirn Macht über einen Mediziner, der dessen Rachepläne ausführen soll. Teleportation ist der sofortige Transport eines lebenden Objektes mit Hilfe psionischer Kräfte. Der berühmteste Teleporter ist Gully Foyle aus Alfred Bester's Roman „The Stars my Destination“ (1956). Wesen, die nicht nur durch den Raum, sondern auch durch die Zeit teleportieren können, beschrieb Anne McCaffrey in ihren „Drachenwelt“-Romanen (z.B. „Dragonflight“, 1967). Eine ähnliche Methode, die „Astralprojektion“, benutzte der Held in David Lindsay's „A Voyage to Arcturus“ (1920), um ein fremdes Sternensystem zu erreichen.

Die Fähigkeiten des Hellsehens bzw. der Vorhersehung sind selten Themen von SF-Geschichten, weil sie zu sehr mit Astrologie und Prophetie verhaftet sind. Gegen Ende des 20. Jahrhunderts werden die zuweilen düsteren Prophezeiungen des Nostradamus populär. Eine etwas wissenschaftlichere Grundlage gab Robert Silverberg diesem Thema in „The Stochastic Man“ (1975), wo von einer statistischen Vorhersehung die Rede ist, bei der von allen Möglichkeiten das Ereignis mit der größten Wahrscheinlichkeit eintritt.

Eine andere esoterisch anmutende Fähigkeit ist die Erinnerung an zurückliegende Ereignisse oder an ein früheres Leben. Reinkarnation und das kollektive Unterbewußtsein passen in diesen Zusammenhang, erwähnenswert sind hierzu Geschichten von David H. Keller wie „Unlocking the Past“ (1928), in der sich ein Kind an Ereignisse aus früheren Leben zu erinnern begann und „The Lost Language“ (1934), in der ein Junge plötzlich in einer fremden Sprache zu reden und zu schreiben begann, welches sich als eine alte Form des Walisischen herausstellte.

Auch die geistige Evolution wird in der SF-Literatur in verschiedenen Varianten geschildert. H.G. Wells spekulierte 1893 in seinem Essay „The Man of the Year 1000 000“ über Menschen mit einem überdimensionierten Gehirn und einem verkümmerten Körper. Eine Entwicklungsgeschichte der Menschheit in den nächsten zwei Milliarden Jahren entwarf Olaf Stapledon in „Last and first Men“ (1930); der gleiche Autor beschrieb in „Odd John“ (1935) eine Spezies von Übermenschen. Die gleiche Thematik behandelte Stanley G. Weinbaum in „The New Adam“ (1939). Hier scheiterte der Homo superior am Ende, weil er die Sinnlosigkeit des Lebens einsah. In E.F. Russel's „Metamorphosite“ (1946) mutierten Menschen zu Miniatursonnen und schließlich zu reinen Energiewesen. In „More than human“ (1953) von Theodore Sturgeon fusionierten mehrere Mutanten mit besonderen Fähigkeiten und nahmen eine neue Daseinsform an, den „Homo Gestalt“. In Poul Anderson's „Brain Wave“ (1954) vergrößerte sich die Intelligenz von Tieren und Menschen, als sich die Erde aus einem kosmischen Strahlungsfeld herausbewegte. A.E. van Vogt beschrieb Wesen mit

vielen Spezialsinnen (The Silkie“, 1969) und Superintelligenzen („Supermind“, 1977).

Ähnlich wie die Beschreibung anderer Dimensionen stößt aber ein solches Unterfangen auf unüberwindliche Schwierigkeiten: Wie soll ein SF-Autor mit seiner beschränkten menschlichen Intelligenz Wesenheiten mit ihrem Denken und Fühlen darstellen, die dem heutigen Menschen geistig unendlich überlegen sind?

## Gehirn und Geist

Was ist von solchen Spekulationen zu halten? In der Science Fiction ist mit Hyperenergien vieles zu erklären, und im Computerzeitalter träumt man davon, Bewußtseinsinhalte zu scannen und auf Festplatten oder CD-ROMs zu speichern. Davon ist die derzeitige Hirnforschung allerdings noch weit entfernt.

Die anatomischen und physiologischen Grundlagen des Gehirns sind bekannt. Es besteht aus Milliarden von Nervenzellen, Neuronen genannt, die auf unendlich komplexe Art und Weise miteinander wechselwirken. Im einzelnen Neuron werden elektrische Erregungen entlang der Zellmembran weitergeleitet, wobei Unterschiede in der Ionenkonzentration zwischen Zellinnerem und Zelläußerem die Ursache für diese Erregungen sind. Das elektrische Signal gelangt schließlich an eine Synapse, einer Verbindungsstelle zu einem anderen Neuron, wo durch die Freisetzung von Botenstoffen, den Neurotransmittern, die Nachbarzelle erregt wird.

Anatomisch besteht das Gehirn grob gesehen aus dem Stammhirn, dem Mittelhirn und dem Großhirn, wobei darin die Evolutionsgeschichte des Geistes widergespiegelt wird. Das Bewußtsein scheint mit der Aktivität des Großhirns assoziiert zu sein, rätselhaft bleibt allerdings, wie aus der elektrochemischen Aktivität von Milliarden von Neuronen geistige Prozesse generiert werden.

Wahrnehmen, Lernen, Erinnern, Denken, Sprechen und Bewußtsein - diese Prozesse und Funktionen beruhen auf Leistungen unseres Gehirns. Geist läßt sich im weitesten Sinne als eine Vielfalt mentaler Prozesse verstehen, die auf biologisch-neuronalen Grundlagen beruhen. Mentale Ereignisse hängen mit Nervenimpulsen im Gehirn zusammen und lassen sich mit deren Mustern korrelieren. Dazu muß erforscht werden, wie einzelne Nervenzellen arbeiten, wie sie untereinander Informationen austauschen, wie sie in eng begrenzten und oft weit verzweigten Netzwerken organisiert sind und wie sich die Vernetzungen zwischen Nervenzellen durch Erfahrung wandeln. Inzwischen haben sich erstaunliche Beziehungen zwischen dem Geist zugeordneten Eigenschaften und den räumlich-zeitlichen Aktivitätsmustern, die irgendwo im Gehirn aufflackern und wieder erlöschen, aufgetan.

## Morphologie des Gehirns

Das Auffälligste am menschlichen Gehirn sind seine mächtigen, scheinbar symmetrisch angelegten Hemi-

sphären. Voller Furchen und Windungen sitzen sie beidseits dem Hirnstamm auf, der sich nach unten hin zum Rückenmark verjüngt.

Ihre zellreiche, in sich geschichtete Rinde ist nur zwei Millimeter dick, nimmt aber eine Fläche von mehr als 1000 Quadratzentimetern ein. Sie läßt sich nach anatomischen und funktionellen Merkmalen in zahlreiche Felder untergliedern, die der Wahrnehmung und Verarbeitung von Sinneseindrücken oder der Kontrolle der Motorik dienen. Außerdem lassen sich, weniger scharf, sogenannte assoziative Rindfelder mit integrativen Funktionen abgrenzen. Hier, an der Schnittstelle zwischen Input und Output, spielt sich wohl die große Synthese geistig-seelischen Erlebens ab.

## Neuronen

Das menschliche Gehirn birgt ungefähr 100 Milliarden Neuronen in sich - ähnlich groß ist die Zahl der Sterne in der Milchstraße. Ein Teil der Komplexität des Gehirns beruht auf der Vielfalt der Nervenzellen. Der spanische Anatom Santiago Ramón y Cajal, der Begründer der modernen Neurowissenschaft, bezeichnete die Neuronen poetisch als rätselhafte Schmetterlinge der Seele, deren Flügelschläge eines Tages womöglich das Geheimnis geistigen Lebens enthüllen würden. Seine bedeutenden histologischen Studien an reifem und embryonalem Hirngewebe begann er im späten 19. Jahrhundert; er hatte dazu eine von dem italienischen Anatomen Camillo Golgi entdeckte Färbemethode mittels Silbersalzen aufgegriffen und weiterentwickelt. Das ausfallende Silber imprägnierte nur einige Nervenzellen - die aber in ihrer gesamten Ausdehnung - während der große Rest ungefärbt blieb.

Die Golgi-Färbung enthüllte Cajal die mannigfaltigsten Formen von Zellkörpern und Dendritenbäumen sowie teils kurze, teils lange Axonen. So gibt es Zellen, die nur mit ihren Nachbarn in Verbindung treten, während andere in weit entfernte Regionen projizieren.

Auf molekularer Ebene wird die Vielfalt noch größer. Zwar sind alle Zellen eines Organismus mit demselben Genbestand ausgestattet, doch wird nur ein jeweils geringer Anteil davon exprimiert. Selbst äußerlich gleichartige Zellen des Zentralnervensystems können selektiv verschiedene Gene aktivieren. So gibt es Unterschiede zwischen den Purkinje-Zellen des Kleinhirns, den Motoneuronen des Rückenmarks und den amakrinen Zellen der Netzhaut im Auge.

Auffällig ist auch die Modulbauweise des Gehirns, die erstmals an der Sehrinde beobachtet wurde. Neuronen mit ähnlichen Funktionen gruppieren sich zu senkrecht in der Rinde stehenden Scheiben, die von oben wie Streifen oder Bänder und von der Seite wie kleine Säulen aussehen. In der Sehrinde hat beispielsweise eine Funktionseinheit, deren Zellen auf Linien einer bestimmten Orientierung im Gesichtsfeld reagieren, einen Durchmesser von einem Zehntel Millimeter. Die über 100 000 Neuronen, die in einem solchen Modul Platz haben, sind in lokale Schaltkreise einbezogen, die eine bestimmte Aufgabe erfüllen.

## Aktionspotentiale und Nervenleitung

Alle Nervenzellen entsenden ihre Signale in Form kurzer elektrischer Impulse, die sich über das Axon fortpflanzen. Jedes dieser Aktionspotentiale hat eine Amplitude von etwa 100 Millivolt und eine Dauer von einer Millisekunde. Es entsteht, indem positiv geladene Natrium-Ionen aus der extrazellulären Flüssigkeit durch die Zellmembran nach außen strömen. Da sich beim Fortschreiten einer Erregungswelle jedesmal erst ein voller Natriumstrom aufbauen muß, können Nervenimpulse sich kaum schneller als mit 100 Meter pro Sekunde fortpflanzen. Wenn eine Nervenzelle ganze Salven von Aktionspotentialen feuert, sind das technisch gesehen relativ niederfrequente, stereotype Signale, die geradezu im Schneckentempo vorankommen.

Wenn uns Gedanken durch den Kopf schießen, wir blitzschnell eine Situation erfassen oder kombinatorisch Schlüsse ziehen, kann das nur auf der Basis vieler parallel arbeitender Neuronen mit jeweils Tausenden von Verknüpfungen geschehen. Solche Hirnleistungen müssen daher auf zeitlichen Beziehungen zwischen parallelen Impulsen beruhen.

## Neurotransmitter

An den Schaltstellen zwischen den Nervenzellen, den Synapsen, können Aktionspotentiale nicht direkt von einer Zelle auf die nächste überspringen. Ein winziger, 20 millionstel Millimeter breiter Spalt, hindert sie daran. Als Signalübermittler dienen dort chemische Überträgerstoffe, Neurotransmitter genannt. Sie werden in kleinen Bläschen an der Nervenendigung gespeichert, die auf das Nervensignal hin - genauer auf einen davon bewirkten Einstrom von Calcium-Ionen - ihren Inhalt koordiniert in den Spalt entleeren. An der Gegenseite heften sich die Moleküle an spezielle Rezeptoren auf der Membran der nachgeschalteten Zelle. Diese Bindung verändert die Durchlässigkeit der Membran für Ionen; dabei hängt es von der Art des Rezeptors ab, ob ein Transmitter erregend oder hemmend wirkt. Ein erregender sorgt für eine leichte Depolarisation, ein hemmender für das Gegenteil.

Der Effekt eines einzelnen synaptischen Signaleingangs ist gering. Wie oft oder ob überhaupt eine Nervenzelle mit einem Aktionspotential reagiert, ist das Ergebnis einer umfassenden Verrechnung. Sie muß dazu kontinuierlich die Informationen ihrer bis zu 1000 synaptischen Eingänge berücksichtigen. Somit ist jedes Neuron schon eine Art leistungsfähiger Computer.

Inzwischen kennt man über 50 Neurotransmitter, unter anderem Dopamin, Serotonin, Noradrenalin, Gamma-Aminobuttersäure, Acetylcholin. Man weiß genau, wie Neurotransmitter hergestellt und freigesetzt werden und wie sie ihre Rezeptoren in der Membran der nachgeschalteten Zelle aktivieren. Solche Analysen auf molekularer Ebene sind für das Verständnis von

neuronalen Störungen sowie Geistes- und Gemüteskrankungen besonders relevant.

Transmitter-Rezeptoren sind in die Zellmembran eingebettete Proteine, die sich anhand ihrer Aminosäuresequenzen und ihrer Grundformen im gefalteten Zustand in zwei große Superfamilien einteilen lassen. Die eine Superfamilie besteht aus Ionenkanälen. Solche Proteine bilden flüssigkeitsgefüllte Poren oder besser Schleusentore für Ionen, die als geladene Teilchen sonst die wasserabweisende Zellmembran nur schwer passieren könnten. Sie sind, anders als beim Aktionspotential, nicht spannungs-, sondern chemogesteuert. Die andere Superfamilie, zu der auch der Dopaminrezeptor gehört, formt keine Kanäle. Ihre Mitglieder interagieren mit einem G-Protein: einem Eiweißstoff an der Innenseite der Membran, der Guanosintriphosphat (GTP) bindet und eine Kaskade biochemischer Reaktionen in Gang setzt. Solche von G-Proteinen vermittelten Effekte setzen langsamer ein und halten auch länger an als solche direkt induzierten Reaktionen wie das Öffnen und Schließen von Ionenkanälen. Transmitter, die für solche Rezeptoren ansprechen, wirken daher eher als Modulatoren der rasch ansprechenden Rezeptoren. Sie regeln quasi die Stärke ein, mit der Ionenkanäle auf Signale reagieren.

Obwohl psychoaktive Substanzen (Medikamente, Drogen) sofort mit den entsprechenden Rezeptoren in Verbindung treten, dauert es oft Wochen, bis sich die Symptome einer Schizophrenie, Depression oder anderer Störungen zurückbilden. Die Wirksamkeit entsprechender Arzneimittel läßt sich also nicht allein aus der unmittelbaren Folge ihrer Bindung an Zielmoleküle erklären. Ein weiteres Rätsel betrifft die Drogensucht: Suchterzeugende Substanzen wie Opiate, Amphetamine, Nikotin oder Alkohol könnten über bestimmte Leitungsbahnen Neuronen beeinflussen und dadurch Macht über Menschen gewinnen.

## Plastizität

Die geschilderte strukturelle, funktionelle und molekulare Vielfalt bietet noch immer keine hinreichende Basis für geistige und psychische Prozesse. Eine weitere Dimension kommt hinzu: die Plastizität, also die Tendenz von Synapsen und neuronalen Schaltkreisen, sich infolge ihrer Aktivität zu verändern.

Auf der Nachahmung synaptischer Plastizität beruhen künstliche neuronale Netze. Allgemein vervielfacht sich die Komplexität aller vorgegebenen Kombinationen an molekularen Merkmalen oder zellulären Funktionen durch Plastizität, und dies wiederum schafft ein noch reicheres körperliches Substrat im Gehirn für geistige Phänomene.

Die Biologie der Synapsen zeigt zahlreiche Möglichkeiten auf, wie sich deren Effizienz bei der Signalübertragung verändern ließe. So braucht nur etwas mehr Calcium bei jedem Aktionspotential in die Nervenendigung einzutreten, um auch mehr Neurotransmitter freizusetzen. Auch vermag sich die Wahrscheinlichkeit, mit der Rezeptoren der nachgeschalteten Zelle

wirklich aktiv werden, zu verändern, und auf längere Sicht kann infolge von mehr oder weniger Aktivität die Zahl funktionsfähiger Rezeptoren steigen oder sinken. Außer der Übertragungsstärke sind auch Anzahl und Lokalisation der Synapsen selbst veränderlich. Zum einen lassen Axone neue Endigungen sprießen, wenn ihre Nachbarn verstummen; zum anderen gestalten sich die terminalen Verästelungen der Dendritenbäume fortwährend um.

## Lernen und Gedächtnis

Kurzfristige synaptische Veränderungen, die bei einfachen Formen des Lernens auftreten, gehen mit molekularen Modifikationen an Proteinen einher, etwa dem Anhängen einer Phosphatgruppe. Eine solche Phosphorylierung bringt ein Protein erst richtig in Schwung; vorher ist es weitgehend inaktiv. Ausgelöst wird solche biochemische Modifikation gewöhnlich durch Neurotransmitter und Medikamente, die ihre Wirkung über jene Rezeptoren entfalten, die an G-Proteine gekoppelt sind.

Eiweißstoffe werden in Zellen innerhalb kurzer Zeit - Minuten bis Tagen - abgebaut, während Erinnerungen lebenslang vorhanden sein können. Die Speicherung von Gedächtnisinhalten erfordert stabilere Veränderungen, etwa solche, die mit dauerhaften Veränderungen der Genexpression verknüpft sind. Einigen Indizien zufolge verstärkt sich durch neuronale Aktivität die Expression von Genen, die für trophische Faktoren codieren; das sind Proteine, die dem Lebenserhalt von Neuronen dienen.

Als Grundlage bleibender Gedächtnisinhalte wird die Langzeitpotenzierung (long-term potentiation - LTP) angenommen, eine anhaltende Steigerung synaptischer Effizienz nach kurzer, mehrfacher Stimulation. Vor allem sind davon Synapsen im Hippocampus betroffen. Die LTP kommt immer nur dann zustande, wenn die nachgeschaltete Zelle praktisch zugleich mit dem vorgeschalteten Neuron feuert. Bereits 1949 hatte Donald O. Hebb postuliert, daß bei gleichzeitiger - koinzidenter - Aktivität in mehreren, nicht unbedingt benachbarten Zellen die sie verbindenden Synapsen „gangbarer“ werden, und durch diese engere Kopplung sollten sich beim assoziativen Lernen Neuronen zu neuen Ensembles zusammenschließen.

Hippocampus-Synapsen arbeiten mit Glutamat, dem im Gehirn häufigsten erregenden Neurotransmitter. Das Gen, das für den Glutaminrezeptor codiert, wurde inzwischen kloniert.

## Verschaltung der Neuronen

Auch wenn sich ein ausgereiftes Hirn fortwährend plastisch zu verändern versucht, so ist sein Schaltplan insgesamt doch stabil und präzise angelegt. Wäre es anders, könnten wir weder unsere Umwelt wahrnehmen noch uns koordiniert bewegen, geschweige denn denken.

Wie präzise dieser Schaltplan ist, verdeutlicht eine fundamentale Entdeckung von Hubel und Wiesel aus den 60er Jahren. Sie stellten fest, daß Neuronen in der primären Sehrinde auf Linien oder Kanten einer bestimmten Orientierung im Gesichtsfeld ansprechen und nicht auf Lichtpunkte wie die Ganglienzellen der Netzhaut sowie die Neuronen im seitlichen Kniehöcker des Thalamus. Daraus ist zu schließen, daß Neuronen der primären Sehrinde über den seitlichen Kniehöcker mit retinalen Ganglienzellen verknüpft sind, die längs einer Linie mit eben dieser bevorzugten Orientierung liegen.

Der anatomische Aufbau der wichtigsten sensorischen und motorischen Systeme in inzwischen recht genau bekannt. Die Körperoberfläche beispielsweise ist auf der hinteren Zentralwindung des Großhirns repräsentiert, in ähnlicher Weise zeigt sich eine Abbildung der visuellen Welt in der primären Sehrinde im Hinterhauptlappen. Weniger klar hingegen ist das Verschaltungsmuster innerhalb der beteiligten Assoziationsfelder und der großen subcorticalen Kerne der Großhirnhemisphären.

Wie bildet sich im Verlauf der individuellen Entwicklung diese Spezifität synaptischer Verbindungen aus? Wenn Axone aussprossen und ihren Weg wählen, tun sie dies anfangs vermutlich unabhängig von jeglicher neuronaler Aktivität. Inwieweit das genetisch festgelegte Programm sie leitet, zeigt sich in dem bemerkenswert vollständigen Schaltplan, der sich während der Embryonalentwicklung herausbildet. Sind die auswachsenden Spitzen der Axone aber erst einmal in der Bestimmungsregion angekommen, wird die Wahl des jeweiligen Zielortes durch neuronale Aktivitäten beeinflusst, die im Gehirn selbst oder durch äußere Reize ausgelöst werden. Während dieser kritischen Entwicklungsphase konkurrieren Axone möglicherweise bei der Bildung von Synapsen miteinander - begünstigt würden solche, die angemessen aktiviert sind. Auch Geschlechtshormone beeinflussen während früher Entwicklungsphasen die Bildung von Synapsen.

### **An der Schwelle zum Bewußtsein**

Der Informationsfluß im Gehirn etwa beim Denken läßt sich nicht so leicht dadurch ermitteln, daß man Schaltplan oder plastische Veränderungen untersucht. Hier spielen noch andere Prinzipien eine Rolle. Etwa der hierarchische Aufbau sensorischer Systeme: Nervenzellen reagieren auf immer abstraktere Aspekte komplexer Reize, je mehr Synapsen zwischen ihnen und dem ursprünglichen Reizort liegen. Daß bestimmte Neuronen der primären Sehrinde auf Linien statt auf Punkte reagieren, ist ein Beispiel dafür.

Ein weiteres wichtiges Prinzip ist die Parallelverarbeitung: verschiedene Merkmale einer einzigen wahrgenommenen Konstellation werden parallel über verschiedene Bahnen verarbeitet, und nicht sukzessive in einer einzigen.

Wo aber werden die Detailinformationen wieder zusammengeführt? Die Neuronen höherer Rindenzentren haben größere rezeptive Felder als die in den vorge-

schalteten Relaisstationen. Höhere Rindenneuronen überwachen einen größeren Abschnitt der Außenwelt. Eine wichtige Rolle spielen die 40-Hertz-Oszillationen im Aktivitätsmuster neuronaler Entladungen, die überall im Cortex auftreten. Diese von Wolf Singer entdeckten Oszillationen synchronisieren die Aktivität von Neuronen, die auf verschiedene Bestandteile einer wahrgenommenen Szene antworten.

Wieviele Neuronen müssen ihre Impulsrate verändern, damit einzelne Wahrnehmungskomponenten als zu einer Gestalt zusammengehörend erkannt werden? Die bisherigen Forschungsergebnisse sprechen für eine sparsame Codierung mit einer begrenzten Anzahl von Impulsmustern und nicht für eine globale oder diffuse Aktivierung.

Einblick in die Aktivitäten des lebenden menschlichen Gehirns lassen sich mit bildgebenden Verfahren wie der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) oder der Kernspintomographie erreichen. Hirnaktivitäten lassen sich damit indirekt sichtbar machen, da sie mit einem höheren Energieverbrauch und einer regional stärkeren Durchblutung einhergehen. Doch reicht das räumliche Auflösungsvermögen beider Verfahren nicht aus, einzelne Säulen in der Großhirnrinde sichtbar zu machen. Und es mangelt auch noch an der genügenden zeitlichen Auflösung.

Fortschritte sind auch auf anderen Gebieten zu erwarten. Bald werden wir wissen, wieviele Arten von Neurotransmittern und zugehörigen Rezeptoren im Gehirn existieren und auf welche Hirnregionen sie sich jeweils konzentrieren. Wir werden uns auch ein umfassenderes Bild von der Wirkweise der Transmitter, einschließlich der vielfältigen Wechselwirkungen gleichzeitig freigesetzter Modulatoren, machen können. Und wir werden weit mehr über Moleküle wissen, welche die Differenzierung oder die Degeneration von Nervenzellen beeinflussen.

Die Moleküle des Geistes sind jedoch nichts Einzigartiges. Viele der Neurotransmitter sind gewöhnliche Aminosäuren, die überall im Körper vorkommen. Neue, für das Gehirn spezifische Prinzipien oder biochemische Verbindungen haben sich weder bei der Hormonregulation noch bei trophischen Faktoren finden lassen, die das Überleben oder die Ausdifferenzierung von Nervenzellen beeinflussen. Eine große Herausforderung ist es, festzustellen, wie solche Moleküle den funktionalen Schaltplan des Gehirns abwandeln und wie der Basis dieses Nervennetzes geistige Phänomene erwachsen.

Schließlich muß man genau definieren, was es bedeutet, mentale Ereignisse seien mit elektrischen Signalen korreliert.

Jede Hirnleistung ist durch ein raumzeitliches Muster neuronaler Aktivitäten gekennzeichnet. Im Gehirn findet nicht immer nur an einer Stelle eine Aktivität statt, sondern bei einem Vorgang sind verschiedene Areale gleichzeitig aktiv, und zwar in einem spezifischen Muster. Welche Muster aber beim Sehen, Hören oder Sprechen eine Rolle spielen, ist eine gewaltige

mathematisch-kombinatorische Herausforderung. Neurobiologen, Molekulargenetiker, Informatiker, Mathematiker und Simulationsforscher arbeiten gemeinsam an diesem Problem.

Das physiologische Korrelat dieser Prozesse ist die zunehmende Vernetzung der corticalen Neuronen, wie durch David Hubel und Torsten Wiesel beschrieben. So enthalten bei der Geburt nur die tiefsten der sechs Schichten des visuellen Cortex Neuronen, aber innerhalb eines Jahres füllen sich auch die anderen Schichten mit Nervenzellen, so daß sie denen des Erwachsenen immer mehr ähneln. Die Schichten bilden zudem weitere Bahnen zu verschiedenen Gehirnstrukturen aus; so entsteht ein wunderbares komplexes Netzwerk, das auf geheimnisvolle Weise ein Bewußtsein generiert.

Dadurch, daß sich die kognitiven Fähigkeiten auf der Basis neuronaler Erregungskreise realisieren, löst sich auch der Streit um die Wertigkeit von genetischer Veranlagung und Umwelteinflüssen auf die Entwicklung des Kindes auf: durch die Gene sind die synaptischen Verbindungen zwischen den Neuronen nur grob vorprogrammiert; die konkreten Fähigkeiten, d.h. die Herstellung der Verdrahtungen, müssen erlernt werden.

Die von den spezifischen Reizmustern (z.B. Wahrnehmungen) aktivierten Module der Großhirnrinde stabilisieren diese neuronalen Muster im Laufe der Entwicklung, so daß schließlich auf Mustern basierende Seh-, Hör-, Geschmacks-, Geruchs- oder „Fühl“-Bilder der Umwelt entstehen. Die in den primären Projektionsfeldern der Hirnrinde nun präformierten Muster werden mit den jeweils eintreffenden Mustern verglichen.

In den sekundären und tertiären Assoziationsfeldern erfolgt eine Signalintegration der von den verschiedenen Sinnenssystemen eintreffenden Informationen. Mit der Entstehung eines „Objekts“ in der Hirnrinde wird eine gewisse Unabhängigkeit gegenüber perzeptorischen Signalen erreicht, das Objekt wird invariant gegenüber Änderungen des Signalfusses. So kann die Farbe eines Gegenstandes unter verschiedenen Beleuchtungsbedingungen zwar unterschiedlich wahrgenommen werden, wird aber trotzdem als konstant erachtet. Ähnlich verhält es sich mit der Form und Größe eines Objekts.

Auf einer höheren Verarbeitungsstufe bedingen diese Phänomene eine Abstrahierung der Gegenstände und Objekte: verschiedene Objekte mit gleichen oder ähnlichen Eigenschaften werden unter einem Oberbegriff, einer „Objektklasse“, eingeordnet. Und schließlich erfolgt eine symbolische Repräsentation durch die Sprache.

Möglicherweise sind die Muster der Neuronennetze sprachlicher Gebilde einfacher strukturiert als die Muster der sensorischen Repräsentationen, so daß die Sprache das ökonomischere Prinzip als die Wahrnehmung darstellt, zumindest was die Bildung von „Objektklassen“ betrifft. Diese Entwicklung fördert die Fähigkeit zur Generalisation und Abstraktion.

## **Bewußtsein - ein evolutionäres Phänomen ?**

Das Gehirn ist das Zentralorgan der Nervenregulation. Es ist das Ergebnis vieler Jahrmillionen der Evolution, in denen sich seine Funktionen entwickelt und optimiert haben. Andererseits läßt sich immer genauer erkennen, wie bei jedem Neugeborenen die von den Genen bestimmte Hirnstruktur sich aufgrund von Erfahrung auf die Erfüllung höherer Funktionen hin entwickelt und sich selbst organisiert.

Ist der Geist eine emergente, sich sozusagen von selbst ergebende Eigenschaft der elektrischen und der Stoffwechselaktivität des Gehirns? Eine solche Eigenschaft, die aus dem Zusammenspiel verschiedener Ebenen einer Organisationsstruktur hervorgeht, ließe sich nicht allein damit erklären, daß man alle ihre Teilaspekte getrennt betrachtet. Erst aus der Deutung des Zusammenwirkens der neurobiologischen Befunde kann sich ein kohärenter Begriff dessen ergeben, was Bewußtsein oder Geist ist.

Ist Bewußtsein durch den Dialog des Gehirns mit der Natur und der Kommunikation mit anderen Gehirnen zu erklären? Und vor allem: welche evolutionäre Funktion hatte die Entwicklung des Bewußtseins? Sollten durch geistige Simulationen, gewissermaßen Spielzeugprozesse, reale physikalische Versuche ersetzt werden, um effektiver und ökonomischer funktionieren zu können? Programme und Automatismen spielen in unserem Gehirn eine große Rolle, ist vielleicht die Manipulation der Natur durch die Technik der entscheidende Zweck der Bewußtseinsphäre? Daß wir muskuläre und geistige Arbeit durch Werkzeuge, Maschinen, Automaten, Roboter und Computer durchführen lassen, ist vielleicht die anthropologische Entsprechung der evolutionsgeschichtlichen Tatsache, daß das Leben seine Umwelt veränderte. Anpassung an das Bestehende ist nur ein kleiner Teil der Wahrheit, wirkliche Kreativität ergibt sich nicht aus Anpassung, sondern aus Veränderung des Bestehenden. Ist Bewußtsein ein negentropischer Impuls, der immanent in der Natur enthalten ist, ja ohne den der Kosmos öd und leer wäre?