

Nr. 1/2002
€ 7,90/15,40 sfr

Gehirn & Geist

Spektrum
DER WISSENSCHAFT

Das Magazin für Hirnforschung und Psychologie

www.gehirn-und-geist.de

Die Psychologie
der Werbung

Musik im Kopf

Das Gedächtnis
der Fliege

TITELTHEMA

Auf der Suche nach dem

Bewusstsein

D57525



4 1937521507900



Reinhard Breuer
Chefredakteur

Reise ins Innere unseres Geistes

„DIE NEUGIER DES MENSCHEN, etwas über sich selbst zu erfahren, ist unstillbar“, notierte einst Aristoteles. Der Vordenker des Abendlandes wählte den Sitz der menschlichen Seele im Herz. Zwar fühlt sich dies manchmal auch für uns noch so an – allerdings wissen wir es inzwischen besser: Sitz von Geist und Verstand, von Gefühl und Bewusstsein ist unser Gehirn.

Das Organ, das unseren Kopf ausfüllt, ist das komplexeste Gebilde im Universum – was sich auch daran erkennen lässt, dass Wissenschaftler erst wesentliche Geheimnisse des Mikro- und Makrokosmos enthüllten, bevor sie auch nur ansatzweise erkannten, was „tief in unserem Innern“, in unserem Gehirn also, eigentlich vor sich geht.

Jetzt aber scheint die Zeit reif zu sein. Neue wirksamere Methoden und Daten sprengen bisherige Dimensionen der Erkenntnis. Und so können auch alte Fundamentalfragen wieder neu gestellt werden: Was ist Bewusstsein? Haben wir einen freien Willen? Wie kann das Zusammenspiel von Nervenzellen Gedanken und Gefühle hervorbringen? Werden uns einmal Roboter in unserer Kreativität mit künstlicher Intelligenz überrunden?

»Die Geheimnisse des Menschen und seines Ichs ergründen«

Nein, keine Illusionen: Endgültige Antworten auf diese Probleme werden Sie auch hier nicht finden. Dennoch bestimmen diese Leitfragen das Programm unseres neuen Magazins „Gehirn & Geist“. Mit ihnen können Sie – sozusagen mit dem Blick über die Schulter der Forscher – in die Geheimnisse des Menschen und seines Ichs vordringen, auf dem Weg zu neuen Einsichten in alte Probleme, mit weitreichenden Konsequenzen auch für Ihr ganz persönliches Bild von sich selbst.

DAS MAGAZIN „GEHIRN & GEIST“ wird von der dafür erweiterten Redaktion von „Spektrum der Wissenschaft“ herausgegeben. In bewährter Spektrum-Tradition berichten hier führende Wissenschaftler über die aktuellen Erkenntnisse im Forschungsfeld von Hirnforschung, Psychologie, Neurologie und Künstlicher Intelligenz.

Es ist uns gelungen, für den Fachbeirat von „Gehirn & Geist“ renommierte Wissenschaftler zu gewinnen: die Hirnforscher Wolf Singer (Max-Planck-Institut für Hirnforschung in Frankfurt/Main) und Gerhard Roth (Universität Bremen), die Psycholinguistin Angela Friederici (Max-Planck-Institut für neuropsychologische Forschung in Leipzig), Henning Scheich vom Leibniz-Institut für Neurobiologie in Magdeburg sowie Wolfgang Wahlster vom Deutschen Forschungsinstitut für Künstliche Intelligenz in Saarbrücken. Ihr Rat wird in diesem Magazin von Anfang an sichtbar – damit Sie teilnehmen können an der spannenden Reise ins Innere unseres Geistes. ◆

ANZEIGE



TITELTHEMA

AUF DER SUCHE NACH DEM BEWUSSTSEIN

- BIOLOGIE DES BEWUSSTSEINS **38**
- PHILOSOPHIE DES BEWUSSTSEINS **48**
- KÜNSTLICHES BEWUSSTSEIN? **54**

RUBRIKEN

- | | | |
|---|---|---|
| <p>EDITORIAL 3</p> <p>KOMPAKT</p> <p>HELPER AUS DEM STADION 6
Fußballroboter bergen Katastrophenopfer</p> <p>HIRNAUSFÄLLE FÜR ALLE! 9
Wie man bei gesunden Menschen Hirnschädigungen simulieren kann</p> <p>EIN KAMEL IST KEINE PALME 11
Wie das Gehirn ein Objekt als Ganzes wahrnimmt</p> <p>SEELENPEIN IN DER MASCHINE 14
„Emotionale Hirnregionen“ und moralische Entscheidungen</p> <p>ANGEMERKT! 8
Hochbegabtenförderung? Aber sicher!</p> <p>QUERGEDACHT 13
Schlangestehen nach dem 11. September 2001</p> | <p>GEISTESBLITZE 16
u. a. Verliebte Präriemäuse
Neuronen löschen das Gedächtnis</p> <p>INTERNET 36
Bewusstseinsforschung im Netz</p> <p>PROFIL 37
Henning Scheich</p> <p>EVENT 56
Künstliche Intelligenz und Robotik in Paderborn</p> <p>QUERGEDACHT 63
Quantentelepathie</p> <p>PROFIL 79
Wolfgang Wahlster</p> <p>NEWCOMER 88
Wenn es um Gefühle geht, ist weibliche Sprachverarbeitung effizienter</p> <p>CAMPUS 91
Neurowissenschaften in Magdeburg</p> | <p>BESSER DENKEN 92
Gehirntraining mit Birkenbihl</p> <p>PROFESSIONAL 95
Das Suchtgedächtnis löschen</p> <p>KRITIK 96
Bücher und mehr</p> <p>IMPRESSUM 98</p> <p>VORSCHAU 98</p> |
|---|---|---|

Gehirn & Geist

... ist das neue Magazin für Hirnforschung und Psychologie aus dem Hause Spektrum der Wissenschaft. Führende Experten berichten über die Welt in unserem Kopf.

www.gehirn-und-geist.de



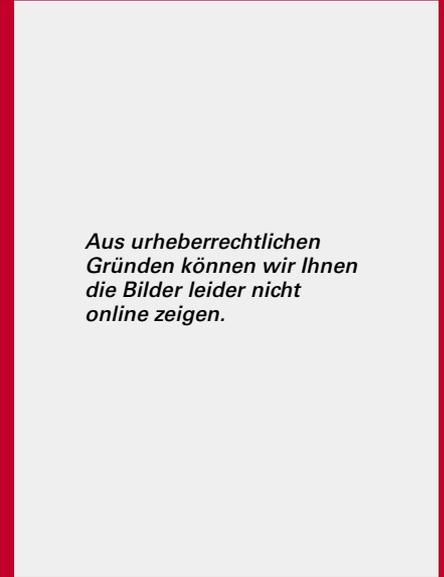
**GESCHICHTE
 DER HIRNFORSCHUNG**

64



**PSYCHOLOGIE
 DER WERBUNG**

26



*Aus urheberrechtlichen
 Gründen können wir Ihnen
 die Bilder leider nicht
 online zeigen.*

**GEDÄCHTNIS
 DER FLIEGE**

72

THEMEN

■ **MUSIK IM KOPF**

Von Eckart Altenmüller
 Vom Ohr ins Hirn: Wie aus Schallwellen Songs
 und Sinfonien werden

18

■ **SUBTILE MÄCHTE**

Von Arnd Florack und Martin Scarabis
 Immer wieder gehen wir ihr auf den Leim. Was macht
 Werbung erfolgreich und uns so anfällig für sie?

26

TITELTHEMA

■ **AUF DER SUCHE NACH DEM BEWUSSTSEIN**

GLEICHTAKT IM NEURONENNETZ
Von Gerhard Roth
 Können Neurobiologen die Frage nach dem
 Wesen unseres Bewusstseins beantworten?

38

VON FLEDERMÄUSEN UND DER FREIHEIT DES WILLENS
Von Michael Pauen
 Wie neurobiologische Erkenntnisse das
 menschliche Selbstverständnis betreffen

48

ROBOTER MIT SELBSTERKENNTNIS?
Interview mit Thomas Christaller
 Robotik hat Perspektive. Doch Deutschland
 verschläft den Start

54

■ **DER BÄR IM HÖHLENEINGANG**

Von Hermann Englert
 Für unsere Vorfahren überlebenswichtig, verursacht
 Stress heute viele Zivilisationskrankheiten

58

■ **VOM LOCH IM KOPF ZUM NEURON**

Von Robert-Benjamin Illing
 Schon seit der Antike wird
 das menschliche Gehirn erforscht

64

■ **ERINNERUNGEN EINER FLIEGE**

Von Raphaël Hitier, Florian Petit und Thomas Prémat
 Ihr Gehirn ist kleiner als ein Stecknadelkopf. Erinnern kann sich
Drosophila damit jedoch bestens

72

GEFÜHLSWELT

■ **SCHRECKEN IM GEHIRN**

Von Rüdiger Vaas
 Was im Kopf passiert, wenn die Angst kommt

80

Briefe an die Redaktion richten Sie bitte
 mit Ihrer vollständigen Adresse an:
 Gehirn & Geist
 Ursula Wessels
 Postfach 10 48 40 · 69038 Heidelberg
 E-Mail: wessels@spektrum.com
 Fax: (06221)9126-729

Titelbild: Linda S. Nye / Mauritius

ROBOTIK

HELFER AUS DEM STADION

Seit einigen Jahren schon spielen Roboterteams um die Fußballweltmeisterschaft. Jetzt ist eine ganz neue Liga angesagt: Katastrophenhilfe!

VON BERNHARD NEBEL

Was haben Fußball und Katastrophen miteinander zu tun? Nein, es geht nicht um den derzeitigen Zustand der deutschen Nationalmannschaft. Fußball und Rettungsaktionen in Katastrophenfällen sind nämlich zentrale Themen der Robotikforschung: Sie haben sich zu den Feldern entwickelt, auf denen die Roboterkonstrukteure in internationalen Forschungswettbewerben ihre Kräfte messen.

Das Interesse an Situationen, in denen kooperatives Handeln und Eigenbewegung in einem überraschungsreichen Umfeld gefragt sind, kommt nicht von ungefähr: Während die Maschinen bei abstrakt-intellektuellen Aufgaben wie dem Schachspiel bereits Weltmeisterniveau erreichen, bleiben sie hinter dem Menschen kläglich zurück, wenn es darum geht, Bilder zu verstehen, Sprache zu verarbeiten oder sich situationsgerecht zu bewegen.

Was liegt also für Robotikforscher näher, als sich körperbetonten Spielen zuzuwenden? Entsprechend etablierten der Gründer und Präsident des RoboCup, Hiroaki Kitano, und seine Kollegen 1997 Fußball als neue Herausforderung für die Künstliche Intelligenz und benachbarte Gebiete. Dahinter verbirgt sich nicht weniger als die Vision, in fünfzig Jahren die menschlichen Fußballweltmeister mit einer Robotermannschaft zu schlagen. Das klingt vielleicht utopisch, vor allem wenn man schon einmal Robotern beim Fußballspiel zugeschaut hat. Bevor also menschenähnliche Roboter – Humanoide – auf dem Spielfeldrasen einlaufen können, sind ein paar Vorarbeiten zu erledigen. Die RoboCup-Initiative von Kitano und Mitarbeitern gründete drei Ligen, bei denen alle Spieler autonom (also nicht vom Menschen gesteuert) agieren sollten:

■ In der so genannten Simulationsliga spielen auf einem virtuellen Feld compu-

tersimulierte Spieler. Hier können die Entwickler all die Schwierigkeiten ausblenden, die echte Roboter mit dem Sehen und Laufen haben, und sich vollständig auf Aspekte des Teamspiels konzentrieren. Auch wenn die Spieler nur gelbe und rote Punkte auf einem grünen Feld sind – ein Spiel in der Simulationsliga kann bereits heute so dramatisch sein wie ein richtiges Fußballmatch.

■ In der so genannten F180-Liga spielen pro Mannschaft fünf Roboter mit einer Grundfläche von jeweils etwa 180 Quadratzentimetern auf einer Tischtennisplatte gegeneinander. Dabei erhalten alle Roboter ihre Informationen im Wesentlichen über eine fest über dem Spielfeld angebrachte Kamera; eine unrealistisch einfache Situation. Trotzdem haben die Konstrukteure gegenüber der Simulationsliga mit vielen Problemen sowohl bei der Interpretation der Informationen als auch bei der Aktionsausführung zu kämpfen.

■ In der F2000-Liga treten pro Mannschaft vier Roboter mit einer Grundfläche von jeweils rund 2000 Quadratzentimetern auf einem zehn mal fünf Meter großen Feld gegeneinander an.

BEWEGUNGSARME FUSSBALLER

In dieser Liga sind die Roboter auf eigene „Augen“ angewiesen, um Informationen über ihre Umgebung und die Gegner zu erhalten. Welche Schwierigkeiten sich in einer solchen Situation ergeben können, konnten die Zuschauer 1997 beim ersten internationalen RoboCup-Wettbewerb studieren: Meist bewegten sich die Roboter nämlich überhaupt nicht! Und wenn sie sich in Gang setzten, dann in der Regel vom Ball weg. Fuhren die Roboter tatsächlich einmal zum Ball hin, schubsten sie ihn meistens in die falsche Richtung. Eines der Spiele endete 2:2; hier hatte allerdings ein Team alle Tore

geschossen. Aber die Zeiten ändern sich: Mittlerweile hat sich das Spielniveau dramatisch verbessert.

Seit 1999 gibt es zusätzlich noch die Liga der vierbeinigen Aibo-Roboter der Firma Sony sowie eine Liga für Schüler, in der Lego-Roboter kicken. In diesen Spielklassen ist die Hardware vorab festgelegt. Dies erlaubt, gezielt die Software der Teilnehmer zu vergleichen. Und die Pläne gehen weiter: In den kommenden Jahren soll nun auch eine Liga für zweibeinige Roboter eingerichtet werden.

Wie bringt man Roboter nun dazu, Fußball zu spielen? Die eigentliche Herausforderung besteht darin, dass ein Fußballroboter sehr viele verschiedene Fähigkeiten in sich vereinen muss. Zunächst benötigt er Sensoren zur Aufnahme von Umgebungsinformationen. Mit diesen ortet er nicht nur den Ball, sondern bestimmt auch seine eigene Position und die seiner Mitspieler und Gegner. Außerdem muss er über Bauelemente verfügen (die „Aktorik“), mit denen er auf dem Spielfeld handeln, insbesondere sich schnell bewegen und den Ball führen kann.

Der CS Freiburg ist der Roboter-Fußballverein des Instituts für Informatik der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. CS steht für Computer Science, ist aber auch eine Anspielung auf den „menschlichen“ Fußballverein SC Freiburg. Die Spieler des CS Freiburg nutzen Techniken, mit deren Hilfe der Verein bereits drei Mal in der F2000-Liga Weltmeister wurde. Als Aktorik hat jeder Spieler zwei getrennt angetriebene Räder, eine bewegliche Ballführungseinrichtung und einen „Kicker“, der durch Federkraft angetrieben wird. Als Sensoren besitzt er eine Kamera zur Erfassung des Balls, einen Laserscanner zum Erkennen des Spielfeldrandes und der anderen Spieler sowie einen internen „Schrittzähler“, der



**DEN ERNSTFALL GEPROBT: ein Bergungsroboter auf der Suche nach Katastrophenopfern (oben).
WARTEN AUF DEN ANPFIFF: die Mannschaft des CS Freiburg vor Spielbeginn (rechts)**

die zurückgelegte Strecke feststellt. Andere Teams setzen zum Teil völlig andere Techniken ein. So gibt es Antriebe, mit denen sich der Spieler unabhängig von der eigenen Orientierung in jede Richtung bewegen kann.

SPIELER MIT HALLUZINATIONEN

Mit guter Sensorik und Aktorik allein ist es aber nicht getan. Der Roboter muss die Sensoreingaben interpretieren und die Aktorik steuern. Dazu verwendet er als „Gehirn“ einen kleinen Notebook-Computer. Als wichtigste Aufgabe muss der Spieler ständig neu entscheiden, welche Aktionen er ausführt. Dabei sind sowohl hohe Reaktionsgeschwindigkeit als auch längerfristiges Denken und Abwägen gefragt – wie beim Positionsspiel menschlicher Fußballer im Stadion. Zudem muss der Roboter mit Fehlern und Störungen im Zusammenhang mit den Sensoren und der Interpretation ihrer Daten umgehen können. So kommt es öfter vor, dass einer der Spieler einen Ball „halluziniert“, also einen Ball „sieht“, wo gar keiner ist. Ganz wie beim echten Fußball sind insgesamt sowohl die Einzelfähigkeiten, wie etwa die individuelle Ballbeherrschung, als auch das Zusammenspiel im Team von entscheidender Bedeutung.

Das Vorbild ist immer das menschliche Fußballspiel, auch wenn dabei (noch) viele Dinge außen vor bleiben. So

gibt es bislang keine Möglichkeit für Kopfbälle. Die Roboterentwickler gehen in manchen Punkten aber auch über das menschliche Fußballspiel hinaus. Im Team des CS Freiburg kommunizieren die Spieler zum Beispiel sehr intensiv über Funk. Dadurch können sie unter anderem die einzelnen Positionen besser abschätzen und eigene oder fremde „Halluzinationen“ erkennen. Außer bei der Wahrnehmung ist Zusammenarbeit vor allem bei der Durchführung von Aktionen wesentlich. So kann jeder Spieler eine Rolle erhalten, die abhängig von der Situation auf dem Feld einer bevorzugten Position auf dem Spielfeld entspricht. Diese Rollenaufteilung ist jedoch nicht festgelegt, sondern sehr anpassungsfähig. Jeder Spieler berechnet für sich, welchen Nutzen er in jeder Rolle dem Team bringen könnte, und sendet die Ergebnisse an seine Mitspieler. Auf dieser Grundlage wählt jeder Spieler dann die Rolle mit dem größten Gesamtnutzen – unter der Annahme, dass dies auch seine Mitspieler tun. So können andere Teammitglieder die Funktion bewegungsunfähiger oder vom Platz gestellter Roboter übernehmen.

Die beim RoboCup entwickelten Techniken können aber auch in anderen Umgebungen und Anwendungen eingesetzt werden. Inzwischen ist nämlich ein weiterer Wettbewerb gegründet worden, der auf viele Ideen des Roboterfußballs

zurückgreift. Es handelt sich um den RoboCup-Rescue-Wettbewerb, die Simulation robotikgestützter Rettungsaktionen.

Katastrophenszenarien sind eine ideale Einsatzmöglichkeit für hoch entwickelte Roboter. Wenn etwa nach einem schweren Erdbeben Verschüttete in den Trümmern einsturzgefährdeter Häuser zu suchen und zu bergen sind, möchte man lieber Roboter in die Gefahrenzonen schicken als menschliche Rettungsmannschaften. Wie beim Fußball ist auch hier die Koordination mehrerer Roboter wichtig. Allerdings sind es beim RoboCup-Rescue sehr viel mehr, zwischen hundert und tausend statt vier wie beim F2000-Fußball.

ROBOTER ALS BRANDLÖSCHER

Daher spielen Logistik und Langzeitplanung eine viel größere Rolle. Wissenschaftler sprechen von „Multi-Roboter-Systemen“ oder auch allgemeiner von „Multi-Agenten-Systemen“. In der KI-Forschung sind Agenten materielle oder simulierte Einheiten, die ihre Umgebung wahrnehmen und selbstständig Handlungen ausführen.

Wie beim Roboterfußball finden die Rettungsaktionen in simulierten oder in realen Umgebungen statt. Die Simulationen umfassen ganze Städte, während reale Umgebungen nur aus wenigen Räumen bestehen. Der RoboCup-Rescue ▶

cue-Wettbewerb fand erstmals Anfang August 2001 statt. Hierbei mussten die Roboterteams in möglichst kurzer Zeit verschiedene Aufgaben lösen, zum Beispiel Verletzte finden oder Brandherde löschen. In der Simulationsliga gewann Takeshi Morimoto von der University of Electro-Communications Japan, in realen Umgebungen fanden nur Demonstrationen ohne Punkteverteilung statt.

Anders als der Roboterfußball waren die RoboCup-Rescue-Wettbewerbe aber keine Publikumsmagneten, vermutlich weil die Zuschauer mit den Regeln von vornherein weniger vertraut waren. Zudem findet hier auch kein direkter sportlicher Kampf zweier Teams gegeneinander statt. Wissenschaftlich weisen diese Wettbewerbe aber genau in die richtige Richtung. Sie zeigen zum einen die Synergien, die bei verschiedenen Multi-Robot-Anwendungen auftreten können. Vor allem aber ist der praktische Nutzwert offensichtlich.

Schließlich kann jeder von uns einmal in eine Situation geraten, in der sein Leben von der Leistungsfähigkeit von Rettungsmannschaften abhängt. Und vielleicht sind Roboterteams schon bald die besseren Bergungshelfer! ◆

BERNHARD NEBEL ist Professor für Informatik an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
nebel@informatik.uni-freiburg.de

Literaturtipps

BURKHARD, H.-D. ET AL.: Computer spielen Fußball. Spektrum der Wissenschaft 1/1998, S. 20.

KITANO, H. ET AL.: RoboCup: A challenge problem for AI. The AI Magazine, 18 (1), 1997: S. 73.

KITANO, H. ET AL.: RoboCup Rescue: Search and rescue in large-scale disasters as a domain for autonomous agents research. In: Proceedings of IEEE Conference on Man, Systems, and Cybernetics (SMC-99), 1999.

WEIGEL, T. ET AL.: CS Freiburg: Doing the right thing in a group. In: Stone, P. et al. (Hg.), RoboCup-2000: Robot Soccer World Cup IV, S. 52. Berlin: Springer 2001.

Weblinks

www.cs-freiburg.de
www.robocup.org



ULRICH KRAFT
 Mediziner und freier Wissenschaftsjournalist, Wien

**HOCHBEGABTENFÖRDERUNG?
 ABER SICHER!**

SEIT JAHREN SCHON droht der deutschen Fußballnationalmannschaft der Absturz in die Zweitklassigkeit – auch wenn die Qualifikation für die WM 2002 gerade noch einmal geschafft wurde. Bei allen Schuldzuweisungen – einig ist Fußballdeutschland in der zentralen Diagnose: Bund und Vereine haben die Nachwuchsarbeit vernachlässigt; hier verpasste der Weltmeister von einst den Anschluss an die internationale Entwicklung.

Echte und selbst ernannte Experten fordern Gegenmaßnahmen: Scouts müssen auf die Schulhöfe, um Ausschau nach kleinen Beckenbauern zu halten; Spezialinternate sollen aus ballbegabten Pimpfen Profis von Format zimmern. „Talente finden und fördern!“ lautet allenthalben die Devise.

Wenn es die Kinder nicht in den Beinen, sondern im Kopf haben, sieht die Großwetterlage komplett anders aus. Geschätzte 300 000 6- bis 16-Jährige verfügen in Deutschland über einen Intelligenzquotienten von 130 und mehr – ein enormes geistiges Potenzial. Sie könnten einmal die jungen Spitzenkräfte sein, nach denen Gesellschaft und Wirtschaft schon heute mindestens ebenso händeringend verlangen wie die Fußball-Sachverständigen nach neuen „Führungsspielern“. De facto sind sie aber die Stiefkinder der deutschen Bildungspolitik. Spezialschulen, die dem ausgeprägten Wissensdrang der Hochbegabten das nötige Futter bieten, gibt es nur wenige. Meist langweilen sich die Talente an normalen Gymnasien, und nicht selten entläßt sich die chronische Unterforderung in massiven psychischen Problemen. Nach einer Odyssee durch die Schulbehörden bleibt vielen verzweifelten Eltern nichts anderes übrig, als ihre begabten Kinder in Länder zu schicken, wo man außergewöhnlichen Fähigkeiten aufgeschlossener begegnet. Hat Deutschland seinen intelligenten Nachwuchs etwa nicht nötig? Warum eigentlich führen wir die Debatte um die Greencard?

HOCHBEGABTE ZU UNTERSTÜTZEN gilt bis heute vielen Eltern, Pädagogen und Schulpolitikern als ungerecht oder sogar undemokratisch. Die Kinder seien durch ihre besondere Intelligenz ja bereits privilegiert genug. Wer sich bislang zur Hochbegabtenförderung bekannte oder sie gar aktiv einforderte, stand schnell unter dem Verdacht, Eliten schaffen zu wollen und den Gleichheitsanspruch des Bildungssystems bewusst zu unterminieren. Immerhin darf mittlerweile wieder von Eliten gesprochen werden!

Reich, schlau, erfolgreich hüben – arm, dumm und zu nichts zu gebrauchen drüben. Diese gedanklichen Koalitionen verhindern auch heute noch eine sachliche Förderdiskussion. Doch solange die Gesellschaft den individuellen Fähigkeiten eines Menschen nicht vorbehaltlos begegnet, bleibt es schwer, sein Potenzial voll zu entfalten.

Wer konkurrenzfähig bleiben will, muss seine Ressourcen optimal nutzen. Schon jetzt lähmt ein eklatanter Mangel an hoch qualifizierten Fachkräften die wirtschaftliche Entwicklung, und die aufrückenden geburtenschwachen Jahrgänge werden das Problem nicht lösen. Große Begabungen nicht zu fördern ist ein sträflicher Luxus, und Deutschland kann ihn sich nicht leisten. Außerdem ist diese Haltung unfair, denn die viel propagierte Chancengleichheit besteht ja nur dann, wenn auch hoch begabte Kinder die Möglichkeit haben, ihre Fähigkeiten zu entfalten. Sonst ist die Gleichmacherei nichts anderes als Diskriminierung!

IN MANCHEN KÖPFEN SETZT SICH LANGSAM DURCH, dass auch die Besten ein Recht auf die für sie beste Bildung haben. So erklärte Bildungsministerin Bulmahn das Finden und Fördern von Begabungen zu einem zentralen Ziel ihrer Politik. Doch die pure Absicht löst nicht das Problem. Alle reden von der Wissensgesellschaft, doch Intelligenz und Talent werden in Deutschland eher gefürchtet als geschätzt. Höchstes Gut ist die Durchschnittlichkeit. Wie sonst ließe sich erklären, dass über achtzig Prozent der Eltern auf keinen Fall ein besonders begabtes Kind wollen? Schlechtes Klima für kluge Köpfechen!

Die Amerikaner bezeichnen besonders intelligente Kinder als „gifted“ – beschenkt. Wenn nicht auch wir schleunigst lernen, diese Geschenke anzunehmen, geht unsere Gesellschaft den Gang, der im Fußball längst droht: in die Mittelmäßigkeit.

HIRNAUSFÄLLE FÜR ALLE!

Ein neues Verfahren erlaubt es, Teile der Hirnrinde kurzzeitig „abzuschalten“. Überraschenderweise kann sich die visuelle Wahrnehmung dabei sogar verbessern.

VON CLAUS C. HILGETAG

Stellen Sie sich vor, die halbe Welt ist plötzlich verschwunden. Genauer gesagt: Die linke oder rechte Seite des Raumes existiert für Sie einfach nicht mehr. Sie lassen das halbe Essen unberührt. Vor dem Spiegel rasieren oder schminken Sie nur eine Seite Ihres Gesichts. Sie waschen nur eine Körperhälfte und können sich nicht selbst anziehen, denn Sie finden Ihren linken Arm nicht mehr ...

Nur ein surreales Gedanken-Experiment? Für manche Menschen wird es böse Wirklichkeit. Denn ein Schlaganfall, ein Hirntumor oder eine Schädelverletzung können Hirnschädigungen verursachen, die solche Symptome hervorrufen. Diese so genannten „Neglect“-Patienten ignorieren alle Gegenstände auf der Seite, die der geschädigten Hirn-

hälfte gegenüberliegt. In extremen Fällen ist sogar das Körpergefühl betroffen. So beschrieb der amerikanische Neurologe Oliver Sacks einen Patienten, der aufwachte, und entsetzt ein „fremdes“ Bein in seinem Bett fand.

WAHRNEHMUNGSSTÖRUNGEN

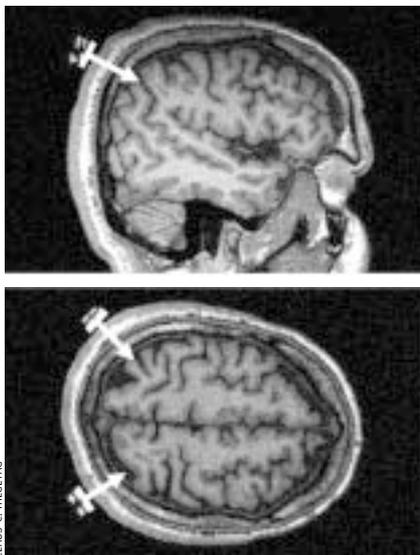
Solche Phänomene ermöglichen Forschern einen faszinierenden Einblick in die neuronalen Mechanismen einer essenziellen Hirnfunktion: der räumlichen Aufmerksamkeit. Wir sind auf ihr fehlerfreies Funktionieren angewiesen, um uns schnell im Raum zu orientieren, Essen zu finden, sicher die Straße zu überqueren. Größere Defizite führen zu den schwer wiegenden Handicaps, unter denen Neglect-Patienten leiden.

Für systematische Studien eignen sich krankheitsbedingte Hirnschädigungen allerdings kaum, weil sie das Gehirn nicht örtlich begrenzt, sondern großräumig in Mitleidenschaft ziehen. Auch lässt sich nicht vorhersehen, wann eine Schädigung auftritt; ein Vergleich von „Vorher“ und „Nachher“ ist somit ausgeschlossen.

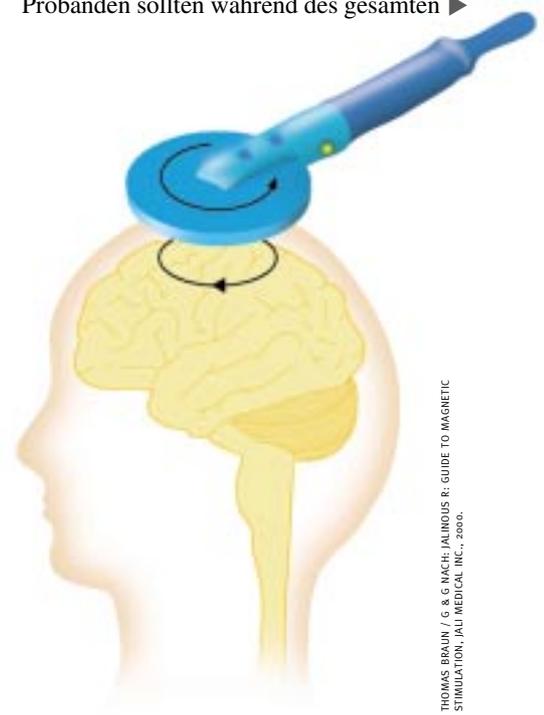
Ein neuer Forschungsansatz überwindet diese Hindernisse. Mit der so genannten transcranialen Magnetstimulation (TMS) lassen sich die Folgen einer Hirnläsion bei gesunden Versuchspersonen gezielt und wiederholt simulieren. Mittels einer mobilen Spule wird dabei ein starkes und schnell wechselndes Magnetfeld erzeugt, das durch den Schädel der Versuchsperson dringt. Dieses Feld induziert in oberflächlichen Hirnregionen vorübergehend einen Strom, der Gruppen von Neuronen erregt und damit lokal die normale Arbeit des Gehirns stört. Wird die Magnetstimulation einige Minuten lang einmal pro Sekunde wiederholt, kommt es zu einer kurzzeitigen Deaktivierung der entsprechenden Areale. Stark vereinfacht gesagt, „stumpfen“ die entsprechenden Neuro-

nen vorübergehend ab. Wie die Beobachtungen verschiedener Forschergruppen bestätigen, reduziert eine derartige repetitive Stimulierung die normale Erregbarkeit der Nervenzellgruppen auch noch mehrere Minuten über das Stimulationsende hinaus.

In einer Studie am Beth Israel Hospital in Boston nutzten wir kürzlich diese Methode, um die räumliche Aufmerksamkeit bei Menschen zu untersuchen. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, immer dann eine Taste zu drücken, wenn sie auf einem Monitor ein winziges Rechteck wahrnahmen. Die Probanden sollten während des gesamten



Die Pfeile bezeichnen die Orte im Scheitellappen, die während des Experimentes stimuliert wurden (entweder rechts oder links). oben: seitliche Ansicht; unten ein horizontaler Querschnitt



MAGNETSTIMULATION: Das magnetische Wechselfeld der Spule dringt durch den Schädel ins Gehirn und induziert dort lokal einen Stromfluss, der die normale neuronale Aktivität stört.

THOMAS BRAUN / G. & G. MACH; ILLINOIS R. GUIDE TO MAGNETIC STIMULATION, JALI MEDICAL INC., 2000.

Aus urheberrechtlichen Gründen können wir Ihnen die Bilder leider nicht online zeigen.

Experiments das Zentrum des Monitors fixieren, während die visuellen Stimuli am Rande ihres Gesichtsfeldes erschienen. Dieser Aufmerksamkeitstest ist vielleicht mit der Alltagssituation zu vergleichen, in der jemand die Straße überqueren will und sich plötzlich ein Fahrzeug aus der Peripherie nähert. In den Versuchen waren die Rechtecke so klein und ihre Präsentationszeiten so kurz, dass alle Teilnehmer immer nur eine begrenzte Anzahl in einem Testdurchlauf wahrnehmen konnten.

WETTSTREIT DER HEMISPHÄREN

Als TMS-Stimulationsort wählten wir ein Areal im Scheitellappen (Parietalcortex), eine Hirnregion, die vermutlich an Aufmerksamkeitsmechanismen beteiligt ist. Nach zehnjähriger Magnetstimulation wurde der Test wiederholt. Tatsächlich zeigten die Teilnehmer leichte Neglect-Symptome: Rechtecke im Gesichtsfeld gegenüber der stimulierten Hirnhälfte nahmen sie seltener wahr als vorher. Wir machten jedoch weitere überraschende Beobachtungen: Die Wahrnehmung dieser Seite verschlechterte sich noch mehr, wenn gleichzeitig visuelle

Stimuli in der unversehrten Hälfte des Gesichtsfeldes präsentiert wurden. Zudem nahmen die Versuchspersonen im intakten Feld bemerkenswerterweise mehr Einzelreize wahr als vor der Magnetstimulation. In der unstimulierten Hirnhälfte hatte sich die Wahrnehmung also verbessert.

Dieses paradox anmutende Ergebnis lässt sich mit einem Modell verstehen, in dem Hirnregionen der linken und rechten Hemisphäre miteinander im „Aufmerksamkeits-Wettbewerb“ stehen. Eine Hirnhälfte unterdrückt die Aktivität der anderen, und zwar um so stärker, je aktiver sie selbst ist. Werden die Regionen beispielsweise rechts geschwächt, wird die linke Hemisphäre teilweise von ihrer normalen Hemmung durch die rechte befreit, sodass sie übernormale Aktivität entwickeln kann.

Eine Reihe von Befunden bei Mensch und Tier legt inzwischen nahe, dass ein solcher „Wettstreit“ zwischen verschiedenen Hirnarealen vielleicht sogar ein generelles Funktionsprinzip ist. Auf diese Weise teilt das Gehirn möglicherweise neuronale Ressourcen optimal zu. Der Sinn könnte aber auch in einer

Im Wettbewerb um die räumliche Aufmerksamkeit hemmen sich die zuständigen Areale der beiden Hirnhälften gegenseitig. Wird rechts per Magnetstimulation deaktiviert, „gewinnt“ die linke Hemisphäre. Das linke visuelle Feld wird dann schlechter und das rechte besser als zuvor wahrgenommen.

Signalverstärkung liegen: Stimuli, die in der „gewinnenden“ Hirnregion repräsentiert sind, werden verstärkt, die in der „verlierenden“ Region abgeschwächt.

Es mag bizarr scheinen, Hirnschädigungen bei gesunden Testpersonen zu simulieren. Wer will schon Teile seines Gehirns zeitweilig deaktiviert wissen, auch wenn die magnetische Stimulierung schmerzlos ist? Die mit Forschern der Harvard Medical School und uns selbst als Teilnehmern gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass solche systematischen Deaktivierungsstudien wesentlich zur Klärung von Funktionsprinzipien des Gehirns beitragen können. Dies weckt die Hoffnung, künftig einmal bei hirngeschädigten Patienten die Balance und den normalen Wettbewerb zwischen Regionen beider Hirnhälften wiederherstellen zu können. Eine weitere medizinische Anwendung der transcranialen Magnetstimulation liegt in der Behandlung schwer depressiver Menschen. Die Therapie wird gegenwärtig klinisch erprobt. ◆

CLAUS C. HILGETAG hat Biophysik in Berlin und in Edinburgh, Oxford, Newcastle und Boston Neurowissenschaften studiert. Er ist Assistant Professor of Neuroscience an der neu gegründeten International University Bremen.
C.Hilgetag@iu-bremen.de

Literaturtipps

HILGETAG, C.C., THÉORET, H., PASCUAL-LEONE, A.: Enhanced visual spatial attention ipsilateral to rTMS-induced „virtual lesions“ of human parietal cortex. *Nature Neuroscience* 4; 2001: S. 953.

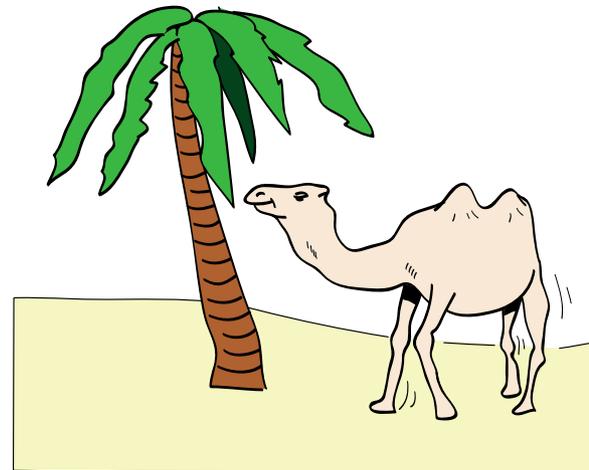
RAFAL, R.: Virtual neurology: *Nature Neuroscience* 4; 2001: S. 862.

SACKS, O.: Der Mann, der seine Frau mit einem Hut verwechselte. Berlin: Rowohlt 1990.

EIN KAMEL IST KEINE PALME

Was sehen Sie auf dem Bild rechts? Scheinbar einfach: eine Palme und ein Kamel. Aber wie schafft Ihr Gehirn es, das Tier und den Baum getrennt voneinander wahrzunehmen und ihnen die richtigen Merkmale zuzuordnen?

VON MICHAEL H. HERZOG, UDO ERNST UND CHRISTIAN W. EURICH



Ein Kamel tragt in der Wüste an einer Palme vorbei. Ein Beobachter dieser Szene würde Folgendes wahrnehmen: Ein Kamel tragt in der Wüste an einer Palme vorbei.

Das ist erstaunlich – zumindest aus neurowissenschaftlicher Sicht. Die Forschung der letzten Jahrzehnte hat gezeigt, dass unser Gehirn ein wahrzunehmendes Objekt keineswegs als Ganzes verarbeitet. Stattdessen beschäftigen sich verschiedene Teile des Gehirns parallel mit den verschiedenen Merkmalen des Objekts, beispielsweise mit seinem Ort, seiner Farbe, Form oder Bewegung. Demnach könnte es sein, dass wir bei einem Kamel Bewegung und Farbe losgelöst von seiner Form wahrnehmen. Warum dies jedoch nicht der Fall ist und wie das Gehirn die unterschiedlichen Merkmale eines Objekts wieder zu einem Gesamteindruck zusammenfügt, ist bis heute unverstanden und von Forschern als „Bindungsproblem“ gefürchtet: Wie bindet sich ein Merkmal an „sein“ Objekt?

Noch komplizierter wird es, wenn wie bei Kamel und Palme in einer Szene mehrere Objekte gleichzeitig vorhanden sind. Könnten in diesem Fall Merkmale nicht versehentlich den falschen Objekten zugeordnet werden? Warum eigentlich erscheint uns das Kamel nicht grün, wieso tragt nicht die Palme? Auch wenn es unglaublich klingt, derartige „Fehlbindungen“ können in psychophysischen Versuchen tatsächlich provoziert werden.

In unseren Arbeitsgruppen an der Universität Bremen haben wir ein Experiment entwickelt, mit dem wir diese Fragen systematisch untersuchen können. Den Versuchspersonen werden dabei für Sekundenbruchteile sehr kleine Sehreize gezeigt, die das Sehsystem an die Grenzen seiner Leistungsfähigkeit treiben. Unter solchen Umständen kön-

nen Fehlleistungen auftreten, und dann beginnen Palmen unter Umständen tatsächlich zu traben.

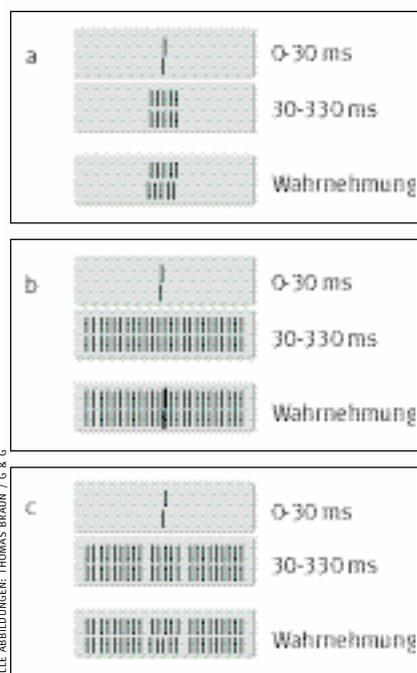
DAS EIGENLEBEN DER MERKMALE

Ein typisches Experiment ist unten gezeigt. Allen Versuchspersonen präsentieren wir auf einem Bildschirm zunächst für etwa dreißig Millisekunden zwei minimal gegeneinander versetzte kleine Balken, einen so genannten Nonius, benannt nach dem portugiesischen Mathematiker P. Nunes (1492–1577). Anschließend zeigen wir ihnen für eine Zeitspanne von 300 Millisekunden ein Gitter aus fünf unversetzten Doppelbalken. Bei dieser raumzeitlichen Anordnung der Reize bemerken die Versuchspersonen nichts von der Existenz des

Nonius, sondern sehen lediglich das nachfolgende Gitter. Bemerkenswert dabei ist, dass das Gitter nun fälschlich als versetzt wahrgenommen wird. Das Merkmal der Versetzung überträgt sich also vom unbewussten Nonius auf das Gitter: Das Kamel steht, die Palme geht.

Mit Hilfe weiterer psychophysischer Experimente konnten wir zeigen, woran die Beobachter die Versetzung des Nonius festmachen, nämlich an einer der Außenkanten des Gitters, obwohl diese, wie alle Gitterelemente, gar nicht versetzt ist. Da der Nonius immer mittig dargeboten wird, muss die Versetzung von der Mitte zu der Außenkante, auf die sich die Aufmerksamkeit richtet, gelangen. Der Versuch zeigt also, dass Merkmale für kurze Zeit ein Eigenleben führen. Das Merkmal der Versetzung wird getrennt vom Nonius verarbeitet und dann fälschlicherweise an eine der Außenkanten des Gitters gebunden.

Genauere Untersuchungen haben ergeben, dass die Versetzung sich von der Mitte her entlang des Gitters ausbreitet. In ihrer kurzen Lebensspanne fließen die Merkmale regelrecht von einem Ort zum anderen. Unsere Ergebnisse unterstützen also nachdrücklich die Annahme, dass das Gehirn die Merkmale parallel verarbeitet – auch wenn im Alltag Fehlbindungen selten sind und normalerweise die Palme steht, während das Kamel geht. ▶



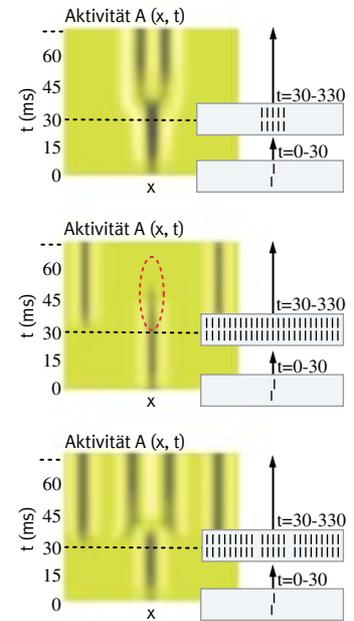
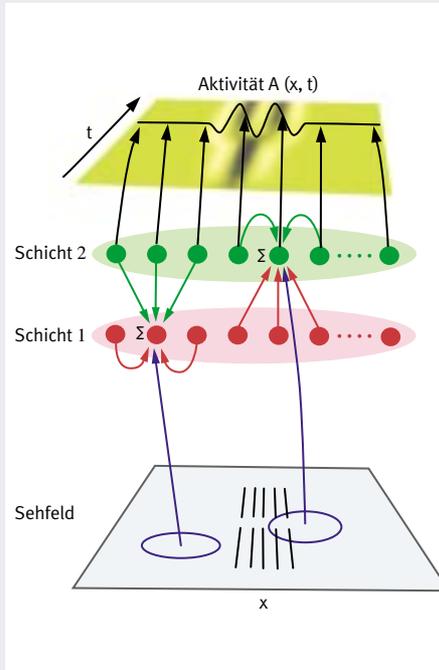
ALLE ABBLICUNGEN: THOMAS BRAUN / G & G

HÄRTESTEST DER WAHRNEHMUNG:

Kurzzeitig sehen Versuchspersonen zwei leicht versetzte senkrechte Striche, danach Gitter mit fünf (a) oder 25 (b) Doppelstrichen. In Bild c fehlen zwei Elemente gegenüber Bild b. Das jeweils dritte Bild zeigt das subjektiv wahrgenommene Muster.

MODELL IM RECHNER

NEURONALES NETZWERK ZUR MODELLIERUNG der beschriebenen Experimente. Das Netzwerk ist aus zwei Schichten aufgebaut (links im Bild). Beide Schichten des neuronalen Netzwerks bekommen den Reizen entsprechende Eingaben (blaue Pfeile), die sich zeitlich genauso wie im realen Experiment verändern. Über Verbindungen innerhalb der Schichten und von Schicht zu Schicht zu Schicht (rote und grüne Pfeile) geben die Neurone am Ort x ihre Aktivität $A(x,t)$ zum Zeitpunkt t an andere Neuronen weiter. Dabei hemmen von Schicht 1 ausgehende Verbindungen die Aktivität ihrer Zielneuronen (rote Pfeile), während von Schicht 2 ausgehende Verbindungen erregen (grüne Pfeile). Wie im Hirngewebe ist die Stärke der Verbindungen umso geringer, je weiter die verbundenen Nervenzellen voneinander entfernt sind.



DIE ERGEBNISSE UNSERER COMPUTER-SIMULATIONEN für die auf Seite 11 dargestellten Reize (rechts im Bild) zeigen die zeitliche Entwicklung (vertikale Achse) der Aktivität $A(x,t)$ der zweiten Neuronenschicht (horizontale Achse). Oben wird nach dem Nonius ein Gitter aus fünf Doppelbalken präsentiert. Es ist deutlich zu sehen, dass sich neuronale Aktivität an den Rändern des Gitters aufbaut (dunkle Streifen), während die Aktivität der mittleren Neuronen durch die hemmenden Verbindungen schnell unterdrückt wird. Weil die Aktivität nur so kurz vorhanden ist, kann der Betrachter den Nonius in der Mitte also nicht wahrnehmen. In der Mitte wird nach dem Nonius das Gitter aus 25 Doppelbalken präsentiert. Auch hier baut sich Aktivität an den Rändern auf; jedoch liegen diese Ränder auf Grund der Breite des Gitters

weit von der Mitte entfernt: Die Aktivität der Nonius-Neuronen in der Mitte wird nur schwach gehemmt und bleibt eine sehr viel längere Zeit bestehen (rote Ellipse). Der Betrachter segmentiert den Nonius deshalb als eigenständiges Objekt und nimmt ihn bewusst wahr. Sieht der Betrachter das Gitter mit den beiden Lücken, baut sich Aktivität nicht nur an den Außenkanten des Gitters, sondern auch an den Lücken – wiederum in der Nähe des Nonius – auf. Wie bei dem kleinen Gitter mit fünf Elementen sind die Nonius-Neuronen stark gehemmt, und der Nonius bleibt unsichtbar (unten). Kurz: Aktivität in der Nähe des Nonius unterdrückt dessen Sichtbarkeit. Damit erklären unsere Computer-Simulationen, warum schmale Gitter oder Gitter mit Lücken die Noniusversetzung anders als breitere Gitter binden.

Einfache Änderungen der Geometrie des Gitters können den Bindungsvorgang gezielt beeinflussen. Ein Beispiel ist das auf Seite 11 dargestellte Experiment. Hier folgt in Abwandlung des oben beschriebenen Versuchs dem Nonius ein Gitter mit 25 anstelle von fünf Doppelbalken. Der Eindruck der Versuchspersonen ist jetzt ein völlig anderer: Der Nonius wird nun bewusst wahrgenommen und erscheint dem Gitter überlagert. Er wird als „Durchscheinelement“ bezeichnet und ist insofern eine Illusion, als der Betrachter ihn zeitgleich mit dem Gitter wahrnimmt, obwohl der Nonius zeitlich vor dem Gitter präsentiert wird.

Das Durchscheinelement stellt ein vom Gitter unabhängiges, eigenständiges Objekt dar; das Gitter erscheint nun nicht mehr versetzt. Die Bindung der Merkmale hat sich also dramatisch verändert: Das Merkmal der Versetzung bindet jetzt an das Durchscheinelement und nicht mehr an das Gitter. Obwohl der Nonius im Vergleich zum vorigen Experiment gleich blieb und auch in der Mitte des Gitters keine Veränderung stattgefunden hat – die mittleren fünf Elemente sind gleich geblieben – werden nun zwei Objekte wahrgenommen.

In diesem Fall ordnet das Gehirn die Merkmale wohl sofort einem Objekt zu:

Sie haben also nur ein extrem kurzes Eigenleben. Welche Mechanismen entscheiden darüber, an welches Objekt Merkmale gebunden werden? Vermutlich ist es die Art und Weise, wie das Gehirn eine visuelle Szene in verschiedene unabhängige Objekte „segmentiert“. Darunter versteht man den Prozess, der das Kamel aus der Wüste als ein eigenständiges Objekt hervorhebt und von der Palme unterscheidet. Solche Prozesse sind so komplex, dass bis heute ungeklärt ist, was uns Menschen befähigt, selbst unter schwierigen Bedingungen das Bein eines Kamels nicht für einen Teil der Palme zu halten.

Um diese Fragen weiterzuverfolgen, haben wir in unseren Experimenten die Anordnung des Gitters verändert. Entfernen wir zwei Elemente aus dem Gitter (siehe Abbildung Seite 11), verschwindet der Durchscheineffekt. Unsere Versuchspersonen nehmen nach dieser Veränderung jetzt drei schmalere Gitter statt eines breiten wahr. Es werden also drei unabhängige Objekte segmentiert. Der Nonius ist in dieser Konfiguration der drei Gitter unsichtbar, dafür kann aber das mittlere Gitter versetzt erscheinen. Durch den Segmentierungsprozess hat sich die Bindung wiederum verändert.

Ein mathematisches Modell

Um die Mechanismen der Merkmalsbindung besser zu verstehen, haben wir ein einfaches mathematisches Modell entwickelt. Das Modell berücksichtigt die Eigenschaften von Nervenzellen (Neuronen) und ihre wechselseitige Verschaltung. Als Prüfstein für die Objektsegmentierung diente dabei, ob der Nonius wahrgenommen wird oder nicht (siehe Abbildung Seite 12). Das Modell kann die im Experiment gefundenen Effekte über neuronale Mechanismen erklären. Es kann zudem voraussagen, unter welchen Bedingungen Versuchspersonen dargebotene Reize als Objekte segmentieren, mit Merkmalen versehen und bewusst wahrnehmen. Unsere Arbeiten sind also ein erster Schritt auf dem Weg zu einem Verständnis dafür, wie wir die scheinbar so leichte Aufgabe meistern, ein Kamel von einer Palme zu unterscheiden. ◆

MICHAEL HERZOG ist promovierter Biologe am Institut für Humanneurobiologie der Universität Bremen. **UDO ERNST** und **CHRISTIAN EURICH** sind promovierte Physiker am Institut für Theoretische Neurophysik der Universität Bremen.

eurich@physik.uni-bremen.de

Literaturtipp

HERZOG, M. H., KOCH, C.: Seeing properties of an invisible element: feature inheritance and shine-through. Proceedings of the National Academy of Science 98, 2001, S. 4271.

Weblinks

www-neuro.physik.uni-bremen.de/institute/research/vernier.html



CARSTEN KÖNNEKER
Stellv. Chefredakteur

DIE PSYCHE DER SCHLANGE

„IRGENDJEMAND NICHT NACH NEW YORK?“ Eine schrille Stimme verschafft sich von vorne Gehör. Kurz darauf erscheint das zugehörige Gesicht. „Minsk? Johannesburg? Katmandu?“ Hinter mir eine Meldung. „Folgen Sie mir bitte an der Schlange vorbei!“ Und im Schlepptau der uniformierten Dame verschwindet der ältere Herr, der bereits in der ersten Wartezone aufgefallen war, als er einige vorwitzige Jugendliche vom Vordrängeln abgehalten hatte. Schon ist er fünfzig Meter weiter am Kontrollpunkt und wird nach kurzem Blick aufs Ticket durchgewunken. Kann das wahr sein? Langsam, ganz langsam, werde ich vorwärts geschoben. Bei diesem Fortschritt verpass' ich den Flug! Was wollen all diese Menschen in New York?

Zugegeben: Mit „verschärften Sicherheitskontrollen“, wie es so schön heißt, musste man rechnen. Aber meine einkalkulierte Mehr-Zeit war schon nach Kontrolle Nummer zwei aufgebraucht, als der penible Herr mit der übergroßen Lupe meinen Körper abermals für rein befunden hatte und ich mein Handgepäck nach erneuter Durchleuchtung wieder in Empfang nehmen durfte. Doch dann hinter der nächsten Ecke noch eine Schlange – und wieder nichts mit der gerade zurück erlangten Bewegungsfreiheit!

EIN ÜBLER WOHLGERUCH macht sich breit. Direkt hinter mir residiert jetzt eine stark parfümierte Amerikanerin. Kann die nicht nach Katmandu fliegen? An uns vorbei stürzt eine junge Dame; fast verliert sie ihre Handtasche. Doch der breitschultrige Flughafenbedienstete mit der blauen Krawatte verweist sie gnadenlos wieder nach hinten. Offenbar hat sie das falsche Passwort im Flugschein stehen. Auch zwei Männer blitzen ab, so gestenreich sie den Officer auch bearbeiten. Die blaue Krawatte wird mir sympathisch. Da könnte ja jeder kommen! Alle anderen stehen ja auch brav in der Reihe und machen Männchen.

Im Schneckentempo geht es weiter. Zentimeterweise schiebe ich mein Gepäck mit dem Fuß über den tristen Steinboden. Plötzlich von hinten ein entrüstetes „Das gibt es nicht!“ Ein Business-Rei-

sender ist um die letzte Ecke gebogen und erblickt die abermalige Bescherung. Kurz entschlossen stieft er mit seinem Kofferchen bis ganz nach vorn. Gespannt reckt die Schlange sämtliche Häuse. Die Wetten stehen zehn zu eins für den Officer. „Bleib standhaft!“, ruf' auch ich ihm im Stillen zu. „Lass Dir bloß nichts einreden!“ Et voilà: Fluchend kommt der Anzugmann zurück. Hoch lebe die blaue Krawatte! Die allgemeine Schlangenstimmung wirkt merklich gelöster.

MITTLERWEILE WEINT EIN KIND. Offenbar quengelt es schon seit längerem, denn sein Gesicht ist bereits rot angelaufen und leicht aufgequollen, als sich die Mutter ein Herz nimmt und es im Buggy an den Wartenden vorbeischiebt. Die zwei wird er ja wohl durchlassen! Von dem Geplärre wird man ja wahnsinnig! Zwei ältere Ehepaare aus Bayern unmittelbar vor mir nerven mich derweil mit ihrer lautstarken Privatanalyse des internationalen Terrorismus. Als ob die Arbeitsmoral der Hamburger Polizei Schuld an den Anschlügen des 11. September hätte! Warum fliegen die vier nicht von München? Da soll es doch auch einen Flughafen geben!

13:10 Uhr. Jetzt sollte der Flieger abheben. Auch Mutter und Kind kommen unverrichteter Dinge zurück. Der Kleine schreit nun hysterisch und windet sich in seinen Gurten. Dieser Lump von Türsteher! – Aber was macht die Amerikanerin da hinter mir? Sie lässt Kinderwagen samt plärrendem Inhalt und Anhang vor! Ich glaub es nicht! Jetzt habe ich das Gejaule direkt im Nacken! „Bleib locker!“, beschwöre ich mich selbst. „Immerhin lässt der Parfümgestank nun spürbar nach. Noch zehn Meter, dann ist alles vorbei.“ Das Bayernquartett sinniert mittlerweile über die Wiedereinführung der Todesstrafe.

Zwanzig Minuten später bin ich endlich durch. Ein, zwei Minsk-Reisende durften noch frei passieren. Minsk – was für ein Klang liegt bereits in diesem Namen! Sonst hat sich niemand durchmogeln können. Wir sind in dieser Zeit eben nicht nur alle Amerikaner – auch in der Schlange vor der blauen Krawatte sind wir alle gleich.

BILDGEBENDE HIRNFORSCHUNG

SEELENPEIN IN DER MASCHINE

Wie löst das Gehirn ethische Probleme? Mit dem Kernspintomografen beobachten Philosophen die grauen Zellen in Konfliktsituationen

VON HUBERTUS BREUER

Außer Kontrolle geraten rast die Straßenbahn auf eine Weiche zu. Auf der links abzweigenden Spur arbeiten fünf Männer, rechts nur ein einziger. Im Führerhaus steht Catherine Adams vor einer schrecklichen Wahl: Unternimmt sie nichts, schwenkt der Waggon nach links und überfährt unweigerlich die fünf Eisenbahnarbeiter. Legt sie einen Hebel um, erwischt es den einzelnen Mann auf dem rechten Gleis. In Sekundenbruchteilen muss Adams die makabre Frage beantworten: Soll sie die Richtung wechseln, um den Tod der fünf Arbeiter zu verhindern?

Zum Glück ist die Situation nur ausgedacht – Teil eines ungewöhnlichen Experiments. Die Studentin Catherine Adams sitzt nicht wirklich im Führerhaus, sondern steckt in der Röhre eines Kernspintomografen. Dort soll sie sich das Dilemma möglichst plastisch vorstellen. Die Forscher am Center for the Study of Brain, Mind and Behavior im amerikanischen Princeton wollen damit herausfinden, wie das Gehirn versucht, ein solches moralisches Problem zu lösen.

GEWISSENSFRAGEN

Studienleiter Joshua Greene, von Hause aus Philosoph, wartet im Nebenraum hinter einer Glasscheibe und beobachtet seine Versuchsperson. Es rumort in der Trommel, während der Kernspintomograf Bilder der Gehirntätigkeit von Catherine Adams aufnimmt. Die Maschine setzt das Gehirn einem starken Magnetfeld aus. Wo das Gewebe besonders intensiv durchblutet wird, weil seine Zellen Arbeit verrichten, wird das Messsignal weniger stark absorbiert. So ergeben sich millimetergenaue Bilder der Hirnaktivität, während die Studentin nachdenkt. Schließlich liegt ihre Entscheidung fest: „Ja, Abbiegen ist gerechtfertigt.“

Es folgt eine Reihe von Fragen, die Catherine emotional weniger herausfordern – ob es besser ist, den Bus oder den Zug von New York nach Boston zu nehmen, wenn sie dort pünktlich zu einer Verabredung kommen will; oder, ob sie als Managementberaterin mit ihrem Insiderwissen einem Freund, dem sie viel Geld schuldet, einen Aktientipp geben würde. Insgesamt konfrontiert Greene die Probanden mit sechzig Situationen.

Auch eine weitere Variante des Tram-bahn-Szenarios gehört dazu – Catherine steht jetzt auf einer Fußgängerbrücke, die den Bahndamm überspannt. Von der einen Seite rollt eine führerlose Straßenbahn immer schneller heran. Auf der anderen Seite steht eine Gruppe von fünf Gleisarbeitern. Um diese zu retten und den Lauf der Bahn zu beeinflussen, müsste die Studentin diesmal einen neben ihr stehenden, vierschötigen Mann hinunter auf die Gleise stoßen. Würde sie das tun? Die Antwort kommt prompt: „Nein!“

Mit seiner ungewöhnlichen Studie bewegt sich Joshua Greene im Grenzgebiet zwischen Natur- und Humanwissenschaften, zwei Lagern, die einander lange Zeit wenig zu sagen hatten. Mithilfe der Bilder aus dem lebenden Hirn will er eine tragende Brücke zwischen ihnen schlagen, harte Fakten aus den Labors mit philosophischer Deutung verbinden.

Noch Anfang der neunziger Jahre waren die bildgebenden Apparate als Medizinerspielzeug verrufen. Forscher nutzten sie, um Gedächtnis, Sprachgebrauch oder optische Wahrnehmung zu lokalisieren. Doch weil die Technik immer besser wird, gewinnen Methoden wie die Computer- oder Kernspintomografie beständig an Ansehen – genug jedenfalls, um auch bei Humanwissenschaftlern wie Greene Begehrlichkeiten zu wecken.

Das unter Philosophen gut bekannte Straßenbahn-Dilemma, das der 27-jähri-

ge Greene seinen Versuchspersonen präsentiert, bot sich für die Untersuchung mittels Tomografie geradezu an. Ethiker blieben bislang eine befriedigende Erklärung schuldig, warum Menschen in den beiden Szenarien so unterschiedlich entscheiden. „Distanziert betrachtet gibt es dafür keinen Grund. Schließlich haben beide Fälle denselben Ausgang“, sagt der Jungphilosoph.

EMOTIONEN FUNKEN DAZWISCHEN

Greenes Studie mit dem Kernspintomografen, die im Wissenschaftsmagazin *Science* erschienen ist, klärt das Rätsel ein wenig auf: Bei der Vorstellung, einen Mann von der Brücke stoßen zu müssen, entsteht eine emotionale Blockade. Sie hindert jemanden, tatsächlich eine Person mit bloßen Händen zu Tode zu stürzen. Davon zeugen winzige Flecken im Stirnlappen, im Scheitelhirn und an der Basis der Großhirnrinde, die gelb und rot auf den Bildern leuchten – es sind dieselben Regionen, die bei Angst oder Trauer aufblinken. „Traditionell behaupten Philosophen, die praktische Vernunft treffe moralische Urteile“, führt Greene aus. „Die Aufnahmen zeigen aber, dass Emotionen für unsere Entscheidungen eine bedeutende Rolle spielen.“

Die Gefühls-Regionen traten bei den Versuchen stets in Aktion, wenn eine Entscheidung persönliches Engagement verlangte; hingegen rührten sich die Neuronen dort kaum, wenn sich eine Frage mit distanzierter Betrachtung beantworten ließ – wenn ein Proband „nur“ über das Umlegen eines Hebels oder sein Transportmittel nachdachte. Dafür ratterte es gehörig im Arbeitsgedächtnis, das rationale Entscheidungen ohne die Beteiligung von Emotionen gegeneinander abwägt.

Aber die Gefühle gewinnen keineswegs immer gegen die Ratio – einige wenige Versuchspersonen gaben an, es



Mit dem Kernspintomografen werden nicht nur Krankheiten diagnostiziert. Forscher können auch sehen, welche Hirnregionen gerade aktiv sind.

SIEMENS AG

sei in Ordnung, den Mann auf der Brücke zu Tode zu stürzen. Ihr innerer Widerstreit blieb den Forschern indes nicht verborgen – um zu der recht drastischen Entscheidung zu kommen, brauchten sie in der Regel länger für ihre Antwort.

Greene vergleicht das mit dem klassischen „Stroop-Test“. Dabei sehen Probanden Farbörter wie „Rot“, „Grün“ oder „Gelb“. Teilweise sind die Worte in der Farbe gedruckt, die sie bezeichnen, teilweise nicht – wenn etwa das Wort „Blau“ orange gedruckt ist. Experimente zeigen, dass Versuchspersonen länger brauchen, um die Schriftfarbe zu benennen, wenn sie dem Wort widerspricht. Offensichtlich dauert es kurz, bis die richtige Farbbezeichnung im Kopf die – dominierende – gelesene zurückdrängt. Ähnlich setzte sich bei einigen Personen

erst nach einem inneren Kampf die Entscheidung durch, es sei gerechtfertigt zu töten, erklärt Greene.

UNZUFRIEDENE PHILOSOPHEN

So interessant die Ergebnisse sind: Den Philosophen helfen sie bei ihren eigentlichen Fragen kaum weiter. Thomas Metzinger ist Philosoph an der Universität Mainz und setzt sich seit Jahren mit dem Zusammenspiel von Gehirn und Geist auseinander. Für ihn vermittelt das Versuchsergebnis eine realistischere Sicht auf das moralische Denken. „Es hilft sicherlich zu erfahren, wie sich unser Gehirn verhält, wenn wir uns mit so schwierigen Fragen wie Abtreibung oder Euthanasie auseinandersetzen“, sagt er. Dann schränkt Metzinger jedoch ein: „Nur weil wir verstehen, dass bei einer Entschei-

dung Gefühle beteiligt sind, haben wir die eigentliche Frage, was eine Handlung gut oder schlecht macht, nicht beantwortet. Es ist eine alte Weisheit der Ethik, dass aus einem Sein kein Sollen folgt.“

Offensichtlich sind nämlich die Gefühle, die der Tomograf enthüllt, nichts Ur-Menschliches, sondern Resultat einer Prägung durch die Umwelt. Jonatahn Haidt, Psychologe an der University of Virginia, verweist auf Beobachtungen bei Kindern, die in zwei verschiedenen Kulturen aufwachsen. Japanische Kinder, die im Alter von neun bis fünfzehn Jahren in den USA leben, entwickeln ausgeprägt amerikanische Wertvorstellungen und Gepflogenheiten. Vor diesem Alter beeinflusst die Umgebung die Entwicklung von Werten noch nicht, danach kann sie es nicht mehr – die moralischen Urteile sind festgeschrieben. Im Kernspintomografen lässt sich dieser Sozialisationsprozess nur schwerlich beobachten, hebt der Experte für Moralpsychologie hervor. Dennoch lässt die kulturelle Variabilität moralischer Vorstellungen kaum Zweifel daran, dass er existiert.

Jonathan Cohen, Direktor des Princeton Zentrums, wo Greene die Experimente durchführte, sieht in der Kernspintomografie eines von mehreren Werkzeugen zur Erforschung von ethischem Tun und Lassen: „Das Verfahren erlaubt uns eine von vielen Perspektiven auf die komplexe Architektur menschlichen Verhaltens. Für eine vollständige Erklärung müssen aber noch weitere Elemente hinzukommen – beispielsweise Daten aus der Verhaltenspsychologie oder Simulationsmodelle unseres Gehirns.“

Was die Methode angeht, sieht auch Thomas Metzinger aus Mainz die schönsten Zeiten noch auf uns zukommen: „Die bildgebenden Verfahren verbessern sich, verschiedene Methoden werden kombiniert, und unser Wissen über das Zusammenspiel verschiedener Gehirnregionen wächst ständig. Eines Tages wird uns das alles helfen, das klassische philosophische Projekt der Selbsterkenntnis auf eine völlig neue Ebene zu heben.“ ♦

DR. HUBERTUS BREUER ist Wissenschaftsjournalist in New York

Literaturtipp

GREENE, J.D.: An fMRI Investigation of Emotional Engagement in Moral Judgment. *Science* 293, S. 2105, 2001.

SOZIALVERHALTEN

Beziehungssüchtige Präriemäuse

Vasopressin macht aus Wüstlingen treue Partner. Dies bestätigten kürzlich Versuche mit männlichen Präriemäusen, denen man gentechnisch zusätzliche Rezeptoren für dieses Hormon ins ventrale Pallidum – eine Region des Großhirns – eingebaut hatte: Anders als normale



LARRY YOUNG, EMORY UNIVERSITY

Transgene Präriemäuse

Männchen entwickelten sie bereits nach 17 Stunden Kontakt mit einem Weibchen eine Vorliebe für diese Mäusedame. Die Experimente, durchgeführt von einer Gruppe um Larry Young von der Emory University in Georgia, zeigen aber mehr: Dem ventralen Pallidum kommt eine Schlüsselrolle für Sozialverhalten und die Bindung zwischen Individuen zu; dabei ist die Region bekanntermaßen auch in Belohnungs-Schaltkreise eingebaut und wirkt bei der Entstehung von Sucht mit. (*Journal of Neuroscience*, 21(18), 7392, 2001)

LERNFORSCHUNG

Neuronen löschen Gedächtnis

Wenn Singvögel ein Lied lernen, entstehen in ihrem Gehirn neue Nervenzellen. Bislang schlossen Wissenschaftler daraus, dass der Erwerb von Gedächtnisinhalten die Neubildung von Neuronen erfordert. Forscher der Princeton-Universität um Joe Tsien hegen jedoch nun den Verdacht, dass es eher umgekehrt ist: Neue Zellen löschen möglicherweise alte Erinnerungen. Wie waren die Forscher auf diese Idee gekommen? Setzt man normale Mäuse regelmäßig in eine abwechslungsreiche Umgebung mit Bauklötzen und Blumentöpfen, entstehen im *Gyrus dentatus*, einer Hirnregion für Gedächtnisbildung, zahlreiche neue Zellen. Anders jedoch bei Mäusen, denen im Vorderhirn das Gen für das Protein Präsenilin-1 fehlt; sie bilden auch auf dem Abenteuerspielplatz kaum

neue Zellen. Trotzdem lernen sie genau so gut wie Normalmäuse. Mäuse können also offensichtlich neue Gedächtnisinhalte in den bestehenden Neuronen speichern.

Warum entstehen dann aber bei normalen Tieren neue Zellen? Hier erinnerten sich die Forscher unter anderem an theoretische Überlegungen, nach denen hinzukommende Nervenzellen ein bestehendes Netz eher stören sollten. Erste Experimente stützen die Hypothese vom Vergessen durch Nervenwachstum bereits: Normale Mäuse, die nach einer Lernerfahrung auf den Spielplatz geschickt wurden, vergaßen das Gelernte in der spannenden Umgebung schnell wieder. Nicht so die Tiere ohne Präsenilin-Gen – ihre Erinnerung blieb erhalten.

(*Neuron*, Vol. 32, 911, 2001)

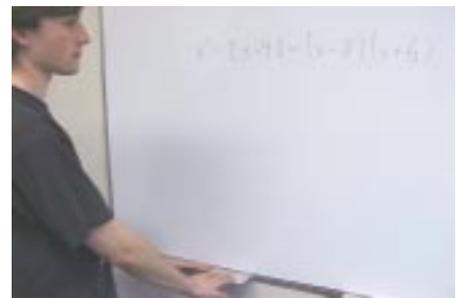
SPRACHVERARBEITUNG

Gestikulieren hilft beim Denken

Wer die Hände zum Erklären zu Hilfe nimmt, macht in seinem Gehirn Kapazität für andere Aufgaben frei. Zu diesem Ergebnis kam eine Arbeitsgruppe um Susan Goldin-Meadow von der Universität Chicago. Die Forscher baten ihre Versuchspersonen, Rechenaufgaben zu lösen. Danach sollten die Probanden eine Liste von Wörtern oder Buchstaben ansehen und sich so viele wie möglich davon merken. In der letzten Phase mussten die Teilnehmer dann erläutern, wie sie die anfangs gestellten Rechenaufgaben gelöst hatten. Entweder durften sie dabei die Hände verwenden – oder aber nicht. Es stellte sich heraus, dass alle Probanden im Durchschnitt zwanzig Prozent mehr Wörter oder Buchstaben behalten hatten, wenn sie beim Erklären der Mathematikaufgaben gestikulierten.

Wie ist diese bessere Leistung zu erklären? „Es könnte sein, dass beim Gestikulieren ein Teil der Information statt in einem verbalen Speicher in einem visuell-räumlichen Speicher abgelegt wird und so der Sprachverarbeitung aus dem Weg ist“, sagt Goldin-Meadow. Aber das Verwenden der Hände könnte auch positiv mit dem Sprechen selbst wechselwirken und so die

Anstrengung beim Reden und damit beim verbalem Denken verringern. „Diese Hypothese ist noch vage“, räumt die Professorin ein. „Wir suchen derzeit nach einem Weg, sie experimentell zu testen.“ (*Psychological Science*, November 2001)



SUSAN GOLDIN-MEADOW, UNIVERSITY OF CHICAGO

Wenn es nach dem Gehirn geht, nehmen wir die Hände beim Erklären zu Hilfe.

ORIENTIERUNG IM RAUM

Versuchspersonen sitzen optischer Täuschung auf

Um die Entfernung zu Objekten abzuschätzen, nutzt unser Gehirn mehrere Hinweise – so etwa, dass Entferntes kleiner ist, und dass es sich anscheinend langsamer bewegt. Für den Nahbereich zieht es zusätzlich die Unterschiede zwischen den

von beiden Augen wahrgenommenen Bildern heran. Aber auch der Winkel, in dem ein Objekt unter der Ebene der Augenhöhe liegt, liefert offenbar einen Hinweis auf dessen Entfernung.

Dies ist intuitiv plausibel, war bislang aber experimentell schwer nachweisbar. Eine Forschergruppe um Teng Leng Ooi vom Southern College of Optometry in Memphis, Tennessee, löste die Aufgabe nun auf elegante Weise. Versuchspersonen schätzten erst die Entfernung zu einem Gegenstand am Boden ab. Dann mussten sie mit verbundenen Augen zu dem Objekt gehen und mit der Hand darauf deuten. Das gelang ihnen relativ problemlos – bis man ihnen beim Taxieren der Distanz eine Brille aufsetzte, die einfallende Lichtstrahlen nach oben ablenkte. Als sie jetzt wieder blind zum Zielobjekt gehen sollten, blieben sie zu früh stehen. Da alle anderen visuellen Informationen – wie etwa die Größe des Objekts oder das Muster der Fliesen auf dem Boden – gleich blieben, konnte nur der „Knick in der Optik“ an der Fehleinschätzung schuld sein: Durch die Brille erschien der Winkel zwischen der Horizontalen und der Objekttrichtung größer – und die Versuchspersonen dachten, das Objekt liege näher. (*Nature* 414, 197, 2001)



NEUROLOGIE

Prionen sind nicht aufzuhalten

Höchstwahrscheinlich wird die tödliche neue Variante der Creutzfeldt-Jakob-Krankheit durch entartete Proteine ausgelöst, die vom Rind auf den Menschen übergelassen sind. Inwieweit und wie schnell diese so genannten Prionen Artgrenzen überwinden, liegt jedoch weitgehend im Dunkeln. Die Ergebnisse einer Arbeitsgruppe des US-amerikanischen National Institute of Allergy and Infectious Diseases (NIAID) klingen daher geradezu unheimlich: Prionen aus Hamstern passen sich – zwar sehr langsam, aber mit tödlicher Sicherheit – an Mäuse an und werden pathogen.

Bei früheren Versuchen waren mit Hamster-Prionen infizierte Mäuse über Jahre hinweg gesund geblieben; die pathogenen Proteine waren durch übliche Labormethoden nicht mehr zu entdecken. Wenn die Forscher jedoch Hirn- oder Milzgewebe dieser Tiere in Hamster zurückbrachten, erkrankten diese sofort: Die Prionen waren die ganze Zeit da gewesen. Jetzt legte das NIAID-Team neue Ergebnisse vor. Als es Gewebe aus anscheinend gesunden infizierten Mäusen auf andere Mäuse übertrug, wurden diese schließlich krank. „Die Prionen lernen anscheinend, mit der anderen Spezies fertig zu werden“, sagt Richard Race, der Leiter des Teams. Dabei entwickelten sich die Prionen je nach Wirts-Maus anders; sie benötigten nachher unterschiedlich lange Inkubationszeiten und befahlen verschiedene Stellen im Gehirn neuer Opfer. (*Journal of Virology*, 75(21), 10073, 2001)



DEPRESSION

Schrittmacher fürs Gemüt

Ein elektronisches Gerät zur Stimulation des Vagusnervs wirkt dauerhaft gegen Depression – das ist das Ergebnis einer klinischen Langzeitstudie mit sechzig Patienten. Der so genannte Vagusnerv-Stimulator gleicht im Prinzip einem Herzschrittmacher. Er ist jedoch nicht ans Herz, sondern auf Höhe des Nackens an den linken Ast des Vagus angeschlossen. Dieser Nerv spricht unter anderem Gehirnregionen an, die Stimmungslagen steuern.

Nach beachtlichen Anfangserfolgen bei der Depressions-Behandlung sollte die Studie nun testen, ob die positiven Effekte nicht mit der Zeit nachlassen, wie es bei herkömmlichen Antidepressiva oft der Fall ist. Doch alle Patienten fühlten sich auch nach zwei Jahren mit dem Gerät unverändert gut. Bei einigen Depressions-Geplagten stellte sich der Erfolg sogar erst im Laufe der Zeit ein. Der Stimulator ist in Europa bereits zur Behandlung von Depression zugelassen. (*Amer. Coll. of Neuropsychopharmacology, annual meeting 2001*)

Wahrnehmung

MUSIK IM KOPF

Was geschieht in unserem Gehirn, wenn wir Klänge von Johannes Brahms, Miles Davis oder Elvis Presley hören? Neue Ergebnisse zeigen, dass jede Person Musik in etwas unterschiedlichen Hirnregionen verarbeitet. Schon ein wenig Klavierüben kann solche Gehirnaktivitäten beträchtlich verändern.

VON ECKART ALTENMÜLLER

Am Abend eines langen Arbeitstages. Ich lege die CD meiner Lieblingsmusik ein: Johannes Brahms, zweites Klavierkonzert. Das getragene Hornsolo der ersten beiden Takte wird von sanft ansteigenden Akkorden des Klaviers abgelöst. Eine Flut von Erinnerungen stürmt auf mich ein. Bilder von den Wäldern um Rottweil, Gedichtzeilen von Eichendorff, der Spätsommertag, an dem ich mit sechzehn Jahren das Konzert für mich entdeckte ... Der Schluss dieses Abschnitts, in dem der Pianist Lautstärke und Tempo über Minuten hinweg steigert und sich dabei völlig verausgibt, raubt mir den Atem. Ich spüre die Ekstase des Solisten, der sich jetzt nicht mehr um richtige oder falsche Noten kümmern muss. Ein Schauer läuft mir den Rücken hinunter.

Es ist nicht möglich, derartige intensive, subjektive Musikerlebnisse anderen

Menschen durch Worte mitzuteilen. Der französische Romancier Marcel Proust (1871–1922) beschreibt in seinem Roman „Auf der Suche nach der verlorenen Zeit“ Musik als vorgeschichtliches Verständigungsmittel im Dienste sozialer Bindung. Wie Sprache ist auch Musik Bestandteil jeder menschlichen Kultur. Bereits vor über 35000 Jahren konstruierten Menschen die ersten Musikinstrumente: Schlaginstrumente, Knochenflöten und Maultrommeln. Doch warum begannen sie zu musizieren, was hatte das für einen Nutzen?

Sprache dient der effizienten und detaillierten Informationsübermittlung. Dagegen ist der evolutionäre Vorteil von Musik bis heute umstritten. Der kanadische Emotionsforscher Jaak Panksepp meint, dass sich die Musik von den Trennungsrufen der frühen Hominiden ableitet. Im Tierreich dienen solche Rufe dazu, den

Kontakt zwischen Mutter und Kind sowie innerhalb der Gruppe aufrechtzuerhalten. Die vegetativen Reaktionen beim Musikhören – so etwa die Gänsehaut bei einer besonders ergreifenden melodischen Wendung – waren nach Panksepp ursprünglich durchaus im biologischen Sinne nützlich: Hört das Tierkind die Stimme der Mutter, stellen sich seine Haare auf und wärmen es. Jeder von uns hat wohl schon durch Musik erzeugte Freude-Schauer erlebt: Bei diesem „Hautorgasmus“ durch Musikhören ist das so genannte limbische Selbstbelohnungs-System aktiv – ähnlich wie bei Einnahme von Kokain oder sexueller Erregung.

Kaum ein anderes Kommunikationsmittel kann so starke emotionale Reaktionen auslösen. Es ist daher wenig verwunderlich, dass in unserem Alltag Musik eine sehr wichtige Rolle spielt: In Umfragen werden Musizieren oder Mu-

*Aus urheberrechtlichen
Gründen können wir Ihnen
die Bilder leider nicht
online zeigen.*

sikhören sehr häufig als Hobby genannt. Viele betrachten Musik nach Familie, Freundschaft und Gesundheit als wichtigen Grundwert – noch vor Sport, Religion und Reisen.

Wahrscheinlich hätte allein schon der selbstbelohnende Charakter des Musikhörens Menschen vor Zehntausenden von Jahren zum Musizieren veranlasst. Aber Musik bringt noch einen praktischen, evolutionären Vorteil mit sich: Sie hilft, das Gemeinschaftsleben zu organisieren und die Mitglieder einer Gruppe bei Auseinandersetzungen mit anderen stärker aneinander zu binden. Möglicherweise kommunizierten Frühmenschen tatsächlich schon vor der Entstehung der Sprache mittels einfacher Musik. Vielleicht entwickelten sich aber auch beide Kommunikationssysteme zunächst gemeinsam und trennten sich erst später. Anthropologen stellen heute den

Gemeinschaft stiftenden Aspekt der Musik in den Vordergrund. Bis in unsere Zeit dienen Wiegenlieder, Arbeitslieder (Spinnerlieder, Erntelieder) oder Kriegslieder (Marschmusik) diesem Zweck. In den letzten Jahrzehnten kam die Identifikation und gegenseitige Abgrenzung unterschiedlicher Jugendkulturen als neuer sozialer Aspekt des Musizierens und Musikhörens hinzu.

PRETISSIMO NERVOSO: WIE GELANGT MUSIK INS GEHIRN?

Was sind nun die allgemeinen Voraussetzungen, um Musik zu hören? Nach der Aufnahme der Klänge im Ohr leitet der Hörnerv die Informationen zunächst an den Hirnstamm weiter. Dort durchlaufen sie mindestens vier Umschaltstationen, welche die Signale filtern, Muster erkennen und die Laufzeitunterschiede des Schalls zwischen beiden Ohren berech-

Musik hat zu allen Zeiten Menschen emotional bewegt und in Begeisterung versetzt – wie hier bei einem Konzert im Hoftheater Karlsruhe von 1864.

nen. Letzteres erlaubt uns, die Richtung zu orten, aus der die Töne kommen.

Der Thalamus – eine Hirnstruktur, die auch „Tor zur Großhirnrinde“ genannt wird – stellt gezielt Informationen zur Rinde durch oder unterdrückt sie. Dieser Gating-Effekt ermöglicht unter anderem die selektive Aufmerksamkeitssteuerung, mit deren Hilfe wir zum Beispiel ein bestimmtes Instrument aus dem Orchesterklang heraushören. Vom Thalamus gelangen die Signale in die Hörrinde des Schläfenlappens. Interessanterweise landen etwa neunzig Prozent der Informationen eines Ohres in der gegenüberliegenden Seite von Hirnstamm und ►

INTRODUZIONE MUSICALE: WAS WIR HÖREN, WENN WIR HÖREN



EINE GEBURTSTAGSFEIER. Die Sektgläser in den Händen, stimmt die fröhliche Runde das wohl meistbekannte, -gehörte und -gesungene Musikstück aller Zeiten an: „Zum Geburtstag viel Glück“ oder englisch „Happy Birthday to You“. Aus verhaltenswissenschaftlicher Sicht ist die Funktion klar: Die Feiernden zeigen und erzeugen damit soziale Bindung. Der Festredner vermeidet daher auch besser, das Musikstück strukturell zu analysieren – schließlich will er die Stimmung nicht stören. Wir aber sind bei der Feier nur Zaungäste und können uns daher fragen: Was nehmen wir eigentlich genau wahr, wenn wir dieses Lied hören?

MUSIK IST VIELSCHICHTIG AUFGEBAUT, ein komplex zusammengesetzter Hörreiz. Daher laufen beim Musikhören viele unterschiedliche Wahrnehmungsvorgänge gleichzeitig ab. Die Grundelemente eines Tones sind Höhe, Dauer, Lautstärke und Klangfarbe. Werden mehrere Klänge nacheinander gespielt, entstehen akustische Muster, die im auditiven Arbeitsgedächtnis in einen zeitlichen Zusammenhang gebracht und dann im Langzeitgedächtnis gespeichert werden. Das musikalische Langzeitgedächtnis ist also eine in unserem Gehirn repräsentierte „Musikbibliothek“. Wer Musik hört, vergleicht sie mit bereits vorhandenen Mustern und prüft sie auf Vertrautheit und musikalischen Sinngehalt. Wir können sie als musikalische Vorstellung aus dieser Bibliothek abrufen und vor unserem „inneren Ohr“ erklingen lassen.

Die Struktur musikalischer Muster beschreiben wir durch

- die Melodiestructur,
- die Zeitstruktur,
- die vertikale harmonische Struktur und
- die dynamische Struktur.

Ich möchte die Bedeutung der einzelnen Faktoren in einem Gedankenexperiment verdeutlichen. Lassen wir dafür „Happy Birthday“ in uns erklingen:

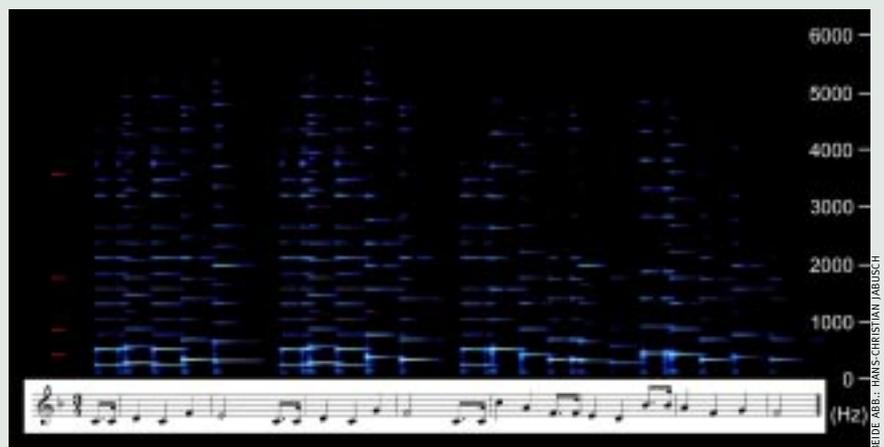
Diese einfache, acht Takte lange Melodie können wir als Ganzes hören, das heißt global oder ganzheitlich wahrnehmen. Wir können sie aber auch auf unterschiedliche Weise in ihre einzelnen Bestandteile aufgliedern. Diese lokale oder analytische Wahrnehmungsweise lässt sich bis zum Extrem treiben – dabei erfah-

ren wir Musik zersplittert und „punktuell“ in einzelnen Tönen. Im nächsten Schritt setzen wir dann einzelne Töne zusammen. Zwei nacheinander gespielte Töne sind ein so genanntes Intervall. Wer also zunächst die Folge der ersten beiden Töne als Einheit hört, dann die Folge von Ton zwei und drei, dann die Töne drei und vier und so fort, hört intervallbezogen. Wir können aber auch etwas größere zeitliche Wahrnehmungseinheiten zusammenfassen und beispielsweise die Melodiekonturen beachten. Die Melodie führt erst kurz nach oben, dann nach unten, dann in immer größeren Sprüngen nach oben bis zum dritten „Happy Birthday“. Diese Stelle bildet den Höhepunkt, von da an sinkt die Melodielinie wieder.

Dieses konturbezogene Hören ist schon eher dem globalen, ganzheitlichen Wahrnehmen verwandt. Werden noch größere Einheiten zusammengefasst, dann bietet sich die Unterteilung des gesamten Liedes in den „Vordersatz“ und den „Nachsatz“ einer so genannten musikalischen Periode an. Diese gehorcht Symmetrieregeln und Harmoniegesetzen und erzeugt ein Gefühl von Spannung und Entspannung. In unserem Beispiel wäre der Vordersatz kurz vor dem letzten,

mit Spannung gefüllten Sprung nach oben beendet – der dann den beruhigenden Nachsatz einleitet. Diese Hörweisen unterscheiden sich in der Länge der jeweils betrachteten und verarbeiteten Zeitsegmente.

MUSIK BESTEHT ABER NICHT nur aus Melodien, sondern auch aus Zeitstrukturen – vor allem Rhythmen und Metren. Ein Rhythmus entsteht aus dem zeitlichen Ablauf mindestens dreier aufeinander folgender Ereignisse. Unser Lied erklingt gleich zu Beginn mit einem energischen, so genannten punktierten Rhythmus. Dies gibt „Happy Birthday“ von Anfang an einen festlichen Charakter, der später durch die gleichmäßig voranschreitenden Viertel unterstrichen wird. Das Metrum ist das gleichmäßige Pulsieren, das einer Tonfolge zu Grunde liegt, in unserem Fall ein Drei-Viertel-Takt. „Happy Birthday“ ist also kein plumper „Geburtstagsmarsch“, sondern besitzt auch den schwebend tänzerischen Charakter eines Menuetts oder gar eines Walzers. Auch Rhythmus und Metrum wahrzunehmen setzt voraus, dass wir akustische Ereignisse zeitlich zusammenhängend speichern und ihre Ordnung erkennen.



DIE MELODIE VON „HAPPY BIRTHDAY“: Die waagerechten Signale des Spektrogramms geben (von links nach rechts) die Frequenzspektren der einzelnen Töne wieder. Die Dynamik ist farbig gekennzeichnet: Lauter gespielte Töne sind heller. Oktavabstände sind am linken Bildrand rot markiert (ganz unten der Kammerton a = 440 Hz).

Aber „Happy Birthday“ besteht aus noch viel mehr als nur aus Melodien, Konturen, Rhythmen oder Metren. Neben dem horizontalen Aufbau besitzt Musik eine vertikale Struktur: die Klangfarben und Harmonien der einzelnen Töne und Mehrklänge. Um diese wahrzunehmen, hat das Gehirn nur einige Millisekunden Zeit. Die Klangfarben der singenden Stimmen unserer Geburtstagsgäste beispielsweise entstehen durch Geräusche und Einschwingvorgänge bei der Lautbildung und durch die Zusammensetzung der Obertöne der Sänger. Hören wir das Lied mehrstimmig oder mit Begleitung, nehmen wir die Harmonien wahr, indem wir die Zahlenverhältnisse zwischen den Schwingungszahlen pro Zeit erkennen. Einfache Schwingungsverhältnisse klingen in unseren Ohren meist angenehmer als komplexe. Diese Empfindungen sind subjektiv, unterscheiden sich zwischen verschiedenen Kulturen und verändern sich im Laufe der Zeit – sowohl im jeweiligen Kulturkreis als auch beim Einzelnen.

SCHLIESSLICH HÖREN WIR WÄHREND der Geburtstagsfeier auch die dynamische Struktur von „Happy Birthday“. Die vertikale Dynamik bezeichnet die Lautstärkenverhältnisse innerhalb eines Klanges. Sie verteilt die einzelnen Stimmen durch ihr Hervorheben beziehungsweise Zurücktreten auf Vordergrund und Hintergrund des Klangraums. Die horizontale Dynamik dagegen beschreibt den Lautstärkeverlauf innerhalb einer Gruppe aufeinander folgender Klänge. Sie spricht die Gefühle des Zuhörers stark an.

Ein Charakteristikum des Musikhörens scheint zu sein, dass wir zwischen verschiedenen Arten der Wahrnehmung umschalten können – die hier keineswegs alle beschrieben sind. Auch können wir uns rasch in Musik „einhören“ und unsere Hörweisen verändern. Vielleicht hören Sie jetzt „Happy Birthday“ auch schon anders? Unser Hörsystem ist lernfähig, plastisch.

Das wichtigste Merkmal der Musik ist aber ihre unmittelbare Wirkung auf die Emotionen. Musik kann uns bewegen, ohne dass wir dies mit Worten angemessen ausdrücken können.

Großhirn. Wenn Wissenschaftler in Tierversuchen einen Hörnerv durchtrennten, verstärkten sich allerdings die Verbindungen vom anderen, intakten Ohr zur gleichseitigen Hemisphäre.

Entlang dieser „aufsteigenden Hörbahn“ vom Innenohr zur Hörrinde erfolgen nacheinander zunehmend kompliziertere Analysen der vom Innenohr kommenden Informationen. Gleichzeitig werden sie aber auch parallel verarbeitet. So erfüllt etwa bereits das erste Umschaltgebiet, der so genannte Cochleariskern, unterschiedliche Aufgaben: Während in seinem vorderen Teil die meisten Nervenzellen nur auf einzelne Töne reagieren und die eintreffenden Signale weitgehend unverändert weitergeben, verarbeitet der hintere Teil bereits akustische Muster wie Beginn und Ende eines Reizes oder Frequenzveränderungen. Verschiedene Teile des Gehirns kümmern sich also unter unterschiedlichen Aspekten um die gleiche Information. Die Endstation der Hörbahn ist die primäre Hörrinde auf der obersten Windung des Schläfenlappens, die Heschl'sche Querwindung. Dort reagieren viele Nervenzellen nicht nur auf reine Sinustöne, sondern auch auf komplexe Hörreize wie etwa Mehrklänge und Klangfarben.

ALLEGRO CON LOCALISATIONE: WOHNEHMEN WIR MUSIK IM GEHIRN WAHR?

Bereits auf dieser Stufe unterscheiden sich die beiden Hirnhemisphären. So verarbeitet die primäre Hörrinde auf der linken Seite eher zeitlich sehr rasch ablaufende Informationen, auf der rechten dagegen vorwiegend Tonfrequenzspektren und Klangfarben. Wird die Heschl'sche Querwindung auf beiden Seiten zerstört, folgt daraus zwar keine vollständige Taubheit; aber die Fähigkeit, Laute zeitlich zu unterscheiden, ist drastisch gestört. Dadurch kann der Patient weder Sprache verstehen noch Musik wahrnehmen.

Die sekundären Hörareale schließlich liegen auf einem Halbkreis um die primäre Hörrinde und bearbeiten komplexere Muster. Weiter vorn, hinten und seitlich befinden sich – im weiteren Sinne – auditorische Assoziationsgebiete. Dazu gehört auch die so genannte Wernicke-Region der linken Hemisphäre, der eine entscheidende Funktion bei der Sprachwahrnehmung zukommt.

Das Bild einer streng getrennten Verarbeitung von Sprache in der linken und von Musik in der rechten Hirnhälfte ist weit verbreitet. Bis in die achtziger Jahre des 20. Jahrhunderts stand diese vereinfachende Auffassung sogar in medizinischen Lehrbüchern, obwohl die meisten

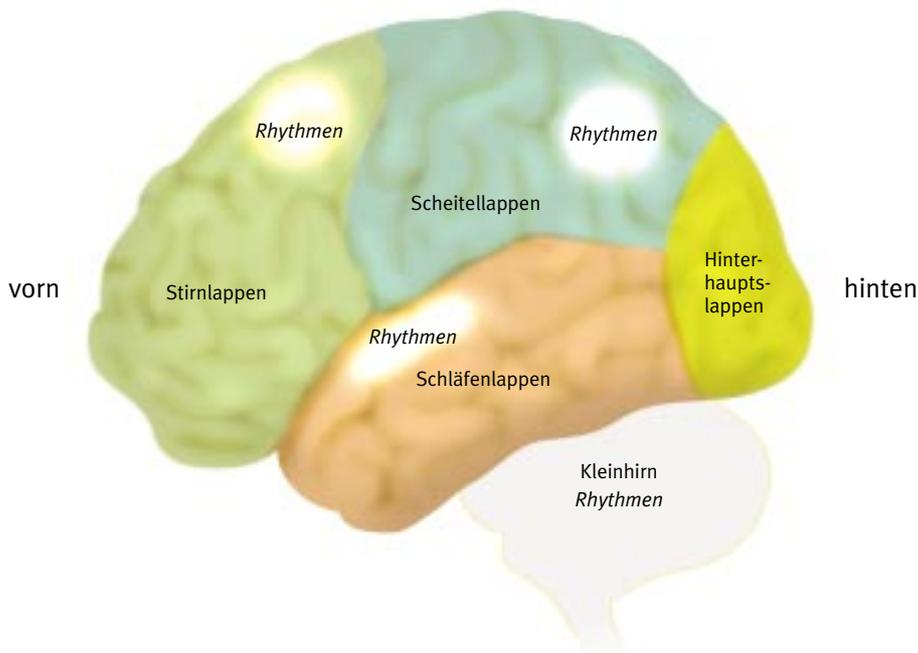
wissenschaftlichen Ergebnisse sie nicht stützten.

Die Suche nach einem „Musikzentrum“ – nach Großhirnarealen, in denen Musik verarbeitet wird – begann bereits im 19. Jahrhundert. Damals konnten Wissenschaftler nur das Verhalten von hirngeschädigten Patienten beobachten. Aus den Leistungseinbußen – etwa der Unfähigkeit, ein Lied zu erkennen – schlossen sie, dass der Ort der Schädigung mit der betreffenden Fähigkeit zusammenhängt. Allerdings konnten sie so nur eine einzige Voraussetzung für eine bestimmte Leistung erkennen. Falls noch weitere Hirnregionen benötigt werden, konnten die Forscher diese nicht erfassen. Außerdem verhalten sich Patienten in den Tagen und Wochen nach einer Hirnverletzung immer wieder anders, da sich das Gehirn nach der Schädigung umorganisiert und den neuen Bedingungen anpasst. Dennoch konnten Wissenschaftler die Orte der Sprachverarbeitung im Gehirn bereits im 19. Jahrhundert recht gut bestimmen. Vor allem erkannten sie, dass bei Rechtshändern meist die linke Hirnseite für Sprache zuständig ist. Wo und wie das Gehirn Musik verarbeitet, blieb dagegen auf Grund widersprüchlicher Befunde unklar.

Es zeigte sich, dass musikalische Leistungen sowohl nach Schädigung der linken als auch der rechten Hirnhälfte ausfallen können. Und zwar treten solche Defekte nicht nur bei Beeinträchtigung der Hörareale des Schläfenlappens auf, sondern auch dann, wenn Stirnhirn und Scheitelregionen betroffen sind. Wie Hirnforscher ebenfalls herausgefunden haben, werden bestimmte musikalische Teilaspekte wie Klangfarbe oder Rhythmus nicht eindeutig der linken oder rechten Hirnhälfte zugewiesen. Manche Ausfälle sind zudem sehr spezifisch: So kommt es vor, dass ein Hirngeschädigter entweder nur die Zeitstruktur oder nur die Melodiestructur nicht mehr verarbeiten kann. Demnach sind die dafür zuständigen Hirnregionen nicht identisch.

Die individuellen Unterschiede bei der Zuordnung musikalischer Leistungen zu Hirngebieten waren viel größer als bei Ausfällen der Sprachverarbeitung. Das ließ sich zum Teil aus den verschiedenen Untersuchungstechniken erklären, die nicht standardisierten Tests folgten. Isabella Peretz von der Université de Montréal beschrieb 1990 jedoch auch Unterschiede zwischen dem „analytischen“ und „ganzheitlichen“ Hören. Patienten mit einer Schädigung der linken Hirnhälfte konnten schlechter Melodien unterscheiden, in denen einzelne Intervalle verändert waren (analytische Hörweise), ▶

RHYTHMEN – LINKE HIRNHÄLFTE



WENN MUSIKALISCHE LAIEN EINFACHE RHYTHMISCHE BEZIEHUNGEN VERARBEITEN – so etwa das Verhältnis der Tonlängen 1:2:4 oder 1:2:3 –, nutzen sie so genannte prämotorische, also bewegungsvorbereitende Regionen sowie Teile des Scheitellappens der linken Hirnhälfte. Sind die Zeitverhältnisse komplexer (etwa 1:2,5:3,5), müssen prämotorische und Stirnlappen-Regionen auf der rechten Seite aktiv werden. In beiden Fällen arbeitet außerdem noch das Kleinhirn mit – in bester Übereinstimmung mit der verbreiteten Auffassung seiner Bedeutung als „Zeitgeber“. Wieder zeigte sich bei einer Untersuchung von Musikstudenten ein anderes Bild: Hier waren beim Unterscheiden von Rhythmen oder Metren Teile des Stirnlappens und des Schläfenlappens auf der rechten Seite am aktivsten. Wenn es also um rhythmische Beziehungen geht, ist die Situation gerade umgekehrt wie bei Tonhöhen: Musikalisch Untrainierte verarbeiten sie auf der linken Seite, Geübte eher rechts.

tiv in diesem Frequenzband weniger aktiv waren. Umgekehrt führt mehrjähriges intensives musikalisches Training zu einer stärkeren Aktivität der zuständigen Hirnbereiche. Dabei verändern sich diese Regionen spezifisch nur für die jeweiligen Instrumente und musikalischen Erfordernisse. Bei Berufstrompetern etwa reagieren die „musikalischen“ Hirnstrukturen nur auf Trompetentöne verstärkt, nicht aber auf Geigenklänge.

Auch das Richtungshören ist hochgradig übungsabhängig. Dirigenten etwa müssen die klangliche Balance des gesamten Orchesters und damit auch der seitlich sitzenden Musiker kontrollieren. Sie sind auch tatsächlich Pianisten darin überlegen, seitlich positionierte Klangquellen genau zu orten – und ihre Hörneuronen sind dabei aktiver.

Aber auch musikalische Strukturen wie Intervalle und Rhythmen erfassen wir durch Übung besser. Daher bieten Musikhochschulen auch das Fach „Gehörbildung“ an. In mehreren Längsschnittstudien untersuchten Wissenschaftler an unserem Institut, welche Veränderungen Gehörbildung und Musikunterricht in den an Musikwahrnehmung beteiligten Gehirnregionen bewirken. So erforschte Gundhild Liebert in unserem EEG-Labor zusammen mit dem Musikpädagogen Wilfried Gruhn an Musikstudenten die Auswirkungen eines etwa halbstündigen Gehör-Trainings. Insgesamt 32 rechtshändige junge Musikerinnen und Musiker sollten 140 abwechselnd dargebotene Dur-, Moll-, verminderte oder übermäßige Akkorde hören und identifizieren. Die Akkorde erklangen jeweils zwei Sekunden lang, worauf zwei weitere Sekunden des „inneren Nach-Hörens“ folgten. Danach erhielt der eine Teil der Versuchspersonen über eine Lernkassette einen standardisierten Gehörbildungsunterricht mit dem Ziel, danach verminderte oder übermäßige Akkorde besser zu erkennen. Die anderen Probanden lasen derweil eine ►

»Ich darf nicht verschweigen, dass wir Pianisten nicht immer gleichmäßig funktionieren. Ich meine damit nicht nur die Geöltheit unseres Spielapparates – ... ich meine damit auch die Qualität des Hörens, die sich unter dem Einfluss von Frische und Ermüdung, Entspanntheit oder Angst verändern kann. Viel wird davon abhängen, von welchem Instrument und Raum der Pianist gerade herkommt, ob er vertraute Verhältnisse vorfindet oder sich völlig umstellen muss. In diesem Fall wird das Einspielen und Einhören vor dem Konzert auch den Zweck haben, die jüngsten Hör- und Spielgewohnheiten möglichst gründlich aus dem Gedächtnis zu tilgen.«

Alfred Brendel, Nachdenken über Musik

»Vielleicht, sagte Kretschmar, sei es der tiefste Wunsch der Musik, überhaupt nicht gehört, noch selbst gesehen, noch auch gefühlt, sondern, wenn das möglich wäre, in einem Jenseits der Sinne und sogar des Gemütes, im Geistig-Reinen vernommen und angeschaut zu werden.«

Thomas Mann, Doktor Faustus

Kurzgeschichte. Anschließend hörten alle noch einmal dieselben Akkorde wie eingangs, allerdings in veränderter Reihenfolge. Während der Hörsitzungen registrierten die Wissenschaftler die Aktivität größerer Neuronenpopulationen mittels EEG (siehe Abbildung unten).

MENUETTO COREPRESENTATIVO: OHR UND HAND VERMÄHLEN SICH

Beim ersten Hören der Akkorde waren in beiden Hirnhälften die Stirn- und Schläfenregionen aktiv. Die Aktivierung nahm danach bei den Mitwirkenden ohne Gehörbildungsphase generell ab, was auf Gewöhnung zurückzuführen ist. Die Gehörbildung führte dagegen bei der anderen Gruppe nicht nur zu einem deutlich besseren Erkennen der Akkorde, sondern

auch zu mehr Aktivität in zentral gelegenen Gehirngebieten, die Sinneswahrnehmungen mit Bewegungsvorstellungen verknüpfen – vor allem während der Phase des inneren Nach-Hörens. Womit konnte dies zusammenhängen? Auf die Frage, ob sie eine bestimmte Hörstrategie angewandt hätten, antworteten einige Versuchspersonen, sie hätten sich nach dem Training die Akkorde im Geiste als Griffe am Klavier vorgestellt. Da nahezu alle Probanden zu Hause ihr Gehör am Klavier schulten, hatte vielleicht der Unterricht die Repräsentationen der „Griffbilder“ im Gehirn ins Spiel gebracht: die in der Hirnrinde gespeicherten Informationen, wie man einen bestimmten Akkord am Klavier spielt. Diese halfen dann während des inneren Nach-Hörens, die Klänge zu identifizieren.

Damit sind wir auf einen entscheidenden Tatbestand gestoßen: Menschen können Musik nicht nur als Klang – auditiv – wahrnehmen! Im Konzert beobachten wir auch den oder die Musiker beim Spielen (visuelle Wahrnehmung);

Eine „Badekappe“ mit 32 Elektroden dient zum Ableiten des EEGs. Um den Übergangswiderstand zwischen Haut und Elektrode möglichst klein zu halten, wird ein spezielles Gel in diesen Zwischenraum gefüllt.

bei lauterer Passagen fühlen wir Vibrationen – der taktile Sinn ist angesprochen. Spielen wir selbst ein Musikstück auf einem Instrument, nehmen wir es als Abfolge von Griffmustern wahr, also sensomotorisch. Studieren wir einen Notentext, erfassen wir ihn auf symbolischem Weg. In jeder dieser Modalitäten können wir Musik im Gehirn repräsentieren und in Gedächtnissystemen speichern. Wenn also sensomotorische Repräsentationen tatsächlich Tonmuster bestimmen helfen, muss das Gehirn gefühlte Musik in gehörte übersetzen. Berufspianisten können in der Tat eindrucksvoll schildern, wie ihnen beim Hören einer Klaviersonate die Finger jucken – und wie sie andererseits mit ihrem inneren Ohr Klaviermusik hören, wenn sie mit den Fingern selbstvergessen auf der Tischplatte trommeln. Wenn wir ein Instrument spielen, muss unser Gehirn immer Hörinformationen mit sensomotorischen Daten zusammenführen.

Um herauszufinden, wie viel Zeit das Gehirn benötigt, um solche Verknüpfungen herzustellen, maß mein Mitarbeiter Marc Bangert bei musikalischen Laien die Aktivität im Gehirn in zwei Situationen: Entweder hörten sie einfache, kurze Klaviermelodien, oder sie drückten stumm geschaltete Tasten an einem elektronischen Klavier. Damit hatte er ihre Hirnaktivität beim Hören und beim reinen Fingerbewegen aufgezeichnet – zwei völlig unterschiedliche Aktivitätsmuster. Daraufhin folgte eine Übephase: Die Versuchsteilnehmer hörten einfache Melodien und sollten sie auf dem Klavier nachspielen. Diesmal konnten die Probanden hören, was sie spielten. Jedes Mal, wenn sie eine Melodie bewältigt hatten, folgte eine etwas schwierigere als Aufgabe, bis sich die Spieler nicht mehr verbesserten (siehe Abbildung Seite 25). In der Regel schafften sie es, zwanzig bis dreißig Melodien nachzuspielen. Dann bestimmte Bangert wieder die Hirnaktivität – getrennt für das Hören von Klaviermelodien und das Drücken der stummen Tasten. Insgesamt führte er über mehrere Wochen hinweg elf solche Trainingssitzungen mit Hirnaktivitätsmessungen durch.

CODA: VERÄNDERUNGEN IN DER GREIFREGION

Das Ergebnis: Bereits nach den ersten zwanzig Minuten Klavierübungen begannen sich die Aktivierungsmuster in den „Hörregionen“ wie auch den „Greifregionen“ leicht zu ändern. Drei Wochen später waren die Veränderungen deutlich erkennbar: Nun beteiligte sich allein schon beim Hören automatisch die sensomotor-



ECKART ALTEHMÜLLER

GEFÜHLE UND MUSIK IM GEHIRN

OBWOHL SICH MUSIK DADURCH AUSZEICHNET, starke Emotionen erzeugen zu können, begannen Forscher erst in den letzten Jahren, diesen Aspekt mit funktioneller Bildgebung zu erforschen. So untersuchte unsere Arbeitsgruppe an Jugendlichen, ob die Musikverarbeitung im Gehirn davon abhängt, ob sie ein Stück als schön empfinden oder nicht. Wenn den Teenagern die Musik gefällt, sind Teile des Stirnlappens und des Schläfenlappens auf der linken Seite stärker aktiv. Mögen sie ein Stück dagegen nicht, sind vergleichbare Gebiete auf der rechten Seite beschäftigt. Auch das unter der Großhirnrinde liegende, für Gefühle zuständige limbische System ist intensiv beteiligt: Als angenehm empfundene Musik brachte neben Teilen des Stirnlappens den *Gyrus cinguli* – eine weiter im Innern des Gehirns liegende Großhirnwindung – in Schwung. Dissonante, als unangenehm empfundene Musik führte dagegen zu Aktivität im rechten *Gyrus parahippocampalis* nahe der Unterseite des Gehirns. Und schließlich hängen die durch Musik hervorgerufenen Freude-Schauer mit dem limbischen Selbstbelohnungssystem zusammen.

rische Hirnregion, ohne dass die Teilnehmer ihre Hände auch nur ansatzweise bewegten. Bewegten die Versuchsteilnehmer jetzt die Finger auf stummen Tasten, begannen sich zusätzliche Hörregionen im Stirn- und Schläfenlappen einzumischen. Mit Abschluss des Experiments zeigten die Klavieranfänger ähnliche Aktivierungsmuster wie Berufspianisten: Bei Profis sind diese Muster nämlich weit gehend identisch, egal ob sie die Musik hören oder (stumm) spielen.

Erstaunlicherweise waren bereits nach fünf Wochen Training am Klavier die zunächst nur vorübergehenden Änderungen der neuronalen Vernetzung stabil: Wir hatten die Gelegenheit, eine der Versuchspersonen ein Jahr später noch einmal zu messen, und konnten bei ihr die Veränderungen der Hirnaktivität immer noch nachweisen, obwohl sie seit dem Training nicht mehr Klavier geübt hatte.

Wie diese Studie zeigt, können durch musikalisches Lernen also zusätzliche mentale Repräsentationen entstehen – in diesem Fall die Repräsentation von Tönen durch Fingerbewegungen. Allgemein bestimmt offenbar die individuelle Lern- und Hörbiografie die Aktivität un-

seres Gehirns, wenn wir Musik hören.

Unser Hörsystem unterscheidet sich von allen anderen Sinnen in zwei wichtigen Punkten. Zum einen ist das Ohr das Sinnesorgan mit den wenigsten Sinneszellen. Ein Vergleich mit dem Auge macht dies deutlich: Hier stehen den etwa 3500 inneren Haarzellen des Innenohrs über 100 Millionen Photorezeptorzellen in der menschliche Netzhaut gegenüber! Erst das Gehirn errechnet aus den spärlichen Informationen des Ohrs die vielfältigen Details der auditorischen Wahrnehmung. Zum anderen ist der Hörsinn wahrscheinlich von allen Sinnen der lernfähigste. Dabei können die Lernvorgänge ganz unterschiedlich schnell sein: Unser Gehör lernt in Sekundenschnelle, aber auch über viele Jahre hinweg.

Wo genau verarbeitet unser Gehirn also Musik? Wenn tatsächlich Musik bei jedem Einzelnen in etwas unterschiedlichen Hirnbereichen wahrgenommen wird, ist es schwierig, allgemein gültige Gesetze dafür zu finden. Streng genommen existieren dann nämlich derzeit etwa sechs Milliarden unterschiedliche „Musikzentren“ auf der Erde – in jedem Gehirn ein etwas anderes!

Dennoch – viele Voraussetzungen für das Musikhören gelten universell: Alle Menschen benötigen den Sinnesapparat im Innenohr, die Hörbahn vom Ohr zum Gehirn und die oberen Schläfenlappenwindungen, um Schallwellen als Musik dechiffrieren zu können. Auch die Arbeitsteilung zwischen der linken und der rechten oberen Schläfenlappenwindung – rasche zeitliche Analyse links, Verarbeitung der Tonhöhen rechts – dürfte im Wesentlichen allgemein gültig sein.

Und sogar für die Unterschiede in der Musikverarbeitung zwischen verschiedenen Personen gelten einige allgemeine Regeln und Grundsätze:

■ Bereits auf der Ebene der einfachen Zeit- und Tonhöhenanalyse in den oberen Schläfenlappenwindungen passt sich das Gehirn an Gelerntes an.

■ Im Gegensatz zum ungeübten Hörer ist bei Musikern dieselbe Musik mehrfach im Gehirn repräsentiert: als Klang, als Bewegungsprogramm (am Klavier), als Symbole (Noten) und so fort.

■ Wie Musik bei einem Menschen repräsentiert ist, wird von der Summe dessen bestimmt, was er bisher auf musikalischem Gebiet gelernt hat – seine auditive „Lernbiografie“.

Nicht zu vernachlässigen ist schließlich, dass auch Emotionen die Musik verarbeitenden Netzwerke im Gehirn beeinflussen und dass die Repräsentationen von Musik vom jeweiligen kulturellen Rahmen abhängen.

Das heißt: Sobald wir nicht mehr im Labor Musik in einzelne Faktoren zerlegen, sondern im Alltag Musik hören, verhält sich jedes Gehirn dabei etwas anders. Die beteiligten Hirnstrukturen passen sich schnell an neue Umstände an und sind über beide Hemisphären verteilt. Diese neuronale Dynamik beginnen wir erst jetzt zu erkennen und zu erforschen. ♦

»Das ist die Eigenschaft der Dinge: Was künstlich ist verlangt geschlossenen Raum
Natürlichem genügt das Weltall kaum«

Johann Wolfgang von Goethe, Faust II



ECKART ALTENMÜLLER ist Professor am Institut für Musikphysiologie und Musiker-Medizin an der Hochschule für Musik und Theater in Hannover.

altenmueller@hmt-hannover.de

Literaturtipps

ALTENMÜLLER, E.: How many Music Centers are in the Brain? In: Annals of the New York Academy of Sciences 2001, S. 930.

FINSCHER, L. (Hg.): Die Musik in Geschichte und Gegenwart, Basel: Bärenreiter 1995.

JOURDAIN, R.: Das wohltemperierte Gehirn. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 1998.



Tonfolgen wie diese mussten die Teilnehmer des Lernexperiments auf dem Klavier nachspielen – von ganz leichten (a) bis hin zu ziemlich anspruchsvollen (b).

SUBTILE MÄCHTE

Immer wieder gehen wir ihr auf den Leim: der schönen Welt der Werbung. Was macht die „heimlichen Verführer“ so erfolgreich und uns anfällig für sie?

VON ARND FLORACK
UND MARTIN SCARABIS

Allabendlich watscheln und torkeln sie über die Fernsehschirme der Nation: Babys in Windeln, brabbelnd und glücklich. Wie selbstverständlich verwenden heutige Eltern fast ausschließlich Plastikprodukte, die sie nach Gebrauch bequem entsorgen können; Stoffwindeln erscheinen dagegen unmodern und würden die ohnehin schon große Menge an Babywäsche nur noch unnötig vervielfachen. Bis zum Alter von zwei Jahren benötigt ein Kleinkind etwa vier Windeln pro Tag.

Man sollte daher vermuten, dass die Einführung der „Wegwerf“-Windel von den Verbrauchern seinerzeit als Segen empfunden wurde und rasch die unpraktischeren Stoffwindeln vom Markt verdrängte. Tatsächlich aber war die Ein-

wegwindel anfangs nicht sehr erfolgreich. Dabei hatte man doch mit einer Reihe von Werbemaßnahmen eindrucksvoll vorgeführt, welche Erleichterung das neue Produkt für die Eltern bedeutete. Einen Punkt allerdings hatte man nicht bedacht: Der Aspekt der Arbeitserleichterung war für die Mütter weit unerheblicher, als die Werbeexperten angenommen hatten. In Studien zum Kaufverhalten der Zielgruppe stellte sich heraus, dass für die Mütter das Wohl und die Zufriedenheit der Babys viel wichtiger waren als die eigene Arbeitsentlastung. Die Konsumenten nahmen also eine ganz andere Perspektive bei der Beurteilung des Produkts ein als die Experten der Werbebranche. Folglich wechselte die Strategie: Vermehrt wurde nun in den Vordergrund gestellt, dass die Babys in den neuen Windeln nicht nur trockener, sondern auch glücklicher wären. Erst dieser Dreh brachte den gewünschten Erfolg. Noch heute werden wir in den Fernsehspots davon überzeugt, dass die Anstrengungen der Windelhersteller immer zuerst dem Wohl der Kinder und nicht der Arbeitserleichterung der Eltern dienen.

Das Beispiel zeigt zum einen, welche Bedeutung Werbemaßnahmen bei der Vermarktung eines Produkts zukommt. Es verdeutlicht zum anderen aber auch, dass es nicht ausreicht, die Aufmerksamkeit der Verbraucher zu gewinnen, wenn die Botschaft von diesen anders aufgefasst wird als beabsichtigt. Die Kaufentscheidung orientiert sich weitaus weni-

ger am angepriesenen Nutzen des Produkts als gemeinhin angenommen.

Ist die Reaktion der Mütter im Fall der Wegwerf-Windeln noch gut nachvollziehbar, so erscheint das Verhalten der Konsumenten in anderen Situationen fast mysteriös, wie das Beispiel eines Händlers für Haushaltsgeräte belegt. Dieser erweiterte sein Sortiment um einen zusätzlichen Brotbackautomaten, doch das Gerät verkaufte sich nur sehr schlecht. Dagegen verdoppelte sich erstaunlicherweise der Absatz des einzigen Brotbackautomaten, der schon vorher im Programm präsent gewesen war. Aber warum? Als nur ein einziges Modell zur Verfügung stand, stellten sich die Konsumenten die Frage: „Soll ich überhaupt ein solches Gerät kaufen oder reicht der alte Backofen?“

Durch die Aufnahme des neuen Modells in das Programm hatten die Konsumenten eine direkte Vergleichsmöglichkeit, die bisher nicht gegeben war. Im Vergleich zu dem neuen Gerät erschien der preiswertere ältere Automat deutlich attraktiver. Jetzt fragten sich die Kunden: „Soll ich diesen oder lieber den anderen Brotbackautomaten nehmen?“ Hier zeigte sich ein Effekt, den Itamar Simonson und Amos Tversky von der kalifornischen Stanford University in einer großen Zahl von psychologischen Experimenten nachweisen konnten: Eine neue Wahlmöglichkeit, selbst wenn sie kaum Interesse für sich weckt, fördert den Absatz einer bisher wenig attraktiven Alternative.

SYMPATHIE DURCH VERTRAUTHEIT?

Seit Jahrzehnten ist Meister Proper der Saubermann der Werbung.



Die Beispiele verdeutlichen, dass die Wahrnehmung eines Produkts je nach Perspektive und Vergleichsstandard der Verbraucher völlig unterschiedlich ausfallen kann. Der Ursprung solcher Phänomene liegt in grundlegenden psychologischen Prozessen der Wahrnehmung und Umwelt-Interpretation. Betrachten Sie einmal die Abbildung auf Seite 29 oben!

Vermutlich haben Sie die obere Reihe von Zeichen schnell als die ersten drei Buchstaben des Alphabets identifiziert und die unteren als die Zahlen 12, 13 und 14. Interessant dabei ist, dass das jeweils zweite Zeichen in beiden Reihen identisch ist. Wir interpretieren denselben optischen Reiz je nach Kontext also verschieden. Unsere Wahrnehmung der Abbildung basiert auf der Interpretation und Zusammenfügung einzelner Elemente zu einem Gesamtbild. Wie wir ein bestimmtes Objekt wahrnehmen und bewerten,

hängt von den Vorerfahrungen, Einstellungen und Erwartungen ab, die wir in eine bestimmte Situation mit einbringen. Um zu erklären, wie diese Faktoren die Beurteilung von Produkten und das Kaufverhalten beeinflussen, greifen Psychologen auf theoretische Modelle zurück, die sich mit den Prozessen der sozialen Informationsverarbeitung beschäftigen: mit der Aufnahme, der Speicherung, dem Abruf und schließlich der Interpretation von Informationen durch Konsumenten.

EINE COMPUTERANALOGIE

Zur Verdeutlichung bietet es sich an, die menschliche Informationsverarbeitung mit einem Computer zu vergleichen. Bevor ein Computer ein Ergebnis liefert, nimmt er über ein Messinstrument oder über die Tastatur Informationen auf (Input), die er dann mittels eines Programms verarbeitet. Dazu werden weite-

re Informationen aus dem Speicher abgerufen, bevor dann über den Drucker oder den Bildschirm ein bestimmter Output erfolgt.

Ähnlich verhält es sich mit unserer Informationsverarbeitung. Während die Verpackung eines Produkts, die Argumente eines Kaufberaters oder der Vergleich mit alternativen Produkten den Input repräsentieren, kann die Kaufentscheidung als Output angesehen werden. Was zwischen diesen beiden Schritten passiert, ist beim Konsumenten wie beim Computer im Wesentlichen vom ablaufenden Programm abhängig, denn dieses bestimmt, wie die eingehenden Informationen interpretiert werden. Beim Computer kann das Betätigen derselben Taste bei verschiedenen Programmen ganz unterschiedliche Konsequenzen haben. Genauso können wir Menschen, wie im Beispiel der Babywindeln, je nach verwendetem Interpretationsrahmen bei ▶

gleichem Input zu vollkommen unterschiedlichen Beurteilungen ein und desselben Produkts gelangen.

Werbemaßnahmen wirken meist durch ihren Einfluss auf eben jenen Interpretationsrahmen, den ein Konsument bei der Beurteilung eines Produkts verwendet, und durch die Informationen, die er dabei in seinem Gedächtnis aktiviert. Übersetzt in die Computer-Analogie heißt dies: Der Werbetreibende versucht zu beeinflussen, welches Programm bei der Auswahl des Produkts gestartet wird und welche Informationen dieses Programm von der Festplatte abrufen. Wenn Werbemaßnahmen ihr Ziel erreicht haben, verbindet der Konsument das Produkt mit Eigenschaften, die innerhalb des von ihm verwendeten Interpretationsrahmens zu einer positiven Beurteilung des Produkts führen. Das heißt, im Gedächtnis des Konsumenten bilden sich Assoziationen zwischen positiven Bewertungen einerseits und dem Produkt andererseits.

Man kann sich den Speicher des menschlichen Informationsverarbeitungsapparates, das Gedächtnis, wie ein Netz vorstellen, in dem Knoten durch einzelne Fäden miteinander verbunden sind. Manche Knotenpunkte repräsentieren Objekte (zum Beispiel Produkte), andere repräsentieren bestimmte Eigenschaften (Qualität, Komfort, ...), Emotionen oder Bewertungen. Wird ein Knotenpunkt aktiviert, breitet sich dies zunächst auf benachbarte und dann – mit abnehmender Stärke – auch auf weiter entfernt liegende Knotenpunkte aus. Welche Assoziationen ein Individuum überhaupt zu einem Objekt hat, ist durch sein Wissen und seine Erfahrungen bestimmt. Welche Verbindungen aktiviert werden, hängt ebenfalls vom Vorwissen, aber auch von der konkreten Situation ab. Steht ein Konsument zum Beispiel vor der Frage, ob er sich einen Mercedes kaufen soll, so werden durch den Abruf der Automarke auch die Konzepte und Bewertungen aktiviert, die er mit diesem Produkt unmittelbar assoziiert. In einem Fall mögen dies Assoziationen wie „Luxus“ oder „Fahrkomfort“ sein, in einem anderen Fall „Elch-Test“ oder „Auto alter Leute“.

Wie wirken Werbemaßnahmen auf Assoziationen und Einstellungen in unserem Gedächtnis? Wer sich die Werbespots im Fernsehen oder die Anzeigenseiten in Magazinen anschaut, merkt schnell, dass hier keineswegs nur mit Sachargumenten geworben wird, sondern dass die Betrachter im Gegenteil



DOPPELTE BOTSCHAFT:

Die Windeln werden als Arbeitserleichterung für die Mutter und als angenehm für das Kind präsentiert. Bei der Einführung der Einweg-Babywindel in den 60er Jahren kehrten die Werbestrategen anfangs zu stark den Aspekt der Arbeitserleichterung für die Eltern hervor. Erst als sie das Wohl des Kindes mehr betonten, setzte sich das neue Produkt durch.

sehr häufig auf der Gefühlsebene angesprochen werden. Eine Versicherung etwa verwendet in ihren Spots Bilder, die Wärme und Geborgenheit vermitteln. Ein Brauereikonzern vermittelt in seinen Zeitschriftenanzeigen das Lebensgefühl fröhlicher und erfolgreicher junger Menschen. Hinter solchen Werbemaßnahmen steht die Idee, dass die dargestellten Emotionen auf das Produkt übertragen und so mit diesem verbunden werden. Gelingt dies, wird bei der Wahrnehmung des Produktes unmittelbar eine positive Emotion aktiviert. Hat ein Konsument beispielsweise vor, einen Versicherungs-

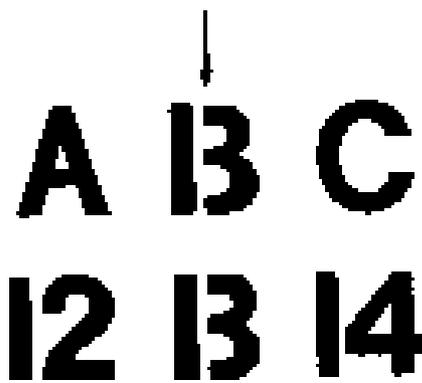
vertrag abzuschließen, sollte er idealerweise beim Studium der Angebote an Wärme und Geborgenheit denken und sich für die entsprechende Versicherung entscheiden.

Die Wirksamkeit solch einfacher Beeinflussungsversuche wurde in vielen psychologischen Untersuchungen belegt. Offenbar bildet sich durch die zeitgleiche Wahrnehmung von Produkt und Emotion tatsächlich eine Assoziation im Gedächtnis heraus. Die Stärke der Verknüpfung hängt dabei ganz einfach von der Häufigkeit der zeitgleichen Aktivierung ab. Ist die Assoziation ausreichend stark, sollte bei der Beurteilung des Produkts zu einem späteren Zeitpunkt auch die Emotion zum Tragen kommen. Eingeschränkt wird dieser Wirkmechanismus in der Werbung nur dadurch, dass verschiedene Firmen für ihre Produkte mit ähnlichen Mitteln werben. Die im Gedächtnis repräsentierten Assoziationen zwischen Produkt und Emotion sind dann nicht mehr eindeutig.

MARKENNAMEN ZUM MITSUMMEN

Eine andere Art, Gefühle und Bewertungen zu beeinflussen, die unmittelbar mit einem Produkt verbunden werden, liegt allein in der Häufigkeit der Darbietung. Vielleicht kennen Sie das Phänomen, dass Ihnen ein Lied, das im Radio gespielt wird, beim ersten Hören kaum zusagt. Hören Sie den Song jedoch häufiger, fangen Sie irgendwann an mitzusummen. Ähnlich verhält es sich bei Produkten und Markennamen, die uns besonders häufig präsentiert werden. Wir bewerten sie positiver als solche, die uns zum ersten Mal begegnen. Untersuchungen haben gezeigt, dass dieser Effekt sogar dann auftritt, wenn die wiederholte Darbietung unterhalb der Wahrnehmungsschwelle, also unbewusst, erfolgt. In typischen Experimenten betrachten Versuchsteilnehmer Bilder verschiedener bedeutungsloser Objekte mit einer Geschwindigkeit von einer bis fünf Millisekunden – was so schnell ist, um die Bilder bewusst wahrzunehmen und festzustellen, dass einige häufiger als andere präsentiert werden. Danach werden die Versuchsteilnehmer gefragt, ob sie die Objekte mögen und ob sie sie überhaupt schon einmal gesehen haben. Obwohl die Personen in der Regel angeben, die Objekte noch nie vorher gesehen zu haben, bevorzugen sie typischerweise solche, die zuvor häufiger eingeblendet wurden als andere.

Psychologen gehen davon aus, dass man Produkte, die wiederholt präsentiert werden, leichter erkennt und einordnet. Allein diese Leichtigkeit bei der Wahr-



**UNSERE WAHRNEHMUNG IST NICHT
IMMER EINDEUTIG:**

**Je nach Kontext interpretieren wir
das mittlere Schriftzeichen
einmal als die Zahl 13, das andere
Mal als den Buchstaben B.**

nehmung geht mit einem positiven Gefühl einher, das unmittelbar auf das Objekt übertragen wird. Mit anderen Worten: Ein Gefühl überträgt sich auf das Produkt, das eigentlich nicht von der Einstellung, der Meinung oder dem Wissen darüber herrührt, sondern allein von der empfundenen Mühelosigkeit der Informationsverarbeitung. Auch die Bandenwerbung bei Sportveranstaltungen entfaltet möglicherweise über diesen Mechanismus ihre Wirkung. Die Zuschauer nehmen sie beiläufig, aber nicht unbedingt bewusst wahr. Dadurch entzieht sie sich der Gefahr, Langeweile oder gar Ablehnungsreaktionen auszulösen, die dem Effekt der bloßen Darbietung üblicherweise entgegenstehen. Empfinden wir die Präsentation einer bestimmten Werbung nämlich bewusst als zu häufig, so führt dies eher zu einer Abwertung des Produkts.

Für die unmittelbare Bewertung eines Produkts, das ein Werbespot anpreist, spielt auch die Stimmung der Zuschauer eine entscheidende Rolle. Vereinfacht ausgedrückt, betrachten wir bei guter Stimmung unsere Umwelt durch eine rosarote und bei düsterer Stimmung durch eine dunkle Brille. Wenn wir ein „gutes Gefühl“ haben, sagt uns das Produkt eher zu. Haben wir ein „schlechtes Gefühl“, wird unsere Bewertung weniger günstig ausfallen. Dabei sind wir nicht immer in der Lage zu differenzieren, ob unser Gefühl tatsächlich durch das Produkt oder durch andere Faktoren wie den Werbespot, das zuvor gesehene Programm oder aktuelle Geschehnisse um uns herum beeinflusst ist. Das heißt, wir nutzen in manchen Situationen eine Stimmung zur Beurteilung eines Produkts, die eigentlich durch ganz andere Vorkommnisse zu Stande gekommen ist.

Wie ernst auch Werbetreibende die Stimmung der Verbraucher nehmen, zeigt der Rückgang des Werbeaufkommens in den Tagen nach den Terroranschlägen vom 11. September 2001. In Deutschland brachen die Werbeumsätze bei allen Medien kurzfristig um bis zu 25 Prozent ein. Auch wenn sich die Situation später wieder weitgehend normalisierte, gehen Branchenexperten wie Clare Rossi und Peter Jones von der renommierten internationalen Werbe- und Marketingagentur Grey Worldwide von einer grundlegend neuen Situation aus und diagnostizieren eine erhöhte Sensibilität der Verbraucher. Die Veränderungen zeigen sich auch in den Ergebnissen verschiedener Umfragen, wonach bis zu 44 Prozent der befragten Bürger es für richtig halten, wenn bestimmte Motive – etwa Hochhäuser oder Flugzeuge – vorerst nicht in der Werbung erscheinen. André Kemper von der bekannten Werbeagentur Springer & Jacoby befürchtet sogar, dass New York als einstiges Sinnbild für Vitalität und Life-Style nun für die Werbung gänzlich ungeeignet geworden ist.

In der Tat beeinflusst die Stimmung der Verbraucher auch direkt den Abruf von Informationen aus dem Gedächtnis. Psychologen sprechen hier vom Stimmungskongruenz-Effekt, das heißt, im Netzwerk des Gedächtnisses werden ver-



**Auch Bilder können mitunter
doppelt interpretiert werden. Die
Zeichnung zeigt gleichzeitig
eine junge und eine alte Frau.**

mehrt genau solche Inhalte aktiviert, die zur jeweiligen Stimmung passen.

Unsere Stimmung „färbt“ aber nicht nur unser Urteil. Sie beeinflusst auch, wie stark wir Argumente hinterfragen, die uns bei einem Überzeugungsversuch – zum Beispiel in einem Werbespot – vorgesetzt werden. Gute Laune fungiert für uns als ein Signal dafür, dass alles in Ordnung und ein weiteres Nachdenken nicht notwendig ist. Wir vertrauen daher bei guter Stimmung Faustregeln oder „mental Abkürzungen“, die sich in der Vergangenheit als nützlich erwiesen haben. Man glaubt dann dem „Experten“, folgt attraktiven Menschen und verlässt sich auf die Güte des Markenprodukts. In schlechter Stimmung ist dies anders. Sie dient als Warnsignal dafür, dass etwas nicht stimmt und wir aufmerksamer sein müssen. Wir prüfen die gelieferten Argumente sorgfältiger und lassen uns von schwachen Begründungen kaum überzeugen. In diesem Fall spielt es auch eine geringere Rolle, wer die Argumente vorbringt. Ob diese nun von Franz Beckenbauer oder dem „Mann von nebenan“ stammen, ist weniger bedeutsam.

Der Effekt funktioniert, selbst wenn unsere Stimmung in keinem inhaltlichen Zusammenhang mit dem beworbenen Produkt steht. Daher wollen Produktpsychologen wissen, welche Wirkung Stimmungen haben, die nicht unmittelbar durch die Werbung, sondern durch TV-Programme oder – in Magazinen – durch

dem führt die durch das Programmumfeld verursachte positive Stimmung dazu, dass die Zuschauer während der Werbung vermehrt auf die bereits angesprochenen mentalen Abkürzungen zurückgreifen. Sie nutzen ihre eigene Gemütslage also eher als Bezugspunkt zur Bewertung der Werbespots, als Zuschauer „trauriger“ Sendungen es tun.

Die amerikanischen Psychologen Mark Pavelchak, John Antil und James Munch von der University of Delaware in Newark befragten Zuschauer im Anschluss an Werbespots, die während der Live-Übertragung des Superbowls, des Saisonfinales im American Football, ausgestrahlt wurden, zu ihren Erinnerungen. Dabei wählten sie Einwohner sowohl aus den Städten der siegreichen wie der unterlegenen Mannschaft als auch aus Städten, die nicht direkt emotional am sportlichen Topereignis beteiligt waren.

Die Überraschung: Gleich ob positive oder negative Emotionen – die Erinnerungsleistungen waren insbesondere dann schlecht, wenn die Befragten extrem starke Gefühle empfunden hatten. Das heißt, nicht nur bei extremer Niedergeschlagenheit, sondern auch in höchster Euphorie konnten sich die Zuschauer kaum an einzelne Werbespots erinnern. Die Erklärung hierfür ist einfach. Starke Gefühle gehen mit einer großen physiologischen Erregung einher und beanspruchen umfangreiche kognitive Ressourcen. Die Zuschauer sind daher bei star-

dem Produkt das Kleingedruckte auf den Etiketten studieren und alle Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Alternativen abwägen. Sie würden Stunden für Ihren Einkauf benötigen!

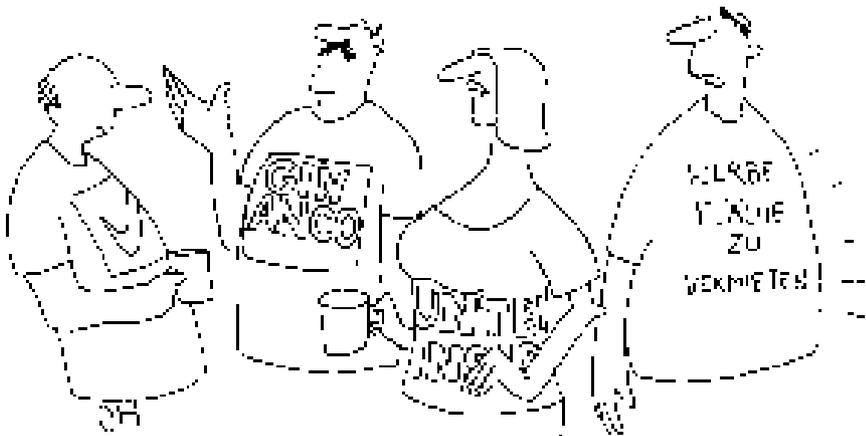
ÜBERREDEN UND ÜBERZEUGEN

Wenn wir versuchten, alle Informationen, die in komprimierten Werbeblöcken binnen kurzer Zeit auf uns einströmen, sorgfältig zu analysieren, würde dies schnell zu einem Kollaps unseres Kurzzeitgedächtnisses führen. Sinnvollerweise lassen wir Werbung daher oft nur beiläufig an uns vorbeilaufen, und im Supermarkt greifen wir nicht selten automatisch und allein unserer Gewohnheit folgend in die Regale. Natürlich sind wir nicht immer so arglos. Wenn Informationen für uns besonders wichtig sind, dann prüfen wir sie in der Regel auch kritisch und wägen verschiedene Argumente gegeneinander ab.

Die amerikanischen Psychologen Richard Petty von der Ohio State University in Columbus und John Cacioppo von der Chicago University haben diese Sorgfalt-Unterschiede bei unserer Informationsverarbeitung aufgegriffen und ein Modell entwickelt, das die Wirkung von Überredungsversuchen vorhersagt. Demnach können Beeinflussungsversuche auf zweierlei Art erfolgreich sein. Wenn wir Fakten und Argumente aufmerksam prüfen, mit denen man uns von einer Sache zu überzeugen versucht, sprechen Petty und Cacioppo vom *zentralen* Weg der Überredung. Konzentrieren wir uns hingegen weniger auf die Fakten und Sachargumente, sondern eher auf oberflächliche Merkmale einer Botschaft (zum Beispiel ihre Originalität oder die Person, die sie vorbringt), folgen wir dem *peripheren* Weg der Überredung.

Sind Konsumenten stark abgelenkt oder unfähig, die vorgebrachten Argumente sorgsam zu prüfen, sollten sie ebenso den peripheren Weg der Überredung beschreiten wie bei der Betrachtung einer Werbung, deren Gegenstand für sie keine besondere Bedeutung hat. Ist ein Produkt für jemanden aber wirklich wichtig, weil die Nachteile eines Fehlkaufs vielleicht fatal wären, so wird der zentrale Weg der Überredung beschritten.

Die Vorhersagen dieses Modells wurden in einer großen Zahl von Untersuchungen belegt. 1983 etwa untersuchten Petty und Cacioppo zusammen mit David Schuhmann von der University of Tennessee in Knoxville, wie eine Magazinwerbung die Bewertung eines noch nicht auf dem Markt eingeführten Ra-



die umgebenden Artikel ausgelöst werden. Ist ein TV-Spot effektiver, wenn er in der Werbepause einer Comedy-Show oder zwischen zwei Abschnitten einer nüchternen Dokumentarsendung kommt?

Studien über Effekte des Programmumfelds zeigen, dass im Vergleich zu sehr „traurigen“ Sendungen heitere Programme die spätere Erinnerung an einen Werbespot offenbar erleichtern. Außer-

ken Emotionen nur eingeschränkt im Stande, Werbespots aufmerksam zu verfolgen und sich deren Inhalte zu merken.

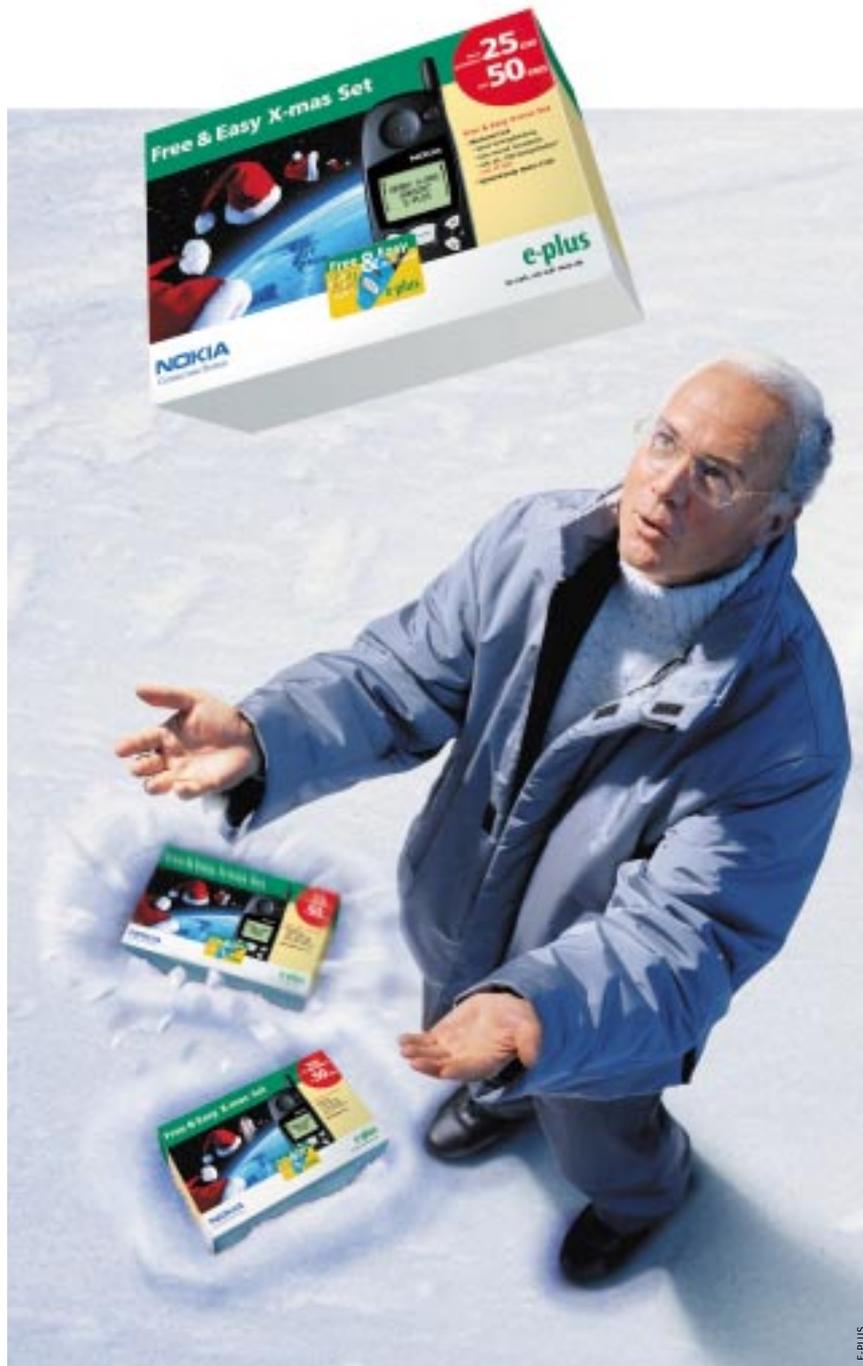
Würden wir keine mentalen Abkürzungen einsetzen, wären wir in vielen Situationen auf Grund der Fülle der auf uns einströmenden Informationen überfordert und unfähig, Entscheidungen zu treffen und zu handeln. Stellen Sie sich vor, Sie würden im Supermarkt bei je-

sierapparats beeinflusste. Wie erwartet, war die Einstellung stärker qualitätsorientiert, wenn die Befragten als Lohn für die Teilnahme an der Studie aus verschiedenen Rasierern einen auswählen durften, wenn die Qualität für sie also persönlich relevant war. Wenn den Befragten dagegen nicht in Aussicht gestellt wurde, ein Gerät auswählen zu können, und sie darüber hinaus annahmen, dass der neue Rasierer nicht so bald auf den Markt käme, sah das Ergebnis anders aus. In diesem Fall äußerten sich die Probanden eher dann positiv, wenn für das Produkt mit bekannten Sportlern geworben wurde, als wenn unbekannte Personen die Qualität bestätigten. Die vorgebrachten Argumente für das Gerät fanden in diesem Fall kaum Beachtung.

KAUFVERHALTEN ALS MESSLATTE

Für Praktiker der Werbebranche bedeuten diese Erkenntnisse, dass sie bei der Platzierung von Werbemaßnahmen sehr genau darauf achten müssen, wie stark die potenziellen Konsumenten motiviert sind und ob diese – voraussichtlich – in der Lage sein werden, die präsentierten Informationen auch aufmerksam aufzunehmen. Angenommen, eine Agentur erhält den Auftrag, für Produkte eines Notebook-Herstellers zu werben. Dann bietet es sich an, zuvor zu prüfen, wo potenzielle Kunden erreichbar sind, ob sie motiviert sind, Anzeigen zu lesen, und ob sie dort, wo die Werbung sie erreicht, auch Gelegenheit haben, Informationen sorgfältig aufzunehmen. Geht man davon aus, dass beispielsweise die Leser eines PC-Fachmagazins sich sehr für die Produkte interessieren und sich auch genügend Zeit zum Studium der Anzeigen nehmen, dann sollten diese überzeugungsstarke Einzelinformationen enthalten. Wählt man aber ein Medium wie das Fernsehen, bei dem Werbung eher beiläufig aufgenommen wird, sollte die entsprechende Werbemaßnahme dem Konsumenten die Anwendung von mentalen Faustregeln erlauben. Werbung mit Prominenten ist ein Beispiel hierfür.

Darf man nun aber schließen, dass es am Ende unerheblich ist, ob man Personen über den zentralen oder über den peripheren Weg beeinflusst – wenn es offenbar nur darauf ankommt, den Konsumenten irgendwie zu einer bestimmten Entscheidung zu bewegen? Kurzfristig betrachtet mag das so sein. Doch Werbemaßnahmen sollen meist auch längerfristig dafür sorgen, dass ein Kunde ein bestimmtes Produkt anderen Angeboten vorzieht. Es ist daher wichtig, zu wissen, dass Einstellungen, die durch sorgfältige Analyse der Argumente für oder gegen



EINE FRAGE DER EHRE: Würde Franz Beckenbauer auch für ein schlechtes Angebot werben? Prominente stehen für die Stärke von Produkten, ohne in der Werbung als Fachleute aufzutreten.

ein Produkt zu Stande gekommen sind, länger beibehalten werden und das Verhalten mit größerer Wahrscheinlichkeit beeinflussen als eher beiläufig gewonnene Ansichten. Folglich ist es für eine nachhaltige Änderung von Einstellungen günstig, stichhaltige Argumente zu präsentieren und die Konsumenten dazu zu motivieren, sich bewusst mit ihnen auseinander zu setzen.

Es gibt eine ganze Reihe von Möglichkeiten, Einfluss darauf zu nehmen, welche Informationen über ein Produkt im Gedächtnis der Konsumenten repräsentiert werden und wie stark sie dort verankert sind. Damit ist aber noch nicht gesagt, dass einzelne Kaufentscheidungen auch tatsächlich darüber beeinflussbar sind. Der Zusammenhang zwischen den Gedächtnisstrukturen beziehungsweise einer einmal gewonnenen Einstellung einerseits und unserem konkreten Verhalten andererseits ist nicht so eindeutig, wie man vielleicht zunächst vermutet. Denn unsere Wahl eines Produkts ist auch durch unsere Umwelt beeinflusst. So mag ein Kunde im Geschäft sogar genau entgegen seiner ursprünglichen Einstellung der geschickten Ver-

BENETTON GROUP S.P.A.



KUNST DER VERFÜHRUNG: „EYECATCHER“ UND „MYSTERY ADS“

WIE WECKT MAN DIE AUFMERKSAMKEIT VON KONSUMENTEN? Wie bringt man jemanden dazu, sich eingehend mit den präsentierten Vorteilen eines bestimmten Produkts zu beschäftigen? In schlechter Stimmung verfolgen wir aufmerksamer, welche Argumente in Überzeugungsversuchen angeführt werden, während wir in guter Stimmung kognitive Anstrengungen eher umgehen und auf so genannte mentale Abkürzungen zurückgreifen. Skurril, aber wahr: Es liegt tatsächlich nahe, negative Emotionen durch die Werbung anzusprechen, um die Konsumenten so zu einer sorgfältigen Betrachtungsweise zu animieren. Wie die Anzeigen des Modehauses Benetton mit Abbildungen von Aids-Kranken und Kriegsopfern belegen, werden solche Versuche auch tatsächlich in der Werbung unternommen.

Der Erfolg einer solchen Strategie hängt aber noch von anderen Faktoren ab. So birgt das Ansprechen negativer Emotionen auch das deutliche Risiko, dass dabei aktivierte negative Gedächtnisinhalte auch zur Beurteilung des Produkts herangezogen

werden, das Produkt also selbst negativer beurteilt wird. Dieser Effekt kann erwünscht sein, wenn die negative Bewertung eines Objektes oder einer Verhaltensweise eben das Ziel einer Kampagne ist.

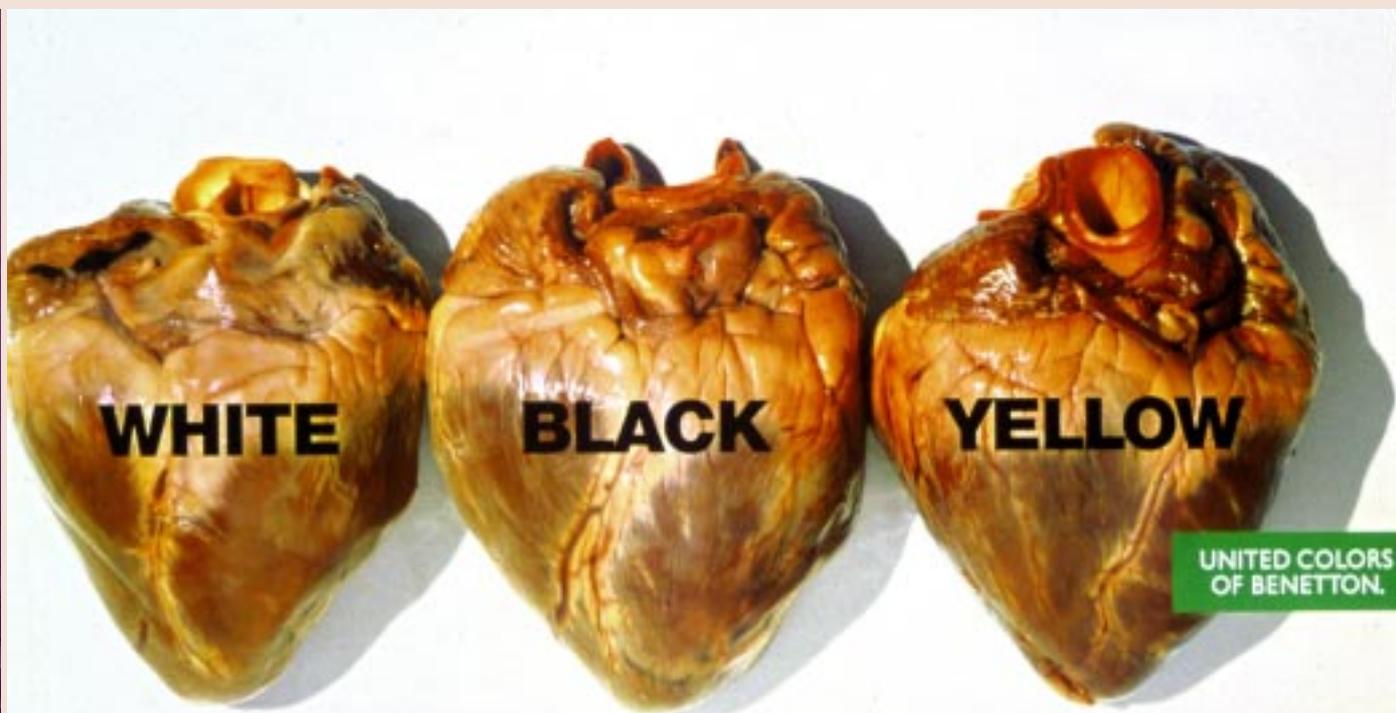
Denken Sie etwa an Programme, die versuchen, Menschen vom Vorteil des Nicht-Rauchens zu überzeugen! Werden hier beispielsweise über Bilder von Raucherlungen moderate Ängste geweckt und gleichzeitig Möglichkeiten aufgezeigt, wie das Rauchen reduziert werden kann, so darf man mit etwas Glück eine Einstellungs- und Verhaltensänderung erwarten. In den meisten Fällen sind solche negativen Bewertungen von Verhaltensweisen oder Produkten allerdings nicht Ziel von Werbung.

Welche Möglichkeiten gibt es noch, die Aufmerksamkeit der Konsumenten auf die Vorteile eines Produktes zu lenken? Als Erstes kann man die Werbung oder das physische Produkt selbst an einem günstigen Ort platzieren. Im Fernsehen sind aus

kaufsstrategie eines Verkäufers erliegen oder ein bestimmtes – eigentlich nicht favorisiertes – Produkt erwerben, nur weil er den Erwartungen seiner sozialen Umwelt entsprechen möchte. Ein Mitarbeiter der Automobilfirma Opel wird sich möglicherweise selbst bei einer

noch so wirksamen Werbestrategie von BMW keinen Wagen der Konkurrenzfirma kaufen, weil seine Kollegen ihn dann schief ansehen könnten. Und natürlich beeinflussen auch finanzielle Rahmenbedingungen unsere Kaufentscheidungen.

In bestimmten Situationen steht die Wahl zwischen dem einen oder dem anderen Produkt aber nicht im Widerspruch zu den Anregungen und Erwartungen unserer Umwelt. Außerdem ist es finanzierbar und auch Verkaufsstrategien des Verkäufers vor Ort beeindrucken uns nicht.



In den Benetton-Anzeigen wird mit ungewöhnlichen, teils eindeutig negativ besetzten Bildern die Aufmerksamkeit der Betrachter erregt. Bei solchen Werbekampagnen besteht die Gefahr, dass die ausgelösten negativen Emotionen sich auch auf die Bewertung der Marke übertragen.

diesem Grund die ersten Sendesekunden am Anfang eines Werbeblocks besonders beliebt, bei Zeitschriften der äußere hintere Umschlag und im Supermarktregal die Auslagen auf Augenhöhe. Andere Möglichkeiten liegen in der Gestaltung der Werbung. „Eyecatcher“ oder lebendige und anschauliche Illustrationen ziehen die Aufmerksamkeit auf sich. Gleiches gilt für Kurioses, Neuartiges und für Dinge, die unserer Erwartung widersprechen.

ALLERDINGS IST ZU BEACHTEN, dass interessante Effekte zwar die Aufmerksamkeit der Kunden erregen, aber nicht notwendigerweise dazu führen, dass diese auch die Verkaufsargumente verinnerlichen oder sich später besser an das beworbene Produkt erinnern. Wenn nämlich aufwendige Werbeelemente unsere kognitiven Ressourcen übermäßig beanspruchen, werden wir die Vorzüge des präsentierten Produkts nicht sorgsam analysieren, sondern uns eher an peripheren Merkmalen orientieren. Dies ist insbesondere dann zu erwarten, wenn das Produkt selbst nicht im Zentrum der Aufmerksamkeit steht.

Eine oft erprobte Möglichkeit, die Aufmerksamkeit direkt auf die Stärken eines Produkts zu lenken, besteht darin, Widersprü-

che oder offene Fragen in eine Anzeige einzubauen, die erst durch weiteres Lesen oder Nachdenken aufgelöst werden. Michael Houston von der Carlson School of Management an der University of Minnesota in Minneapolis und seine Mitarbeiter ermittelten bessere Erinnerungsleistungen, wenn Bild- und Textinformationen in Werbungen voneinander abwichen. Wie erwartet, zeigte sich dieser Effekt aber nur, wenn die Leser genügend Zeit hatten, um den Diskrepanzen nachzugehen und sie aufzulösen.

In der Fernsehwerbung setzt man so genannte Mystery Ads ein, um die Zuschauer zur Reflexion der angeführten Argumente anzuregen. In diesen Spots werden wir zunächst im Unklaren darüber gelassen, für welches Produkt überhaupt geworben wird. Erst am Ende, als Höhepunkt, wird das „Geheimnis“ gelüftet.

Grundsätzlich gehen Psychologen bei diesen Effekten davon aus, dass Konsumenten – ein gewisses Maß an Motivation vorausgesetzt – versuchen, eine Lösung für die offenen Fragen oder die aufgeworfenen Ungereimtheiten zu finden, und sich aus diesem Grund intensiver mit den dargebotenen Informationen auseinander setzen.

Orientieren wir uns wenigstens dann vorrangig an den Bewertungen, die in der Vergangenheit durch Werbemaßnahmen in unserem Gedächtnis verankert wurden? Wieder lautet die Antwort: nicht unbedingt. Voraussetzung ist, dass die durch die Werbung geprägten Gedäch-

nisstrukturen in der Kaufsituation auch abgerufen werden! Konsumenten besuchen Geschäfte oft erst lange Zeit, nachdem sie einen Werbespot im Fernsehen gesehen oder eine Werbeanzeige in einem Magazin studiert haben. In der Zwischenzeit wirkten viele neue Eindrücke

auf sie ein und die Assoziationen zu einem Produkt mögen verblasst sein. Firmen versuchen daher mit verschiedenen Mitteln, die Erinnerung an die Produktwerbungen am Verkaufsort zu erleichtern und positive Assoziationen zu reaktivieren. Verpackungen beispielsweise sind ►

Psychologie der Werbung

oft so gestaltet, dass sie Elemente der Werbung unmittelbar aufgreifen. So finden wir auf den Flaschen des Reinigungsmittels „Meister Proper“ dieselbe Kunstfigur wieder, die auch in der entsprechenden TV-Werbung erscheint.

Unser Kaufverhalten hängt aber vor allem von unseren eigenen Erfahrungen mit dem Produkt ab. Unwillkürlich rufen wir sie aus unserem Gedächtnis ab, wenn wir erneut vor der Kaufentscheidung stehen. Die größere Bedeutung erfahrungsbasierter Assoziationen zu einem Produkt gegenüber solchen Gedächtnisinhalten, die durch die Rezeption von Werbung gebildet wurden, erklärt sich durch die leichtere Aktivierbarkeit. Sie können schneller aus dem Gedächtnis abgerufen werden und haben somit mehr Einfluss auf unsere Beurteilung. Daher ist es durchaus sinnvoll, dem Verbraucher durch Gratispackungen, Probe-Abos oder Testfahrten Gelegenheit zu geben, eigene Erfahrungen mit dem Produkt zu sammeln. Dadurch wird unsere positive Einstellung zum Produkt gestärkt, und die Wahrscheinlichkeit steigt, dass wir es später auch erwerben möchten.

Laut Umfrageergebnissen sind die meisten Menschen davon überzeugt, Werbung könne sie nicht beeinflussen. Untersuchungen auf dem amerikanischen Markt mit so genannten „split cable tests“ belegen aber eindrucksvoll das Gegenteil. Bei diesen Verfahren kooperieren Kabelfirmen mit Supermärkten. Sie senden über ihr Netz selektiv Werbespots an unterschiedliche Gruppen von Verbrauchern, die sich bereit erklären, an Marktforschungsstudien teilzunehmen. Mit Codekarten, die beim Einkauf zu verwenden sind, lässt sich zurückverfolgen, wie häufig welche Produkte von den unterschiedlichen Versuchsgruppen gekauft werden. Die Ergebnisse zeigen, dass 60 Prozent der Werbung für neue Produkte und 46 Pro-

zent der Werbung für bereits etablierte Produkte den Absatz steigerten. Dabei lagen die Verkaufszahlen im Mittel um 21 Prozent höher, wenn Konsumenten bestimmte Werbespots gesehen hatten. Auch wenn die Aussagekraft dieser Zahlen sicherlich begrenzt ist – eine zumindest eingeschränkte Wirksamkeit der Werbung belegen sie in jedem Fall.

RATTEN IM WAHLKAMPF

Eine heftig diskutierte und von den Medien immer wieder aufgegriffene Frage ist, ob unterschwellige Werbebotschaften, das heißt solche, die sich unserer bewussten Wahrnehmung entziehen, unser Kaufverhalten beeinflussen. Die jüngste Diskussion über den Einsatz solcher so genannten subliminalen Beeinflussungstechniken entzündete sich im letzten US-Präsidentenwahlkampf. In einem Wahlwerbespot für den republikanischen



Damit Werbeeffekte in konkreten Kaufsituationen auch wirksam werden, „erinnern“ zahlreiche Produkte die Konsumenten im Geschäft an die vorherige Werbung. Die abgebildete Kunstfigur erscheint sowohl in der TV-Werbung für ein Reinigungsmittel als auch auf den Produktverpackungen.

Kandidaten George W. Bush wurde ein kurzer Ausschnitt aus einer Rede seines Hauptkontrahenten, des damaligen Vizepräsidenten Al Gore eingespielt. Dabei erschien für sehr kurze Zeit groß das Wort „rats“ (Ratten) im Bild. Die Demokraten warfen den Republikanern daraufhin vor, subliminale Botschaften zur Beeinflussung der Wähler einzusetzen. Die Produzenten des Spots behaupteten dagegen, es seien nur versehentlich die letzten Buchstaben des Wortes „bureaucrats“ (Bürokraten) eingeblendet worden.

Die Diskussion über Möglichkeiten der subliminalen Beeinflussung von Menschen ist aber keineswegs so neu wie dieser Fall. In den 50er Jahren wurde James Vicary aus New Jersey nachgesagt, er habe in seinem Kino eine neue Art der Werbung eingesetzt und die Botschaften „Trink Coca-Cola“ und „Iss Popcorn“ in Filme integriert, um den Absatz dieser Produkte zu steigern. Die Aufforderungen seien so kurz eingeblendet worden, dass sie von den Kinobesuchern nicht bewusst hätten wahrgenommen werden können. Vicary zufolge stiegen dadurch in einem Zeitraum von sechs Wochen der Verkauf von Cola um 18 und der Verkauf von Popcorn um 58 Prozent. Ähnliche Medienberichte folgten: Angeblich hatte ein Radiosender die nicht bewusst hörbare Botschaft „Fernsehen ist langweilig“ gesendet, und Kaufhausketten hätten Botschaften wie „Wenn Du stiehlt, wirst Du gefasst“ in ihren Verkaufsräumen abgespielt, um den grassierenden Ladendiebstahl einzudämmen.

Bei diesen anekdotischen Beispielen handelt es sich natürlich nicht um wissenschaftliche Studien. Vicary gestand später sogar ein, dass er seine Ergebnisse frei erfunden habe, um sein Geschäft anzukurbeln. In kontrollierten psychologischen Untersuchungen findet sich kein Hinweis darauf, dass einfache sprachli-



US-PRÄSIDENTSCHAFTSWAHLKAMPF 2000: In einem TV-Wahlwerbespot der Republikaner erschien für einen kurzen Moment groß das Wort „rats“ (Ratten) bei der Einspielung eines Auszugs aus einer Rede des gegnerischen Präsidentschaftskandidaten Al Gore. Dem Vorwurf, sie würden die Wähler mit Hilfe unterschwelliger Botschaften zu beeinflussen versuchen, hielten die Produzenten des Spots entgegen, versehentlich seien die letzten Buchstaben des Worts „bureaucrats“ (Bürokraten) eingeblendet worden.

Aus urheberrechtlichen Gründen können wir Ihnen die Bilder leider nicht online zeigen.

che Aufforderungen wie „Trink Coca-Cola“ oder „Iss Popcorn“ irgendeinen Einfluss auf unser Verhalten haben. So prüften Anthony Greenwald von der University of Washington in Seattle und seine Mitarbeiter die Wirksamkeit subliminaler Botschaften auf Audiokassetten. Die Probanden hörten fünf Wochen lang jeden Tag eine Musikkassette, die entweder versteckte Botschaften zur angeblichen Verbesserung des Gedächtnisses („Mein Gedächtnis wird jeden Tag besser“) oder zur Stärkung des Selbstwertgefühls („Ich habe einen hohen Selbstwert“) enthielten. Für die eine Teilnehmerhälfte waren die Kassetten korrekt gekennzeichnet, die andere Hälfte erhielt Kassetten mit falschen Etiketten. Das Hören hatte dabei in beiden Fällen keinen Effekt auf objektive Bestimmungen des Selbstwertgefühls oder des Gedächtnisses. Allerdings glaubten die Teilnehmer den Etiketten der Kassetten und meinten, selbst wenn diese falsch etikettiert waren, dass ihr Selbstwert oder ihre Gedächtnisleistung gestiegen sei!

DURCH VERDECKTE REIZE ZU MARIONETTEN GEMACHT?

Nach derzeitigem Stand der Forschung können wir davon ausgehen, dass einfache Botschaften mit Aufforderungscharakter keinen Einfluss auf unser Verhalten haben, wenn sie unterhalb der Wahrnehmungsschwelle dargeboten werden. Das heißt allerdings nicht, dass eine subliminale Beeinflussung grundsätzlich unmöglich ist. Dies belegt unter anderem ein Experiment von Sheila Murphy von der University of Southern California in Los Angeles und Robert Zajonc aus Stanford. Darin bewerteten Versuchsteilnehmer beispielsweise ihnen unbekanntes chinesisches Schriftzeichen positiver, wenn zuvor unterschwellig ein fröhli-

ches Gesicht dargeboten wurde, als wenn ein wütendes Gesicht oder eine neutrale geometrische Figur erschien. Andere Studien erwiesen, dass Fotos, unterhalb der Wahrnehmungsschwelle präsentiert, unser Sozialverhalten beeinflussen können. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass sich die Ergebnisse dieser Untersuchungen nicht unmittelbar auf realistische, hochkomplexe Situationen übertragen lassen. Bei all diesen Studien handelt es sich um Laborsituationen, in denen die Probanden sehr gezielt genau kontrollierten Einflüssen ausgesetzt wurden. So setzt subliminale Beeinflussung voraus, dass die Versuchsteilnehmer in einer ganz bestimmten Entfernung vor dem Computerbildschirm sitzen, auf dem dann in einer Weise Stimuli präsentiert werden, wie es in Filmen oder in der TV-Werbung gar nicht möglich wäre.

Diese Laborstudien untersuchten allerdings nicht die Frage, ob Versuchsteilnehmer auf Grund subliminaler Einflussnahme gegen ihren Willen bestimmte Handlungen ausführen. Verdeckt dargebotene Reize mögen Probanden im Labor dazu veranlassen, mehrdeutige oder unbekannte Reize etwas positiver oder negativer zu bewerten. Sie können aber wohl nicht erreichen, dass Konsumenten im Supermarkt Marionetten gleich nach einem Produkt greifen, das sie eigentlich gar nicht erwerben wollen. Insgesamt darf man nach den bisher vorliegenden

Erkenntnissen davon ausgehen, dass verdeckte, unterhalb der Wahrnehmungsschwelle präsentierte Botschaften nicht mehr erreichen als die üblichen Werbeformen. Der Erfolg von Werbung ist nicht allein vom Einfallsreichtum der beauftragten Agentur abhängig, sondern auch dadurch bestimmt, wie Verbraucher Informationen aus der sozialen Umwelt aufnehmen, verarbeiten und für ihre Kaufentscheidungen nutzen. ◆



DR. ARND FLORACK und DR. MARTIN SCARABIS sind Sozialpsychologen an der Universität Münster.

florack@psy.uni-muenster.de

scarabis@psy.uni-muenster.de

Literaturtipps

FELSER, G.: Werbe- und Konsumentenpsychologie. Eine Einführung. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 2001.

KARDES, F. R.: Consumer Behavior & Managerial Decision Making. Reading, MA: Addison-Wesley 1999.

Weblinks

www.werbepsychologie-online.de

Zombies und Quanten

www.consciousness.arizona.edu

VON HERMANN ENGLERT

ANZEIGE

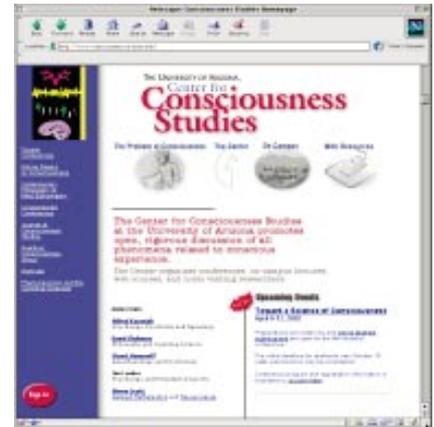
Woher weiß man eigentlich, dass das Gegenüber in der Straßbahn ein Bewusstsein hat? Vielleicht ist es nur eine Maschine, die menschliches Verhalten absput! Solche „Zombies“ sind eines der Gedankenkonstrukte, die sich Philosophen, Neurowissenschaftler, Physiker und Psychologen zurechtlegen, um sich dem Phänomen Bewusstsein zu nähern.

Daher geistern die Menschen-Maschinen auch durch die Webseite des Center for Consciousness Studies der Universität von Arizona. Diese Einrichtung fördert die „offene und harte Diskussion aller Phänomene, die mit dem Bewusstsein zu tun haben“, und ihre Webseite bietet eine Reihe nützlicher Informationen zu diesem Thema.

Der Link [Online Papers on Consciousness](#) führt zu einer umfangreichen Sammlung von Aufsätzen, geordnet in die Kategorien „Philosophy of Consciousness“, „Other Philosophy of Mind“ und „Science of Consciousness“. Dort finden sich Beiträge zu Sprache und Denken, Bewusstsein und Neurowissenschaften, Künstlicher Intelligenz – und eben auch zu Zombies.

Viele Texte – oft im Stil von Diskussionsbeiträgen – verlangen Vorwissen; rein einführende Artikel sind selten. Doch der Anfänger kann zumindest aus der Zusammenstellung der Themen Nutzen ziehen: Er bekommt rasch einen Eindruck, über welchen Fragen Bewusstseinsforscher brüten. Wer intensiv mit den Artikeln arbeiten will, sollte genügend Druckerpapier zu Hause haben. Meist öffnen sich lange Text-Dateien, die am Bildschirm schwer lesbar sind. Manche Links funktionieren nicht, was bei der riesigen Anzahl kaum überrascht.

Über [Contemporary Philosophy of Mind Bibliography](#) kommt man zu einer ausführlichen, nach Themen geordneten Literaturliste. Viele Einträge sind mit leider knapper Inhaltsangabe oder einem Kommentar versehen. Da die Liste nach sehr vielen Stichworten sortiert ist, bietet



sie jedoch rasch Zugang zu Werken über spezielle Themen der Bewusstseinsforschung.

Das [Journal of Consciousness Studies](#) ist das gedruckte Pendant zu den Online Papers, wobei eine Auswahl der Artikel auch im Internet zugänglich ist. Die Zeitschrift bietet ein Forum für Forscher, die neuartige und oft ungewöhnliche Denkansätze verfolgen. Ein Beispiel findet sich hinter dem Link zur [Quantum Consciousness Group](#). Forscher wie Stuart Hameroff von der Universität von Tucson vermuten den Sitz des Bewusstseins in Quantenprozessen, die unter anderem in den Mikrotubuli ablaufen. Das sind Proteine, die eigentlich Körperzellen Form geben und an der Zellteilung mitwirken. Nach physikalischen Gesetzen ist Quanten-Bewusstsein zwar denkbar; zu einem echten Existenzbeweis ist es jedoch noch weit.

Nach längerem Aufenthalt in komplizierten Gedankengebäuden bietet sich ein Erholungsausflug auf die Homepage von David Chalmers (unter „Directors“ in der Mitte der Seite) an. Er ist Professor für Philosophie und Kognitionswissenschaften an der Universität von Arizona. Man wähle in der Kategorie „Resources“ den Link [Philosophical humour](#), alternativ – Philosophen lieben dieses Thema – gibt es noch [Zombies on the web](#). ♦

Von Mäusen und Menschen

VON KATJA GASCHLER

Aus urheberrechtlichen Gründen können wir Ihnen die Bilder leider nicht online zeigen.

Plaudert Henning Scheich aus dem laboreigenen Nähkästchen, dann lohnt es sich, ganz genau hinzuhören. Fünf „Scheich-Minuten“ – das entspricht schon fast einem kleinen Neuro-Kompaktkurs. Kein Zweifel, es macht dem Magdeburger Physiologen Spaß, Wissenschaft anschaulich zu vermitteln. In gewisser Weise ist Kommunikation ja auch sein langjähriges Spezialgebiet.

Von Haus aus Mediziner, wandte er sich schon 1969 der Tierkommunikation zu. Drei Jahre lang erforschte er in Kalifornien, wie sich elektrische Fische unterhalten. Zurück in Deutschland, folgte er 1974 einem Ruf als Zoologieprofessor an die Technische Hochschule in Darmstadt. Von dort ging er auf Entdeckungsreisen: neue Kommunikationsformen bei Fischen im Amazonasbecken, Infraschallhören bei Perlhühnern in Zentralafrika. In Thailand untersuchte er die Echoortung bei Schwalben. Down under wollte er eigentlich nur den Zoo von Melbourne besuchen; dabei traf er auf das Schnabeltier und fand dessen Sinn für Elektrizität! Aber auch daheim war er emsig: Zum Beispiel entdeckte er, was bei der Lorenz'schen Nachfolgeprägung junger Nestflüchter im Gehirn passiert.

Seit 1992 ist Henning Scheich Direktor des Leibniz-Instituts für Neurobiologie in Magdeburg. Ist er inzwischen ruhiger geworden? Offenbar nicht, die Passion für Schallwellen ist geblieben. Vielleicht etwas sesshafter: In die Mongolei muss er jedenfalls nicht fliegen, um die kleinen Rennmäuse mit den empfindlichen Ohren zu untersuchen ...

HENNING SCHEICH

- Jahrgang 1942
- Wissenschaftlicher Direktor des Leibniz-Instituts für Neurobiologie (IfN) in Magdeburg und Professor für Physiologie an der Medizinischen Fakultät der dortigen Otto-von-Guericke-Universität
- Hauptarbeitsgebiete: akustische Steuerung von Verhalten, funktionelle Organisation des Hörcortex bei Säugetieren, Lernen, Kognition, Sprache und Neuroimaging-Verfahren
- Henning Scheich gehört zum wissenschaftlichen Beirat von Gehirn & Geist

G&G: Warum arbeiten Sie ausgerechnet mit Mongolischen Rennmäusen?

Scheich: Diese Tiere sind für die akustische Hirnforschung interessant, weil sie fast im gleichen Frequenzbereich hören wie Menschen. So helfen sie uns bei der Entwicklung von verbesserten Innenohrprothesen. Aber auch was die Verarbeitung von gesprochener Sprache im Gehirn angeht, lernen wir von ihnen.

G&G: Sprechen Mongolische Rennmäuse etwa?

Scheich: Meine Grundidee ist, dass ein bestimmter Aspekt der menschlichen Sprachverarbeitung seine Wurzeln in der Tierkommunikation hat. Tiere kommunizieren mit verschiedenen Lauten, wobei sie innerhalb eines Lauttyps die Tonhöhen variieren. Dies entspricht beim Menschen der Sprechmelodie. Sie übermittelt vorwiegend emotionale und andere sozial relevante Informationen und ist damit unser unmittelbares Tiererbe.

G&G: Was spricht für diese Annahme?

Scheich: Mongolische Rennmäuse lernen zum Beispiel schnell, Pfiffe mit aufsteigender Tonhöhe von solchen mit absteigender zu unterscheiden. Wir konnten zeigen, dass sie die Information – wie der Mensch die Sprechmelodie – vor allem in der rechten Hirnhälfte verarbeiten.

G&G: Ist das Verhalten der Mäuse denn als höherer Denkprozess anzusehen?

Scheich: Die Tatsache, dass sie nach ein paar Durchgängen jeden frequenzmodulierten Pfiff einer der beiden Klassen zuordnen können, zeigt, dass sie wie wir Kategorien bilden. Das ist für Denkprozesse enorm wichtig. Es erlaubt uns, neue Erfahrungen einzuordnen und vorausschauend zu handeln. Außerdem sind Kategorien ein Mittel, um Gedächtnisinhalte zu komprimieren.

G&G: Was passiert dabei im Gehirn?

Scheich: Wir haben vor kurzem aus der Chaostheorie ein neues Verfahren entwickelt, das erstmals eine detaillierte Untersuchung ermöglicht. Dabei fanden wir heraus, dass jede Rennmaus beim Hören verschiedenster Pfiffe früher oder später so etwas wie ein Aha-Erlebnis hat: Ab dann lösen Pfiffe derselben Kategorie, obwohl sie verschieden klingen, ein charakteristisches Aktivierungsmuster in der Hörrinde aus, das sich nicht mehr ändert.

G&G: Wer profitiert von diesen Ergebnissen?

Scheich: Es gibt taube Patienten, denen man mit einer Innenohrprothese nicht helfen kann. Etwas, was ich gerne noch erleben möchte, ist die Entwicklung einer Prothese für die Hörrinde.

G&G: Ein Chip im Gehirn?!

Scheich: Ja, ein Interface, implantiert im so genannten primären Hörcortex. Und das ist für mich keinesfalls Zukunftsmusik. Bei ertaubten Rennmäusen haben wir bereits Erfolge vorzuweisen. ♦

GLEICHTAKT IM NEURONENNETZ

Der rasante Fortschritt der Hirnforschung macht auch vor einem der letzten großen Rätsel des Menschen nicht Halt: dem Bewusstsein. Die naturwissenschaftliche Beschäftigung mit diesem traditionell geisteswissenschaftlichen Thema führt zu faszinierenden Ergebnissen.

VON GERHARD ROTH

Was ist Bewusstsein? Alle reden vom Bewusstsein: Der eine entschuldigt sich, jemanden auf der letzten Party „nicht bewusst“ übersehen zu haben, ein anderer versucht, „sein Bewusstsein zu erweitern“. Ein Dritter ringt darum, sich „etwas bewusst zu machen“. Fragen Sie aber jemanden, was Bewusstsein denn nun wirklich sei, dann erhalten Sie sehr unterschiedliche Meinungen – oder Ihrem Gegenüber fällt plötzlich ein ganz dringender Termin ein.

Kein Wunder: Die Antwort auf die Frage nach dem Wesen des Bewusstseins

ist selbst für Experten nicht einfach. Bewusstsein umfasst viele unterschiedliche Zustände, die lediglich darin übereinstimmen, dass sie von jemandem erlebt und im Prinzip berichtet werden können. Man sollte daher besser nicht von „dem“ Bewusstsein reden, wie dies häufig in der philosophischen Diskussion geschieht. Die allgemeinste Form von Bewusstsein ist die so genannte Wachheit, die „Vigilanz“. Ihr stehen Zustände geringeren Bewusstseins gegenüber: „Dösen“, Benommenheit, Antriebslosigkeit, Tiefschlaf und verschiedene Stufen der Bewusstlosigkeit bis hin zum tiefen Koma.

Bewusstseinsforscher unterscheiden zwei Formen: das Hintergrundbewusstsein sowie das Aktualbewusstsein. Das Hintergrundbewusstsein beinhaltet länger andauernde Gefühlserfahrungen wie etwa:

- Körper: „Der Körper, in dem ich stecke, ist mein Körper“,
- Identität: „Ich besitze eine eigene Identität“,
- Kontrolle: „Ich verursache und kontrolliere meine eigenen körperlichen und geistigen Handlungen“,
- Lokalisation: „Mein Selbst und mein Körper nehmen in Raum und Zeit einen bestimmten Ort ein“.

Außerdem gehören dazu der Realitätscharakter von Erlebtem und – damit zusammenhängend – die Unterscheidung zwischen Realität und Vorstellung. Auf

diesem Hintergrundbewusstsein bauen die konkreten, teils schnell wechselnden Zustände des Aktualbewusstseins auf. Dazu gehören:

- bewusste Sinneswahrnehmungen von Vorgängen in der Umwelt und im eigenen Körper,
 - geistige Tätigkeiten wie Denken, Vorstellen und Erinnern,
 - Emotionen, Affekte und Bedürfnisse (etwa Hunger),
 - Wünsche, Absichten und Willensakte.
- Zusammen bilden Hintergrund- und Aktualbewusstsein den charakteristischen „Strom des Bewusstseins“.

Nach bestimmten Hirnschäden können die verschiedenen Aspekte des Bewusstseins mehr oder weniger voneinander unabhängig ausfallen. So gibt es Menschen, die völlig normale Wahrnehmungen, Erinnerungen oder Vorstellungen haben. Zugleich sind sie aber davon überzeugt, ihr rechter Arm oder gar ihr ganzer Körper gehöre nicht zu ihnen. Andere Patienten besitzen zwar ein ungestörtes Körper- und Umwelterleben, wissen aber nicht, wer sie sind oder wo sie sich gerade befinden. Die Untersuchung solcher Fälle erlaubte Neurowissenschaftlern, die verschiedenen Elemente des Bewusstseins zu unterscheiden und im Gehirn zu lokalisieren.

Ein ganz besonderer, uns allen vertrauter Bewusstseinszustand ist die Aufmerksamkeit. Alles, worauf wir nicht unsere Aufmerksamkeit richten, wird uns

*Aus urheberrechtlichen
Gründen können wir Ihnen
die Bilder leider nicht
online zeigen.*

REINE KOPFGEBURT:

Im 19. Jahrhundert war die Auffassung weit verbreitet, dass psychische Eigenschaften und Fähigkeiten streng an bestimmte Orte im Gehirn gebunden seien. „Phrenologische“ Vorstellungen wie diese ordneten sogar verschiedene Formen der Liebe sowie geistige Merkmale wie Ehrgeiz, Selbstachtung und Gewissenhaftigkeit einzelnen Gehirnzonen zu. Dem Bewusstsein ist allerdings auch hier kein Ort zugewiesen. Holzstich von 1864, spätere Kolorierung

kaum bewusst, auch wenn es beeinflussen mag, wie wir wahrnehmen, fühlen oder handeln. Aufmerksamkeit als „Konzentration“ steigert konkrete Bewusstseinszustände. Diese werden begleitet von räumlich, zeitlich und inhaltlich eingeschränkten („fokussierten“) Sinnesleistungen oder geistigen Zuständen wie tiefem Nachdenken. Daher gilt, was jeder auch intuitiv so empfindet: Je mehr wir unsere Aufmerksamkeit auf ein ein-

zelnes Geschehen richten, desto mehr werden andere Geschehnisse aus unserem Bewusstsein ausgeblendet.

In der Diskussion um die Natur des Bewusstseins wird oft übersehen, dass das meiste von dem, was um, in und mit uns geschieht, nicht notwendig von Bewusstsein begleitet ist. Hierzu gehört erst einmal alles, was unser Gehirn aufnimmt, bevor sich ein erinnerungsfähiges Bewusstsein überhaupt ausbildet – ►

WO BEWUSSTSEIN ENTSTEHT (1)

DIE SCHWELLE ZUM BEWUSSTSEIN

NACH HEUTIGEM WISSENSSTAND sind uns nur solche Dinge bewusst, die mit Aktivität der sechsschichtigen Großhirnrinde (Neo- oder Isocortex, auch einfach Cortex genannt) einhergehen. Allerdings sind am Hervorbringen von Bewusstseinszuständen viele Teile des menschlichen Gehirns beteiligt, die selbst völlig unbewusst arbeiten.

Eine dieser Hirnstrukturen mit grundlegender Bedeutung für Wachheit und Bewusstheit ist die so genannte retikuläre Formation. Sie ist eine netzartige (retikuläre) Struktur, die sich in drei Längsreihen von Zellgruppen, so genannte Kerne, gliedert. Entlang der Mittellinie (Raphe) liegt die mediane Kerngruppe, welche die danach benannten Raphe-Kerne umfasst. Für Gefühle und Kognition ist vor allem der dem Rücken zugewandte (dorsale) Raphe-Kern wichtig. Die von ihm ausgesendeten Nervenfasern (Bahnen) laufen zu vielen anderen Hirnzentren einschließlich des Thalamus (siehe unten), von dem aus Bahnen zur Großhirnrinde ziehen.

Seitlich von der medianen liegt die mediale Kerngruppe. Die Nervenfasern der dort angesiedelten Neuronen ziehen ebenfalls zum Thalamus und von dort zum Cortex. Die mediale Kerngruppe bildet das so genannte aufsteigende aktivierende System. Es erhält von allen Sinnessystemen Meldungen über Vorgänge in unserem Körper oder unserer Umgebung. Sobald sich hier etwas deutlich verändert, erhöht sich über die Erregung der so genannten intralaminären und Mittellinien-Kerne des Thalamus der generelle Aktivitätszustand der Großhirnrinde und damit unser Wachheitszustand.

AUSSEN IN DER RETIKULÄREN Formation liegt die laterale Kerngruppe. Der vorderste Kern, der *Nucleus tegmentalis pedunculo-pontinus* (PPT, für englisch pedunculo-pontine tegmental nucleus), steht über das basale Vorderhirn mit dem Cortex in Verbindung. Der „blaue Kern“ (*Locus coeruleus*) hat etwa dieselben Verbindungen wie der dorsale Raphe-Kern.

Die mediane und die laterale Kerngruppe, darunter besonders der dorsale Raphe-Kern, der PPT und der *Locus coeruleus*, arbeiten spezifischer als die mediale Gruppe. Vermutlich melden die Bahnen des *Locus coeruleus* über den Neuromodulator Noradrenalin dem Gehirn und vor allem der Großhirnrinde die Anwesenheit neuer oder auffallender Reize. Der PPT und das basale Vorderhirn signalisieren dagegen über Acetylcholin eher die Wichtigkeit von Reizen und beeinflussen hierüber den Grad an fokussierter Aufmerksamkeit und Gedächtnisbildung. Die Raphe-Kerne wiederum scheinen über Serotonin eher ihre Zielgebiete, vor allem den Cortex, zu dämpfen. Sie verhindern vorschnelle impulsive Handlungen, indem sie melden: „Alles ist gut, wie es ist!“

Neurowissenschaftler sehen den Thalamus zusammen mit dem Hippocampus allgemein als das „Tor zum Bewusstsein“ an. Sinnesreize erreichen über thalamische Umschaltkerne eng umgrenzte Gebiete innerhalb der sensorischen Gebiete der Großhirnrinde. Die intralaminären und Mittellinien-Kerne des Thalamus sind demgegenüber eher diffus mit dem Cortex verbunden. Sie spielen als Umschaltstationen zwischen retikulärer Formation und der Großhirnrinde bei der Regulation der allgemeinen Aktivität des Cortex und Bewusstheit eine wichtige Rolle.

KÜRZLICH WURDE EIN ALLE THALAMISCHE KERNE DURCHZIEHENDES SYSTEM von so genannten Matrixzellen entdeckt. Diese zielen mit ihren Ausläufern großflächig in die oberen Schichten des Cortex. Ebenso wie die intralaminären Kerne können die Matrixzellen den allgemeinen Aktivitäts- und Bewusstseinszustand des Cortex regulieren. Ein *Nucleus reticularis thalami* genannter Kern umhüllt wie eine Schale den gesamten seitlichen Teil des Thalamus und ist ebenfalls für das Zustandekommen von Aufmerksamkeit und Bewusstsein wesentlich. Er kontrolliert die Aktivität thalamischer Umschaltkerne und kann so wie ein Filter für das Bewusstsein wirken. Alle Verbindungen zwischen Thalamus und Cortex zusammen genommen bezeichnen Fachleute als das thalamo-corticale System. Dieses System von Milliarden von auf- und absteigenden Nervenfasern besteht somit aus einer Kombination von sowohl lokal als auch großflächig wirkenden Verbindungen, die sich unter Mitwirkung des *Nucleus reticularis thalami* gegenseitig erregen und hemmen können.

Aus urheberrechtlichen Gründen können wir Ihnen die Bilder leider nicht online zeigen.

im Mutterleib, während der Geburt und in den ersten zwei bis drei Lebensjahren.

Aber auch im Alltag erfährt und verarbeitet unser Gehirn vieles, was uns niemals bewusst wird. Neurowissenschaftler sprechen hier von impliziter Wahrnehmung und implizitem Lernen. Diese stehen im Gegensatz zu expliziter Wahrnehmung und explizitem Lernen, die wir bewusst erleben und über die wir berichten können. Allerdings meinen die meisten Fachleute, unbewusste Wahrnehmung führe nur zu einer „flachen“ Informationsverarbeitung: Auf diese Weise erkenne man Objekte, Vorgänge oder Zusammenhänge anhand auffallender physischer Merkmale und einfacher Regeln, erfasse aber keine Details oder komplexe Bedeutungsinhalte.

Das meiste von dem, was im Prinzip bewusst sein könnte, ist uns nicht aktuell bewusst. Dies gilt für alles, was einmal bewusst erlebt und anschließend in den unterschiedlichen Gedächtnissen im Gehirn niedergelegt wurde. Manches davon können wir mit oder ohne Anstrengung willentlich abrufen; anderes hingegen ist unwiederbringlich verloren.

Viele Dinge, und zwar hauptsächlich solche, die der Übung bedürfen, benötigen zuerst bewusste Aufmerksamkeit. Fahrrad fahren, Klavier spielen oder eine komplizierte Maschine bedienen – all dies können wir nicht lernen, ohne uns darauf zu konzentrieren. Mit zunehmender Übung verringert sich jedoch der Aufwand an Konzentration und Aufmerksamkeit, bis schließlich alles „wie geschmiert“ läuft. Lenken wir dann unsere Aufmerksamkeit auf Details dieser Handlung, so stören wir häufig sogar den glatten Ablauf!

Zustände des Aktualbewusstseins und insbesondere der Aufmerksamkeit treten also immer dann auf, wenn das Gehirn mit Geschehnissen oder Problemen konfrontiert wird, die (aus welchen Gründen auch immer) wichtig oder neu sind. Dies setzt ein System voraus, das unbewusst beziehungsweise vorbewusst arbeitet. Mit Hilfe der verschiedenen Gedächtnisarten klassifiziert es alles, was unser Gehirn wahrnimmt, nach den Kriterien wichtig – unwichtig sowie bekannt – unbekannt:

■ Wird etwas unbewusst als unwichtig eingestuft, so tritt es entweder überhaupt nicht oder nur sehr undeutlich in unser Bewusstsein.

■ Dinge der Kategorie „wichtig, aber bekannt“ führen zur Aktivierung von Verarbeitungsinstanzen, die sich bereits mit ihnen befasst haben, und damit zu routinhaften Handlungen, die von keinem oder nur geringem Bewusstsein begleitet sind.

Aus urheberrechtlichen Gründen können wir Ihnen die Bilder leider nicht online zeigen.

SCHICHT UM SCHICHT:

In diesem Gewebeschnitt aus der Großhirnrinde einer Maus wurden mit der so genannten Golgi-Imprägnation einzelne Nervenzellen angefärbt. Deutlich ist zu sehen, dass die Zellen in Schichten angeordnet sind.

■ Nur wenn die Bewertungsinstanz ein Geschehnis oder eine Aufgabe als wichtig und neu einstuft – etwa wenn neue Bedeutungen zu erfassen, komplexe Probleme zu lösen und neue motorische Fertigkeiten zu erlernen sind –, dann wird das Bewusstseins- und Aufmerksamkeitssystem voll eingeschaltet. Bewusstsein ist in diesem Sinne eine besondere Art von Informationsverarbeitung; insbesondere im Zusammenhang mit komplexer Handlungsplanung kann es Geschehnisse und Probleme bewältigen, die für die unbewusste Verarbeitungsebene zu kompliziert sind.

DAS PROBLEM DES FREIEN WILLENS

Neurowissenschaftler haben in den letzten Jahren weit gehend entschlüsselt, welche Gehirnareale zum Bewusstsein beitragen (siehe Kästen Seite 40, 42 und 44). So nehmen wir nur das bewusst wahr, was mit Aktivitäten in den „assoziativen Gebieten“ der Großhirnrinde (des Cortex) einhergeht. Die elementaren Verarbeitungsprozesse außerhalb der Großhirnrinde und in ihren sensorischen Regionen bleiben unserem Bewusstsein völlig unzugänglich, auch wenn das Entstehen von Bewusstseinszuständen erfordert, dass diese Hirnbereiche zuvor oder

gleichzeitig aktiv sind. Unsere verschiedenen Bewusstseinszustände stellen also nur das Endprodukt äußerst komplexer, aber unbewusst ablaufender Verarbeitungsvorgänge dar.

Dies gilt letztlich auch für das Gefühl, in unseren Absichten und Handlungen frei zu sein – der subjektive Eindruck von Willensfreiheit. Vor rund zwei Jahrzehnten führte der amerikanische Neurobiologe Benjamin Libet an der University of California in San Francisco zusammen mit seinen Kollegen dazu Versuche durch, die unter Philosophen und Psychologen großes Aufsehen erregten. Das Ergebnis: Unbewusst arbeitende, tiefer liegende (subcorticale) Zentren können die Cortex-Aktivität bei Handlungen bestimmen, die wir als von uns gewollt erleben. Anders gesagt, fällt die Entscheidung zu einer Handlung schon auf unbewusster Ebene, bevor man sich bewusst dazu entschließt. Kürzlich wurden diese Ergebnisse durch die beiden Neuropsychologen Patrick Haggard und Martin Eimer am University College in London bestätigt.

In dieses Bild passt, dass subcorticale Zentren diejenigen Gebiete des bewusstseinsfähigen Cortex beeinflussen können, die Willkürhandlungen vorbereiten und steuern. Wichtig ist in diesem Zusammenhang allerdings, dass die für bewusste Bewegungen zuständigen subcorticalen Basalganglien ihrerseits durch das limbische System gesteuert werden. Dieses setzt sich aus verschiedenen Teilen zusammen und umfasst unter anderem die organisierenden Regionen beziehungsweise den Sitz des emotionalen Gedächtnisses sowie den Organisator ▶

des kognitiven Gedächtnisses. In dieser bemerkenswerten Konstellation steckt die neuronale Grundlage dessen, was man die „Handlungsautonomie des Individuums“ nennen kann, nämlich die Steuerung unserer Handlungen durch eigene Erfahrung. Allerdings arbeiten beide Gedächtnisorganisatoren, der emotionale wie der kognitive, weit gehend unbewusst. Dies bedeutet, dass das bewusste Ich bei all seiner funktionalen Wichtigkeit keinen entscheidenden, son-

dem nur einen beratenden Einfluss auf diejenigen Handlungen ausübt, die es als selbstveranlasst empfindet. In diesem Sinne ist die subjektiv empfundene „Willensfreiheit“ nicht die höchste Kontrollinstanz unserer Handlungen.

Wie aber erlangen nun Neurobiologen das Wissen, in welcher Weise einzelne Bewusstseinszustände mit der Aktivität verschiedener Gehirnstrukturen zusammenhängen? Eine wichtige Quelle bieten Patienten mit geschädigten Hirn-

regionen. Die beobachteten Folgen sagen aber nichts über die neuronalen Mechanismen aus, die dem Bewusstsein zu Grunde liegen. Hierzu brauchen wir Methoden, welche die neuronale Aktivität erfassen, angefangen von der Ebene einzelner Zellen oder gar deren Kontaktstellen (Synapsen) bis zu den viele Millionen oder gar Milliarden Nervenzellen umfassenden Netzwerken der Hirnrinde. Einblicke in die Hirnaktivitäten verschaffen unter anderem spezielle bildge-

Wo BEWUSSTSEIN ENTSTEHT (2)

GEFÜHLE UND GEDÄCHTNIS

GEFÜHLE SIND EIN WICHTIGER TEIL unseres bewussten Erlebens. Sie entstehen „subcortical“, wie Neurobiologen sagen, das heißt auf Grund der Einwirkung von Zentren des so genannten limbischen Systems auf die Großhirnrinde, den Cortex. Eine zentrale Rolle spielt hierbei der Mandelkern, die Amygdala. Diese Struktur erzeugt und verarbeitet unbewusst emotionale Zustände und Erlebnisse und erkennt vor allem Furcht einflößende oder schädliche Umweltreize. Manche Forscher nehmen an, dass die Amygdala auch an nicht furchtbedingten oder sogar positiven emotionalen Zuständen wie Neugierde und Tatendrang beteiligt ist.

Gefühle der Lust, der Befriedigung und des Wohlbefindens gehen insbesondere auf die Aktivität des mesolimbischen Systems zurück. Es besteht aus dem *Nucleus accumbens* und dem ventralen tegmentalen Areal. Über den Neuromodulator Dopamin und so genannte hirneigene Opiate teilt es anderen Hirnzentren und besonders der Großhirnrinde mit, wenn ein positiver, das heißt lustbetonter Zustand eintritt. Das mesolimbische System kann auch auf Grund von Erfahrung über Dopamin signalisieren, dass ein bestimmtes Verhalten Belohnung und Lustgewinn verspricht und deshalb ausgeführt werden sollte.

GEDÄCHTNISINHALTE SIND NEBEN AUFMERKSAMKEIT und Gefühlen der wesentliche Teil des Bewusstseins. Das bewusstenfähige Gedächtnis nennen Hirnforscher auch deklaratives Gedächtnis. Für dieses sind der Hippocampus und die ihn umgebende Hirnrinde zuständig, die daher ebenfalls ein „Tor“ zum Bewusstsein bilden. Die Inhalte des deklarativen Gedächtnisses speichert allerdings nicht der Hippocampus selbst, sondern verschiedene Gebiete der Großhirnrinde, je nach den jeweiligen Sinnesmodalitäten und Funktionen. Innerhalb des deklarativen Gedächtnisses unterscheiden Wissenschaftler zwei verschiedene Gedächtnistypen.

Das Wissensgedächtnis umfasst Tatsachen, die von Personen, Orten und der Zeit unabhängig sind. Das episodische Gedächtnis enthält dagegen konkrete Erlebnisse mit Bezug auf die eigene Person. Der Kern des episodischen Gedächtnisses ist das autobiografische Gedächtnis, das die Grundlage des Ich- und Selbstbewusstseins bildet. Nach derzeitiger Meinung ist für das episodische Gedächtnis der Hippocampus zuständig, für das Wissensgedächtnis der Cortex um ihn herum.

Der cinguläre Cortex steht zwischen dem limbischen System im engeren Sinne und der Großhirnrinde. Er spielt eine wichtige Rolle bei der Steuerung von Aufmerksamkeit und bei der emotionalen Einfärbung von Wahrnehmungen, zum Beispiel bei Schmerzempfindung. Außerdem arbeitet der cinguläre Cortex beim Erkennen und Korrigieren von Fehlern eng mit dem Stirnhirn zusammen.

Aus urheberrechtlichen Gründen können wir Ihnen die Bilder leider nicht online zeigen.



PRIVAT

Er entlarvte den „freien Willen“ als Illusion: der amerikanische Neurobiologe Benjamin Libet

bende Verfahren (siehe den Kasten auf Seite 45): die Magnetencephalographie (MEG), die Positronenemissionstomografie (PET) und die funktionelle Kernspintomografie (fMRI). Die Elektroencephalographie (EEG) erfasst die „Hirnstromwellen“. Die Aktivität einzelner Synapsen, Zellen oder Zellverbände registrieren Forscher mit Hilfe von Mikroelektroden, die vor Ort platziert werden.

Was passiert nun in den mit diesen Methoden identifizierten Hirngebieten, wenn wir bestimmte Bewusstseinszustände erleben? Eine bloß vorübergehende Steigerung der Nervenimpulsrate allein kann es nicht sein, denn das passiert ständig und überall im Gehirn, ohne dass wir uns dessen bewusst werden. Experten gehen heute eher davon aus, dass den verschiedenen Bewusstseinszuständen sekundenschnelle „Umverdrahtungs“-Vorgänge in neuronalen Netzwerken der Großhirnrinde zu Grunde liegen. Diese Netze bestehen beim Menschen meist aus Millionen von vielfach verknüpften Nervenzellen. Die Verknüpfungspunkte – die Synapsen zwischen den Zellen – können ihre Kontakte kurzfristig verstärken oder abschwächen. Das bewirkt eine Veränderung der lokalen Informationsverarbeitung. Eine Reihe von Forschern nimmt an, dass dadurch Nervenzellen

bestimmter Teil-Netzwerke vorübergehend in denselben Erregungstakt geraten, sich also synchronisieren. Dies wäre vorteilhaft, wenn es etwa darum geht, ein bestimmtes Objekt in einer Menge anderer Objekte zu erkennen oder den Sinn eines Satzes zu erfassen. Die Nervenzellen würden dann zusammen kurzfristig eine Bedeutungseinheit bilden. Bei der Entstehung synchronisierter Aktivität spielt die Kombination von eher lokal und eher großflächig wirkenden Verbindungen zwischen dem Thalamus – einem wichtigen Schaltzentrum im Zwischenhirn – und dem Cortex offenbar eine wichtige Rolle. Fachleute sprechen hierbei vom thalamo-corticalen System.

DENKEN IM SEKUNDENTAKT

In den bewusstseinsrelevanten Hirnregionen werden modulatorisch wirkende Stoffe ausgeschüttet, welche die schnellen Veränderungen in der Synapsenstärke corticaler Neuronen beeinflussen. Die so genannte retikuläre Formation (siehe Seite 40) und verschiedene limbische Zentren steuern diese Ausschüttung dabei wesentlich. Während die für die Signalübertragung zwischen Nervenzellen zuständigen Botenstoffe – die so genannten „schnellen“ Neurotransmitter wie Glutamat oder Gamma-Aminobuttersäure – im Bereich von Millisekunden arbeiten, benötigen neuromodulatorische Vorgänge und die durch sie angestoßenen chemischen Prozesse in einer Zelle beziehungsweise an einer Synapse viel mehr Zeit, etwa eine Sekunde oder auch etwas länger. Dies könnte eine Grundlage für den charakteristischen „Sekundentakt des Bewusstseins“ sein: das Zeitintervall von etwa einer Sekunde, in dem sich Wahrnehmungen, Vorstellungen, Gedanken und Erinnerungen ablösen.

Neuromodulatorische Vorgänge verbrauchen verhältnismäßig viel Sauerstoff und Traubenzucker (Glucose). Entsprechend wird der Nachschub über den lokalen Blutfluss in Sekundenschnelle erhöht. Nur deshalb kann man sie mit Hilfe von Positronenemissionstomografie oder funktioneller Kernspintomografie sichtbar machen.

Ein Beispiel: Wir stehen vor der Aufgabe, möglichst schnell ein bestimmtes Objekt in einer komplexen Szene zu identifizieren. Anfangs müssen wir uns stark konzentrieren, und entsprechend hoch ist der Aufwand, den unsere Schläfen- und Hinterhauptslappen im Gehirn leisten müssen: Bereits bestehende Netzwerke müssen in ihren synaptischen Kopplungsstärken verändert oder neue Netzwerke gebildet werden, bis die Lösung gefunden ist. Nach einigen Wieder-

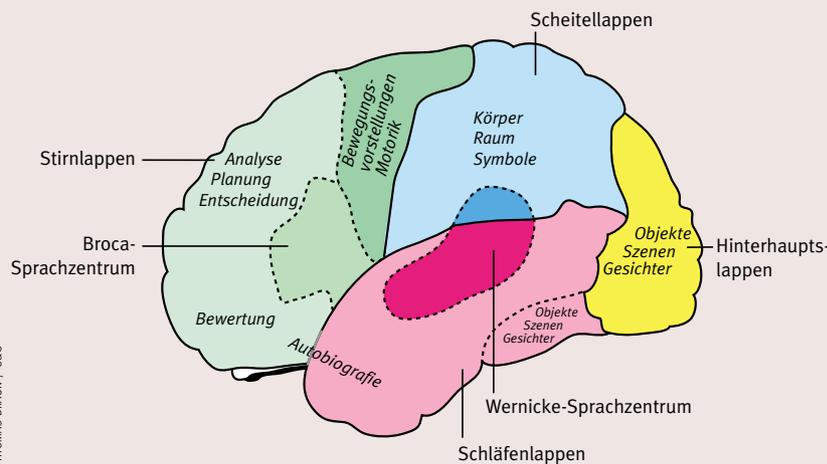
holungen vermindert sich jedoch die Verknüpfungsarbeit in der Großhirnrinde, und entsprechend lösen wir diesen Aufgabentyp mit viel geringerem geistigem Aufwand. Im PET oder fMRI unseres Gehirns würden wir nach wenigen Malen kaum mehr eine messbar erhöhte Rinden-Aktivität finden, weil die beteiligten Netzwerke sich immer effektiver verschalten und keinen zusätzlichen Zucker- und Sauerstoff-Nachschub benötigen!

Noch eindrucksvoller geht es beim Erlernen eines komplexen Bewegungsablaufs zu: Anfangs müssen wir uns konzentrieren, damit uns das Vorhaben überhaupt gelingt, und entsprechend hoch ist die Aktivität in den beteiligten Gebieten der Großhirnrinde. Nach hinreichender Übung erledigen wir die Sache dann „im Schlaf“ und können gleichzeitig über anderes nachdenken. Die daran beteiligten Netzwerke verkleinern sich und verlagern sich zunehmend in die unbewusst arbeitende motorische Rinde und in tiefere motorische Zentren wie das Kleinhirn und die Basalganglien. Damit entziehen sich auch die mehr und mehr automatisierten Bewegungen unserer bewussten Kontrolle. Unser Gehirn versucht stets, Abläufe so weit wie möglich zu automatisieren (und damit aus dem Bewusstsein zu verbannen); denn dadurch wird seine Arbeit schneller, effektiver und stoffwechselphysiologisch billiger. Bewusstsein ist dagegen langsam, fehlerbehaftet und „teuer“; aber neue, komplexe Dinge können nun ▶



Wo BEWUSSTSEIN ENTSTEHT (3)

DIE GROSSHIRNRINDE – DER SITZ DES BEWUSSTSEINS



DER NEO- ODER ISOCORTEX besteht aus vier Großhirnlappen: Hinterhauptslappen, Scheitellappen, Schläfenlappen und Stirnlappen. Wenn Hirnforscher sich mit seinen Funktionen befassen, unterscheiden sie sensorische, motorische und assoziative (zusammenführende) Gebiete. Die sensorischen Areale verarbeiten Sinneswahrnehmungen, die motorischen Regionen steuern bei willkürlichen Bewegungen einzelne Muskeln oder Muskelgruppen. Nur die Aktivitäten der assoziativen Gebiete sind von Bewusstsein begleitet.

Alle vier Großhirnlappen enthalten Anteile dieses Assoziationscortex, so etwa der mittlere, hintere und untere Teil des Scheitellappens. Er beschäftigt sich mit der bewussten Wahrnehmung und Identität des eigenen Körpers, mit Bewegungsplanung, Raumwahrnehmung, -orientierung und -vorstellung und mit räumlicher Aufmerksamkeit. Mit seiner Hilfe können wir eine dreidimensionale Welt im Geiste konstruieren, wissen über den eigenen Aufenthaltsort Bescheid, erfassen räumliche Perspektiven und gehen mit abstrakten Raumkonzepten um. Dazu gehören auch das Erkennen, Deuten und Benutzen von Karten, Zeichnungen und abstrakten Symbolen.

DER ASSOZIATIONSCORTEX des Schläfenlappens ist für das Sehen und Hören zuständig. Sein unterer Teil sowie angrenzende Teile des Hinterhauptslappens erkennen Objekte, Gesichter und Szenen. Der mittlere und obere Bereich verarbeitet dagegen Geräusche, Melodie und Sprache. Hier findet sich auch das Wernicke-Sprachzentrum, das bei den meisten Personen in der linken Hirnhemisphäre liegt. Es erfasst die Bedeutung von Wörtern und einfachen Sätzen.

Der Assoziationscortex des Stirnlappens teilt sich in einen oberen und seitlichen Teil, den präfrontalen Cortex, und einen über den Augenhöhlen liegenden Teil, den orbitofrontalen Cortex. Der präfrontale Cortex hilft mit, Sinneswahrnehmungen zeitlich und räumlich zu strukturieren, planvoll und kontextgerecht zu handeln und zu sprechen, Probleme zu lösen oder den Inhalt von Denken und Tun umzulenken. Seine Aktivität ist damit die Grundlage unserer bewussten Pläne und Handlungsabsichten. Der orbitofrontale Cortex befasst sich hingegen vor allem mit inneren Zielvorstellungen, mit Motivationen und Gefühlen sowie mit dem Überprüfen der Konsequenzen des eigenen Handelns. Er wird entsprechend von einigen Forschern auch als „Sitz“ von Moral und Ethik und damit unseres Gewissens angesehen. Das Broca-Sprachzentrum liegt ebenfalls im Stirnlappen und beschäftigt sich mit der Produktion von Sprache – vor allem mit der Syntax und den sich daraus ergebenden Satzbedeutungen.

einmal nicht ohne Bewusstsein erledigt werden.

Auch wenn noch nicht alle Ereignisse genau bekannt sind, welche die bewusstseinsbegleitenden Vorgänge im Gehirn bewirken – eines ist klar: Bewusstsein ist vollständig an bestimmte physikalische, chemische und physiologische Prozesse in unserem Gehirn gebunden. Blockiert man diese Vorgänge in der Großhirnrinde, etwa die schnelle Veränderung in der Stärke synaptischer Kopplungen oder in der synchronen Aktivität, dann sind wir auch nicht mehr in der Lage, bestimmte bewusstseinsbegleitete kognitive oder motorische Leistungen auszuführen.

ASSOZIATIONEN IM GEHIRN

Warum aber sind nur solche Vorgänge von Bewusstsein begleitet, die im assoziativen Cortex stattfinden? Was Struktur und Aufbau angeht, unterscheidet er sich nicht gravierend von der übrigen Großhirnrinde. Auch er besteht aus sechs unterscheidbaren Schichten mit einem relativ gleichförmigen zellulären Aufbau (siehe Abbildung Seite 41). Seine Eingänge und Ausgänge sind wie im restlichen Cortex auf die einzelnen Schichten abgestimmt.

In den so genannten primären und sekundären sensorischen Gebieten der Rinde findet eine erste Verarbeitung der Informationen aus den Sinnesorganen auf niedriger Ebene statt. Die assoziativen Regionen sind diesen Gebieten nachgeschaltet und dabei in der Verarbeitungshierarchie höher angesiedelt. So gehen Informationen von den Augen über den Thalamus immer zuerst zur primären und sekundären Sehrinde und von dort aus erst zu den visuellen assoziativen Gebieten im Scheitel- und Schläfenlappen. Es gibt allerdings viele „rückläufige“ Verbindungen zu den primären und sekundären Regionen, die anscheinend für das Entstehen von Bewusstsein in den assoziativen Gebieten wichtig sind. Dazu passt, dass die Neuronen in den assoziativen Arealen in durchweg komplizierterer Weise auf Inputs antworten als die Zellen in den sensorischen Gebieten. Häufig reagieren sie auf verschiedene Arten von Sinnesreizen; sie arbeiten also „hochintegrativ“. Bestimmte Nervenzellen in der Übergangszone von Scheitel-, Hinterhaupt- und Schläfenlappen reagieren etwa auf visuelle und auditorische, visuelle und taktile oder visuelle, auditorische und taktile Reize.

Der assoziative Cortex hängt zugleich stärker als die übrige Rinde mit dem Hippocampus-System zusammen (dem Organisator des kognitiven Ge-

dächnisses) sowie mit dem limbischen System (insbesondere mit der so genannten Amygdala als Organisator und eventuellem Sitz des emotionalen Gedächtnisses). Dies gilt in besonderem Maße für den unteren Schläfenlappen und den Stirnlappen: Diese Cortexregionen sind für Bewusstseinszustände besonders wichtig. Hier haben die neuromodulatorischen Systeme auch wesentlich mehr Einfluss als in den sensorischen und motorischen Gebieten. Kurz gesagt, Bewusstsein entsteht dort, wo sich corticales und limbisches System und damit Wahrnehmungen, Kognition und Gefühle durchdringen und zur Grundlage unseres Handelns werden.

Für das Entstehen von Bewusstsein ist besonders wichtig, dass jede der rund 50 Milliarden Nervenzellen in der Großhirnrinde mit jeweils tausend bis zehntausend anderen verbunden ist. Daher übertreffen die Verbindungen innerhalb der Großhirnrinde mit rund 500 Billio-

nen die Zahl der Ein- und Ausgänge um das Millionenfache. Dies wiederum bedeutet: Wenn auch die Großhirnrinde mit dem Rest des Gehirns und über die Sinnesorgane und den Bewegungsapparat mit dem Körper und der Umwelt in Verbindung steht, spricht sie doch im Wesentlichen mit sich selbst.

SYNCHRONES FEUERN

Die Neurowissenschaften können zumindest in Umrissen zeigen, welche Funktionen die verschiedenen Bewusstseinszustände erfüllen und unter welchen physikalischen, chemischen, anatomischen und physiologischen Bedingungen im menschlichen Gehirn Bewusstseinszustände entstehen. Freilich ist damit noch nicht im eigentlichen Sinne die physikalische oder physiologische Natur von Bewusstsein geklärt. Soll man wie im 19. Jahrhundert Bewusstsein als eine Art Substanz verstehen, die die Gehirnzellen produzieren, so wie die Leber

Galle herstellt? Dies können wir wohl ausschließen, denn eine solche Substanz wäre erstens wohl entdeckt worden und zweitens würde ihre bloße Existenz nicht viel erklären. Viel eher müssen wir nach dynamischen Zuständen suchen, die Bewusstseinszustände hervorbringen.

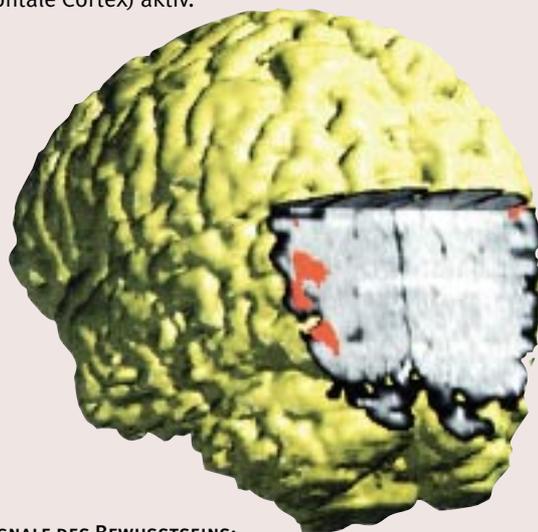
Ein guter Kandidat für diese sind Synchronisationen zwischen den Abermilliarden von corticalen Nervenzellen mit Billionen von Synapsen – und das alles unter dem Einfluss von retikulärer Formation, Thalamus, Hippocampus und limbischem System. Dafür spricht auch das bereits erwähnte astronomisch hohe Maß an Binnenverdrahtung in der assoziativen Großhirnrinde. Es ist plausibel anzunehmen, dass bei derartigen Vorgängen neuartige, „emergente“ Eigenschaften wie etwa Selbsterleben entstehen. Mit einer solchen Annahme wären wir nicht nur in der Lage anzugeben, wann und unter welchen Bedingungen im Gehirn Bewusstseinszustände auftreten, wir ▶

AUF DER SUCHE NACH DEM BEWUSSTSEIN

EINZEL- UND VIELZELLEABLEITUNGEN lassen sich nur in Ausnahmefällen am Menschen durchführen, zum Beispiel im Zusammenhang mit Hirnoperationen. Ansonsten untersuchen Forscher Versuchstiere. Ableitungen sind schmerzfrei, da das Gehirn selbst schmerzunempfindlich ist. So stellten Forscher an Makaken fest, dass Nervenzellen im Scheitellappen dann heftiger „feuern“, wenn das Tier seine Aufmerksamkeit auf einen bestimmten visuellen Reiz richtet. Dabei wächst auch die Synchronisation von Nervenzellen, die auf verschiedene visuelle Merkmale desselben Objekts reagieren. Aufsehen erregte vor einigen Jahren der Nachweis von Zellen im präfrontalen Cortex (dem vordersten Bereich des Stirnhirns), die dem so genannten Arbeitsgedächtnis zu Grunde liegen. Identifiziert wurden sie durch so genannte verzögerte Vergleichsaufgaben. Hierbei muss sich ein Affe für einige Sekunden etwa merken, unter welchem Gegenstand eine Belohnung versteckt oder nicht versteckt war. Während dieser Zeit des „Merkens“ waren in seinem präfrontalen Cortex zum Teil bis zu einer Minute lang so genannte Verzögerungsneurone aktiv, was offenbar dem Vorgang des „Behaltens“ entspricht.

DIE BILDGEBENDEN VERFAHREN PET und fMRI nutzen den Umstand, dass Regionen mit stärker erregten Nervenzellen einen erhöhten Stoffwechsel aufweisen. Sie verbrauchen vor allem mehr Sauerstoff und Zucker und werden daher vorübergehend stärker durchblutet. Die Messgenauigkeit der beiden Verfahren liegt heute im Bereich von Millimetern und Sekunden. Wahrnehmung, Kognition, Gefühle und Bewegungen fallen beim Menschen innerhalb dieser Messgenauigkeit räumlich und zeitlich mit einer erhöhten Aktivität in bestimmten Gehirnzentren zusammen. Wenn eine Versuchsperson Objekte, Gesichter oder Szenen betrachtet, ist im Übergangsbereich des unteren Hinterhaupt- und Schläfenlappens eine erhöhte Aktivität zu verzeichnen. Geht es um

die Analyse eines Satzgefüges, ist das Broca-Sprachzentrum gefragt. Der *Gyrus cinguli*, eine Großhirnwinding des limbischen Systems, zeigt Erregungen, wenn eine Person Schmerzen empfindet. Hat jemand komplexere Handlungsentscheidungen zu treffen, sind der präfrontale Cortex und ein angrenzender Bereich über den Augenhöhlen (der orbitofrontale Cortex) aktiv.



H. J. HEINZE

SIGNALE DES BEWUSSTSEINS:

Eine Versuchsperson fixierte einen zentralen Punkt im Gesichtsfeld und konzentrierte sich gleichzeitig auf Ereignisse im rechten Gesichtsfeld. Mittels fMRI (Blick von schräg unten und hinten) zeigen sich dabei Aktivitätsänderungen (rot) im Übergangsbereich zwischen Schläfen- und Hinterhauptslappen der linken Hirnhälfte.

HABEN TIERE BEWUSSTSEIN?

DIE FRAGE, OB TIERE BEWUSSTSEIN HABEN, ist so alt wie die nach der Natur des menschlichen Bewusstseins, und entsprechend weit gehen die Meinungen auseinander. Mehrheitlich nehmen Fachleute heute an, dass sich dieses Problem überhaupt nicht durch Beobachtung lösen lässt. Dies trifft zwar im strengen Sinne zu, gilt dann aber auch für alle Menschen außer einem selbst; wir stehen hier vor dem so genannten „Problem des Fremdbewusstseins“.

Mit geeigneten Untersuchungsmethoden können Wissenschaftler jedoch das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein von Bewusstseinszuständen bei stammesgeschichtlich nahe verwandten Tieren relativ plausibel machen. So können sie Affen mit kognitiven Aufgaben konfrontieren, die wir Menschen nicht ohne bewusste Aufmerksamkeit lösen können. Die Tiere sollen zum Beispiel auf einem Bildschirm ein sehr kleines bewegtes Objekt exakt verfolgen oder bei verzögerten Vergleichsaufgaben einen bestimmten Sachverhalt im Gedächtnis behalten. Es ist höchst unwahrscheinlich, dass ein Schimpanse oder Makake eine solch komplizierte Aufgabe ohne bewusste Aufmerksamkeit lösen kann, aber wir Menschen nicht. Außerdem zeigten bildgebende Verfahren, dass während dieser Leistungen dieselben corticalen Areale bei Affen aktiv sind wie bei uns.

ANHAND SOLCHER UNTERSUCHUNGEN lässt sich folgern, dass die meisten Affen wie auch eine Reihe anderer Säugetiere ein bewusstes Wahrnehmungserleben, eine bewusste Aufmerksamkeit und eine bewusste Repräsentation nicht vorhandener Objekte und Sachverhalte besitzen – zumindest für kurze Zeit. Zweifellos verfügen sie auch über ein Bewusstsein ihres Körpers, da sie beispielsweise ihre eigene Körpergröße und ihre Körperbewegungen bei der Planung komplizierterer Handlungen berücksichtigen. Ob nichtmenschliche Primaten ein Bewusstsein ihrer selbst und des Wissens anderer besitzen, ist zumindest für die Menschenaffen wie Schimpansen, Gorillas und Orang-Utans wahrscheinlich, jedoch schwer eindeutig nachzuweisen. Experimente zur Überprüfung tierischer Bewusstseinszustände werden umso

Aus urheberrechtlichen Gründen können wir Ihnen die Bilder leider nicht online zeigen.

schwieriger, je weiter Verhalten und Gehirnanatomie der untersuchten Tiere von unseren abweichen.

Dieses Problem tritt zum Beispiel schon bei Walen und Delfinen auf, die zwar riesige Gehirne, aber nur eine sehr dünne Großhirnrinde besitzen. Es wird schwierig bei Vögeln, von denen einige ein vergleichsweise intelligentes Verhalten zeigen – man denke beispielsweise an Rabenvögel oder Großpapageien. Sie verfügen zwar ebenfalls über ein großes, komplex gebautes Gehirn, aber ihre Großhirnrinde – oder was bei Vögeln dafür gehalten wird – ist ziemlich anders als unsere aufgebaut. Ähnliches gilt für Reptilien, Amphibien und Fische. Unlösbar wird das Problem bei Wirbellosen, von denen einige durchaus große Gehirne besitzen und intelligentes Verhalten zeigen, wie etwa die Kopffüßler.

Bewusstsein hat sich vermutlich parallel zur Evolution großer, komplexer Gehirne entwickelt und ist nicht auf den Menschen beschränkt. Anscheinend gibt es aber Bewusstseinsformen, die nur der Mensch besitzt. Dazu gehören zumindest alle jene, die mit einer ausgearbeiteten, syntaktischen Sprache zusammenhängen, nämlich Nachdenken und Sprechen über das eigene Ich und das Ich anderer. Aber auch jene Formen von Bewusstsein, die in Zusammenhang mit einer längerfristigen Zukunftsplanung stehen, dürften auf uns Menschen beschränkt sein.

könnten auch einige Eigenheiten von Bewusstsein zumindest plausibel machen, etwa warum niemand das Bewusstsein einer anderen Person erleben kann.

Eine solche Vorstellung ist eine Variante der in Michael Pauens Beitrag

Literaturtipps

METZINGER, T. (Hg.): Neural Correlates of Consciousness. Cambridge: MIT Press 2000.

ROTH, G.: Fühlen, Denken, Handeln. Wie das Gehirn unser Verhalten steuert. Frankfurt: Suhrkamp 2001.

ROTH, G., WULLIMANN, M. F. (Hg.): Brain Evolution and Cognition. New York: Wiley – Spektrum Akademischer Verlag 2000.

(siehe seinen Artikel „Von Fledermäusen und der Freiheit des Willens“ auf Seite 48) diskutierten Identitätstheorie, nach der Bewusstseinszustände identisch mit bestimmten Funktionszuständen neuronaler Systeme sind. Damit wird weder behauptet, dass wir das physiologische Zustandekommen von Bewusstsein bereits vollständig erklären könnten, noch dass wir die „Gesetze des Geistes“ aus den Gesetzen des neuronalen Geschehens vollständig oder auch nur annähernd ableiten können müssten.

Überall im Bereich der Physik treten auf einer bestimmten Komplexitätsebene Eigengesetzlichkeiten auf, die nicht direkt, sondern nur über so genannte Brückengesetze aus niederstufigeren

Prozessen ableitbar sind. Diese Eigengesetzlichkeiten dürfen nur nicht gegen Naturgesetze verstoßen. Dies ist, soweit wir wissen, bei Bewusstseinszuständen auch nicht der Fall. Geist und Bewusstsein – so scheint es – überschreiten den Bereich der Naturgesetze nicht, sondern fügen sich in ihn ein, so einzigartig sie auch sein mögen. ◆



GERHARD ROTH ist Direktor am Institut für Hirnforschung der Universität Bremen sowie Gründungsrektor des Hanse-Wissenschaftskollegs in Delmenhorst.

gerhard.roth@uni-bremen.de

Titelthema: **Bewusstsein**

VON FLEDERMÄUSEN UND DER FREIHEIT DES WILLENS

Bei der Erforschung von Gehirn und Bewusstsein schreiten die Neuro- und Kognitionswissenschaften offenbar unaufhaltsam voran. Dabei werfen sie eine Reihe neuer philosophischer Fragen auf – nicht zuletzt die, was ihre Erkenntnisse für unser Selbstverständnis bedeuten.

VON MICHAEL PAUEN

Wie jeden Morgen tritt Herr P. auf dem Weg zur Arbeit aus dem Haus. Die Luft ist zu dieser Jahreszeit noch eisig, aber ein paar Sonnenstrahlen treffen sein Gesicht. „Wie schön warm!“, denkt er, als er seine Schritte die Straße hinunter lenkt. Er beschließt, heute zu Fuß zu gehen, auch wenn es zehn Minuten länger dauert, und biegt rechts in den Mauerweg ein.

Bald hat Herr P. den Vorfall wieder vergessen – obwohl ihm gerade etwas so Außergewöhnliches passiert ist, dass Philosophen sich schon seit mehr als zwei Jahrtausenden den Kopf darüber zerbrechen. Irgendwie rufen die Sonnenstrahlen auf seinem Gesicht, registriert von Nervenzellen, ein Gefühl hervor, das er schließlich als „angenehm“ empfindet. Jeder weiß, wie das ist – warme Sonne auf der Haut. Aber niemand kennt bis heute den genauen Zusammenhang zwischen der Aktivität einfacher Nervenzellen und unseren subjektiven Empfindungen. Grundsätzlich: Ist die Aktivität der Nervenzellen letztlich *ein und dasselbe* wie das Gefühl „mir ist warm auf der Haut“ oder entsteht das bewusste Gefühl *zusätzlich* zu der Nervenaktivität? Diese

Fragen zielen auf eines der ältesten Probleme der Philosophie, auf das berühmte Leib-Seele-Problem: Wie hängen körperliche Vorgänge wie die Aktivitäten in den Nervenzellen des Gehirns mit unserem Bewusstsein zusammen?

Seit einigen Jahrzehnten nimmt sich zunehmend eine neue Disziplin dieser Probleme an: die der Neuro- und Kognitionswissenschaften. Ihre Erfolge sind beeindruckend. Schon lange wissen wir, dass bewussten Prozessen vor allem Aktivitäten in der Großhirnrinde zugrunde liegen (siehe Artikel von Gerhard Roth Seite 38). Nun aber gewinnen wir zunehmend detailliertere Einblicke: So wissen wir, dass Schmerzempfindungen zwei unabhängige Bestandteile beinhalten, die in unterschiedlichen Arealen des Gehirns verarbeitet werden. Der eine Bestandteil bewirkt, dass wir Schmerzen als störend empfinden; er wird im so genannten Vorderen Cingulum verarbeitet, also in einem Areal in der Nähe der Stirn. Auf der anderen Seite sagen Schmerzempfindungen aber auch etwas über Art und Ort des Schmerzes aus. Hierfür ist eine ganz andere Hirnregion verantwortlich, der so genannte somatosensorische Cortex hinter der Zentralfurche des Großhirns.

Liegt die Lösung des Leib-Seele-Problems also in greifbarer Nähe? Werden wir bald wissen, wie der Bewusstseinsinhalt „Schmerz“ neurophysiologisch entsteht? Werden die Neurowissenschaften an die Stelle endloser philosophischer Debatten methodisch gesicherte naturwissenschaftliche Untersuchungen setzen? Näher betrachtet liegen die Dinge jedoch komplizierter. Statt die Philosophie überflüssig zu machen, werfen die Neurowissenschaften selbst eine Reihe grundsätzlicher philosophischer Fragen auf.

Das fängt damit an, dass Begriffe exakt definiert werden müssen. Wenn Herr P. von Bewusstsein spricht, meint er möglicherweise etwas ganz anderes als sein Nachbar. Er könnte es im Sinne von „Umweltbewusstsein“ verstehen, also als ein generelles Wissen zu einem Thema; er könnte es gleichsetzen mit „nicht ohnmächtig sein“; oder er könnte damit ausdrücken, dass er Wissen über sich selbst und seine geistigen Zustände besitzt. Aber davon gleich mehr.

Zur weiteren Arbeit der Philosophen gehört es, ungesicherte Annahmen und gesichertes Wissen sauber zu trennen und die dann verbleibenden Fragen möglichst genau zu beschreiben. Das gilt be-



In unserem Gehirn arbeiten Myriaden von Nervenzellen – doch wie unser Menschsein damit zusammenhängt, ist noch immer ein Rätsel.

THOMAS BRAUN / G&G

sonders für das Leib-Seele-Problem. Hier stoßen wir leicht an unsere sprachlichen Grenzen und laufen daher Gefahr, die Angelegenheit durch unsaubere Formulierungen zu verwirren.

Tatsächlich kann die Philosophie gerade hier einen wichtigen Beitrag leisten. Indem sie Probleme genau fasst und strukturiert, werden oft Lösungsmöglichkeiten sichtbar, an denen die experimentell arbeitende Forschung ansetzen kann. Zu den Aufgaben philosophischen Denkens gehört es aber auch, die weiterreichenden Konsequenzen neuer Ergebnisse im Blick zu behalten. Angenommen, Biologen würden entdecken, dass Überzeugungen, Urteile und Entscheidungen durch deterministisch ablaufende neuronale Prozesse des Gehirns realisiert sind. Könnte das bedeuten, dass Herr P. gar nicht frei entschieden hat, zu Fuß zu gehen, sondern vielmehr wie ein Roboter vollständig von den „Verdrahtungen“ in seinem Denkorgan abhängig ist? Wir sehen: Die Erforschung von Gehirn und Bewusstsein berührt direkt das menschliche Selbstverständnis.

Im Folgenden will ich drei besonders wichtige Probleme aus dem Themenkomplex von Gehirn und Bewusstsein

vorstellen und zeigen, wie die Philosophie damit umgeht.

Frage 1: Wie verhalten sich die Prozesse im Gehirn und das Bewusstsein zueinander? (klassisches Leib-Seele-Problem)

Frage 2: Kann man Bewusstsein überhaupt angemessen wissenschaftlich erklären?

Frage 3: Wie wirken sich die Ergebnisse der Neurowissenschaften auf unser Selbstbild als freie, verantwortlich handelnde Subjekte aus?

WIRKLICH NUR NEURONEN?

Von einigen frühen Philosophen, aber auch in vielen alten Mythologien und Religionen wurde der Geist als eine autonome Substanz betrachtet, manchmal stellte man sich ihn auch als einen „Homunculus“ vor, also als Miniaturausgabe eines Menschen, der die Aktivitäten im Gehirn gleichsam „beobachtet“. Heute bezeichnet man mit „Bewusstsein“ im Allgemeinen eine Gruppe von geistigen Vorgängen – wie Überzeugungen, Wunschvorstellungen oder Furchtempfindungen –, die ganz unmittelbar aus der Perspektive der ersten Person erlebt werden. Unmittelbar heißt dabei, dass wir von diesen Zuständen erfahren, ohne

auf Wahrnehmungen unserer Sinne oder gar auf Schlussfolgerungen angewiesen zu sein.

Herr P. beispielsweise muss Vermutungen darüber anstellen, was andere Passanten auf der Straße wohl denken oder fühlen. Im besten Fall schließt er dies aus ihrem Gesichtsausdruck oder anderen Informationen. Selbst die Ereignisse in seiner eigenen Umgebung erfährt er nur mittelbar – durch seine Sinnesorgane. Ganz anders bei seinen eigenen Gedanken und Wünschen: Hier hat er den direktesten Zugang, den man sich überhaupt vorstellen kann, und nur er selbst hat diesen Zugang.

Damit können wir uns der Frage 1 zuwenden: Wie verhalten sich die Prozesse im Gehirn und das Bewusstsein zueinander? Zur genauen Strukturierung eines Problems gehört, dass man sich zunächst einen Überblick über die grundlegenden Lösungsalternativen verschafft. In diesem Falle sind es zwei: Während die so genannten *Dualisten* der Ansicht sind, dass wir es mit zwei unterschiedlichen Typen von Vorgängen zu tun haben, gehen die *Monisten* davon aus, dass es sich bei Prozessen in Gehirn und Geist nur um eine einzige Art von Vorgängen ►

Wir können nur vermuten, was ihr durch den Kopf geht – erfahrbar ist allein das eigene Bewusstsein.

handelt. Natürlich, räumen auch die Monisten ein, kommt es jedem so vor, als unterschieden sich bewusste Erfahrung und die Aktivität einfacher Nervenzellen prinzipiell voneinander. Dies liege jedoch daran, dass wir zwei Zugänge zu ein und derselben Aktivität besitzen: die Perspektive der ersten Person (das „Subjektive“) und die Perspektive der dritten Person (das „Objektive“). Wir kommen später hierauf genauer zurück.

Der *Dualismus* ist keine einheitliche Position. Die wichtigste Differenz zwischen seinen einzelnen Varianten betrifft die Frage, ob geistige Vorgänge etwas verursachen können. Die Vertreter der *epiphänomenalistischen* Variante des Dualismus bestreiten dies; in ihren Augen *begleiten* geistige Vorgänge lediglich die materiellen Aktivitäten und *beeinflussen* diese nicht. Wenn Herr P. die Sonne in seinem Gesicht als angenehm empfindet, dann ist dies nur eine Begleiterscheinung physischer Prozesse. Nach Ansicht der Epiphänomenalisten kann es daher auch nicht diese Empfindung selbst sein, die zu weiteren körperlichen Reaktionen führt. Besonders überzeugend klingt diese Auffassung allerdings nicht. Wenn Herr P. nicht zur Straßenbahn-Haltestelle geht, sondern in die Mauerstraße einbiegt, dann scheint sein Gefühl dafür eine entscheidende Rolle zu spielen. Weit besser als der Epiphänomenalismus ist da der so genannte *interaktionistische Dualismus* nachzuvollziehen, der u. a. von Descartes, Karl Popper oder John Eccles vertreten wurde. Nach Meinung dieser Autoren beeinflussen Bewusstsein und Gehirn einander gegenseitig: Geistige Vorgänge können etwa in Willensakten auf neuronale Vorgänge einwirken – Herrn P.s Empfindungen führen daher zu Nervenimpulsen, die ihn abbiegen lassen. Umgekehrt beeinflussen neuronale Prozesse über die Wahrnehmung geistige Vorgänge – in der Mauerstraße ist es recht schattig und Herr P. bereut seine Entscheidung.

Dualistische Vorstellungen finden sich bereits in alten Mythen und religiösen Texten. Es scheint ja auch sehr nahe zu liegen, geistige und materielle Vorgänge auf Grund ihrer offensichtlichen Unterschiede einander grundsätzlich gegenüberzustellen. Wissenschaftlich ist diese Unterscheidung jedoch mehrfach problematisch. Zum einen ist schwer zu erklären, wie nichtmaterielle Vorgänge Einfluss auf materielle Aktivitäten neh-

men können. Es kommt hinzu, dass neben dem Prinzip der Energieerhaltung auch die weit verbreitete Vorstellung von der „kausalen Geschlossenheit“ der materiellen Welt verletzt würde. Nach dieser Vorstellung kann etwas Nicht-Materielles keinen Einfluss auf materielle Vorgänge haben. Das schließt nicht nur aus, dass ein Engel Herrn P. bewegt, in die Mauerstraße abzubiegen; auch die Einwirkung einer autonomen geistigen Substanz wäre mit diesem Prinzip nicht vereinbar.

SCHMERZ IST MEHR ALS EIN SCHREI

Diese Schwierigkeiten lassen sich jedoch umgehen, wenn man geistige Vorgänge als eine neue Art von Prozessen in der materiellen Welt betrachtet, etwa als „bewusste mentale Felder“. Diese könnten sich zu neuronalen Aktivitäten so verhalten wie Magnetfelder zu den elektrischen Strömen in einer Spule. Diese Sicht hat mit den traditionellen Varianten des Dualismus, die von nicht-materiellen Substanzen sprechen, kaum mehr etwas gemeinsam – sie stimmt mit ihnen nur noch darin überein, dass sie geistige und neuronale Vorgänge voneinander unterscheidet.

In jedem Falle ist diese Position mit einem wissenschaftlichen Weltbild vereinbar. Allerdings müssten wir eine völlig neue Art von Wechselwirkungen etwa bei den „bewussten mentalen Feldern“ erst empirisch nachweisen. Zumindest derzeit gibt es keinerlei Anhaltspunkte hierfür.

Doch wie sieht die Auffassung der Monisten aus? Aus ihrer Sicht haben wir es hier nur mit *einem* Typ von Vorgängen zu tun, egal ob wir von geistiger oder neuronaler Aktivität sprechen. Für diese Ansicht spricht, dass sie geistige Vorgän-

ge nicht als eine völlig neue Größe *zusätzlich* zu den materiellen Vorgängen einführen muss. Der Monismus begnügt sich mit den bereits bekannten, naturwissenschaftlich beschreibbaren Vorgängen.

Es gibt radikale Formen des Monismus, nach denen überhaupt nur physiologische Aspekte Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen sein sollten. Dieser Position zufolge meinen wir in Wirklichkeit nur ein bestimmtes Verhalten oder die Tendenz dazu, wenn wir im Alltag von Bewusstsein sprechen. Ein Beispiel: Reden wir über Schmerzempfindung, dann meinen wir damit angeblich nur die Tendenz, aufzuschreien oder ein Schmerzmittel zu kaufen. Überzeugend ist diese – materialistische – Erklärung freilich nicht. Sie spielt daher heute nur noch eine untergeordnete Rolle, weil sie der Realität des Bewusstseins nicht gerecht wird. Mit Schmerzempfindungen meinen wir eben nicht zuletzt die subjektiven Empfindungen, wie wir sie alle kennen.

Die meisten derzeit wichtigen Formen des Monismus tragen allerdings den geistigen und materiellen Aspekten gleichermaßen Rechnung. Dies gilt insbesondere für die Identitätstheorie, die bereits in der Mitte des 19. Jahrhunderts von dem deutschen Physiker und Philosophen Gustav Theodor Fechner entwickelt wurde. Ihr zufolge sind Bewusstseinsvorgänge *identisch* mit physischen Prozessen. Wie schon angedeutet, erklärt diese Theorie die Unterschiede zwischen Gehirn und Bewusstsein damit, dass hier zwei unterschiedliche Formen des Zugangs vorliegen. Erfolgt der Zugang aus der Innenperspektive der ersten Person – erlebt man also die Wärme der Sonne auf der Haut –,

Aus urheberrechtlichen Gründen können wir Ihnen die Bilder leider nicht online zeigen.

dann sprechen wir von Vorgängen im Bewusstsein. Nehmen wir dagegen derselben Aktivität gegenüber die Außenperspektive der dritten Person ein, dann können wir diese als neuronalen bzw. allgemein materiellen Vorgang beschreiben.

Auch wenn diese Theorie auf den ersten Blick ein wenig konstruiert aussehen mag: Im Alltag stellt sich immer wieder heraus, dass zwei ganz unterschiedlich erscheinende Phänomene lediglich zwei Seiten derselben Medaille sind. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn wir in einem Konzert ein Cello gleichzeitig hören und sehen. Offenbar verfügen wir über zwei unterschiedliche Zugänge zu ein und demselben Vorgang, nämlich die akustische und die visuelle Wahrnehmung. Beide unterscheiden sich stark voneinander, doch solange sie räumlich und zeitlich vollständig übereinstimmen, würde niemand zwischen einem „akustischen“ und einem „optischen“ Cello unterscheiden.

Wenn der Unterschied zwischen Gehirn und Bewusstsein darauf zurückgeht, dass wir hier zwei unterschiedliche Zugänge oder Beschreibungen nutzen, dann wird verständlich, warum die Identitätstheoretiker – anders als die oben genannten radikalen Monisten – nicht behaupten können, wir hätten es hier „in Wirk-

lichkeit“ nur mit materiellen Prozessen zu tun und nur diese materiellen Prozesse seien Gegenstand einer ernsthaften wissenschaftlichen Auseinandersetzung. Für den Identitätstheoretiker sind beide Beschreibungen gleichrangig; keine ist „wahr“ oder wissenschaftlich respektabler als die andere. Aus der Sicht der Identitätstheorie ist schließlich auch leicht zu verstehen, warum geistige Vorgänge etwas verursachen können – schließlich sind sie identisch mit Vorgängen im Gehirn, die ihrerseits zweifellos in der Lage sind, andere materielle Vorgänge zu beeinflussen.

VERSTÄNDLICH UND VORHERSAGBAR

Doch selbst wenn es uns gelingen würde, die neuronalen Vorgänge, die einem bestimmten Typ bewusster Aktivitäten zu Grunde liegen, in allen Details zu bestimmen, scheint hier ein Problem zu bleiben: Wir würden nämlich auch dann nicht wirklich *verstehen*, wie die Aktivität einfacher Nervenzellen mit unseren bewussten Erfahrungen zusammenhängt.

Auch hier wird sich der Philosoph zunächst darum bemühen, das Problem genauer zu erfassen. Zentrale Bedeutung hat dabei der Unterschied zwischen einer bloßen *Feststellung*, dass Bewusstsein unter bestimmten neuronalen Bedingungen auftritt, und einer *Erklärung* dafür, warum es unter diesen Bedingungen entsteht. Doch was unterscheidet eine Erklärung von einer bloßen Feststellung? Nehmen wir an, wir würden *feststellen*,

unter welchen Umständen ein Erdbeben geschehen ist. Wir könnten etwa eine größere Zahl von Beobachtungen und Messungen auflisten, die wir in Zusammenhang mit dem Erdbeben gemacht haben. Diese Feststellung sagt jedoch nichts darüber aus, ob ein bestimmtes Ereignis nur zufällig zur Zeit des Erdbebens vorgefallen ist, oder ob es ursächlich zur Entstehung des Erdbebens beigetragen hat. Außerdem lässt eine Liste von Beobachtungen keine Verallgemeinerungen zu, inwieweit zukünftig Erdbeben auch unter anderen Bedingungen eintreten werden. Selbst bei Wiederholung aller beobachteten Umstände könnte das Erdbeben ausbleiben, weil wir einen wichtigen Faktor übersehen haben.

Im Gegensatz dazu sprechen wir von einer *Erklärung*, wenn wir allgemeine Regeln oder Gesetzmäßigkeiten angeben können, die im Idealfall genau festlegen, unter welchen Umständen das fragliche Ereignis eintreten *muss*. Eine solche Erklärung hat gleich zwei Vorzüge: Zum einen macht sie uns *verständlich*, warum das Erdbeben unter genau diesen Bedingungen entstanden ist, zum anderen erlaubt sie uns Verallgemeinerungen – etwa die, dass Erdbeben dieses Typs unter neuen und bisher nicht beobachteten Bedingungen ebenfalls eintreten werden.

Etwas ganz Ähnliches gilt für das Leib-Seele-Problem. Auch wenn wir ganz genau erfassen, was während eines bestimmten Vorgangs im Bewusstsein in den Nervenzellen unseres Gehirns ge-

**Auch wer theoretisch alles über
Farbwahrnehmung gelernt hat, weiß
nicht, „wie“ es ist, Farben zu sehen.**

*Aus urheberrechtlichen
Gründen können wir Ihnen
die Bilder leider nicht
online zeigen.*

Aus urheberrechtlichen Gründen können wir Ihnen die Bilder leider nicht online zeigen.

Wie ist es, so ein Fledertier zu sein?
Vielleicht verhilft uns einst neurobiologische Forschung zu dieser Erfahrung.

schieht, verhilft uns dies nur zu einer Feststellung – eben *dass* unter den beschriebenen Bedingungen diese Vorgänge im Bewusstsein auftreten. Die Feststellung würde jedoch keine Erklärung dafür liefern, *warum* es genau diese und nicht ganz andere Bedingungen sind. Auch hier müssen wir mit zweierlei Konsequenzen rechnen: Zum einen bliebe die Beziehung von Gehirn und Bewusstsein für uns letztlich unverständlich, zum anderen könnten wir keine Voraussagen über das Auftreten von Bewusstsein unter veränderten Bedingungen machen.

Was dies bedeutet, kann man an zwei berühmten Gedankenexperimenten illustrieren. Die Hauptrolle in dem ersten Gedankenexperiment spielt Mary, eine geniale Neurobiologin, die alle, aber auch wirklich alle denkbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse über die menschliche Farbwahrnehmung besitzt. Unglücklicherweise hat Mary selbst noch nie eine Farbe gesehen: Sie hat ihr Leben bislang ausschließlich in einer völlig farblosen Umgebung verbracht. Auch die Außenwelt kennt sie nur durch einen Schwarz-Weiß-Monitor. Die entscheidende Frage

ist nun: Weiß Mary dank ihres perfekten neurobiologischen Wissens auch, wie es ist, bewusste Farbempfindungen zu haben? Würde sie also etwas Neues erfahren, wenn man sie aus ihrem Gefängnis befreite und sie zum ersten Mal selbst eine Farbe sähe? Ganz offensichtlich wäre dies der Fall. Das aber spricht dafür, dass uns neurobiologische Erkenntnisse keine umfassenden Rückschlüsse auf Bewusstseinsprozesse erlauben – unsere Aussichten, eine Erklärung für den Zusammenhang von Gehirn und Bewusstsein zu finden, wären daher denkbar schlecht.

IM GEHIRN DER FLEDERMAUS

Dies wird noch etwas deutlicher in einem zweiten Gedankenexperiment, das vor einiger Zeit von Thomas Nagel angestellt worden ist. Im Mittelpunkt steht hier kein Mensch, sondern eine Fledermaus. Nehmen wir noch einmal an, wir hätten uns davon überzeugt, dass der monistische Ansatz richtig ist, dass also Bewusstsein wirklich nichts anderes ist als ein Gehirnprozess. Stellen wir uns außerdem wiederum vor, wir wüssten wirklich alles über die physischen Prozesse im Gehirn einer Fledermaus – angefangen von den kleinsten molekularbiologischen Details bis hin zum Zusammenspiel der unterschiedlichen Gruppen von Nervenzellen. Würden wir damit wirklich hinreichende Klarheit über das Bewusstsein der Fledermaus gewinnen, so wie diese es aus der Perspektive der ersten Person erfährt? Würden wir so herausfinden, „wie es ist, eine Fledermaus zu sein?“ Offenbar nicht! Abermals liegt der Grund darin, dass uns hier die erforderliche Erklärung fehlt. Wir können die Feststellung akzeptieren, dass bestimmte neuronale Prozesse mit bestimmten mentalen Prozessen einhergehen. Aber genauso wenig wie wir verstehen, warum es ausgerechnet diese und nicht ganz andere neuronale Prozesse sind, genauso wenig wissen wir, was auf der subjektiven Ebene passieren würde, wenn sich die neuronalen Prozesse änderten. Die Konsequenzen sind nicht schwer zu erkennen: Wir wissen nicht, ob Fledermäuse überhaupt Bewusstsein haben – oder Eidechsen oder Regenwürmer. Und ab wann kann man davon sprechen, dass ein werdendes Kind Bewusstsein hat und damit als ein erlebnis- und leidensfähiges Subjekt betrachtet werden kann?

Viele Autoren haben argumentiert, dass nicht etwa die Unzulänglichkeit unserer wissenschaftlichen Erkenntnisse für das Problem verantwortlich ist; vielmehr sei Wissen über neuronale Prozesse *prinzipiell* ungeeignet, Erklärungen für Bewusstseinsvorgänge zu liefern. Auf

den ersten Blick erscheint diese pessimistische Diagnose nicht nur plausibel – auch die beiden Gedankenexperimente stützen sie: In beiden Fällen wurde angenommen, auf der neuronalen Ebene sei *alles* nur denkbare Wissen vorhanden.

Bei näherer Betrachtung zeigt sich allerdings, dass eine solche Sichtweise die Veränderungen unterschätzen würde, zu denen der wissenschaftliche Fortschritt führen kann. Dieser Prozess häuft nicht einfach nur Fakten an, er kann auch bewirken, dass sich unser *Verständnis* von einem bestimmten Sachverhalt grundsätzlich wandelt.

Um deutlich zu machen, wie neue Erkenntnisse über Alltägliches unseren Blick verändern, kann man das Wissen über die Eigenschaften von Licht heranziehen. Noch für Menschen des 18. Jahrhunderts war es einfach unplausibel anzunehmen, weißes Licht setze sich aus farbigem Licht zusammen – Goethe und Schopenhauer wandten sich aus diesem Grund gegen Newton. Heute ist es jedoch selbstverständlich, dass sich weißes Licht aus farbigem Licht zusammensetzt, und zwar deshalb, weil wir wissenschaftliche Erkenntnisse in unser Allgemeinwissen aufgenommen haben. Erst damit haben wir Zugang zu plausiblen wissenschaftlichen Erklärungen vieler optischer Phänomene gewonnen.

Dies lässt ahnen, wie sehr sich unsere Auffassungen über Vorgänge in Gehirn und Bewusstsein wandeln könnten. Während wir also heute davon ausgehen, dass Bewusstsein etwas ist, das sich prinzipiell einer Erklärung in neurobiologischen Kategorien entzieht, könnten die wissenschaftlichen Fortschritte unsere Vorstellungen und unsere Begriffe von dem, was Bewusstsein ausmacht, so weit verändern, dass wir irgendwann einmal eine solche Erklärung doch akzeptieren können. Ich kann hier nicht auf Details eingehen; als wichtig dürften sich dabei aber vor allem objektive, von außen erkennbare Merkmale von Bewusstseinszuständen herausstellen.

Wie der Beitrag von Gerhard Roth zeigt, wissen wir bereits heute recht viel über solche objektiven Merkmale von Bewusstseinszuständen. Insbesondere die Psychologie hat in den letzten Jahren einiges über die empirisch erfassbaren Bestandteile von Emotionen herausgefunden. So gibt es ganz bestimmte äußerlich feststellbare Reaktionen, die konstitutiv für unser Furchtempfinden sind: Unter anderem kommt es zu einer Beschleunigung von Puls und Atmung, außerdem entsteht eine Tendenz zu Flucht- und Abwehrverhalten. Gleichzeitig wissen wir, dass die Amygdala, ein

wichtiges Zentrum im limbischen System des Gehirns, viele der Furcht charakteristischen Merkmale realisiert. Wenn also eine Beschleunigung von Atmung und Puls einerseits Bestandteil der subjektiven Erfahrung von Furcht ist und wenn wir auf der anderen Seite eine neurophysiologische Erklärung für genau diese Bestandteile besitzen, dann haben wir damit auch einen Teil der subjektiven Erfahrung selbst erklärt.

Natürlich ist unser Wissen noch völlig unzureichend – die Liste der objektiven Merkmale ist sozusagen noch viel zu kurz. Vor allem aber kann nicht die Rede davon sein, dass dieses Wissen schon einen wirklich tief greifenden Einfluss auf unsere alltäglichen Vorstellungen und Begriffe gewonnen hätte. Wir besitzen allenfalls die ersten Ansätze zu einer Erklärung und es ist viel zu früh für ein seriöses Urteil darüber, ob sich hieraus jemals eine umfassende Erklärung entwickeln wird. Doch genauso wenig kann man heute schon ausschließen, dass eine solche Erklärung prinzipiell möglich ist.

WIEVIEL FREIHEIT LÄSST UNS DAS GEHIRN?

Nehmen wir an, wir hätten nachweisen können, dass Bewusstsein wirklich identisch ist mit einer bestimmten Aktivität von Nervenzellen in der Hirnrinde. Des Weiteren sei es uns gelungen, Vorgänge im Bewusstsein mit Hilfe neurobiologischer Theorien angemessen zu erklären.

Unter diesen Voraussetzungen würde sich die Frage 3 stellen: Welche Konsequenzen hat dies für das menschliche Selbstverständnis? Ich will diese Frage an einem Beispiel diskutieren, das die Notwendigkeit einer Zusammenarbeit von Philosophie und Neurowissenschaften ganz direkt aufzeigt: am Beispiel von Willensfreiheit und Verantwortung.

Die Konsequenzen scheinen gerade hier schwerwiegend: Wenn unsere geistigen Aktivitäten mit Hirnprozessen gleichzusetzen sind, die Naturgesetzen folgen, kann von Freiheit nicht mehr die Rede sein. Unsere Handlungen würden dann nicht von uns selbst bestimmt, sondern von jenen Gesetzen.

Bevor man dieser Argumentation endgültig zustimmt, sollte man sich vor Augen führen, dass Freiheit an *zwei* Bedingungen geknüpft ist. Einerseits würden wir ein Tun nie als frei bezeichnen, wenn wir von außen dazu genötigt werden. Freiheit setzt also *Autonomie* voraus. Andererseits muss Freiheit aber auch gegen den bloßen Zufall abgegrenzt werden. Wenn ein rein zufälliges Feuern von Nervenzellen Herrn P. veranlasst, zu

Aus urheberrechtlichen Gründen können wir Ihnen die Bilder leider nicht online zeigen.

Möglicherweise sind alle unsere Entscheidungen von Wertvorstellungen abhängig, die im Gehirn festgelegt sind. Macht uns das zu freien Menschen oder zu Marionetten?

Fuß zu gehen, reden wir nicht von einer freien Handlung, sondern von einem zufälligen Geschehen. Offenbar erwarten wir von einer freien Handlung, dass sie sich einer Person zurechnen lässt. Zur Freiheit gehört also auch *Urheberschaft*. Beiden Kriterien können wir gerecht werden, wenn wir „Freiheit“ mit „Selbstbestimmung“ übersetzen. Diese Übersetzung ist weit mehr als ein Spiel mit Worten; sie verdeutlicht etwas, das in der Diskussion um die Willensfreiheit häufig übersehen wird: Freiheit benötigt eine Person, ein „Selbst“, das sich bestimmt. Doch dann kann nicht jede Form der Determination die Freiheit beeinträchtigen. Wenn dieses „Selbst“ sich bestimmt, wird die Freiheit nicht eingeschränkt – die Festlegung durch das „Selbst“ ist gerade das, was eine freie Handlung von einer bloß zufällig entstehenden Aktivität unterscheidet.

Veranschaulichen lässt sich dies durch den Vergleich mit einer parlamentarischen Demokratie. Die Interessen und Gewohnheiten der Bürger entsprechen dabei den Motiven und dem Charakter der Person, die Beschlüsse des

Parlaments den Willensakten. Wann würden wir Entscheidungen des Parlaments als frei bezeichnen? Offenbar spielen auch hier die beiden genannten Bedingungen eine entscheidende Rolle: Eine freie Entscheidung darf weder durch äußeren Zwang noch durch bloßen Zufall zu Stande gekommen sein, vielmehr muss sie von den Interessen und Wünschen der repräsentierten Staatsbürger abhängen. Würde sich das Parlament nicht an diesen Interessen orientieren, dann würde man nicht mehr von Freiheit, sondern von bloßer Willkür sprechen.

Doch zurück zu individuellen Willensakten. Was ist das „Selbst“, von dem die Rede war? Man darf sich hier nicht eine Art inneres Objekt, eine Seele oder wieder einen Homunculus vorstellen, der unsere Geschicke lenkt. Gemeint ist vielmehr ein Kern von wichtigen Persönlichkeitsmerkmalen und Überzeugungen, die einen Menschen kennzeichnen. Wenn ich also fest überzeugt bin, dass Diebstahl verwerflich ist, und aufgrund dieser Überzeugung alle Waren an der Kasse bezahle, dann ist diese Handlung das Produkt eines freien Willensaktes. ▶



INTERVIEW MIT
PROF. DR. THOMAS CHRISTALLER,
FRAUNHOFER-INSTITUT
FÜR AUTONOME INTELLIGENTE
SYSTEME (AIS),
SANKT AUGUSTIN BEI BONN

ROBOTER MIT SELBSTERKENNTNIS?

G&G: Herr Professor Christaller, gibt es bereits Künstliches Bewusstsein?

Christaller: Nein, davon sind wir noch weit entfernt. Der Begriff „Künstliches Bewusstsein“ spielt in der wissenschaftlichen Diskussion auch gar keine Rolle. Wenn überhaupt, sprechen wir synonym von Künstlicher Intelligenz – wobei der Begriff natürlich schillernd ist. Lehrbücher zur KI wagen sich meist nicht einmal an eine Klärung des Begriffes „Intelligenz“.

G&G: Dennoch wird daran geforscht.

Christaller: Sicher. Aber in den letzten fünfzig Jahren haben wir wohl vor allem gelernt, wie es nicht geht.

G&G: Worin besteht das Problem?

Christaller: Uns fehlen noch die richtigen Modelle. Erst wenn die Neurobiologen wissen, wie das menschliche Gehirn wirklich funktioniert, können Techniker und Ingenieure daran gehen, Maschinen zu bauen, die vergleichbare Leistungen erbringen.

G&G: Müsste eine Maschine wenigstens „sprechen“ können, damit wir ihr „Bewusstsein“ bescheinigen können?

Christaller: Das ist genau die Form der Diskussion, auf die ich selbst jahrzehntelang hereingefallen bin. In KI-Büchern heißt es üblicherweise, menschliche Intelligenz – das sei Sprache, Problemlösen, Planen und so weiter. Aber diese Sichtweise ist verkürzt. Was uns intelligenter macht als Affen, ist vor allem die Fähigkeit, das Verhalten anderer vorherzusagen.

G&G: Antizipationsfähigkeit.

Christaller: Genau. Ich bezeichne das als Probandeln. Es ist der Schlüssel für Imitationslernen, kulturelle Überlieferung von Verhaltensmustern und auch für Sprache. Der Trick ist der: Wenn wir Sprache hören, dann regt das – im Stillen – unsere Sprechmuskulatur an; wir sprechen unhörbar das nach, was wir hören.

G&G: Können Sie das genauer ausführen?

Christaller: Das neuronale Gewitter in meinem Kopf wird in Sprache verpackt und erzeugt dann ein vergleichbares neuronales Gewitter bei Ihnen. Sie sprechen eben das nach, was Sie hören. Das ist Verstehen.

G&G: Wobei könnten interaktionsfähige Roboter mit künstlicher Intelligenz oder künstlichem Bewusstsein denn einmal nützlich sein?

Christaller: Beim Erschließen von Gegenden zum Beispiel, wo wir selber nicht hinkönnen, weil unser Körper dazu nicht geeignet ist. Denken Sie nur an die Tiefsee oder an fremde Planeten! Da ist es vorteilhaft, Roboter zu haben, die selbst erkennen und entscheiden können, was zu tun ist. Ob die dann in unserem Sinne „intelligent“ sind und „bewusst“ handeln, weiß ich nicht. Kann sein, dass man da

dürfnisse ein weites Anwendungsfeld für Roboter aus.

Christaller: Meinetwegen. Es sieht so aus, als ob Sex-Puppen einen Markt haben. Dann werden natürlich auch entsprechende Roboter einen Markt haben.

G&G: Was halten Sie sonst von Kurzweils Technologieprognosen: Werden virtuelle Intelligenzen dem Menschen in absehbarer Zeit Konkurrenz machen?

Christaller: Ray Kurzweil setzt sich selbst und seine Ideen hervorragend in Szene. Wissenschaftlich vergleicht er jedoch Äpfel mit Birnen: Er argumentiert stets mit der Leistungssteigerung von Rechnern, die natürlich messbar ist und zweifellos in Zukunft auch noch weiter zunehmen wird. Was aber ist das physikalische Maß für die Leistungsfähigkeit unseres Gehirns? – Wir wissen es nicht!

G&G: Müssen wir vor einem Missbrauch von Künstlicher Intelligenz Angst haben?

Christaller: Ganz allgemein kann man bei keiner technischen Entwicklung vorhersagen, was sie die Gesellschaft am Ende kosten wird. Die Entwicklung des Automobils hat man um 1900 in Wien aus Umweltgründen begrüßt: Die Pferdeäpfel verschwanden, und die Stadt wurde sauberer.

G&G: Keine Hoffnung ohne Ängste also. Aber wie lassen sich die Risiken der KI-Forschung minimieren?

Christaller: Ich sehe nur einen Weg. Man muss sich mit allen Kritikern und Lagern auseinander setzen und es der Diskussion überlassen, was am Ende herauskommt. Und da kann die Gesellschaft durchaus zu dem Schluss kommen, dass die KI-Forschung einzustellen ist.

G&G: Was ist derzeitig der Stand der Diskussion?

Christaller: Im Moment sieht es in Deutschland und Europa so aus, dass Forschungsgelder und Ressourcen nur

»Politik und Wirtschaft in Deutschland haben immer noch nicht wirklich verstanden, was Informatik ist.«

mit weniger auskommt. In diese Richtung zu forschen ist aber in jedem Fall sinnvoll.

G&G: Gibt es auch alltäglichere Anwendungen?

Christaller: Natürlich. Altenpflege in den eigenen vier Wänden zum Beispiel, oder allgemein Assistenten in Privathaushalten. Aber auch diese müssten keine Intelligenz und kein Bewusstsein im gleichen Umfang wie wir haben.

G&G: Haushaltsroboter spielen auch in den Visionen mancher amerikanischer Technologie-Vordenker eine wichtige Rolle. Einer von ihnen, der Computerpionier Ray Kurzweil, macht darüber hinaus bei der Befriedigung unserer sexuellen Be-

sehr zögerlich für die KI-Entwicklung aus gegeben werden. In Japan dagegen wird massiv geforscht. Da gibt es im großen Stil nationale Förderprogramme zur Entwicklung von Humanoid-Robotern, um nur ein Beispiel zu nennen.

G&G: Blicken Sie neidisch gen Fernost?

Christaller: Eventuell fahren die Japaner die bessere Strategie, denn ganz unabhängig von KI werden Roboter immer wichtiger – seien sie mobil oder statisch, wie etwa in Prozessleitanlagen. Mit anderen Worten: Sensomotorischen Rückkopplungsschleifen mit zunehmender Komplexität gehört in jedem Fall die Zukunft, und diejenigen Volkswirtschaften

und Privatunternehmen, die hier zuerst mahlen – in Form von Patenten –, werden einen enormen ökonomischen Vorsprung haben. Genau das aber erkennt man in Deutschland nicht.

G&G: Was verstellt den Blick?

Christaller: Bei uns läuft im Augenblick immer noch die Multimedia-Internet-Welle. Dabei ist klar absehbar, dass dies ein begrenzter Markt ist. Er hat auch technologisch nicht die Perspektiven der Robotik.

G&G: Inwiefern?

Christaller: Bei Computerchips haben Sie jährliche Leistungssteigerungsraten von um die fünfzig Prozent. Bei eingebetteten Systemen, zu denen Roboter gehören, den so genannten Mikro-Controllern, sind dagegen tausend Prozent und mehr drin – ein gigantischer Unterschied! Und der Leistungsvorsprung der Chips schrumpft gegenüber den Mikro-Controllern: Was Sie heute in einem Mittelklassewagen finden, war vor nur zehn Jahren ein Supercomputer. Wenn Sie das erst einmal programmieren und mit sensomotorischen Funktionen versehen, dann eröffnen sich ganz andere Dimensionen. Genau das ist es, was hier zu Lande übersehen wird. Politik und Wirtschaft in Deutschland haben immer noch nicht wirklich verstanden, was Informatik ist.

G&G: Der Philosoph Thomas Metzinger fordert, von der Entwicklung bewusst erlebender Künstlicher Intelligenzen abzusehen, weil die ersten Prototypen ihre Unvollkommenheit notwendigerweise leidend erleben würden. Was halten Sie von diesem Gedanken?

Christaller: Ich weiß nicht, ob Herr Metzinger ahnt, wie weit wir noch davon entfernt sind.

G&G: Aber es handelt sich doch um ein prinzipielles Problem!

Christaller: Also gut. Dann lautet meine Antwort: Herr Metzinger hat diese prinzipielle Frage prinzipiell richtig beantwortet.

G&G: Sie meinen, selbst wenn ein künstliches Bewusstsein realisierbar wäre, sind wir momentan noch so weit davon entfernt, dass uns das Problem bei der konkreten Arbeit und Forschung nicht berührt?

Christaller: So ist es.

G&G: Noch ein Wort zum Thema Internet. Wächst da vielleicht eine Art Globalbewusstsein heran, wenn in Zukunft immer leistungsfähigere Agentensysteme, die Wort- und Satzbedeutungen erkennen können, auf das schier unbegrenzte enzyklopädische Wissen des Webs losgelassen werden?

Christaller: Nein. Diese Systeme erkennen ja keine Bedeutungen, so wie wir das tun. Sie sind nicht bewussteinfähig und generieren nur statistische Modelle, mehr nicht.

Diese Sicht steht im Gegensatz zu einer nicht nur in der philosophischen Tradition verbreiteten Auffassung: Ihr zufolge sind Freiheit und Determination unvereinbar. Diese Auffassung ist jedoch unplausibel, weil eine schlechthin nicht determinierte Handlung auch nicht von den Überzeugungen, Wünschen und sonstigen Eigenschaften des Urhebers abhängig sein kann. Man könnte also nicht mehr von einer selbstbestimmten, sondern nur noch von einer unbestimmten, letztlich also von einer zufälligen Handlung sprechen.

IST FREIHEIT EINE ILLUSION?

Nach diesen grundsätzlichen Vorüberlegungen können wir uns wieder der Ausgangsfrage zuwenden: Was bedeutet es für unsere Willensfreiheit, wenn Überzeugungen und damit die Triebfedern unseres Handelns auf den Aktivitäten der Nervenzellen des Gehirns basieren?

Wenn eine bestimmte Überzeugung Grundlage eines freien Willensaktes ist, dann kann die Willensfreiheit nicht dadurch bedroht werden, dass diese Überzeugung eine neuronale Grundlage hat. Das Gegenteil ist der Fall: Indem der neuronale Vorgang ein zentrales Persönlichkeitsmerkmal realisiert, verschafft er unseren Wünschen und Überzeugungen erst Wirksamkeit in der physischen Realität – er bildet also eine Bedingung für selbstbestimmtes Handeln.

Zu welchem Ergebnis haben uns die philosophischen Überlegungen nun geführt? Offenbar widerspricht es nicht prinzipiell unserer Selbstbestimmung, wenn Wertvorstellungen und Überzeugungen neuronal realisiert sind. Leider bedeutet das nicht, dass intensive philosophische Lehnstuhlforschung uns die Freiheit beschert hätte. Ob es solche selbstbestimmten Entscheidungen gibt, kann nicht von Philosophen geklärt werden. Hier wird es vor allem auf die Neurowissenschaften ankommen. Diese müssen zeigen, ob einzelne Handlungen tatsächlich von zentralen Persönlichkeitsmerkmalen bestimmt werden oder ob sie doch von äußeren Faktoren abhängen.

Ein Wort noch zum Verhältnis von Bewusstsein und Willensfreiheit: Nach unserer Definition von Selbstbestimmung müssen zentrale Persönlichkeitsmerkmale nicht in jedem Falle bewusst wirken. Auch wenn Handlungen von vorbewussten Prozessen ausgelöst werden, könnte unser Tun immer noch selbstbestimmt sein – dann nämlich, wenn diese vorbewussten Prozesse ihrerseits von wichtigen persönlichen Merkmalen abhängen. Auch deshalb widersprechen die viel diskutierten Untersuchungen des

amerikanischen Neuropsychologen Benjamin Libet nicht grundsätzlich der Ansicht, dass es selbstbestimmte Handlungen gibt. Libet hat herausgefunden, dass zumindest einfache Handlungen wie die Bewegung einer Hand bereits durch neuronale Vorgänge eingeleitet werden, bevor die handelnde Person sich bewusst zu der Handlung entscheidet. Es ist unstritten, welche Schlussfolgerungen Libets Experimente erlauben. Eine Widerlegung der Selbstbestimmung ist jedoch nicht zu erkennen. Möglicherweise verändern diese Experimente allerdings unser Bild von der Rolle des Bewusstseins bei Entscheidungen.

Die hier angeschnittenen Fragen zeigen deutlich, warum Probleme des Bewusstseins und seiner neurobiologischen Grundlagen von so zentraler Bedeutung für unser Selbst- und Weltverständnis sind. Zum einen wüssten wir ohne Bewusstsein nichts von der Wirklichkeit in und um uns. Umgekehrt kann uns Wissen über das Bewusstsein und seine physischen Grundlagen etwas darüber sagen, wie unser Bild von der Wirklichkeit zu Stande kommt. Gleichzeitig haben Bewusstsein und Selbstbestimmung zentrale Bedeutung für grundsätzliche juristische und ethische Fragen. Unser gesamtes Rechtssystem basiert auf der Voraussetzung, dass wir für unser Handeln verantwortlich gemacht werden können. Sollte sich dies als falsch herausstellen, so wären wir zu grundlegenden Veränderungen dieses Systems gezwungen.

Bewusstsein und die Fähigkeit zu selbstbestimmtem Handeln sind aber auch von zentraler Bedeutung für den Begriff der Person. Dieser spielt seinerseits eine entscheidende Rolle in einigen der wichtigsten derzeitigen Debatten, etwa um Abtreibung und Embryonenforschung. Je mehr wir darüber erfahren, wovon Bewusstsein und Willensfreiheit abhängen, und je besser wir die beteiligten Mechanismen verstehen, desto eher können wir bestimmen, welche Lebewesen diese Kriterien erfüllen. ◆

MICHAEL PAUEN, 45, ist Professor am Institut für Philosophie der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Seine Themen sind die Philosophie des Geistes sowie Kultur- und Geschichtsphilosophie.

Literaturtipps

BECKERMAN, A.: Analytische Philosophie des Geistes. Berlin/New York: Walter de Gruyter 2000, 2. Aufl.

PAUEN, M.: Das Rätsel des Bewusstseins. Paderborn: Mentis 2001, 2. Aufl.

Das Interview führte **CARSTEN KÖNNEKER**.

WAS ROBBIE NICHT LERNT, LERNT ROB IMMER MEHR

Eine hochrangig besetzte Paderborner Tagung über die Zukunft von Robotik und Künstlicher Intelligenz lässt unsere Ehrfurcht vor dem Menschen wachsen

VON CARSTEN KÖNNEKER

Wann ziehen Künstliche Intelligenzen mit uns Menschen gleich? Oder sind wir ihnen doch auf ewig überlegen? Im Oktober vergangenen Jahres lud das Heinz Nixdorf MuseumsForum anlässlich der Eröffnung der Ausstellung „Computer.Gehirn“ zum fünften Paderborner Podium ein. Die hochkarätige Veranstaltung stand unter der Überschrift „Computer, Gehirn und Bewusstsein“.

Den Vortragsreigen eröffnete Rodney Brooks, Direktor des Artificial Intelligence Laboratory am Massachusetts Institute of Technology (MIT). Seine Videosequenzen, die das Kommunikationsgeschehen zwischen Versuchspersonen und dem Sprachroboter „Kismet“ wiedergaben, überzeugten die 400 geladenen Gäste schnell davon, dass bei der Imitation von Mimik und Sprechmelodie durch kommunikationsfähige Maschinen bereits deutliche Erfolge erzielt werden konnten. Und so erschienen Brooks' zentrale Fragen denn auch alles andere als abstrus: Werden wir Künstliche Intelligenzen einmal als gleichberechtigt akzeptieren? Könnten sie womöglich einmal Macht über uns Menschen ausüben?

Dass wir Roboter schon bald als „reale Wesen“ ernst zu nehmen haben, steht für Brooks längst fest. Seine naive Antwort auf die zweite Frage lässt freilich auch diese Überzeugung fragwürdig erscheinen: Nach Brooks' Aussage könnten Roboter mit künstlicher Intelligenz zweifellos gefährlich für uns Menschen werden; aber da wir sie nie zu diesem Zwecke konstruieren würden, ist das Problem vom Tisch! Sollte sich noch nicht bis zum MIT herumgesprochen haben, dass auch die Rüstungsindustrie eifrig KI-Forschung betreibt? Ist Brooks nicht sogar einer ihrer wichtigsten Berater?

Plausibler dagegen erschien die These, dass die herkömmliche Unterscheidung zwischen Roboter und Mensch ohnehin zunehmend aufweicht, weil Letz-

terer sich durch leistungsoptimierende Implantate in Körper und Kopf seinerseits dem Maschinendasein annähert. Schon in etwa zwanzig Jahren wird es nach Brooks für einige von uns alltäglich sein, über Neuroimplantate drahtlos Information aus dem Internet ins Gehirn herunterzuladen.

Nach dieser virtuellen Zukunftsschau betrat Helge Ritter gesicherteres Terrain. Der an der Universität Bielefeld tätige KI-Experte hatte mehrere Thesen zur Zukunft von Robotik und KI im Gepäck. Die wichtigsten: Roboter und KI-Systeme entwickeln sich zukünftig in Unterspezies weiter: als Serviceroboter, Meeresgrund- und Kanalroboter, als Partyroboter und so weiter. Daneben wird für Menschen wie für Maschinen Information als „Rohstoff“ immer wichtiger. So können Teleroboter bald vielfältige Einsatzmöglichkeiten etwa bei der Montage von Informationsbausteinen finden.

ANNÄHERUNG VON MENSCH UND MASCHINE

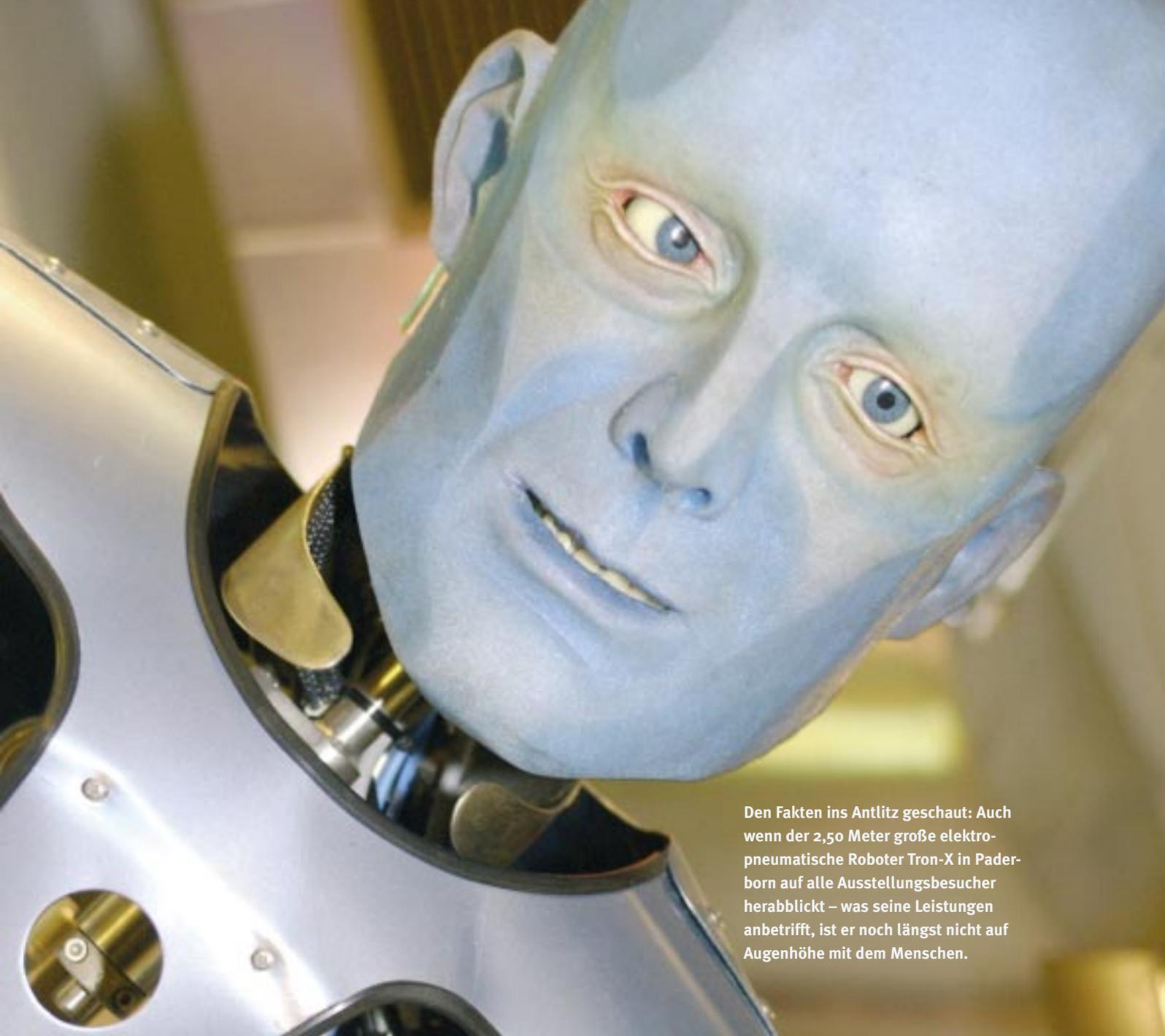
Überhaupt reüssieren Künstliche Intelligenzen vor allem als virtuelle Dienstleistungsroboter, die mit uns interagieren. Ein Beispiel: Ein realer Filmemacher gibt seinen virtuellen Darstellern Regieanweisungen, die diese dann unter „Rücksprache“ mit ihm umsetzen. Auch Ritter ist davon überzeugt, dass Roboter und Künstliche Intelligenzen langfristig viele menschliche Fähigkeiten besitzen und sogar übertreffen werden. Außerdem traf er sich mit Brooks in der Aussage, dass die traditionelle Unterscheidung von Mensch und Maschine obsolet wird.

Einen von den Veranstaltern gut inszenierten Kontrapunkt zu den Ausführungen der beiden KI-Experten setzte Wolf Singer vom Max-Planck-Institut für Hirnforschung in Frankfurt am Main. Er forderte die Etablierung einer neuen wissenschaftlichen Disziplin: einer theoretischen Neurowissenschaft. Bislang seien

KI- und Hirnforschung weitgehend getrennte Wege gegangen – was vor allem darin zum Ausdruck kommt, dass heutige KI-Systeme immer noch auf gänzlich anderen Prinzipien und Algorithmen basieren als biologische Systeme.

Zu deren Erforschung eignen sich am besten elektrophysiologische Untersuchungen an Tieren und Menschen. So weiß man heute, dass bestimmte Wahrnehmungsphänomene stets mit einer synchronen Aktivierung sehr vieler Nervenzellen im Gehirn korrelieren. Der zentrale Zustand, der mit bewusster Wahrnehmung einhergeht, ist dabei weit über das Organ verteilt, dynamisch und in allen Teilen selbstorganisiert. Um mit der Leistungsfähigkeit des menschlichen Gehirns jemals konkurrieren zu können, muss die KI-Forschung Singer zufolge ihre herkömmlichen Algorithmen aufgeben. Die seriellen logischen Verknüpfungen der Gegenwart würden auch bei noch so hohen Rechengeschwindigkeiten qualitativ stets hinter den leistungsfähigeren natürlichen Algorithmen hinterherhinken.

Das Thema „künstliches Bewusstsein“ beschäftigte auch Thomas Metzinger. Der Professor für theoretische Philosophie an der Universität Mainz präsentierte fünf notwendige Bedingungen, die jedes informationsverarbeitende System erfüllen muss, damit wir ihm bewusste Erlebnisse zusprechen können: Zunächst benötigt es ein Weltmodell, ein eigenes einheitliches Bild der Welt als Ganzes, sowie eine subjektiv erlebte Gegenwart, das Entstehen von „inneren Augenblicken“ im Strom der Zeit. Drittens muss ein künstliches System mit Bewusstsein das Transparenz-Kriterium erfüllen: Es sollte fähig sein, durch seine eigenen inneren Zustände hindurch auf die Welt zu schauen. Dabei muss es viertens von sich selbst annehmen, in direktem, unmittelbarem Kontakt mit der Wirklichkeit zu stehen. Zuletzt benötigt es ein



HEINZ NIXDORF FORUM

Den Fakten ins Antlitz geschaut: Auch wenn der 2,50 Meter große elektro-pneumatische Roboter Tron-X in Paderborn auf alle Ausstellungsbesucher herabblickt – was seine Leistungen anbetrifft, ist er noch längst nicht auf Augenhöhe mit dem Menschen.

Ich-Gefühl und eine innere Darstellung von Subjekt-Objekt-Beziehungen: Es muss das eigene Selbst als einen Gegenstand wahrnehmen können, der Gedanken fasst und Handlungsziele verfolgt.

Auch wenn die KI-Forschung von der Realisierung eines solchen Systems noch weit entfernt ist, fordert Metzinger, bereits heute von der Entwicklung künstlichen Bewusstseins Abstand zu nehmen, denn als bewusst erlebendes System wird es seine anfängliche Unausgereiftheit in jedem Fall leidend erleben. So verglich Metzinger die Realisierung des ersten postbiotischen Bewusstseins mit der vorsätzlichen Züchtung eines behinderten Säuglings mit dem alleinigen Ziel, weiter an ihm zu forschen.

Als Ausklang Altbekanntes: Der aus den USA per Videokonferenz zugeschaltete Ray Kurzweil spulte zum wiederholten Mal nonchalant seine Generalthese von der sich unaufhörlich beschleunigenden wissenschaftlichen Entwicklung ab. Diese führe beispielsweise in rund 25 Jahren zur Realisierung selbstreproduktiver Nano-Roboter, die in milliardenschwerer Flottenstärke durch das menschliche Blutssystem kreuzen, um den Ärzten von morgen bei der Diagnostik zu helfen.

Unterm Strich zeigte sich in Paderborn nicht zuletzt, dass die intensive Beschäftigung mit den Möglichkeiten der Künstlichen Intelligenz derzeit immer noch unsere Ehrfurcht vor dem Men-

schen wachsen lässt. Einblicke in die Grenzen und Chancen heutiger KI- und Robotik-Anwendungen erhalten Interessierte noch bis zum 1. März 2002 in den Sonderausstellungsräumen des Heinz Nixdorf MuseumsForums. 300 Exponate, sechzig davon mit interaktiven Fähigkeiten ausgestattet, erwarten die Besucher. Eine konsequente Umsetzung des amerikanischen Science-Center-Gedankens macht die Ausstellung zu einem Familienerlebnis. Die Devise lautet: Selbst ausprobieren! ♦

Infos zur Sonderausstellung
„Computer.Gehirn“ unter

www.computer-gehirn.de

Stressforschung

WENN DER BÄR IM HÖHLENEINGANG AUFTAUCHT

Dauerhafter Stress macht krank. Doch wie entsteht er? Welche Organe und Gewebe spielen dabei eine Rolle? Derzeit entschlüsselt die Forschung das mächtige Netz physiologischer und psychologischer Regelkreise.

VON HERMANN ENGLERT

Reizdarm, Aggression im Straßenverkehr, Herzinfarkt, Migräne oder Haarausfall bei Frauen – solche Folgen werden dem Stress zugeschrieben. Dabei wollte die Natur unsere Vorfahren eigentlich mit einem Werkzeug ausstatten, das sie besser mit bedrohlichen Situationen fertig werden ließ: einer raschen Aktivierung des Organismus – zum Beispiel schnellerem Herzschlag und höherer Muskelspannung, wenn ein riesiger Bär im Höhleneingang auftauchte.

Die Probleme beginnen jedoch, wenn Menschen ununterbrochen „Stressoren“ (siehe Kasten Seite 60: Was ist Stress?) ausgesetzt sind – etwa zu hohen Anforderungen durch die Arbeit –, oder wenn sich

das Stress-System nicht wie vorgesehen anpasst oder deaktiviert, sobald die kritische Situation vorbei ist. Die Folge: Zahlreiche Organe unseres Körpers werden einem dauernden Ansturm von Alarmsignalen ausgesetzt und so geschädigt.

Doch was genau passiert bei Stress in unserem Körper? Welche Organe werden aktiviert? Wann wird es für unsere Gesundheit kritisch? Lässt sich messen, ab wann Stressbelastung einen Menschen gefährdet?

In den vergangenen Jahren haben Forscher viele wesentliche Instanzen des Organismus identifiziert, die an der Stressreaktion mitwirken; sie liegen zentral im Gehirn sowie dezentral in Organen des ganzen Körpers (siehe Kasten Seite 61:

Organe des Stress-Systems). Diese Stellen verarbeiten Informationen aus den Nervenbahnen des sensorischen Apparats und kommunizieren über zahlreiche Hormone miteinander. Auf diese Weise bilden sie ein weit reichendes Netz, das Stress-System. Dieses verteilt die Energiereserven des Organismus neu, damit das Nervensystem genügend Energie bekommt – ebenso wie die für die Reaktion auf den Stressauslöser verantwortlichen dezentralen Organe. Beispiele sind, wie schon erwähnt, Muskeln und Kreislaufsystem. Je wichtiger das Stressereignis ist, desto mehr Organe werden aktiviert.

Wenn der Stress beginnt, zieht ein kleiner Bereich des Zwischenhirns die Fäden: der Hypothalamus. Er enthält

**Aus urheberrechtlichen
Gründen können wir Ihnen
die Bilder leider nicht
online zeigen.**

Im Gedränge steigt unser Stresspegel.
Doch unsere archaischen Reaktionen –
Flucht oder Kampf – helfen hier nicht
weiter.

mehrere verschieden aufgebaute Kerne – Ansammlungen von Nervenzell-Körpern –, die unterschiedliche Aufgaben übernehmen. Die Neuronen der Hypothalamus-Kerne steuern beispielsweise den Schlaf, den Appetit, aber auch das Gleichgewicht zahlreicher Hormone. Für die Stressreaktion ist vor allem der *Nucleus paraventricularis* (Paraventriculär-Kern) wichtig. Dieser beherbergt Neuronen, die Vasopressin und das Corticotropin-Releasing-Hormon (CRH) ausschütten; beides sind Botenstoffe, die als Stresssignale wirken. Zwei weitere für das Stress-System bedeutende Hirnregionen sind der blaue Kern (*Locus coeruleus*) – eine nach ihrer Färbung benannte Neuronengruppe auf der Hin-

terseite des Stammhirns – sowie eine Gruppe von Nervenzellen, die an ihren Synapsen Catecholamine als Überträger-substanz benutzen und die damit zum vegetativen Nervensystem gehören.

ZWEI ÄRME PACKEN ZU

CRH ist das Instrument, mit dem der Hypothalamus die Stressreaktion auslöst. Dieses aus Aminosäuren bestehende Hormon wurde im Jahre 1981 von Wylie Vale und seinen Kollegen am Salk-Institute in La Jolla (Kalifornien) entdeckt und seitdem ausführlich untersucht. Es gestaltet die Stressreaktion gleich doppelt: Zum einen wirkt es über den „langen Arm“ – einen Hormon-Signalweg, der vom Hypothalamus über die Hypo-

physe und die Nebenniere bis hin zu Organen überall im Körper reicht. Der lange Arm wird daher auch als Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse bezeichnet. Daneben verfügt CRH über einen „kurzen Arm“, der durch ein Netz von Neuronen und Hormonwegen im Gehirn schließlich das vegetative Nervensystem ansteuert.

Unter normalen Bedingungen schützen spezielle Neuronen im Paraventriculär-Kern CRH aus, vor allem frühmorgens (siehe Abbildung Seite 62 oben). Es gelangt durch ein Pfortadersystem zum Vorderlappen der Hypophyse, wo das „adrenocorticotrope Hormon“ (ACTH) in die Blutgefäße freigesetzt wird. ACTH wiederum aktiviert die Nebennierenrinde ►

zur Abgabe von Glucocorticoiden ins Blut. Der Gehalt an diesen Rindenhormonen im Blut folgt unter normalen Bedingungen ebenfalls einem täglichen Rhythmus: frühmorgens hohe, abends geringere Konzentration. Eine der wichtigsten Aufgaben der Glucocorticoide ist, die Menge an Glucose – an Traubenzucker – im Blut zu erhöhen, also Energie für Muskeln und Nervenarbeit bereitzustellen. Auf der anderen Seite unterdrücken sie das Immunsystem. Da Glucocorticoide derart wichtige Funktionen unseres Körpers steuern, muss ihr Spiegel genau geregelt werden. So sind die Hormone nicht bloß das letzte und ausführende

Glied der Kette, sondern sie fallen gleichzeitig über einen Rückkopplungsmechanismus dem Hypothalamus in den Arm. Sie können unter anderem auf der Ebene des Hypothalamus wie auch in der Hypophyse die Ausschüttung von CRH beziehungsweise ACTH drosseln und damit den Regelkreis rasch zurückfahren.

Zusätzlich zum CRH wird im Hypothalamus Vasopressin ausgeschüttet. Dieses Hormon potenziert die Wirkung von CRH: Über die langen Fortsätze von Nervenzellen gelangt es in die Hypophyse und regt gleichfalls die Sekretion von ACTH an. Bei akutem Stress wird dann besonders viel CRH freigesetzt, zum an-

deren wird die Vasopressin-Ausschüttung genauer mit der von CRH synchronisiert. Auf diese kombinierte Stimulation hin werden die Nebennieren noch aktiver. Das Zusammenspiel von CRH und Vasopressin ist der wichtigste – wenn auch nicht der einzige – Mechanismus, mit dem der Organismus auf eine akute Belastung reagiert.

CRH wirkt nicht ausschließlich über die Hypophysen-Nebennieren-Achse, sondern auch auf einem anderen Weg. Darauf kam man unter anderem durch Versuche an Ratten: Tiere, denen man das Hormon in die Gehirnflüssigkeit injiziert, benehmen sich ähnlich wie Tiere, die stressigen Ereignissen ausgesetzt sind – auch wenn die Forscher ihnen vor der Injektion die Hypophyse entfernten.

Die Untersuchung verschiedener Gehirngewebe wies den Forschern den Weg: Außer im Paraventriculär-Kern des Hypothalamus fanden sie CRH auch im blauen Kern des Stammhirns, der *Stria terminalis* – einem Nervenstrahl vom zentralen Kern der Amygdala zum Vorderhirn –, und in der Amygdala selbst (siehe Abbildung Seite 62 unten). Die Amygdala spielt unter anderem eine wichtige Rolle für Emotionen wie Angst.

LEXIKON

WAS IST STRESS?

IN DER UMGANGSSPRACHE WIRD DAS WORT „STRESS“ in zweifacher Bedeutung gebraucht. Zum einen bezeichnet es Faktoren, die eine Überforderung verursachen – also dauernden Lärm, Zeitdruck oder Angst vor Kündigung. Zum anderen meint es den durch diese Einflüsse ausgelösten angespannten Zustand, der mit einer Reihe von körperlichen Reaktionen verknüpft ist. In der Stressforschung werden zur genauen Unterscheidung der Bedeutungen häufig zwei Begriffspaare verwendet: Mit *Stress* ist die *Reaktion* des Organismus gemeint, alternativ wird der Begriff *Stressreaktion(en)* gebraucht. Die äußeren Einflüsse werden hingegen als *Stressoren* oder *stressogene Faktoren* bezeichnet.

ORGANE UND HORMONE DES STRESS-SYSTEMS

ACTH, adrenocorticotropes Hormon, Corticotropin; Neuropeptid der Hypophyse aus 39 Aminosäuren, führt zur Freisetzung von Glucocorticoiden aus der Nebenniere, aktiviert Enzyme des Fettstoffwechsels

VASOPRESSIN, ADH, Antidiuretisches Hormon; Neuropeptid aus neun Aminosäuren, Hormon des Hypothalamus, erhöht die Spannung der glatten Muskulatur und die Wasserresorption der Niere; stimuliert die Freisetzung von ACTH aus dem Hypophysen-Vorderlappen

AMYGDALA ODER MANDELKERN
Teil des limbischen Systems, ist insbesondere wichtig für die Entstehung von Gefühlen wie Angst und Aggression bzw. die emotionale Einfärbung von Informationen; beteiligt an der Erkennung von (Emotionen in) Gesichtern

CRH, Corticotropin-Releasing-Hormon, Corticoliberin; Peptidhormon des Hypothalamus aus 41 Aminosäuren, regt zusammen mit ADH die Freisetzung von ACTH aus dem Hypophysen-Vorderlappen an; zentrales Hormon der Stressantwort

GLUCOCORTICOIDE
Steroidhormone der Nebennieren-Rinde; steuern Glucose-Stoffwechsel und Schlaf-Wach-Rhythmus, unterdrücken das Immunsystem und erhöhen den Stress-Level

HIRNSTAMM
Geradlinige Fortsetzung des Gehirns unter Groß- und Kleinhirn, die in das Rückenmark übergeht

PFORTADER
Aus Venen gebildetes und nicht von der Pumpleistung des Herzens abhängiges Gefäß; führt das Blut in die Kapillargefäße eines anderen Organs und nicht direkt zum Herzen

STRIA TERMINALIS
Nervenfaser-Bündel von der Amygdala zu verschiedenen Regionen des Vorderhirns, u. a. zum Hypothalamus

VAGUS (NERVUS VAGUS)
Zehnter Hirnnerv; schickt motorische Fasern zu den Schluckmuskeln und vegetative Fasern zu Herz und Organen der Bauchhöhle; sensorische Bündel liefern Geschmackseindrücke und Impulse aus den Eingeweiden ins Gehirn

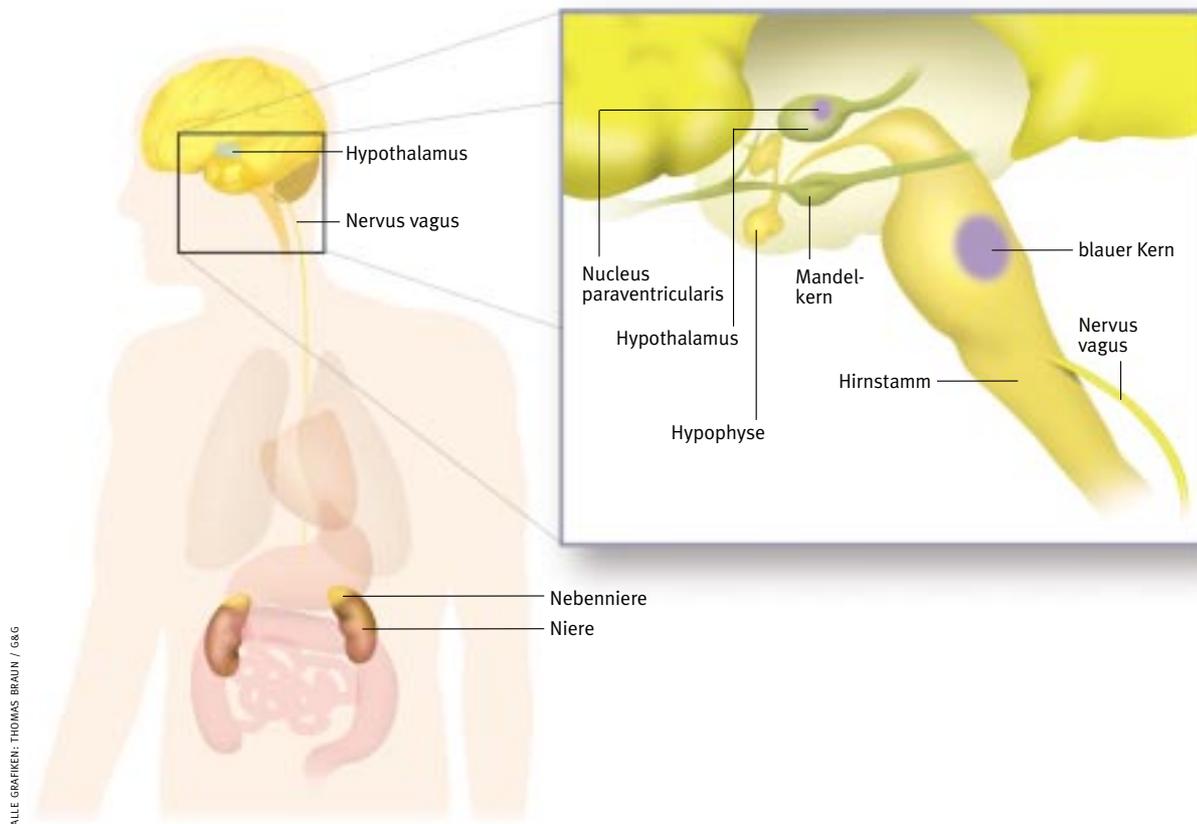
EIN HORMON MACHT STRESS

Die Befunde aus Gewebsstudien werden auch durch Versuche am lebenden Gehirn gestützt. Hierbei verwendet man unter anderem Wirkstoffe, die Signale an bekannten Stellen blockieren, indem sie dort zum Beispiel Nervenimpulse unterbinden. So kam ans Licht, dass der blaue Kern als eine Art neurale Relaisstation fungiert, die CRH-produzierende Gehirnbereiche mit dem vegetativen Nervensystem verschaltet. Das geschieht über Nervenbahnen, die ihre Signale mittels Catecholaminen weitergeben, einer Klasse von Hormonen und Neurotransmittern. Die Übertragungsstation tritt in Aktion, wenn dort entweder physische oder psychische Stressfaktoren einlaufen – Letztere vor allem von der Amygdala.

Im System der Stressantwort, das von CRH und Catecholaminen getragen wird, gibt es positive Rückkoppelungen als Verstärkungsmechanismen. Sie können Stress erzeugende Ereignisse, die in kurzen Abständen auf den Körper wirken, sozusagen addieren und bewirken dann eine zunehmend intensivere Stressantwort.

Auch durch molekularbiologische Versuche hat sich inzwischen gezeigt, dass CRH bei der Stressantwort eine herausragende Rolle zukommt. Mindestens zwei verschiedene Moleküle auf Zellen des Zielgewebes – beispielsweise der Hypophyse – fungieren als Sensoren für

DIE ORGANE DES STRESS-SYSTEMS



AN DER ENTSTEHUNG VON STRESS sind Organe im gesamten Körper beteiligt. Steuerzentrale ist die Hypophyse im Gehirn, die ihre Signale über Nerven wie den Vagus und verschiedene Hormone in den Körper schickt. Dort verändern die Stresssignale den physiologischen Zustand zahlreicher Organe – Herz, Magen und Darm sowie Muskeln, um nur einige zu nennen. Auch das Fortpflanzungssystem ist betroffen. Eine wichtige Zwischenstation im Körper ist die Rinde der Nebenniere. Dort werden Glucocorticoide freigesetzt, Hormone, die Stoffwechsel und Immunsystem modulieren.

EINE GANZE REIHE VON STRUKTUREN des zentralen Nervensystems spielen bei der Stressreaktion eine Rolle. Während der Hypothalamus die Regie führt – CRH, das wichtigste Stresshormon, wird in seinem *Nucleus paraventricularis* gebildet – fungiert der „blaue Kern“, eine Region auf dem Hirnstamm, als Relaisstation, die unter anderem emotionale Stressoren aus dem Mandelkern in den *Nucleus paraventricularis* meldet. Die Hypophyse ist das Bindeglied zu den Nebennieren; sie steht über die Fortsätze von Nervenzellen und ein Pfortader-System mit dem Hypothalamus in Verbindung.

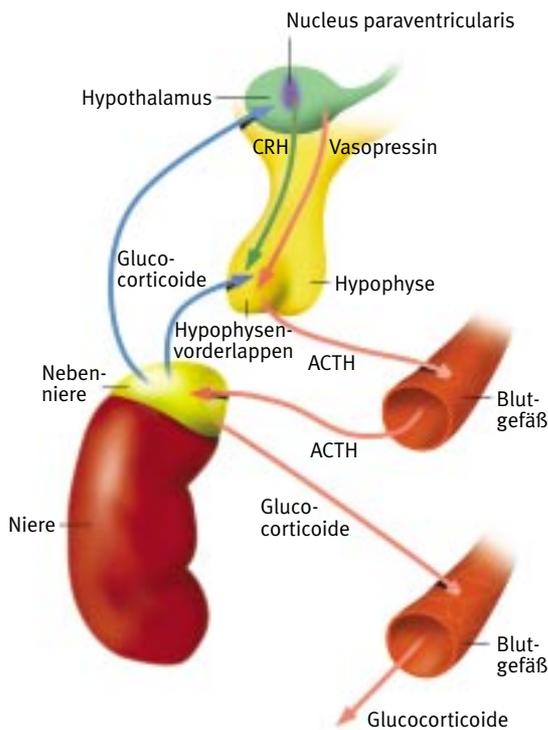
das Hormon: die CRH-Rezeptoren vom Typ 1 und Typ 2. Dockt das Hormon an, melden sie dies ins Zellinnere weiter. Versuche mit Substanzen, die jeweils einen der beiden Typen blockieren, ließen – ebenso wie die Verteilung der Typen in Organen und Geweben – vermuten, dass Typ 1 die Stressreaktion vermittelt. Den endgültigen Beweis hierfür erbrachten vor kurzem Forscher des Max-Planck-Instituts für Psychiatrie in München und des Salk Institute in La Jolla (Kalifornien). Sie züchteten Mäuse, denen der CRH-Rezeptor vom Typ 1 fehlt. Dazu zerstörten sie in embryonalen Stammzellen von Mäusen das Gen, das diesen Sensor entstehen lässt. Die Mäuse, die aus den so veränderten Zellen heranwachsen, sind der Traum jeder Führungskraft: Obwohl sie wiederholt stressigen Situa-

tionen ausgesetzt wurden, fanden sich in ihrem Blut nicht mehr ACTH und Glucocorticoide als gewöhnlich – und die Tiere fühlten sich offensichtlich weniger gestresst. Dies ergaben ausgeklügelte Verhaltensexperimente: Mäuse ohne CRH-Rezeptoren vom Typ 1 reagieren in Stresssituationen gelassener. Medikamente, die die Wirkung von CRH über diesen Rezeptor unterdrücken, senken daher vielleicht auch das Stressniveau in einem Organismus. Das könnte dann hilfreich sein, wenn der Stress zum Gegner wird.

Unsere Vorfahren rettete akuter Stress das Leben. Moderner Stress macht krank und führt gerade zu den typischen Zivilisationsleiden. Was macht ihn so gefährlich? Die besondere Aktivierung ist vom Organismus als Ausnahmereaktion

vorgesehen; wenn jedoch das Stressereignis beendet ist, muss das System rasch wieder zurückgefahren werden, damit sich alle beteiligten Organe von dem Kraftakt regenerieren können. Wenn aber äußere Umstände – der tägliche Stau auf dem Weg zur Arbeit, ein Scheidungsprozess oder vielleicht Fluglärm – andauernd das Stress-System reizen, kommt es zu negativen Folgen. Solche Beeinträchtigungen treten aber auch auf, wenn der Körper auf Grund einer körperlichen Fehlfunktion oder einer psychischen Krankheit nicht richtig entspannen kann. Die Liste der Organe, die durch chronischen Stress und damit eine hyperaktive Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse Schaden nehmen, ist lang.

■ **DIE FORTPFLANZUNGSORGANE:** Weibliche wie männliche Athleten oder Bal-



So funktioniert der „lange Arm“ des Stress-Systems: Der Hypothalamus bildet die Hormone CRH und Vasopressin. CRH gelangt über ein Pfortader-System (grüner Pfeil) in die Hypophyse, die daraufhin das Hormon ACTH ins Blut entlässt. ACTH regt die Nebenniere dazu an, Glucocorticoide abzugeben. Diese erhöhen den Blutzucker-Spiegel und versetzen den Körper in Alarmbereitschaft. Über negative Rückkopplung (blaue Pfeile) reduzieren die Glucocorticoide im Hypothalamus die Ausschüttung von CRH, in der Hypophyse die von ACTH. Das Endglied der Stresskette reguliert sich so selbst und kann die Stressreaktion stoppen. Bei akutem Stress wird neben CRH Vasopressin freigesetzt, das die Nebenniere zusätzlich aktiviert.

lett tänzer, die dauernd große körperliche Anstrengung ertragen müssen, produzieren weniger Eizellen oder Spermien. Bei Männern sinkt der Testosteron-Spiegel, bei Frauen kann sich der Menstruationszyklus verändern oder die Regelblutung ganz ausbleiben. Daran sind Signale schuld, die der „lange Arm“ an verschiedenen Stufen der Kette erzeugt.

Ähnlich negative Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit haben Magersucht oder längeres erzwungenes Fasten. Beide lassen die CRH-Werte im Gehirn ansteigen. Magersüchtige Patienten haben abends mehr von dem Glucocorticoid Cortisol im Plasma und im Urin als Gesunde; auch schüttet ihre Hypophyse weniger ACTH aus, wenn man sie künstlich mit CRH stimuliert – Hinweise, dass die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse überaktiv ist.

■ **WACHSTUM:** In manchen Fällen beeinträchtigt chronischer Stress auch das

Körperwachstum und den Stoffwechsel. Bei anhaltender Belastung wird das Wachstumshormon (GH) in geringerer Menge abgegeben, ebenso wie der „insulinartige Wachstumsfaktor I“ (IGF I für englisch insulin-like growth factor I), der den Zielorganen im Körper die Wirkung des Wachstumshormons vermittelt. Jugendliche wachsen dann langsamer, und bei Erwachsenen wird der Aufbau von Muskeln und Knochen sowie der Abbau von Fettdepots behindert. Ein Weg, auf dem Stress das Wachstum stört, verläuft – wenig überraschend – wieder über CRH. Das Stresshormon senkt auf dem Umweg über ein weiteres Hormon die Sekretion von GH und damit des wachstumsfördernden IGF I.

■ **MAGEN-DARM-FUNKTIONEN:** Dass Stress auf den Magen schlagen kann, ist schon sprichwörtlich – und spiegelt eine seiner wichtigsten physiologischen Wirkungen wider. Ist die Hypothalamus-

Hypophysen-Nebennieren-Achse zu aktiv und gleichzeitig der CRH-Spiegel im Gehirn zu hoch, wird der Vagus-Nerv blockiert. Dieser steuert über vegetative Fasern unter anderem die Bewegung des Magen-Darmtraktes. Ein klassisches Beispiel für die stressbedingte Reaktion dieser Organe ist das Aussetzen der Verdauung nach einer Operation.

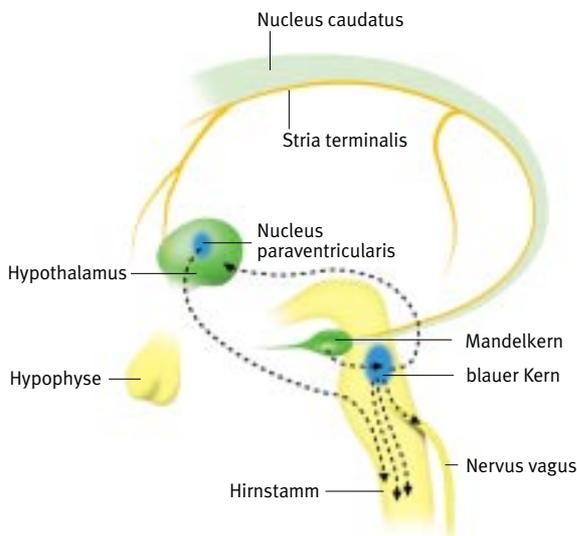
Aber Stress kann auch entgegengesetzt wirken. Hohe CRH-Werte sprechen über den „kurzen Arm“ den blauen Kern und Catecholamin-Neuronen an. Letztere aktivieren über das vegetative Nervensystem die Darmbewegungen. Einige Studien lassen vermuten, dass der Reizdarm, ein weit verbreitetes Leiden, von zu viel CRH herrührt.

Jüngste Forschungen stellen noch einen weiteren Zusammenhang zwischen Magen-Darm-Beschwerden und chronischen Stresssituationen her: Opfer von Gewalt oder sexuellem Missbrauch leiden auch noch Jahre nach dem eigentlichen Erlebnis unter psychischen Problemen – und diese werden häufig von Krankheiten der Verdauungsorgane begleitet. Bei den gleichen Patienten, in den meisten Fällen junge Frauen, ist wieder die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse chronisch hyperaktiv.

■ **STOFFWECHSEL:** Ist die Achse längere Zeit zu aktiv, verändert sich auch der Kohlenhydrat-Stoffwechsel. Das Körperfett verteilt sich neu; die Depots verlagern sich von unter der Haut in die Bauchhöhle. Zellen, die normalerweise durch Insulin veranlasst Glucose aufzunehmen, reagieren nicht mehr auf diesen Reiz. Diese Insulinresistenz hat sonst auch genetische Ursachen und führt dann zu Diabetes.

Der Organismus gerät jedoch nicht nur dann aus dem Gleichgewicht, wenn die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse durch Stimuli von außen überaktiviert wird. Oft funktioniert dieser Signalweg bei Patienten mit psychischen Störungen von vornherein nicht richtig, meist ist er dauernd hyperaktiv.

Viele Patienten mit schwerer Depression haben zu viel Cortisol im Blut. Auf der anderen Seite sind die Glucocorticoide in ihrem Blut kaum in der Lage, die Aktivität der Hypophysen-Nebennieren-Achse zu dämpfen. Zudem haben die Patienten mehr CRH in der Flüssigkeit, die das Gehirn und das Rückenmark umgibt; Menschen, die sich wegen Depressionen das Leben genommen haben, besaßen häufig weniger CRH-Rezeptoren in der vorderen Gehirnrinde. Letzteres ist ein Indiz dafür, dass sich besonders viel CRH im Gehirn befindet, da der Körper dann zu seinem eigenen Schutz die Antennen für das Hormon reduziert.



Für den „kurzen Arm“ des Stressapparats spielt der blaue Kern die zentrale Rolle. Von dort ziehen Neuronen zum Hypothalamus (neuronalen Verbindungen schwarz gestrichelt), der wiederum Kontakt mit vegetativen Fasern des Hirnstamms aufnimmt. Andere Zellen des blauen Kerns koordinieren über vegetative Fasern direkt die Stress-Antwort in Organen und Hormondrüsen. Input bekommt der blaue Kern aus Amygdala und Stria terminalis. Zusätzlich entsendet die Amygdala über die Stria direkt emotionale Stresssignale in den Hypothalamus.

QUERGEDACHT

Auch im Fall von Angst- und Panikzuständen hat der lange Arm seine Finger im Spiel, wiederum von zu viel CRH im Gehirn übermäßig aktiviert. Zwei Indizien für diesen Zusammenhang: Bei Tieren lösen CRH-Injektionen ins Gehirn starke Angst aus. Bei Patienten, die unter Panikzuständen wie Agoraphobie (Angst vor offenen Plätzen) oder Klaustrophobie (Angst vor Enge) leiden, wird nach einer CRH-Gabe per Medikament zu wenig ACTH ausgeschüttet – was darauf hinweist, dass die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse nicht mehr richtig funktioniert.

DEN BÄREN AUFSPÜREN

Auch neuere Ergebnisse aus der Pharmaforschung belegen, dass zu viel CRH und dadurch ein überaktiver „langer Arm“ psychische Krankheiten mit verschulden. In Europa wird daher zurzeit in klinischen Studien getestet, ob depressiven Patienten mit Angst- und Panikzuständen durch Medikamente zu helfen ist, die den CRH-Rezeptor vom Typ 1 hemmen. Eventuell kann man so die unheilvolle Fortpflanzung des Signals über den „langen Arm“ unterbrechen.

Stress macht krank, doch Stress ist nicht gleich Stress. Eine bestimmte Grundspannung, auch als positiver Stress bezeichnet, ist für die Leistungsfähigkeit des Menschen sogar förderlich. Ab wann sind wir dann in Gefahr? Auf diese Frage gibt es keine allgemein gültige Antwort, etwa wie viel Lärm am Arbeitsplatz man erträgt oder wie viele Scheidungen. Denn manche Menschen sind für Stress besonders anfällig.

Außer Therapien zu entwickeln, die jenes gefährliche Aufschaukeln der Regelkreise in unserem Körper stoppen, muss man also auch den Stress-Level jedes Einzelnen messen können. Die Forschung arbeitet an einem Kanon von Parametern – wie dem CRH-Spiegel –, der alle an der Stressreaktion beteiligten Organe erfasst. Es gilt den Stress zu stoppen, bevor er noch gefährlicher wird als der Bär im Höhleneingang. ◆

HERMANN ENGLERT ist Biologe und Wissenschaftsjournalist in Frankfurt am Main
gugz@spektrum.com

Literaturtipps

NEUROBIOLOGIE DER ANGST, Spektrum der Wissenschaft Dossier 03/99, Heidelberg.

SCHEDLOWSKI, M., TEWES, U. (Hg.): Psychoneuroimmunologie, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 1996.



MICHAEL GROSS
Biochemiker in Oxford

QUANTENTELEPATHIE

STELLEN SIE SICH EINMAL einen quietschrosa Elefanten vor! Stoßzähne weiß, aber alles andere bonbonrosa. Und mit einer lila Schleife am Schwanz. Sehen Sie – da habe ich es wieder einmal geschafft! Ich kann über Hunderte von Kilometern und mehrere Monate räumliche und zeitliche Entfernung hinweg Vorgänge in Ihrem Gehirn auslösen, die zu bildlichen Vorstellungen führen. Sogar von Dingen, die Sie noch nie wirklich gesehen haben!

Für diesen Vorgang habe ich natürlich technische Hilfsmittel gebraucht – von dem Computer, auf dem ich gerade diese Worte schreibe, bis hin zu dem Papier, von dem Sie sie in diesem Moment lesen. Nun glauben aber manche, dass solche Akte der Bildübertragung auch ohne Hilfsmittel möglich seien, nämlich direkt von Hirn zu Hirn: Ich denke an einen rosa Elefanten, adressiere das Bild an „Schrinde@LieschenMüller.de“, und Lieschen Müller sieht einen ebenso gefärbten Dickhäuter. Üblicherweise nennt man das Telepathie, und als seriöser Wissenschaftler darf ich über so etwas gar nicht sprechen, weil es nicht wissenschaftlich bewiesen ist, dass es das überhaupt gibt.

EINER TAT ES TROTZDEM: der Physik-Nobelpreisträger Brian Josephson, seines Zeichens Professor in Cambridge und Entdecker des Josephson-Effekts. Anlässlich der britischen Briefmarken zum hundertsten Jubiläum der Nobelpreise verkündete Josephson für eine Werbebroschüre der britisch-königlichen Post frohgemut, die Fortschritte in der Quantenmechanik und Informationstechnologie könnten eines Tages Erklärungen für bisher unverstandene Phänomene liefern – wie etwa die Telepathie. Prompt waren die Physikerkollegen darüber beleidigt, dass einer der ihren die heilige Quantenmechanik mit einem so esoterischen Konzept in Verbindung bringen konnte.

Die Verbindung ist in der Tat nicht die stärkste. Sowohl die Quantenmechanik als auch die Telepathie, sofern Letztere existiert, beinhalten Fernwechselwirkungen. Das experimentell nachgewiesene Phänomen der Quantenverschränkung – zwei miteinander verschränkte Systeme „wissen“, in welchem Zustand sich das jeweils andere befindet – wirkt auf Laien in der Tat so wie eine Art Telepathie. Doch dass Quantenverschränkung zur Kommunikation von Hirn zu Hirn eingesetzt werden kann, glaubt Josephson vermutlich selbst nicht.

ANDERERSEITS – solange wir selbst elementare Eigenschaften eines einzelnen Gehirns, etwa das Zustandekommen des Bewusstseins (das übrigens auch schon mit der Quantenmechanik in Verbindung gebracht wurde), nicht erklären können, sind wir auch nicht im Stande, die Möglichkeit zweifelsfrei auszuschließen, dass Telepathie (mit oder ohne Quanten) funktioniert.

Machen Sie einmal (in Gedanken) eine Zeitreise, sagen wir 30 Jahre zurück, und versuchen Sie den Menschen der frühen 70er Jahre zu erklären, dass Sie mit Ihrem weniger als faustgroßen Handy schnurlos nach Australien telefonieren können. Diese Vorstellung wird Ihrem Publikum ebenso unrealistisch erscheinen wie Telepathie. Ebendieses Handy ist natürlich sehr viel einfacher strukturiert als unser Gehirn, und die Strahlen, die es aussendet, sind – nach offizieller Lesart zumindest – so schwach, dass sie demselben nichts antun können. Also, warum sollen wir in 30 Jahren nicht ohne irgendeinen nervenden kleinen Kasten nach Australien telefonieren können (und ohne dass ein Dutzend Leute unfreiwillig zuhören)? Was unmöglich ist, können wir erst sagen, wenn wir das Mögliche verstanden haben! Das war schon immer so.

VOM LOCH IM KOPF ZUM NEURON

DIE IDEENGESCHICHTE DER GEHIRNFORSCHUNG (TEIL 1)

Derzeit explodiert unser Wissen über das menschliche Gehirn. Aber schon seit grauer Vorzeit beschäftigten sich Menschen mit diesem faszinierenden Organ.

VON ROBERT-BENJAMIN ILLING

Was mag den *Homo sapiens* erstmals bewegt haben, sich mit dem Innenleben seines Kopfes zu beschäftigen? Die ersten Zeugnisse, die ein Interesse daran belegen, sind erstaunlich alt: etwa 7000 Jahre! Einige Schädel aus frühsteinzeitlichen Gräbern weisen künstlich erzeugte Löcher auf. Unsere Vorfahren hatten hierbei aus dem Schädeldach jeweils ein scheibenförmiges Knochenstück entfernt (siehe Abbildung Seite 66). Solche so genannten Trepanationen fanden bis in die Neuzeit hinein und vermutlich in allen Erdteilen statt, allerdings in unterschiedlichem Maße. Sie waren in vielen steinzeitlichen Kulturen verbreitet, weniger hingegen in den antiken Hochkulturen und im mittelalterlichen Europa.

Die Lage der Öffnungen bei diesen Operationen folgt keinen offensichtlichen Regeln, und ihr Durchmesser variiert zwischen einem und etwa fünf Zentimetern. Einige der überlieferten Schädel weisen gleich mehrere solcher Löcher auf. Manche Patienten müssen den Eingriff viele Jahre überlebt haben, da bei ihnen die Knochenränder vernarbt sind. Erstaunlich viele Trepanationen, deutlich mehr als zwei Drittel, verheilten offenbar

gut. Manche Eingriffe hingen mit Schädelverletzungen zusammen, aber längst nicht alle. Wie bestimmte Naturvölker, die bis in die Neuzeit die Trepanation praktizierten, glaubten vermutlich auch die prähistorischen und steinzeitlichen Menschen an übernatürliche Krankheitsursachen und erlebten diese als „Dämonen“. Durch die Schädelöffnungen versuchten sie wohl, die Seele von bösen Geistern zu befreien, die wiederkehrenden Schwindelanfällen oder Krämpfen sowie epileptischen oder hysterischen Anfällen vermeintlich zu Grunde lagen.

Kulturen aller Entwicklungsstufen war offenbar gemein, dass sie eine eigenständige Existenz der Seele annahmen. Dies legen uns die Umstände der Begräbnisse und die Ausstattung der Toten nahe. Möglicherweise gilt Ähnliches sogar für den vor etwa 27 000 Jahren ausgestorbenen Neandertaler, der seine Toten teilweise ebenfalls mit Beigaben bestattete, die für ein Leben nach dem Tode hilfreich sein sollten.

Trotz der frühen, weit verbreiteten Trepanationen war die Bedeutung des Gehirns und des Nervensystems für die Philosophen und Ärzte der Vor- und Frühgeschichte anscheinend viel weni-

ger greifbar als die anderer innerer Organe. Sowohl in der Bibel als auch im Talmud finden wir authentische medizinische Beobachtungen – nie aber auch nur eine einzige Andeutung, dass irgendwelche Erkrankungen mit Gehirn, Rückenmark oder Nerven zusammenhängen könnten. Die Einbalsamierer der ägyptischen Pharaonen und Priester schenkten Leber und Herz höchste Sorgfalt, entfernten aber das Gehirn mit Stäbchen und Löffeln durch Nase und Ohren. Die erste uns bekannte Aufzeichnung über das Gehirn ist ein ägyptischer Papyrus, der nach seinem Entdecker, dem amerikanischen Ägyptologen Edwin Smith (1822–1906), Smith-Papyrus heißt und wohl etwa in der Mitte des 16. Jahrhun-

KOPFNÜSSE KNACKEN:
„Das Steinschneiden“ von Hieronymus Bosch (1450–1516) zeigt die im Mittelalter verbreitete Entfernung eines „Narrensteines“, der nach damaligen Vorstellungen Geisteskrankheiten auslöste.

*Aus urheberrechtlichen
Gründen können wir Ihnen
die Bilder leider nicht
online zeigen.*

Wissenschaftsgeschichte

derts vor Christus entstand. Vielleicht handelt es sich dabei sogar um eine Kopie eines noch älteren Dokuments. Dessen Autor war möglicherweise der Architekt und Arzt Imhotep, der um 2600 v. Chr. lebte. Der Smith-Papyrus beschreibt Diagnose, Behandlung und Prognose von Patienten mit Kopfverletzungen. Er legt die bei den Kranken aufgetretenen Phänomene nüchtern und systematisch dar. Zunächst erläutert der Text klaffende Wunden ohne Knochenverletzungen, dann solche mit glattem und mit gesplittetem Schädelbruch, um schließlich noch Fälle mit Hirnhautverletzungen abzuhandeln. Wie die Praxis der Einbalsamierung jedoch bezeugt, haben diese Beobachtungen nicht zu einer korrekten Einschätzung der Bedeutung des Gehirns geführt.

LUST IN DER LEBER – VERSTAND IM GEHIRN

In den antiken Kulturen Ägyptens und Griechenlands galt das Herz als das wichtigste Organ. Der griechische Philosoph Aristoteles (384–322 v. Chr.) führt dafür auch gute Gründe an:

- Eine Verletzung des Herzens bedeutet den sofortigen Tod, während Hirnverletzungen meist weniger drastische Konsequenzen nach sich ziehen und sogar ausheilen können.
- Veränderungen des Herzschlages gehen unverkennbar mit Veränderungen unseres Gemütszustandes einher.
- Umgekehrt scheint das Gehirn empfindungslos zu sein, denn eine Berührung des Gehirns am lebenden Tier ruft keinerlei Reaktionen hervor.

Die Bewegung des Herzens schien also praktisch gleichbedeutend mit dem Leben selbst zu sein. Jedoch würde erst die Seele, eine eigenständige Form- und Lebenskraft, dem Organismus das Leben schenken.

Im Gegensatz zu Aristoteles hatten die griechischen Gelehrten Pythagoras (um 570–496 v. Chr.) und Hippokrates (um 460–370 v. Chr.) das Gehirn als den „edelsten“ Teil des menschlichen Körpers betrachtet. Auch Platon (427–347 v. Chr.) war dieser Ansicht. Der Philosoph unterschied drei Teile der Seele und ordnete jedem ein Organ zu: die niederen Leidenschaften wie Lust oder Gier gehörten zur Leber, die höheren – etwa Stolz, Mut, Ärger oder Angst – zum Herzen. Für den Verstand aber sei das Gehirn zuständig.

Der alexandrinische Anatom Galen (um 130–200 n. Chr.) widersprach der aristotelischen Lehre offen. Er störte sich vor allem an der Behauptung, Augen und Ohren seien nicht mit dem Gehirn ver-

bunden. Der Seh- und der Hörnerv, die Galen entdeckte, bewiesen nämlich das Gegenteil. Galen beobachtete, dass Menschen nach einem Schlaganfall auch dann ihre Wahrnehmungsfähigkeit verlieren konnten, wenn die betreffenden Sinnesorgane völlig intakt blieben. Dies wies deutlich darauf hin, dass das Gehirn ein zentrales Organ für Wahrnehmungen ist. Besonders beeindruckt war Galen,

*Aus urheberrechtlichen
Gründen können wir Ihnen
die Bilder leider nicht
online zeigen.*

KRATER IM SCHÄDEL:

Dieser menschliche Schädel aus dem Mesolithikum wurde in Stengnav bei Naes in Dänemark gefunden. Die Ränder des Loches sind vollständig verheilt. Diese Tatsache belegt zweifelsfrei, dass der Patient die Operation um Jahre überlebt hat.

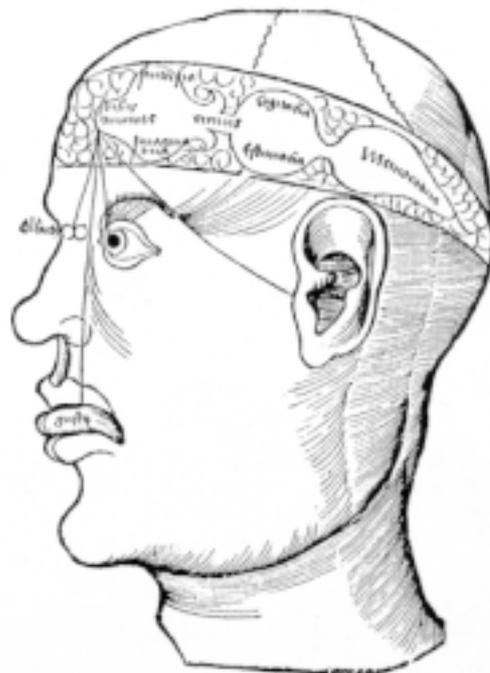
als er die Hohlräume des Gehirns, die so genannten Ventrikel (wörtlich: kleine Bäuche), beobachtete. Sie erschienen in seinen Experimenten leer und enthielten nach seiner Meinung daher etwas Luftähnliches. Drückte Galen auf den hinteren Ventrikel des entblößten Gehirns eines lebenden Tieres, dann fiel das Tier in eine Starre und tiefe Benommenheit. Schnitt er in diesen Ventrikel hinein, erholte es sich nicht mehr aus der Starre. Wenn er das Ventrikeldach nur etwas anschnitt, blinzelte das Tier mit den Augen. Drückte er jetzt auf einen der vorderen Ventrikel, hörte das Blinzeln auf, und das Auge auf der eingedrückten Seite glich dem eines blinden Menschen. Galen glaubte, Hirnverletzungen würden nur dann Wahrnehmung oder Bewegungsfähigkeit beeinträchtigen, wenn die Ventrikel betroffen wären. Über die Hohlräume des Hirngewebes müsse eine besondere Verbindung zum Seelischen bestehen. Denn: Zum einen seien sie eine auf fallende Struktur des Gehirns, das seinerseits mit den Sinnesorganen direkt verbunden sei. Zum anderen stünde ihr vermeintlich luftartiger Inhalt in seiner Substanzlosigkeit dem Seelischen näher als das Hirngewebe. Der Ventrikelinhalt ähnelte damit dem Pneuma, das die altgriechische Philosophie als Atem beschrieb, der aus dem Kosmos eingesogen wird und zwischen Seele und Körper vermittelt.

DAS GEHIRN – EINE ART RÖMISCHER BRUNNEN

Galen glaubte auch gesehen zu haben, dass die vom und zum Gehirn laufenden Nerven an den Ventrikeln endeten. Bereits der Grieche Alcmaeon von Kroton (um 570–500 v. Chr.) vermutete, dass Nerven hohl seien. Tatsächlich erschien auch Galen der Sehnerv hohl, denn in seiner Mitte verläuft oft ein Blutgefäß. So entstand die Vorstellung, die Nerven wären wie die Blutgefäße eine Art Kanalsystem. Des Weiteren vermutete Galen auch, dass die Muskelbewegungen und das Ausdrücken seelischer Regungen bei Tier und Mensch von den Ventrikeln ausgingen. Deren flüchtigen Inhalt nannte er Lebensgeist: Spiritus animalis. Galens Vorstellung von der Existenz und der Wirkung des Spiritus animalis im lebenden Organismus galt von nun an für viele Jahrhunderte als unumstößliche Lehre.

Nur zögernd ergänzten in der Folgezeit andere Forscher Galens Lehre. Im Mittelalter nannten sie Galens drei Ventrikel auch Kammern und begannen, ihnen verschiedene Funktionen zuzuweisen. Der vorderste Ventrikel sollte für die

**IMMER DER REIHE NACH:
Der so genannten Kammerdoktrin zufolge führen von Zunge, Nase, Auge und Ohr Verbindungen zur vordersten Kammer (Ventrikel), dem Ort des Gemeinsinns (*Sensus communis*), des Wahrnehmungsvermögens (*Fantasia*) und des Vorstellungsvermögens (*Vis imaginativa*). Die zweite Kammer enthält das Denkvermögen (*Vis cogitativa*) und das Urteilsvermögen (*Vis estimativa*), in der dritten und hintersten Kammer wurde das Gedächtnisvermögen (*Vis memorativa*) lokalisiert. (aus: Gregor Reisch: *Margarita Philosophica*, Basel 1517)**



Wahrnehmung zuständig sein, der zweite (oder mittlere) für das Denken und der hintere für das Gedächtnis. Damit ergab sich mit dem Fluss des Spiritus animalis von vorne nach hinten eine plausible Abfolge seelischer Vorgänge. Dieses Konzept der Hirnfunktion war die Kammerdoktrin (siehe Abbildung oben). Die Gelehrten veranschaulichten sie mit dem Bild eines römischen Brunnens: So wie dort das Wasser von Becken zu Becken fließt und dabei immer neue Formen annimmt, fließt der Spiritus animalis durch die Ventrikel und verändert dabei seine Qualität. Dies war vermutlich der erste, noch zaghafte Entwurf eines Modells der Hirnfunktion.

Die Kammerdoktrin wurde im Spätmittelalter weiterentwickelt, wobei die Anzahl der Kammern ständig zunahm. Manche Illustrationen zeigten zehn und mehr Ventrikel. Im Laufe der Zeit lernten die Gelehrten, verschiedene geistige Qualitäten zu unterscheiden, und ordneten jeder einen eigenen Sitz in Form eines Hohlraums im Kopf zu. Dagegen interessierten sie sich kaum für experimentelle Untersuchungen des Hirnorgans und seiner Ventrikel. Die alles beherrschende christliche Lehre sah im menschlichen Körper nur ein vergängliches Gefäß für die unsterbliche Seele, und die Kirche verbot sogar für lange Zeit anatomische Untersuchungen am Menschen.

In der Renaissance erwachte ein neues Interesse am menschlichen Körper, und zwar zuerst in der Kunst Italiens. Vor allem die italienischen Künstler Leonardo da Vinci (1452–1519) und Michelangelo (1475–1564) versuchten den

menschlichen Körper besser verstehen zu lernen, indem sie in sein Inneres schauten. So zeichnete Leonardo die ersten uns bekannten realistischen Darstellungen der Hirnventrikel (siehe Abbildung Seite 68 links). Mitte des 16. Jahrhunderts verhalf der belgische Anatom Andreas Vesalius (1514–1564) auch der Anatomie als Wissenschaft zu neuem Glanz. Er zelebrierte vor großem Publikum Leichensektionen und verwendete dabei viel Mühe auf die sorgfältige Präparation und Darstellung des Gehirns. Mit Spekulationen über die Funktionsweise des Gehirns hielt er sich jedoch zurück.

DER GEIST – EIN ZARTER WINDHAUCH

Diese Zurückhaltung kam René Descartes (1596–1650) gelegen. Der französische Mathematiker und Philosoph bemühte sich intensiv um ein Verständnis der Nervenfunktion und erklärte, die sichtbaren Teile des Gehirns hätten mit seiner Funktionsweise überhaupt nichts zu tun. Auch seine Lehre hierüber beruhte noch auf der Annahme eines strömenden Spiritus animalis sowie auf der Beobachtung von Hohlräumen im Gehirn und von vermeintlich hohlen Nerven.

Descartes kannte die bahnbrechenden physikalischen Beobachtungen seines italienischen Zeitgenossen Galileo Galilei (1564–1642). Dadurch beeinflusst formulierte er seine Vorstellungen konsequent mechanisch und änderte dadurch den Charakter der Hirnforschung grundlegend. Er stellte sich den Spiritus animalis als einen zarten Windhauch vor, der durch feine Nervenschläuche weht, ►

oder als besonders aktive Flammen. Nach seiner Ansicht kommen die Ströme des Spiritus animalis von den sensorischen Nerven und ergießen sich in die Ventrikel. Sie gelangen dann zu einem Zentralorgan des Gehirns, der Zirbeldrüse, die in die Ventrikel hineinragt und folglich vom Spiritus animalis umgeben ist. In der Zirbeldrüse begegnen sich dann der maschinenartige Körper (Res extensa) und die eigenständige, nicht-materielle Seele (Res cogitans). Die Willensimpulse der Seele wiederum bewirken durch die Ventrikel und über die Zirbeldrüse einen Fluss des Spiritus animalis in die jeweils passenden motorischen Nerven bis zu den Muskeln. Feine Filamente innerhalb der Nervenröhrchen fungieren als Ventile. Ihre Bewegung steuert die Strömung des Spiritus animalis. So können wir – nach Descartes – zum Beispiel Wärme spüren und uns von übermäßiger Hitze reflexartig zurückziehen (siehe Abbildung Seite 69).

Descartes war sich im Klaren darüber, dass ein mechanisches System, das die bekannten, unübersehbar vielfältigen sensorischen und motorischen Ereignisse hervorbringen soll, ungeheuer komplex sein muss. Der römische Brunnen schien ihm als Modell dafür nicht mehr überzeugend. Er präsentierte daher als neues Hirnmodell die Orgel: Ihr Windkasten entspricht dabei dem Herzen und den Arterien, die über das Blut den Spiritus animalis in die Ventrikel bringen. Die Traktur, über die der Organist bestimmt, in welche Kanäle die Luft fließt, entspricht den Ventilen in den Nerven, mit deren Hilfe der Spiritus animalis aus den Ventrikeln in die richtigen „Röhren“ fließt. Und die Musik, die aus den Orgelpfeifen erklingt, entspricht un-

serem vernünftigen und koordinierten Verhalten, wenn wir unsere Muskeln in Bewegung setzen und handeln. Das neue Modell der Hirnfunktion war genial, denn sowohl beim Orgelspiel als auch im Nervensystem kommt es auf eine komplexe zeitliche Ordnung der vielfältigen einzelnen Aktivitäten an (siehe Abbildung Seite 70 oben).

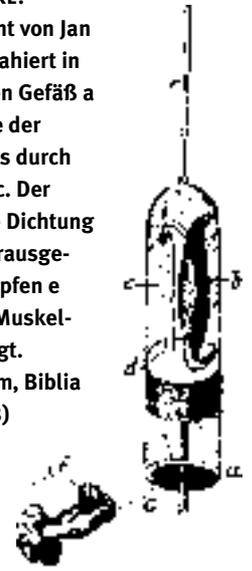
EIN ERTRÄNKTES TIER BEWEIST: DER LEBENSGEIST IST FLÜSSIG

Descartes stellte den Fluss des Spiritus animalis durch die Ventrikel und Nerven so präzise und konsequent mechanistisch dar, dass seine Theorie der Nervenfunktion experimentell überprüfbar wurde. So versuchte der italienische Mathematiker und Mediziner Giovanni Borelli (1608–1679) zu entscheiden, ob der Stoff, der durch die Nerven in die Muskeln fließt, gasförmig oder flüssig ist. Dazu hielt er ein lebendes Tier unter Wasser, das sich sicherlich nach Kräften gegen das Ertrinken gewehrt hat. Dabei musste laut Theorie der Spiritus animalis in die aktivierten Muskeln eingeströmt sein. Nach einigen Sekunden schlitzte Borelli einen Muskel auf. Da dabei keine Blasen aus dem Wasser aufstiegen, entschied Borelli, dass der Lebensgeist wohl eher wässrig als gasförmig sei: ein Succus nervus („Nervensaft“).

Descartes' Theorie behauptete, dass der Spiritus animalis vom Gehirn aus in den anzuspannenden Muskel gepumpt wird. Demzufolge hätte das Muskelvolumen im Moment der Kontraktion zunehmen müssen. Der niederländische Arzt Jan Swammerdam (1637–1680) platzierte ein Nerv-Muskel-Präparat in ein geschlossenes Gefäß, in dessen dünn auslaufendem Oberteil ein Wassertrop-

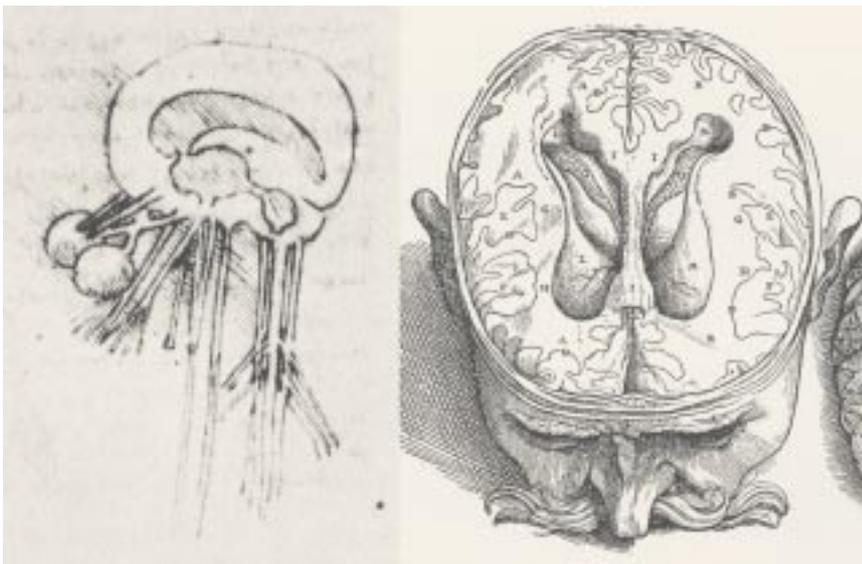
MUSKEL IN DER RÖHRE:

In diesem Experiment von Jan Swammerdam kontrahiert in einem geschlossenen Gefäß a der Muskel b infolge der Reizung seines Nervs durch Zug am Silberdraht c. Der Draht wird durch die Dichtung d aus dem Gefäß herausgeführt. Der Wassertropfen e bleibt während der Muskelkontraktion unbewegt. (aus: J. Swammerdam, *Biblia naturae*, Leiden 1738)



fen hing. Dann zog er über einen durch eine Dichtung führenden Silberdraht am Nerv, sodass sich der Muskel kontrahierte. Im Falle einer Volumenerhöhung des Muskels hätte der Tropfen seine Position verändern müssen. Aber er blieb an Ort und Stelle. Diese Beobachtung musste vor der Entdeckung des Prinzips der Massenerhaltung wie eine klare Widerlegung der cartesischen Theorie aussehen.

Der schottische Anatom Alexander Monro primus (1697–1767) versuchte mit einer Reihe weiterer Experimente der Bewegung des Spiritus animalis auf die Spur zu kommen. Er untersuchte Nervenquerschnitte, fand aber keinen Hohlraum. Als er die Nerven lebender Tiere durchschnitt, konnte er keinen Succus nervus aus der Schnittstelle austreten sehen. Bei einem nur abgebundenen Nerv sollte sich der fließende Spiritus



Erste anatomisch korrekte Darstellungen der Hirnventrikel zeichneten Leonardo da Vinci (links, in Seitenansicht, zusammen mit den Augenbällen und den Hirnnerven, ca. 1504) und Andreas Vesalius (rechts, in der Aufsicht, 1543).

auf der gehirnnahen Seite der Barriere stauen und ihn zum Schwellen bringen. Aber auch dies trat nicht ein. Im Übrigen schien es Monro undenkbar, dass eine wie auch immer geartete Nervenflüssigkeit mit der erforderlichen Geschwindigkeit durch die feinen Kanäle strömen könnte – wenn die Nerven denn hohl wären. Dieser Gedanke beschäftigte auch den englischen Mathematiker und Physiker Isaac Newton (1643–1727), der erkannte, dass ein Gas oder eine Flüssigkeit nicht mit der notwendigen Geschwindigkeit durch Röhrchen mit dem Durchmesser von Nerven fließen konnte. Daher dachte er über eine Vibration der in den Nerven enthaltenen Filamente nach, welche die Funktion des Spiritus übernehmen könnte.

Die Befundlage blieb widersprüchlich. So kursierten Berichte, dass doch etwas Flüssigkeit aus einem durchgeschnittenen Nerv austrete. Ferner hieß es, die fehlende Anschwellung beim Abklemmen eines Nervs sei verständlich, zeige die fehlende Funktionstüchtigkeit des Nervs doch, dass keine Substanz mehr fließe. Und der berühmte niederländische Naturforscher Antoni van Leeuwenhoek (1632–1723) glaubte unter seinem Mikroskop sogar erkannt zu haben, dass die Nervenquerschnitte in Wirklichkeit doch hohl sind. Mitte des 18. Jahrhunderts breitete sich eine zunehmende Ratlosigkeit aus. Wie ließ sich die Funktion des Gehirns und seiner Nerven wenigstens im Prinzip erklären?

STROM IM ISCHIASNERV

Inzwischen sprach man allerorten, in den Laboratorien ebenso wie auf Jahrmärkten, von der Elektrizität. Es gab auch Vorschläge, die Elektrizität mit dem Medium, das durch die Nerven strömen sollte, zu identifizieren. Diese These konnte sich aber zunächst nicht durchsetzen. Der Grund dafür war, dass den Nerven scheinbar eine Isolation fehlte. Gäbe es im Organismus eine elektrische Quelle, würde sich der Strom ja gleichmäßig nach allen Seiten hin ausbreiten und könnte nicht entlang bestimmter Nervenbahnen fließen.

Die Diskussion über die Rolle elektrischer Vorgänge im Nervensystem erhielt durch den Italiener Luigi Galvani (1737–1798) wesentliche Impulse. Bei seinen legendären Versuchen mit präparierten Froschschenkeln legte er einen Zinkstreifen an den Ischiasserv und verband ihn über eine Silberspange mit dem Muskel. In dem Moment, als sich der Kreis schloss und eine Spannung entlud, zuckte der Muskel. Der Nachweis, dass Nerven elektrisch reizbar sind, bewies

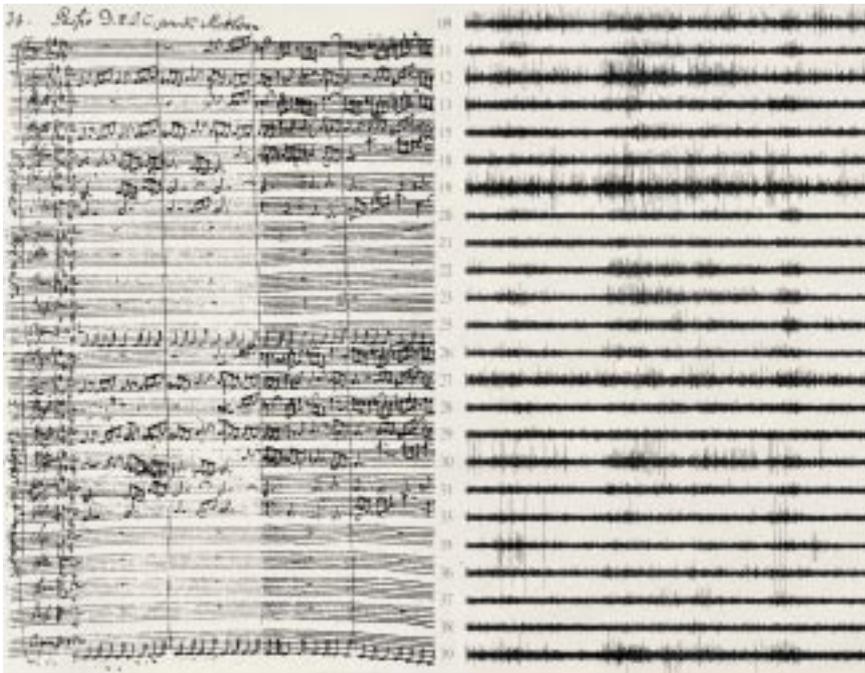
aber noch nicht, dass der Spiritus animalis mit der Elektrizität identisch ist. Schließlich ließen sich Nerven auch durch mechanische Einwirkungen, wie sie Swammerdam benutzte, oder durch Chemikalien erregen. So konnte Galvani den Einwand des italienischen Physikers Alessandro Volta (1745–1827) nicht entkräften, dass seine Experimente den Nachweis der Identität von Elektrizität und Spiritus animalis immer noch schuldig geblieben wären. Erst dessen Kollege Carlo Matteucci (1811–1868) konnte mit einem hinreichend empfindlichen Messgerät Ströme von einem Muskel ableiten. 1843 schließlich beschrieb der deutsche Physiologe Emil Du Bois-Reymond (1818–1896) einen Strom, der nach elektrischer Reizung die Nerven entlangfloss. Als er 1849 entdeckte, dass dieser Strom auch nach chemischer Reizung fließt, war endlich der Nachweis erbracht, dass die Nerven keine bloßen passiven Elektrizitätsleiter, sondern selbst elektromotorisch wirksam sind. Nun war die Vorstellung vom hohlen Nerv überflüssig geworden. Die erste Aufzeichnung dieses Stromimpulses in

einer Zelle – heute als Aktionspotenzial bezeichnet – gelang 1939 den beiden englischen Biophysikern Alan Hodgkin und Andrew Huxley (siehe Abbildung Seite 70 unten). Das Aktionspotenzial erwies sich als eine universelle Signalform der Nervenzellen im gesamten Tierreich. Die Frage, woraus denn eigentlich das Gewebe besteht, in dem die elektrischen Ströme fließen, und welche Struktur es hat, ließ sich mit den Instrumenten, die um 1800 zur Verfügung standen, noch nicht untersuchen. Das Lichtmikroskop litt zu dieser Zeit noch unter starken Abbildungsfehlern. Allein ein Blick durch das Mikroskop überzeugte damals viele Wissenschaftler davon, dass es völlig unbrauchbar sei. Im Verlauf des 19. Jahrhunderts gelang es aber, die Abbildungsfehler der mikroskopischen Optik zu verringern. Das Mikroskop wurde zu einem unverzichtbaren Instrument neurobiologischer Forschung und eröffnete einen neuen Zugang zu den alten Untersuchungsgegenständen.

Eine ähnliche Entwicklung betraf das Vorbereiten der Gewebeproben für die Mikroskopie. Die ersten erfolgreichen ▶

DIE LEITUNG EINES SENSORISCHEN REIZES NACH DESCARTES: Die Hitze des Feuers verursacht eine Bewegung der Haut und dadurch einen Zug an einem feinen Faden. Dies öffnet Poren für den Spiritus animalis, der in die Hirnventrikel einströmt und dort zu einer seelischen Empfindung wird.
(aus: R. Descartes: *Traité de l'homme*, Paris 1664)





NEURONEN MACHEN MUSIK:
Descartes' Vergleich polyphoner Musik mit den Leistungen des Gehirns war erstaunlich hell-sichtig. So wie es in der Musik auf den zeitlich präzisen Zusammenklang verschiedener Stimmen ankommt (links, Zeitachse ca. 15 Sekunden), sind die lokalen Aktivitäten von Nervenzellen (rechts, Zeitachse 1,5 Sekunden) für differenzierte Wahrnehmung und koordiniertes Verhalten verantwortlich.
(Partiturenblatt aus: Johann Sebastian Bach (1685–1750), Matthäus-Passion (1729). Ableitung der Aktivität von 24 Neuronen aus der Großhirnrinde: J. Krüger, Universität Freiburg)

Schritte zur Fixierung und Färbung von Nervengewebe erfolgten erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Der deutsche Anatom Otto Deiters (1834–1863) fixierte Stückchen von Nervengewebe mit Chromsäure und Kaliumdichromat. Mit Hilfe dieser Vorbehandlung erkannte er, dass aus dem Zellkörper von Nervenzellen zwei Sorten von faserigen Fortsätzen entspringen: die „Protoplasmafortsätze“, heute Dendriten genannt, und der „Axencylinder“ oder das Axon (siehe Abbildung Seite 71 links). Für diese Art Zellen schlug sein Landsmann und Kollege Wilhelm von Waldeyer-Hartz (1836–1921) dann 1891 den heute

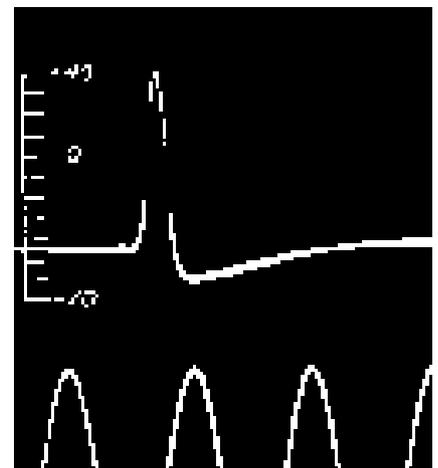
gebräuchlichen Namen „Neuron“ vor. Zur Zeit von Deiters war es noch unmöglich, die feinen Ausläufer der Neuronen sichtbar zu machen. Erst der deutsche Histologe Joseph von Gerlach (1820–1896) führte Karmin, Indigo und Goldchlorid als die ersten Färbemittel zur Untersuchung von Nervengewebe ein. Aber immer noch verloren sich im mikroskopischen Bild die Enden von Axon und Dendriten im farblosen Umfeld des Gewebepreparats. Wie diese Fortsätze miteinander verbunden sind, war so noch nicht zu klären. Diese Frage erschien zunächst aber auch gar nicht wichtig, denn die einfachste und nächstliegende Annahme war, dass sie ein komplexes Netzwerk, ein „Reticulum“ bildeten. Wie anders sollte man sich auch die Weiterleitung von Signalen durch das Nervengewebe vorstellen – gleichgültig, ob man dabei an einen Spiritus animalis oder an den elektrischen Strom als Signalmedium dachte?

Während sich die Wissenschaftler um tiefere Einsichten in die Struktur des Nervengewebes bemühten, gelangen weitere Fortschritte bei der Vorbereitung des Gewebes. Eine rasante Entwicklung nahm ihren Anfang, als der italienische Histologe Camillo Golgi (1843–1926) in den 70er Jahren des 19. Jahrhunderts die so genannte Schwarze Reaktion entwickelte, die wir heute als Golgi-Imprägnation kennen. Seinem spanischen Kollegen Santiago Ramón y Cajal (1852–1934) fiel beim Mikroskopieren von so gefärbten Hirnschnitten auf, dass in bestimmten Regionen immer wieder ähnliche Zellgestalten auftraten (siehe

Abbildung Seite 71 rechts). Die Regelmäßigkeit und Abgeschlossenheit dieser Formen passten nicht zur Vorstellung eines kontinuierlichen Netzwerkes, in dem keine natürlichen Grenzen zwischen den verschiedenen Nervenzellen existieren sollten. Ramón y Cajal machte außerdem noch eine zweite grundlegende Entdeckung. Er stellte fest, dass an den Enden gefärbter Axone oft besondere Verdickungen ausgebildet waren, die so genannten Endknöpfchen. Daraus folgerte er, dass es kein kontinuierliches Nervennetz gebe, sondern dass jede Nervenzelle ein Individuum mit genau definierten Grenzen sei. Damit war die Neuronentheorie geboren.

Ramón y Cajal ließ sich nicht davon beirren, dass damit die Frage der Erregungsleitung von Neuron zu Neuron vorerst noch ungeklärt war. Er versah viele seiner am Mikroskop erstellten Zeichnungen von Nervenzellverbänden mit Pfeilen, die zeigten, wie die Signale seiner Vermutung nach von Zelle zu Zelle fließen. Dagegen hatte er noch keine Vorstellung davon, dass Nervenzellen unterschiedliche Wirkungen aufeinander haben können. Experimente der italienischen Gebrüder Weber hatten schon Mit-

DIE ERSTE INTRAZELLULÄRE AUFZEICHNUNG EINES AKTIONSPOTENZIALS:
Links sind die Spannungsschwankungen in Millivolt ablesbar, unten sind die Zeitmarker durch jeweils 2 Millisekunden voneinander getrennt.
(aus: A. Hodgkin, A. Huxley: Action potentials recorded from inside a nerve fiber. Nature 144, 1939)

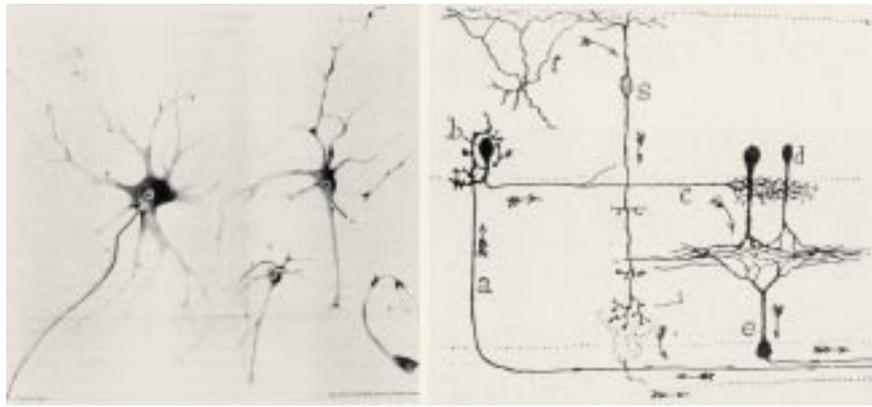


Links: Diese Darstellung von isolierten Nervenzellen aus der grauen Substanz des Rückenmarks eines Ochsens unterscheidet erstmals zwischen Dendriten und Axon.

(aus: O. Deiters: Untersuchungen über Gehirn und Rückenmark des Menschen und der Säugetiere. Vieweg, Braunschweig 1865)

Rechts: Zeichnung des spanischen Histologen Ramón y Cajal, in der die Leitung von Signalen über verschiedene Neuronentypen in der Netzhaut eines Vogels dargestellt ist. Die Pfeile geben die von Ramón y Cajal vermutete Richtung des Signalfusses an.

(aus: S. Ramón y Cajal: Textura del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados. Moya, Madrid 1899–1904)



te des 19. Jahrhunderts auf hemmende Wirkungen im Nervensystem hingewiesen. Die Konzepte neuronaler Hemmung waren zunächst aber noch zu ungenau. Erst Charles Sherrington (1857–1952) formulierte die Idee hemmender Nervenzellen und wies ihre Existenz kurz nach 1900 mit elektrophysiologischen Methoden nach. Der britische Neurophysiologe verglich das Gehirn entsprechend dem Stand der Kommunikationstechnologie seiner Zeit mit einer Telegrafestation. Bereits 1897 hatte er der Kontaktstelle zwischen den Nervenzellen den Namen „Synapse“ (wörtlich: Verbindung) gegeben. Erst durch Einsatz des Elektronenmikroskops konnten der amerikanische Anatom Sanford Palay und der rumänische Zellbiologe George Palade im Jahre 1954 experimentell bestätigen, dass Neuronen zelluläre Individuen mit autonomer Struktur sind.

Mit der Neuronentheorie war der Signalfluss von Nervenzelle zu Nervenzelle zum ungeklärten Problem geworden. Wie kann ein Impuls den Abstand von einem Neuron zum nächsten überwinden? Der englische Physiologe John Langley (1852–1925) trug mit einem feinen Pinsel Nicotin auf isolierte Froschmuskeln auf. Er stellte fest, dass das Nicotin eine Muskelkontraktion auslöste, wenn er es an die Synapse zwischen Nerv und Muskel brachte. An anderen Stellen der Muskelfasern zeigte Nicotin aber keine Wirkung. Und noch etwas entdeckte Langley: Vorherige Behandlung mit dem Nervengift Curare machte den Muskel unempfindlich für Nicotin, verhinderte aber nicht, dass di-

rekte elektrische Reizung den Muskel aktivierte. Langley schloss daraus, dass Nicotin auf die Oberfläche der Muskelfaser einwirkt und dort mit einem Rezeptor reagiert, der auch von Curare besetzt werden kann. Die Vorstellung, dass Rezeptormoleküle auf der Zelle Substanzen binden, wurde grundlegend für die moderne Neuropharmakologie. Langley vermutete bereits, dass die gereizte Nervenfaser an der Synapse eine nicotinartige Substanz freisetzt, die für die Wirkung auf den Muskel verantwortlich sei. Dem deutschen Chemiker und Pharmakologen Otto Loewi (1873–1961) gelang schließlich der experimentelle Nachweis, dass gereizte Nerven (in diesem Falle der das Herz innervierende Vagusnerv) tatsächlich eine Substanz ausschütten, die für die Nervenwirkung verantwortlich ist. Sein englischer Kollege Henry Dale (1875–1968) entdeckte, dass es sich dabei um einen Ester des Cholins handelt, das Acetylcholin.

LERNENDE NERVENZELLEN

Die These einer chemischen Übertragung des Nervenimpulses von Nervenauf Muskelzellen einerseits und zwischen Neuronen andererseits wurde von den Neurowissenschaftlern zunächst nur zögernd aufgenommen und erst nach folgenden Beobachtungen akzeptiert: Der deutsch-englische Biophysiker Bernhard Katz zeigte, dass Nervenendigungen Signalsubstanzen, so genannte Neurotransmitter, in Abhängigkeit von der elektrischen Aktivität freigeben. Diese Transmittermoleküle werden paketweise ausgeschüttet. Die amerikanischen Zellbiologen John Heuser und Thomas Reese wiesen 1977 schließlich nach, wie diese „Pakete“ zustande kommen: Vesikel in der Nervenendigung der vorgeschalteten Nervenzelle verschmelzen in Folge eines ankommenden Aktionspotenzials mit der Zellmembran. Dabei geben die Vesikel ihren Inhalt, der zum größten Teil aus Neurotransmittern besteht, an die nach-

geschaltete Zelle ab. Ob die „Senderzelle“ die „Empfängerzelle“ erregt oder hemmt, hängt von der jeweiligen Transmittersubstanz und von den Rezeptoren in der Membran der postsynaptischen Zelle ab, an die sich die Transmittermoleküle binden.

Der Nachweis erregender und hemmender Synapsen nährte nun Spekulationen darüber, dass das Nervensystem Sinnesinformationen nach exakten, logischen Prinzipien verarbeitet. Schon Aristoteles wusste, dass logisches Schließen ohne eine so genannte NICHT-Verknüpfung – also eine Schlussfolgerung vom Typ „wenn A, dann nicht B“ – unvollständig bleiben muss. Der kanadische Psychologe Donald Hebb (1904–1985) äußerte 1949 darüber hinaus die Vermutung, dass die Kontaktstellen zwischen Nervenzellen in Abhängigkeit von den Mustern ihrer Aktivität verändert werden könnten.

Seine Annahme wurde seitdem vielfach experimentell bestätigt. Die Intensität der Kommunikation zwischen zwei Nervenzellen ist nicht ein für alle Mal festgelegt, sondern durch Erfahrung modifizierbar: Nervenzellen können lernen. Damit waren die Voraussetzungen geschaffen, die ein neues, technisches Modell der Hirnfunktion bereits ahnen ließen.

Der zweite Teil des Artikels erscheint in Gehirn & Geist 02/2002. Darin wird die weitere Entwicklung der Gehirnforschung von der Begründung der Lokalisationslehre bis heute beschrieben. ♦



ROBERT-BENJAMIN ILLING ist Professor für Neurobiologie und Biophysik und arbeitet am Universitätsklinikum in Freiburg. Daneben gilt sein Interesse der Wissenschaftsgeschichte.

rbi@sun11.ukl.uni-freiburg.de

ERINNERUNGEN EINER FLIEGE

Mit ihrem winzigen Gehirn kann sich die Taufliege bestens erinnern. Den Gehirnforschern steht das Insekt daher Modell bei der Analyse unseres Gedächtnisses.

VON RAPHAËL HITIER, FLORIAN PETIT UND THOMAS PRÉAT

Beobachten wir die kleine Taufliege, wie sie hilflos in unserem Weinglas herumzappelt – für eine Intelligenzbestie würden wir sie wohl nicht gerade halten. Doch *Drosophila melanogaster*, so ihr wissenschaftlicher Name, ist durchaus lernfähig. So kann man ihr wie einem „Pawlow’schen Hund“ eine Reaktion auf einen bestimmten Reiz regelrecht antrainieren. Und manchmal hat sie ein Gedächtnis wie ein Elefant, etwa bei der Partnerwahl:

Das Männchen zeigt dem Weibchen sein sexuelles Interesse durch eine Reihe stereotyper Verhaltensweisen – vibrierender „Gesang“, Tanzbewegungen, Berührung der Sexualorgane. Ein Taufliegenmann ohne sexuelle Erfahrung umwirbt praktisch jede potenzielle Partnerin, der er begegnet. Ein Taufliegenweibchen paart sich jedoch nur ungefähr einmal pro Woche. Es speichert die Spermatozoen ihres Partners, und dieser Wochenvorrat reicht ihr, um täglich bis zu zwanzig befruchtete Eier zu legen. Ein erst vor kurzem begattetes Weibchen lehnt deshalb jeden weiteren Bewerber ab. Es sendet dabei bestimmte Sexualduftstoffe (Pheromone) aus, die das ab-

gewiesene Männchen mit der ablehnenden Haltung der Umworbenen „assoziiert“. Um diese Erfahrung reicher, reduziert das Männchen seine Bemühungen verglichen mit einem noch „naiven“ Bewerber erheblich.

Diese Beobachtungen zeigen uns, dass die kleine Fliege Erlebnisse in ihrem Gedächtnis speichern kann, sie erlauben aber noch keine genaue Messung der Merkfähigkeit. Dazu wird das Werbeverhalten von zu vielen, nur schwer kontrollierbaren Variablen beeinflusst. In anderen Lernsituationen unter strikt standardisierten Versuchsbedingungen gelingt das besser. Einer der spektakulärsten dafür entwickelten Apparate ist der „Flugsimulator“. Ausgetüftelt hat ihn die Arbeitsgruppe um Martin Heisenberg an der Universität Würzburg (siehe Abbildung Seite 74). Im Zentrum einer beweglichen Arena klebt die Fliege mit dem Rücken an einem dünnen Kupferdrahtbügelchen. Will sich das Insekt drehen, erfasst ein Drehmomentmessgerät die winzigen Fliegenkräfte. Diese werden über einen Mikroprozessor in eine entsprechende Drehung der Arena übersetzt. Versucht sich das Tierchen nach

links zu wenden, rotiert die Arena nach rechts und vermittelt ihm somit den Eindruck, dass es sich tatsächlich dreht. Das Experiment beginnt mit einer Trainingsphase, der Konditionierung. Die Fliege kann an den Wänden der Arena zwei verschiedene geometrische Zeichen anvisieren, ein T oder ein umgedrehtes T. Wählt sie das T, wird eine Lampe eingeschaltet, die sie mit Infrarotlicht bestrahlt. Das Versuchstier assoziiert dann das unangenehme Hitzegefühl mit dem normalen T und lernt schnell, den negativen Reiz zu meiden. Diesen Lernvorgang bezeichnet man als „operante“ Konditionierung: Die Taufliege lernt die Beziehung zwischen einem Reiz und ihrem eigenen „Handeln“.

SCHOCKIERENDE DÜFTE

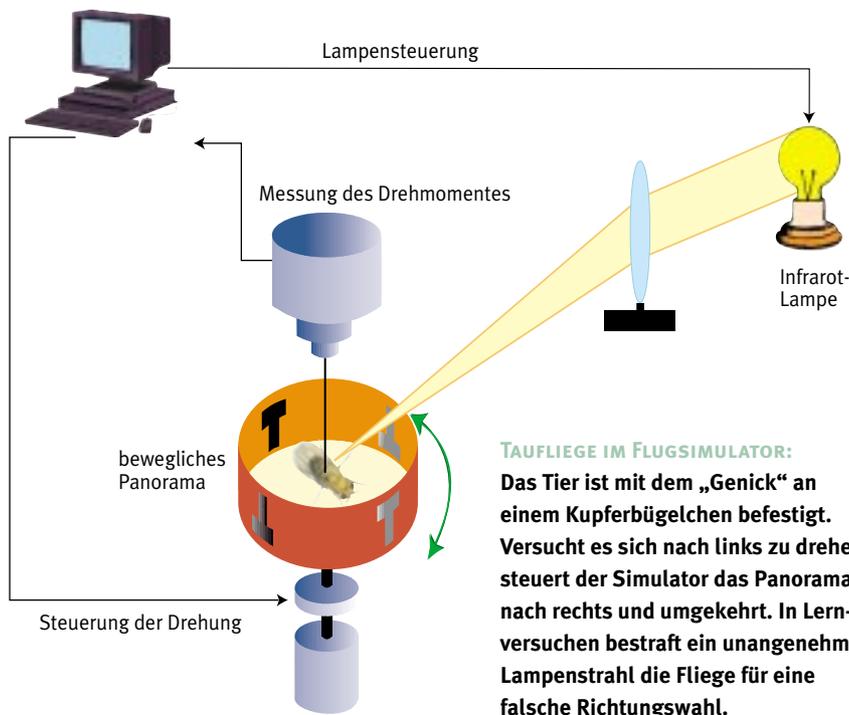
Nach der Konditionierungsphase beginnt der Gedächtnistest. Nun wird die Flugrichtung aufgezeichnet, ohne dass die Fliege weiteren Wärmereizen ausgesetzt wird. Wenn das Tier gut gelernt hat, strebt es nun nicht mehr in Richtung des T, sondern vorzugsweise zum umgedrehten T. Wie lange sich die Taufliege nach der Konditionierung noch vorwiegend ►

KLEINE TAUFLIEGE GANZ GROSS:

Die Aufnahme stammt aus einem Rasterelektronenmikroskop und wurde nachträglich eingefärbt.

*Aus urheberrechtlichen
Gründen können wir Ihnen
die Bilder leider nicht
online zeigen.*

Gedächtnisforschung



TAUFLIEGE IM FLUGSIMULATOR:
Das Tier ist mit dem „Genick“ an einem Kupferbügelchen befestigt. Versucht es sich nach links zu drehen, steuert der Simulator das Panorama nach rechts und umgekehrt. In Lernversuchen bestraft ein unangenehmer Lampenstrahl die Fliege für eine falsche Richtungswahl.

zum Kopf stehenden T richtet, ist ein Maß für ihr visuelles Gedächtnis. Bis zu 72 Stunden kann sie sich den Zusammenhang merken. Die Fliege hatte die Information „T=Gefahr“ gespeichert, bei Bedarf abgerufen und schließlich nach und nach wieder vergessen, da sie für die falsche Wahl nicht mehr bestraft wurde. Das am besten untermauerte Lernmodell existiert jedoch für das Erinnern von Gerüchen. In den siebziger Jahren konditionierten Seymour Benzer und seine Mitarbeiter am California Institute of Technology (Caltech) Taufiegen, indem sie ei-

nen bestimmten Duft mit Elektroschocks koppelten. Auch wenn der Schock ausblieb, mieden die Tiere daraufhin den Geruch. Im Experiment sieht das so aus: Mehrere Fliegen sind in einer Röhre gefangen, die innen mit einem elektrisierbaren Drahtgeflecht ausgekleidet ist. Durch die Röhre wird ein Luftstrom geblasen, der nacheinander zwei verschiedene Duftstoffe enthält. Der erste wird mit Elektroschocks verknüpft, der zweite nicht (Abbildung Seite 75 oben).

Nach dieser Lernphase kommen die Tiere in eine zentrale Kammer zwischen

zwei frei zugänglichen Abteilen, in denen es jeweils nach einem der Duftstoffe aus der Konditionierungsphase riecht. Die Prüflinge entscheiden sich schließlich für eines der beiden Abteile.

Direkt nach der Lernphase trafen dabei die meisten Fliegen die richtige Wahl, flogen also in Richtung des „harmlosen“ Geruchs. Wieder zeigten die Folgetests, dass das Erinnerungsvermögen nach und nach abnimmt, je länger die Konditionierungsphase zurückliegt. Da sich bei diesem Versuchsaufbau größere Mengen an Tieren testen lassen, eignet er sich nicht nur, um individuelle, sondern auch, um Unterschiede zwischen ganzen Fliegenstämmen rasch zu erfassen (Abbildung Seite 75 unten).

GENE UND GEDÄCHTNIS

Die Taufliedenart *Drosophila melanogaster* kommt in den meisten gemäßigten Klimazonen der Erde vor. In den verschiedenen geographischen Regionen haben sich die Fliegen unabhängig voneinander entwickelt. Heutige Laborstämme heißen beispielsweise Canton-S, Berlin oder Texas. Interessanterweise existieren für das Erinnerungsvermögen „Stammesunterschiede“. Während ihrer getrennten Evolution kam es offensichtlich zu Veränderungen in Genen, die das Gedächtnis betreffen. Dies geschah aber auch bei vielen anderen Genen. Bei einem Vergleich der Erbsubstanz der Stämme fallen so viele Unterschiede auf, dass es praktisch unmöglich ist, diejenigen zu erkennen, die für eine bessere oder schlechtere Gedächtnisleistung verantwortlich sind.

Eine gezielte Strategie hilft jedoch weiter. Wissenschaftler verwenden den Stamm Canton-S, der ein gutes Erinne-

DROSOPHILA – EIN MODELL FÜR GENETISCHE STUDIEN

VIELLEICHT SCHEINT ES SELTSAM, die molekularen Mechanismen der Gedächtnisbildung ausgerechnet an der Taufliede (*Drosophila melanogaster*) zu untersuchen. Jedoch bieten Organismen wie *Drosophila*, die Maus oder bestimmte Weichtiere, zum Beispiel die Meeresschnecke *Aplysia*, einen vereinfachten Zugang. Als Modellsysteme helfen sie uns, die Mechanismen der Gedächtnisbildung und der synaptischen Plastizität beim Menschen besser zu verstehen.

Die Taufliede ist aus zwei Gründen einer der besten Organismen für genetische Studien. Zum einen lässt sie sich gut züchten, zum anderen ist ihr Genom überschaubar: Sie besitzt nur vier Chromosomenpaare. Daher wurde ihr Erbgut bereits im Jahr 2000 vollständig sequenziert.

Welche Verbindung besteht zwischen *Drosophila*, Maus und Mensch? So sehr sich die Nervensysteme dieser Arten

anatomisch voneinander unterscheiden, die verantwortlichen Gene und damit auch die von ihnen codierten Proteine ähneln einander. Von ihrem gemeinsamen Urahn haben alle drei noch dieselben grundlegenden Eigenschaften für die Speicherung von Information behalten.

DIE MEISTEN DER AUS DROSOPHILA ISOLIERTEN GENE haben Entsprechungen (Homologe) bei Säugetieren, mit einer Übereinstimmung in den Gensequenzen von 30–80 Prozent. Dies ist auch bei den Genen *dunce* und *rutabaga* der Fall. Das *dunce*-Gen einer Ratte kann in das Erbgut einer mutierten *Drosophila* eingeschleust werden und dort die Funktion des defekten Fliegen-Gens übernehmen. Die mutierten Taufiegen erlangten damit praktisch ihre gesamten verlorenen Gedächtnisfähigkeiten zurück.

rungsvermögen besitzt, als Referenz. Von ihm werden Tochterstämme gezüchtet, die sich von ihren Eltern nur durch eine einzige, künstlich erzeugte Mutation im Erbgut unterscheiden. Ist ein Gen betroffen, dem eine entscheidende Bedeutung für das Erinnerungsvermögen zukommt, könnte die Mutante ein entsprechend schlechteres Gedächtnis besitzen. Der Forscher kann nun anhand der Ausfallerscheinungen herausfinden, welche Aufgaben das Protein und damit das zugehörige Gen normalerweise erfüllt.

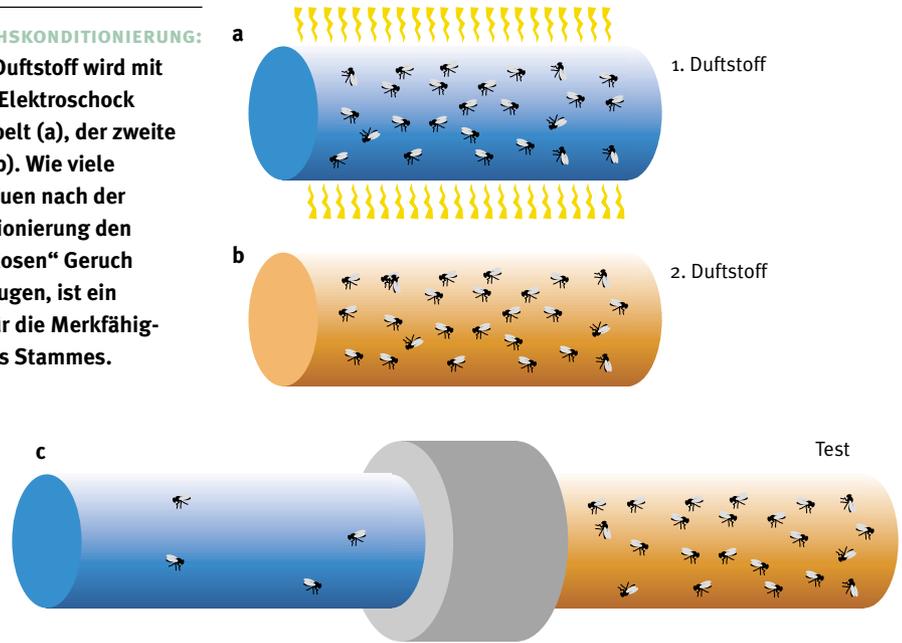
Wie aber erhält man Tausende von mutierten Fliegen, damit wenigstens einige mit einem defekten „Gedächtnis-Gen“ darunter sind? Eine Methode ist die „chemische Mutagenese“. Bestimmte Substanzen verursachen punktuell an zufälliger Stelle Fehler in der DNA-Sequenz. An die Nachkommen vererbt werden allerdings nur Mutationen, die in den Keimzellen – Ei- oder Samenzellen – stattgefunden haben. Selbst wenn manche Nachkommen tatsächlich Gedächtniseinbußen aufweisen, steht mit der schwierigsten Arbeit noch bevor: herauszufinden, welches der Tausende von Genen im Erbgut verändert ist.

Forscher bevorzugen daher heute die so genannte Transposon-Mutagenese. Transposons sind natürlich vorkommende Gensequenzen, die innerhalb des Erbguts springen können. Injiziert man ein solches „springendes Gen“ in die Eizelle einer Canton-S-Fliege, integriert es sich an beliebiger Stelle in das Erbgut und verursacht dort eine Mutation.

Aus dem mutierten Stamm kann man Tausende weiterer Mutanten erhalten, indem man das Transposon jeweils an eine andere Stelle springen lässt. Der Vorteil der Transposon-Mutagenese ist, dass das integrierte Element schnell auf den Chromosomen auffindbar gemacht wer-

GERUCHSKONDITIONIERUNG:

Der 1. Duftstoff wird mit einem Elektroschock gekoppelt (a), der zweite nicht (b). Wie viele Individuen nach der Konditionierung den „harmlosen“ Geruch bevorzugen, ist ein Maß für die Merkfähigkeit des Stammes.



den kann. In seiner unmittelbaren Nachbarschaft muss dann das veränderte Gen liegen (Abbildung Seite 77 oben).

Zunächst aber gilt es, unter den zahlreichen irgendwo mutierten Fliegenlinien die interessierenden „Gedächtnismutanten“ herauszufiltern. Drei Stunden nach der beschriebenen Geruchskonditionierung bevorzugen immer noch achtzig Prozent der normalen Canton-S-Fliegen den harmlosen Geruch. Jede Nachkommenschaft, die vergleichsweise besser oder schlechter abschneidet, wird als potenzielle Gedächtnismutante eingestuft. Im Durchschnitt finden die Forscher unter einigen hundert getesteten Linien ein oder zwei, mit denen sie dann weiter arbeiten können. Bevor endgültig feststeht, dass der mutierte Stamm tatsächlich ein verändertes Erinnerungsver-

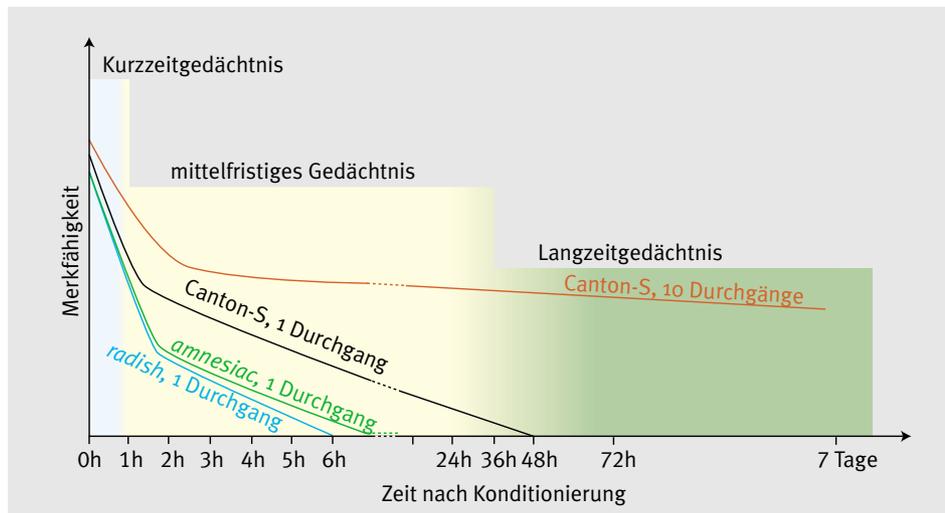
mögen besitzt, sind weitere Tests erforderlich. Sie sollen ausschließen, dass die Mutation in Wirklichkeit andere grundlegende Fähigkeiten beeinträchtigt, wodurch ein schlechteres Gedächtnis nur vorgetäuscht wird. So muss die Fliege etwa den Geruch und die Elektroschocks einwandfrei wahrnehmen können, um sich im Geruchstest richtig entscheiden zu können. Voraussetzung ist auch, dass sich ihr Gehirn normal entwickelt hat – vor allem die so genannten Pilzkörper, die bei Insekten für das Erlernen und Erinnern von Gerüchen zuständig sind (Abbildung Seite 78).

Eine raffinierte, wenn auch aufwendige Methode, um Fehler bei der Gehirnentwicklung auszuschließen, besteht darin, bei den erwachsenen Tieren durch einen molekularbiologischen Kunstgriff ▶

UNTERSCHIEDE BEIM

GEDÄCHTNISTEST:

Individuen des nicht-mutierten *Drosophila*-Stammes Canton-S meiden bereits nach einem einzigen Konditionierungsdurchgang noch 24 Stunden später den „gefährlichen“ Duft. Nach zehn Durchgängen werden die Lerninhalte ins Langzeitgedächtnis übernommen. Das Gedächtnis der mutierten Stämme *amnesiac* und *radish* ist schlechter.



Gedächtnisforschung

die normale Funktion des ausgeschalteten Gens wiederherzustellen. Behebt er die beobachteten Gedächtnisveränderungen, kann man davon ausgehen, dass sich das Gehirn normal entwickelt hat.

Wissenschaftler unterscheiden allgemein zwischen Kurz- und Langzeitgedächtnis. Dazwischen rangiert bei der Taufliege ein mittelfristiges Gedächtnis, das die Spanne zwischen einer Stunde und ungefähr anderthalb Tagen nach dem Lernvorgang umfasst. Ein eleganter Versuch zeigte, dass im mittelfristigen Gedächtnis Informationen in zweierlei Form abgespeichert werden. Werden die Fliegen während dieser Phase auf eine Temperatur von vier Grad Celsius abgekühlt, kommt es zu Gedächtnisverlusten. Erstaunlicherweise vergessen sie aber nur einen Teil der gespeicherten Information. Fachleute unterscheiden daher ein instabiles, kälteempfindliches mittelfristiges Gedächtnis, das auf Phänomenen veränderter elektrischer Aktivität der Neurone beruht, von einem so genannten konsolidierten mittelfristigen Gedächtnis, das eine kälteresistente molekulare Grundlage haben muss.

Interessanterweise wurden zwei Mutanten-Stämme entdeckt, die genau diese Vorstellung unterstützen. Der Stamm mit dem Namen *radish* ist unfähig, Erlerntes im konsolidierten Gedächtnisteil zu verankern, während sein kälteempfindliches Erinnerungsvermögen unversehrt ist. Beim Stamm *amnesiac* verhält es sich umgekehrt.

Wie bei Säugetieren verfestigt sich auch bei der Taufliege das Gedächtnis, wenn man sie mehrmals hintereinander konditioniert und zwischen die einzelnen Trainingseinheiten Ruhepausen schaltet. Hat eine Fliege zehn Mal bei einem bestimmten Geruch einen Elektroschock erhalten, wird ihr Langzeitgedächtnis aktiviert. Es hält mindestens eine Woche an, was für eine Taufliege in der Natur nahezu lebenslang bedeutet.

LEBENSLANGES LERNEN

Dem Stamm *amnesiac* mit seinem geschädigten kälteempfindlichen mittel-

fristigen Gedächtnis fehlt dieses Langzeitgedächtnis, während es beim Stamm *radish* einwandfrei funktioniert. Demnach bilden nur die kälteempfindlichen Vorgänge eine Voraussetzung für das Langzeitgedächtnis (siehe Abbildung Seite 77 unten).

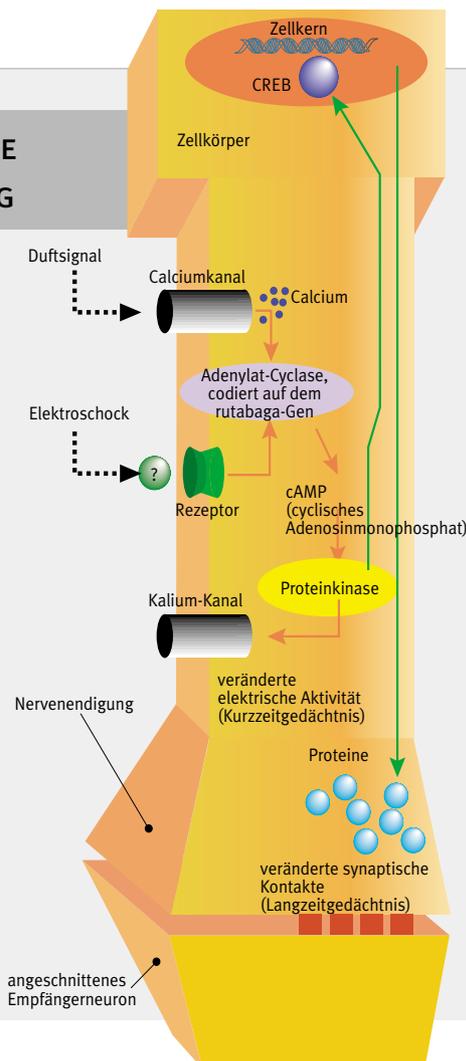
Wie funktioniert das Gedächtnis auf molekularer Ebene? Die ersten jemals entdeckten Fliegenstämme, die nach einer genauen Prüfung des Geruchsgedächtnisses wesentlich schlechter als der Ausgangs-Stamm abschnitten, tragen die Namen *dunce* und *rutabaga*. Der Arbeitsgruppe um Ronald Davis vom Baylor College (Houston) gelang es nach langer Suche, die mutierten Gene zu identifizieren. Offenbar tragen die normalen Versionen dieser Gene zum Kurzzeitgedächtnis bei. Beim Stamm *dunce* war die Herstellung des Enzyms Phosphodiesterase gestört, beim Stamm *rutabaga* hingegen die des Enzyms Adenylat-Cyclase. Beide Proteine regulieren in den Pilzkörpern des Fliegenhirns die Konzentration von cyclischem Adenosinmonophosphat (cAMP). Das kleine Molekül ist ein wichtiger Botenstoff innerhalb der Zelle.

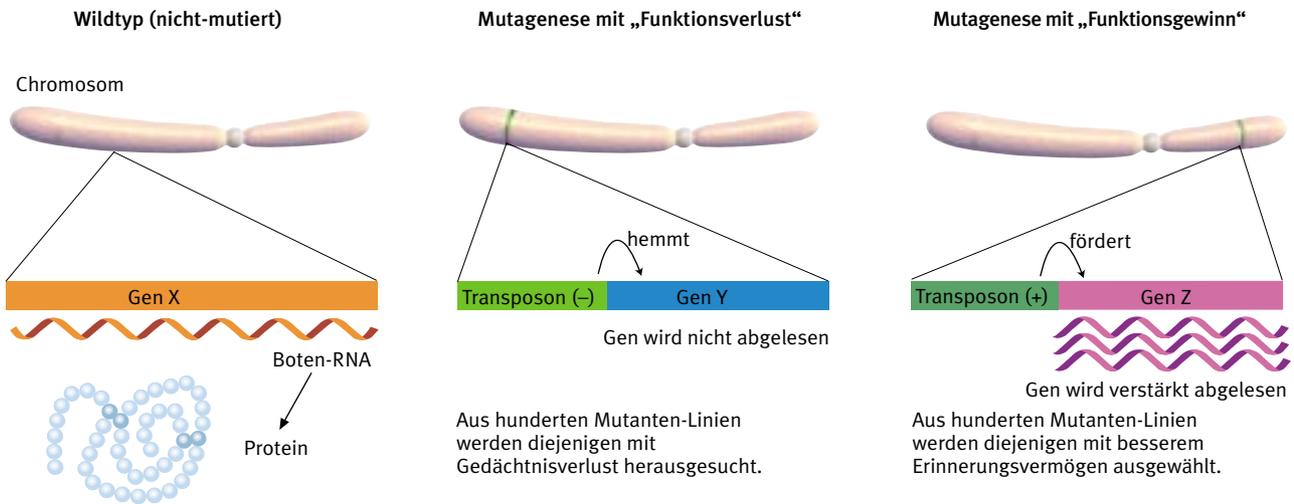
Einige Forscher sehen in der Adenylat-Cyclase, die in *rutabaga* mutiert ist, eine Art Detektor für zeitlich korrelierte Ereignisse. Die Geruchssignale, die über Nervenbahnen an den Zellen des Pilzkörpers eintreffen, lösen dort Nervenimpulse aus, die spannungsabhängige Calciumkanäle aktivieren und so die Calcium-Konzentration im Inneren erhöhen. Der Calcium-Anstieg wiederum kurbelt die Adenylat-Cyclase an und führt somit zu einer Erhöhung der cAMP-Konzentration. Parallel zur Geruchsinformation wird aber im Konditionierungsexperiment auch die Reizaufnahme des Elektroschocks ins Gehirn weitergeleitet. Dort führt er zur Freisetzung eines Neurotransmitters, der ein noch nicht identifiziertes Rezeptormolekül auf den Neuronen der Pilzkörper aktiviert. Der Rezeptor stimuliert nun seinerseits die vom *rutabaga*-Gen codierte Adenylat-Cyclase, die wie der Rezeptor in der Membran der Nervenzellen sitzt. Damit erhöht sich wiederum die cAMP-Konzentration. Nur wenn über beide Kanäle Nervenimpulse – jeweils ausgelöst durch die Reize „Geruch“ und „Elektroschock“ – praktisch gleichzeitig laufen, wird eine kritische cAMP-Konzentration erreicht. Dies erhöht schließlich die elektrische Erregbarkeit des Neurons, sodass es von nun ab leichter aktivierbar ist. Entsprechend genügt während des nachfolgenden Gedächtnistests der Geruch allein, ohne Elektroschock, um dieselbe Signalkaska-

MOLEKULARE GRUNDLAGE DER GEDÄCHTNISBILDUNG

WENN DIE BEIDEN REIZE „Duft“ und „Elektroschock“ gleichzeitig wahrgenommen werden, bewirken sie in den Nervenzellen der Pilzkörper eine verstärkte Aktivität der Adenylat-Cyclase (dem Protein des *rutabaga*-Gens). Da dieses Enzym das cAMP-Molekül herstellt, erhöht sich dessen Konzentration in der Nervenzelle. cAMP wiederum aktiviert eine Proteinkinase, welche Kalium-Kanäle modifiziert und damit die elektrischen Eigenschaften der Nervenzellmembran so verändert, dass sie leichter erregbar wird. Dies ist eine der Grundlagen des Kurzzeitgedächtnisses.

Gleichzeitig dringt die aktivierte Proteinkinase in den Zellkern ein und aktiviert ein Protein namens CREB, das dort das Ablesen bestimmter Gene auslöst. Diese Proteine führen schließlich zur Bildung neuer synaptischer Kontakte für das Langzeitgedächtnis.





HERSTELLUNG VON GEDÄCHTNISMUTANTEN:

Bei der nicht-mutierten Fliege wird das Gen normal häufig abgelesen und die Information als Boten-RNA (messenger-RNA) zu den Protein-syntheseapparaten transportiert. Bei der so genannten Insertionsmutagenese sitzt ein Transposon im Gen, das diesen Vorgang blockiert (Mitte). Mit bestimmten Transposons lässt sich der Ablesevorgang übermäßig stark ankurbeln. Entsprechende Mutanten könnten ein besseres Gedächtnis haben (rechts).

de auszulösen, was die Fliege wie zuvor flüchten lässt.

Dieses Modell eines „Zufallsdetektors“ per cAMP hat sich bestätigt und konnte inzwischen durch die genaue Analyse verschiedener Gedächtnismutanten erweitert werden. Das Gen *amnesiac* – essenziell für das kälteempfindliche mittelfristige Gedächtnis – codiert für ein Neuropeptid, ein sehr kurzes Protein, das in zwei mit den Pilzkörpern verbundenen Nervenzellen hergestellt wird. Man weiß, dass bei Säugetieren ein solches Molekül in den Empfängerzellen

letztlich die cAMP-Konzentration erhöht. Bei *Drosophila* könnte es eine ähnliche Rolle während des Lernvorgangs spielen. Vermutlich führt das Neuropeptid bei den Empfängerzellen zur Aktivierung der *rutabaga*-Adenylat-Cyclase, die ja über cAMP die Erregungsschwelle der Nervenzellen reguliert. Das kälteempfindliche mittelfristige Gedächtnis beruht demnach letztlich auf der durch das Neuropeptid vermittelten Erhöhung der elektrischen Aktivität der Pilzkörper.

Wie entsteht nun aber das Langzeitgedächtnis? Über die cAMP-Schiene kann zwar sehr schnell die Aktivität anderer Proteine beeinflusst werden, die bereits in der Lernphase in den Pilzkörpern vorliegen. Zur Niederlegung eines gelernten Ablaufes im Langzeitgedächtnis müssen jedoch bei vielen Tierarten, so auch bei *Drosophila melanogaster*, in den Neuronen bestimmte Proteine neu hergestellt werden.

Wiederum ist cAMP beteiligt. Die hohe cAMP-Konzentration führt nämlich zur Aktivierung der Proteinkinase A. Diese aktiviert ihrerseits ein weiteres Protein namens CREB, welches im Zellkern das Ablesen bestimmter Gene auslöst. Die von diesen Genen codierten Proteine können bewirken, dass die Ner-

venzellen über die Bildung neuer Synapsen anders verknüpft werden.

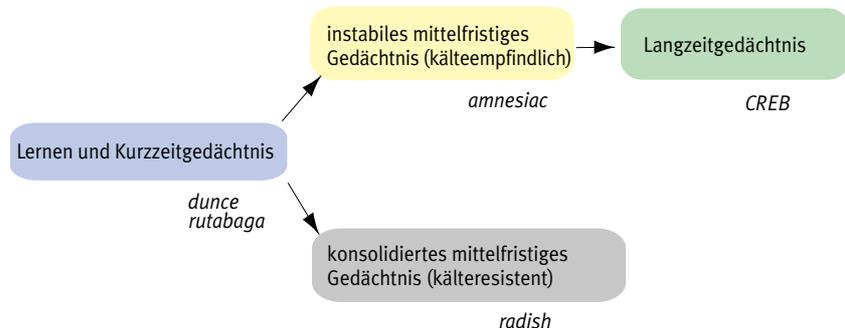
Man hat somit immerhin eine grobe Vorstellung davon, wie das Gehirn eine Information dauerhaft speichern kann. Die Kaskade der dazu führenden Ereignisse ist jedoch keineswegs bis ins Detail verstanden – weder beim Tier noch beim Menschen.

MOLEKULARBIOLOGISCHE KNIFE

Die Suche nach Mutanten mit schlechtem Gedächtnis hat einen Nachteil: Die Vorgänge, die beim erwachsenen Tier zur Veränderung und Anpassung der Nervenverbindungen auf Grund eines neuen „Eintrages“ in das Langzeitgedächtnis ablaufen, beruhen auf Mechanismen, die vermutlich gleichzeitig auch für die individuelle Entwicklung des Gehirns eine große Rolle spielen. Verliert ein für die frühe Entwicklung wichtiges Gen durch Mutation seine Funktion, stirbt das Tier wahrscheinlich, bevor sich die Bedeutung dieses Gens für die Gedächtnismechanismen erforschen ließe. Wir umgehen dieses Problem, indem wir die Produktion eines Proteins nicht ausschalten, sondern übermäßig ankurbeln (siehe Abbildung oben). Diese so genannte Überexpression kann mit einem ▶

VOM KURZ- ZUM LANGZEITGEDÄCHTNIS:

Das Kurzzeitgedächtnis geht bei *Drosophila melanogaster* mit der Zeit in zwei verschiedene Formen des mittelfristigen Gedächtnisses über. Das Langzeitgedächtnis entwickelt sich abhängig von der kälte labilen Form. Für jeden Gedächtnistyp wurden Mutanten entdeckt, bei denen ein bestimmtes Gen ausgefallen ist.



SCHNITT DURCH EINEN DROSOPHILAKOPF



RAPHAËL HITIER

ZENTREN DES GERUCHSGEDÄCHTNISSES sind die „Pilzkörper“ (Strukturen in L-Form, siehe Pfeile). Sie wurden hier mit Hilfe eines Antikörpers sichtbar gemacht, der sich an ein spezielles Protein in den Pilzkörpern bindet. Die in beiden Hälften des Gehirns symmetrisch vorkommende Struktur besteht

aus etwa 5000 Nervenzellen, deren Ausläufer (Axone) einen Stiel bilden, der sich in verschiedene Lappen aufspaltet. Die beiden Pilzkörper erhalten ihre Informationen von den Antennenlappen, die für die Wahrnehmung von Gerüchen zuständig sind.

molekularbiologischen Trick „selektiv“, nur in einer ganz bestimmten Gruppe von Nervenzellen, ausgelöst werden. In unserem Labor nutzen wir diesen Ansatz, um Proteine zu identifizieren, die die synaptischen Verknüpfungen in den Pilzkörpern verstärken und so die Merkfähigkeit steigern.

Wir arbeiten mit einigen Dutzend *Drosophila*-Stämmen, die einen künstli-

chen Marker für mutmaßliche Gedächtnisgene tragen: Er misst indirekt, wie stark ein bestimmtes Gen in den Pilzkörpern abgelesen wird. Indem wir die Menge an gebildetem Marker in untrainierten Fliegen mit solchen vergleichen, die auf langfristige Gedächtnisspeicherung konditioniert wurden, können wir Gene isolieren, die an der Bildung des Langzeitgedächtnisses beteiligt sind.

Bei der Übertragung der Forschungsergebnisse von der Fliege auf den Menschen ist freilich Vorsicht geboten. Ein probater Zwischenschritt führt über die Maus. Sobald man die entsprechenden Maus-Gene kennt, lassen auch sie sich ausschalten. Diese so genannten Knock-out-Mäuse verraten viel über die mögliche Funktion des Gens im Säugetier. Die entsprechenden menschlichen Gene schließlich sind potenzielle Ziele für Medikamente, die eines Tages das Fortschreiten neurodegenerativer Erkrankungen verzögern sollen. ◆

Literaturtipps

GROTEWIEL, M., BECK, C., WU, K. H., ZHU, X. R., DAVIS, R.: Integrin-mediated short-term memory in *Drosophila*. *Nature* 391, 1998, S. 455.

PRÉAT, T.: Testing associative learning in *Drosophila*. In: *Handbook of Molecular-Genetic Techniques for Brain and Behaviour Research*. W. Crusio und R. Gerlai (Hg.). Amsterdam, New York: Elsevier Science 1999.

TULLY, T., PRÉAT, T., BOYNTON, S. UND DELVECCHIO, M.: Genetic dissection of consolidated memory in *Drosophila melanogaster*. *Cell* 79, 1994, S. 35.

ZARS, T., FISCHER, M., SCHULZ, R. UND HEISENBERG, M.: Localization of short-term memory in *Drosophila*. *Science* 288, 1998, S. 672.

RAPHAËL HITIER und **FLORIAN PETIT** arbeiten in dem Team „Genom, Gedächtnis und Entwicklung“ (Génome, mémoire et développement) unter der Leitung von **THOMAS PRÉAT** im Labor für Entwicklung, Evolution und Plastizität des Nervensystems (Laboratoire développement, évolution et plasticité du système nerveux) in Gif-sur-Yvette bei Paris.

Der Traum, mit Computern reden zu können

VON HARTWIG HANSER



DEUTSCHER ZUKUNFTSPREIS

Wenn Wolfgang Wahlster mit einem einzigen Wort charakterisiert werden müsste, wäre dies wohl „Innovation“. Das Motto trifft schon seinen Ausbildungsweg – als erster Student in Hamburg, der die Kombination Informatik und Linguistik als Fächer wählte, konnte er sich seinen eigenen Studiengang entwerfen. Mit Erfolg: Schon ein Jahr nach seiner Promotion über Künstliche Intelligenz erteilte ihn mit 29 Jahren der Ruf an die Universität des Saarlandes in Saarbrücken, der er – mit Abstechern nach Karlsruhe, Hamburg und Berkeley – bis heute treu blieb. Zum eigentlichen Zentrum seines Wirkens entwickelte sich aber seit 1989 zunehmend das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) auf dem Saarbrücker Campus. Hier arbeitete er von 1993 bis 2000 an einem Großprojekt namens „Verbomobil“ mit dem Ziel, Spontansprache zu verstehen und zu übersetzen. Nebenbei schlägt er Brücken von der angewandten Forschung zur Wirtschaft, indem laufend Forschungsergebnisse in verwertbare Produkte umgesetzt werden. Und Grenzen zu überqueren ist ihm nicht neu: Das bringt automatisch die Forschungsarbeit in einem Fach mit sich, das Geistes- und Sozialwissenschaften mit Natur- und Ingenieurwissenschaften zusammenführt. Im November 2001 erhielt Wolfgang Wahlster als bislang letzte einer langen Reihe von Auszeichnungen den Deutschen Zukunftspreis des Bundespräsidenten für Technik und – Innovation!

WOLFGANG WAHLSTER

- Jahrgang 1953
- Wissenschaftlicher Direktor und Vorsitzender der Geschäftsführung des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz (DFKI) in Saarbrücken
- Professor für Künstliche Intelligenz und Computerlinguistik an der Universität des Saarlandes
- Hauptarbeitsgebiete: intelligente Benutzerschnittstellen, Sprachtechnologie und Benutzermodellierung
- Wolfgang Wahlster ist wissenschaftlicher Beirat von Gehirn & Geist.

G&G: Wie begann Ihr Interesse an Sprachverarbeitung und Künstlicher Intelligenz?

Wahlster: Im Gymnasium verdiente ich mir mein erstes Geld mit Nachhilfe in Mathematik und Latein. Ich hatte immer ein Faible für Mathematik und Grammatik. Vielleicht hat auch dazu beigetragen, dass ich mich durch einen Umzug der Familie mit meinem saarländischen Dialekt plötzlich in Norddeutschland wiederfand.

G&G: Was unterscheidet die KI-Forschung in Deutschland von der in anderen Ländern?

Wahlster: Die deutsche Forschung hat sich auf einige wenige Themen konzentriert: Verarbeitung von Sprache und bewegten Bildern, automatisches Beweisen und intelligentes Verhalten im Raum. Die grundlegenden theoretischen und philosophischen Fragen – also die kognitionswissenschaftliche Ausrichtung der KI – kommen aber leider zu kurz.

G&G: Welche Ziele verfolgt diese Richtung?

Wahlster: Sie möchte Funktionsmodelle menschlicher Intelligenz bauen und berücksichtigt dabei auch Erkenntnisse etwa der Psychologie. Dabei werden zum Beispiel menschliche Beschränkungen im Computer nachgeahmt. Ein sprachverarbeitendes System würde dann so programmiert

werden, dass es für die Analyse komplizierter, mehrfach verschachtelter Sätze mehr Zeit braucht – wie ein Mensch auch.

G&G: Sonst sollen Computer doch immer so schnell wie möglich arbeiten!

Wahlster: Entscheidend ist nicht, dass das System selbst in einer bestimmten Fähigkeit beschränkt ist, sondern dass es erkennt, wenn die Benutzer an ihre Grenzen stoßen, und sich darauf einstellt. Wir arbeiten im Moment an neuen Navigationssystemen im Auto, welche die momentane Belastung des Fahrers aus seiner Sprechweise ermitteln und sich daran anpassen.

G&G: Könnte man so nicht auch generell Barrieren zwischen Mensch und Computer abbauen?

Wahlster: Genau! Das grundlegende Ziel meiner Forschung ist, den Computer näher an den Menschen heranzubringen. Bislang müssen sich die Benutzer ja eher dem Computer anpassen. Das führt dazu, dass viele keinen persönlichen Zugang zu Computern finden. Wir wollen ihre Nutzung so einfach und populär machen wie die von Fernsehern. Das heißt aber auch, dass wir die umständliche Bedienung mit Maus und Tastatur abschaffen müssen: Der Mensch will mit seinem Gegenüber sprechen können. ♦

SCHRECKEN IM GEHIRN

Angst und Furcht gehören zu den neurobiologisch am besten verstandenen Gefühlen. Diese Basisemotionen sind überlebensnotwendig, können aber auch krank machen.

VON RÜDIGER VAAS

Stellen Sie sich vor, Sie treffen in der Wüste von Arizona unvermutet auf eine Schlange. Was geht in Ihnen vor? Der Schreck durchzuckt Sie, Ihr Herz beginnt zu rasen, Sie sind plötzlich hellwach, atmen schneller, schwitzen, zittern und versuchen, schleunigst wegzulaufen – kurzum: Die Furcht hat Sie gepackt.

Angst und Furcht gehören zu den wenigen grundlegenden Gefühlen des Menschen und vieler Tiere. Sie besitzen eine in der Stammesgeschichte herausgebildete Warn- und Schutzfunktion und treten bei einer Bedrohung auf – oder auch nur bei der bloßen Vorstellung davon. Entsprechend führen sie häufig zur Flucht oder zu anderen Versuchen, eine Gefahrensituation zu vermeiden oder zu bekämpfen. Das emotionale Spektrum reicht von der Furcht vor konkreten Bedrohungen (im Extremfall als Todesangst) über die Verlassensangst (vor allem bei Säuglingen und kleinen Kindern) bis hin zu Erscheinungen wie Lebens-, Existenz- und Weltangst.

Umfragen zufolge fürchten Menschen am meisten Aufenthalt in großen Höhen und gefährliche Tiere. Die Angst

vor Schlangen ist dabei besonders häufig. Daneben werden vor allem Verletzungen und Krankheiten, öffentliche Plätze, Verkehr und enge Räume genannt. Kinder berichten auch von Furcht vor der Dunkelheit, doch verliert sich diese meist mit dem Älterwerden.

Angst unterdrückt leicht die Freude am Erkunden von Neuem oder am Spiel und hemmt Initiative und Kreativität. Viele Menschen empfinden andererseits das Spiel mit der Angst in einem kontrollierten Rahmen als lustvoll – von Abenteuererzählungen über die Geisterbahn bis hin zum Horrorfilm und „Thrill“ im Extremsport.

ZWISCHEN „ES“ UND „ÜBER-ICH“

Psychologen haben sich immer wieder sehr intensiv mit dem Phänomen der Angst befasst. Dabei entstanden ganz unterschiedliche Sicht- und Herangehensweisen:

■ Wir betrachten normalerweise die körperlichen Anzeichen als Folge der verspürten Angst. Der amerikanische Psychologe William James (1842–1910) drehte den Spieß um: Angst und andere Emotionen seien durch Reaktionen der

inneren Organe bewirkt – etwa Herzklopfen oder eine Verengung der Brust.

■ Auch Sigmund Freud (1856–1939) beschäftigte sich mit der Angst. Der Begründer der Psychoanalyse unterschied die „Realangst“ vor der Außenwelt des „Ich“, die „Gewissensangst“ vor dem „Über-Ich“ und die „neurotische Angst“ des „Es“ vor der Stärke der Leidenschaften. Krankhafte Angst entsteht seiner Meinung nach durch Konflikte zwischen Grundantrieben – etwa Autonomiestreben oder Sexualbedürfnis – und psychosozialer Realität – zum Beispiel moralischen Normen.

■ Der Individualpsychologe Alfred Adler (1842–1925) setzte soziale Ängste in Beziehung zum Minderwertigkeitsgefühl. Seiner Ansicht nach empfindet ein Mensch Angst, wenn er seinen Aggressionstrieb unterdrückt.

■ Persönlichkeitspsychologen unterscheiden zwischen einer allgemeinen Ängstlichkeit als Persönlichkeitsmerkmal – das heißt als teilweise erbliche Charaktereigenschaft – und Angst als kurzfristig bestehendem Zustand. Wer als kleines Kind schon besonders schreckhaft und schüchtern war, ist spä-

*Aus urheberrechtlichen
Gründen können wir Ihnen
die Bilder leider nicht
online zeigen.*

EINE KURZE KULTURGESCHICHTE DER ANGST

DIE NATURGESCHICHTE ZEIGT uns einen angstvollen Kampf ums Dasein, und dieser nämliche Kampf erstreckt sich bis weit in Völkerleben und Geschichte hinein“, sagte der Schweizer Historiker Jacob Burckhardt (1818–1897) in seiner Vorlesung „Über Glück und Unglück in der Weltgeschichte“. Angst und ihre Vermeidung war immer ein starker Antrieb für die Entwicklung des Lebens einschließlich unserer Kulturgeschichte. Es ist eine bemerkenswerte Kulturleistung des Menschen, dass er – zumindest in der abendländischen Welt – kaum noch in naturgegebene Furcht auslösende Situationen gerät: Auf Schlangen, Tiger und Krokodile treffen wir heute kaum noch. Beim Versuch, die Natur und unsere Mitmenschen zu unterwerfen, haben wir jedoch neue Gefahren geschaffen: von Autobahnen bis zu Treibhausgasen, von Schnellfeu-

Aus urheberrechtlichen Gründen können wir Ihnen die Bilder leider nicht online zeigen.

Kupferstich von Charles Lebrun, aus: Méthode pour apprendre à dessiner les passions

erwaffen bis zum Bioterrorismus und nuklearen Overkill. Dass diese hausgemachten Gefahren oft viel zu abstrakt und undurchschaubar sind, um echte Angst hervorzurufen, ist kein Vorteil. Der amerikanische Psychologe William James (1842–1910) sagte einmal, dass sich nirgends die Überlegenheit des Menschen gegenüber dem Tier so deutlich zeige wie am Rückgang der Bedingungen, unter denen beim Menschen Furcht ausgelöst wird – dies erscheint inzwischen als zweifelhafter Fortschritt. Außerdem dürfte Angst im weiteren Sinne beim Menschen sogar zugenommen haben, auch wenn weniger Anlässe zum Fürchten auftreten mögen. „Vielleicht ist der Mensch das furchtsamste Wesen, da zu der elementaren Angst vor Fressfeinden und feindseligen Artgenossen intellektuell begründete Existenzängste hinzukommen“, meinte dazu der Anthropologe und Ethologe Irenäus Eibl-Eibesfeldt (früher am Max-Planck-Institut für Verhaltensphysiologie in Seewiesen).

Im antiken Griechenland bezogen die Menschen Angst immer auf konkrete Objekte. Die so genannte Weltangst hingegen ist eine neuere Erscheinung – vielleicht entstand sie im für den Einzelnen nicht mehr überschaubaren römischen Weltreich? Die griechischen Philosophen Aristoteles (427–347 v. Chr.) und Platon (384–322 v. Chr.) sahen Angst vor allem als körperliche Reaktion. Bei Aristoteles kommt sie in den Reflexionen „De Anima“ („Über die Seele“) nicht vor. Und auch wortgeschichtlich ist Angst (englisch *anxiety*, französisch *angoisse*) eine rein körperliche Erscheinung (griechisch *agchein*

= würgen, drosseln, sich ängstigen; lateinisch *angor* = Würgen, Beklemmung, Angst, beziehungsweise *angustia* = Enge).

DIE RELIGIONEN VERSPRECHEN eine Befreiung von Angst, obwohl sie andererseits auch Ängste schüren: Das „längste Gericht“, Höllenvorstellungen und Androhung ewiger Reinkarnation sind nur einige Beispiele. Der Theologe Augustinus (354–430 n. Chr.) sah die Angst als eine der vier menschlichen Hauptleidenschaften. Wie später Thomas von Aquin (ca. 1225–1274) unterschied er die niedrige Furcht vor Strafe (*timor servilis*) von der höher bewerteten Furcht vor Schuld aus Ehrfurcht vor Gott (*timor castus*).

Im Fortschrittsglauben und Rationalismus der Neuzeit spielte Angst als philosophisches Thema keine Rolle. Dies änderte sich im 19. Jahrhundert wieder: Sören Kierkegaard (1813–1855) betrachtete die existenzielle – auf das Dasein bezogene – Angst als charakteristisch für das menschliche Denken. Er hoffte, sie im „Sprung in den Glauben“ zu überwinden. „Wovor die Angst sich ängstet, ist das In-der-Welt-sein selbst“, konstatierte nach ihm Martin Heidegger (1889–1976). Das Dasein – der Mensch – ängstige sich vor seinem Nicht-Sein und sei ein „Sein zum Tode“. Für Jean-Paul Sartre (1905–1980) wiederum ist Angst eine „Qualität unseres Bewusstseins“ als Vorbedingung der Freiheit, zu der der Mensch verurteilt sei: Angst wäre also demnach nicht unbedingt ein Übel, sondern kann den Menschen auch zu seinem „eigentlichen Sein“ führen.

ter eher emotional labil, ängstlich und niedergeschlagen und kann leichter psychisch erkranken. Da so ein Teufelskreis aus Rückzug und sozialer Isolation entstehen kann, empfehlen Persönlichkeitspsychologen, schon früh mit einer Psychotherapie zu beginnen.

■ Die Lernpsychologen haben sich auf einen besonders wichtigen Aspekt konzentriert. Für sie lernen wir Angst durch die so genannte Konditionierung: Wenn ein neutraler Reiz mit einem unangenehmen Reiz zusammentrifft, kann danach Ersterer schon für sich alleine die Furchtreaktionen auslösen. Auf diese Weise ist beispielsweise ein eigentlich

harmloser Ton in der Lage, Angstgefühle zu bewirken. Auch bestimmte Verhaltensweisen können sich so mit einem Furcht erregenden Erlebnis verbinden. Ein solches Angstlernen hilft in vielen Fällen Gefahren zu vermeiden. Doch manchmal führt es auch zu schweren Problemen.

VON SPINNEN UND SCHLANGEN

Angststörungen sind die häufigsten aller psychischen Krankheitsbilder – wenn man einmal von der Drogensucht absieht. Über zehn Prozent aller Europäer und US-Amerikaner leiden darunter. Fachleute unterscheiden zwei Hauptkategorien:

■ Phobien sind übertriebene Ängste vor bestimmten Objekten – wie Spinnen und Schlangen – oder Situationen – etwa Höhen, weiten oder engen Räumen.

■ Angstzustände wie beispielsweise Zwangsstörungen sorgen für unbeherrschbare, panikartige Gefühle und dominieren das Denken in weiten Bereichen. Der Betroffene kann zwar häufig beschreiben, was ihn ängstigt, nicht jedoch warum.

Menschen mit solchen Störungen können die verschiedensten Einflüsse aus der Umgebung, aber auch ihre eigenen Verhaltensweisen bedrohlich erscheinen. Selbst vegetative, nicht steuer-

Die Amygdala erhält Informationen aus dem Thalamus – einer Gehirnstruktur, die sensorische und motorische Informationen integriert – sowie aus den für Sinneswahrnehmungen zuständigen Hirnrindengebieten. Daneben schickt die Amygdala aber auch Signale zur Großhirnrinde zurück. Außerdem ist sie mit Systemen verbunden, welche die allgemeine Erregung der Großhirnrinde erhöhen, sowie über diese Systeme mit dem Vorderhirn. So kann die Amygdala in gefährlichen Situationen Aufmerksamkeit, Wahrnehmung und Gedächtnis beeinflussen. Zusätzlich wirken die körperlichen Zeichen der Angst auf die Amygdala und auf die Großhirnrinde zurück.

Die Amygdala selbst besteht aus 13 eng miteinander verschalteten Kernen, wobei für die Furchtreaktion vor allem der zentrale und der seitliche Kern sowie unten liegende Kerne wichtig sind. Der zentrale Kern erhält Informationen von der Großhirnrinde, vom Hippocampus und aus dem Thalamus. Seine Befehle schickt dieser Kern an Hirnstrukturen, die verschiedene emotionale Reaktionen steuern: Der Hypothalamus erhöht den Blutdruck und reguliert die Ausschüttung von Stresshormonen, der Hirnstamm sowie das zentrale Höhlengrau des Mittelhirns vermitteln Schreckstarre und Schreckreaktion. Die seitlichen und unteren Kerne erhalten Signale vom Thalamus und steuern Verhaltensänderungen, etwa Richtungswechsel bei der Flucht.

bare Signale des Körpers lösen unter Umständen Panikanfälle aus.

Von seiner Angst befreien kann sich nur, wer sich mit seinem eigenen Zustand auseinandersetzt. Ärztliche Therapien verfolgen unterschiedliche Strategien, wobei umstritten ist, wie wirksam die verschiedenen Behandlungsmethoden sind.

Psychoanalytiker etwa versuchen unbewusste Konflikte aufzulösen. Andere Fachleute wiederum bezweifeln die Bedeutung unbewusster Erinnerungen und bekämpfen lieber Symptome. Hierzu gehören etwa einige Vertreter des so genannten Behaviorismus, demzufolge



Aus urheberrechtlichen Gründen können wir Ihnen die Bilder leider nicht online zeigen.

Verhalten immer durch äußere Faktoren entsteht. Die Verhaltenstherapie hilft erfahrungsgemäß besonders bei Phobien. Dabei verwendet sie zwei gegensätzliche Methoden: Die Desensibilisierung versucht, die Empfindlichkeit des Patienten gegenüber dem Angst auslösenden Reiz allmählich zu verringern, indem er nach und nach daran gewöhnt wird. Die Angstüberflutung dagegen setzt den Patienten schockartig massiv dem Reiz aus, um ihn „abzustumpfen“. Beide Verfahren möchten eine Gegen-Konditionierung bewirken: Der Patient soll die Angst also wieder verlernen. Die kognitive Gesprächstherapie wiederum versucht die Angstgefühle zu kontrollieren, indem sie dem Patienten hilft, seine Einstellung zu ihnen zu verändern. Hilfreich können auch Medikamente – so genannte Anxiolytika – sein. Diese besitzen freilich Nebenwirkungen und sollten von einer Psychotherapie begleitet werden.

GUTE DURCHBLUTUNG BEI PANIK

Die neurobiologischen Grundlagen von Angst und Furcht sind inzwischen relativ gut beschrieben – sie gelten als die am besten erforschten Formen aller Emotionen. Es scheint jedoch kein Gehirnareal zu geben, das für sich alleine Angst erzeugt und bewusst macht. Vielmehr

beruht sie auf einem Zusammenspiel verschiedener Hirnregionen.

So werden Teile der Schläfenlappen des Gehirns sowohl bei Panikstörungen als auch bei alltäglicher Angst besonders stark durchblutet. Andersherum können dort elektrische Stimulationen oder epileptische Anfälle Angstgefühle erzeugen. Auch der untere Teil des „präfrontalen Cortex“ – eines für höhere Gehirnfunktionen zuständigen Hirnrindensbereichs hinter der Stirn – ist bei Angst und anderen Emotionen aktiv. Ist er geschädigt, beeinträchtigt das sowohl die eigenen Gefühle als auch die Fähigkeit, Gefühle bei anderen zu erkennen. Der präfrontale Cortex braucht nach der Geburt noch etwa sieben bis zwölf Monate, um auszureifen. Vielleicht setzt ja deswegen bei kleinen Kindern etwa zu diesem Zeitpunkt das Fremdsein ein – erst jetzt können sie diese Form von Angst verspüren. Weitere „Angst-Regionen“ sind die so genannte Insel an der Seite des Großhirns und ein Gebiet am Hinterkopf namens extrastriärer Cortex, das mithilft, Gesehenes zu verarbeiten.

Wichtig bei der Angstentstehung ist auch der im Zwischenhirn gelegene Hypothalamus, eine gängige Zielscheibe für Psychopharmaka. Er steuert das Hormonsystem und beeinflusst das sympa- ▶

Aus urheberrechtlichen Gründen können wir Ihnen die Bilder leider nicht online zeigen.

Mittels funktioneller Kernspintomografie konnten Wissenschaftler kürzlich nachweisen, dass sowohl bei der Verarbeitung ängstlicher Gesichtsausdrücke (grüne Quadrate) als auch bei konditionierter Angst (rote Kreise) die Amygdalae aktiv sind. Die Abbildung zeigt zwei waagrechte Schnittebenen durch ein Gehirn (rechts: höhere Ebene). Sie zeigt, dass sich die Aktivität der Amygdalae bei den beiden Verarbeitungsarten unterscheidet – sowohl zwischen den beiden Hirnhälften als auch zwischen den beiden Schnittebenen. So aktiviert ein ängstlicher Gesichtsausdruck eher die linke obere Amygdala.

thische Nervensystem, das die körperlichen Symptome der Angst vermittelt: Es aktiviert Ressourcen des Körpers zum Handeln, kann aber mitunter auch zu Lähmung und Verharren führen. Diese „Schreckstarre“ mag sich in der Evolution als vorteilhaft erwiesen haben, weil viele Raubtiere auf Bewegung reagieren.

Empfängt der Hypothalamus in einer bedrohlichen Lage Stresssignale, scheidet er das Corticotropin-Releasing-Hormon (CRH) aus, was seinerseits die Hirnanhangsdrüse (Hypophyse) anregt, das adrenocorticotrope Hormon (ACTH) auszuschütten. Auf dieses Signal hin setzt wiederum die Nebennierenrinde das Stress-Hormon Cortisol frei, und der Organismus wird verteidigungsbereit.

Die wichtige Rolle dieser Hormonkaskade bei der Entstehung von Angst konnten Wissenschaftler mit Hilfe genmanipulierter Mäuse zeigen: Da diese

Tiere ein bestimmtes CRH-bindendes Protein nicht mehr herstellen konnten, enthielten sie zwangsläufig mehr freies, aktives CRH; diese Mäuse verhielten sich tatsächlich ständig ängstlich, auch ohne äußeren Anlass.

Ein Hirnbereich für Albträume

Der wichtigste Hirnbereich für Angstentstehung und -gedächtnis ist die Amygdala, auch Mandelkern genannt. Sie liegt tief im vorderen mittleren Schläfenlappen jeder Großhirnhälfte (siehe Abbildung Seite 83).

Die Amygdala ist außerdem sowohl bei bloß Furcht erregenden Vorstellungen als auch bei Angststörungen aktiv. Wenn Forscher sie elektrisch reizen, erhöhen sich die Konzentration an Cortisol und die körperlichen Angstzeichen. Menschen berichten zudem von Angst-

Was ist der Unterschied zwischen Angst und Furcht?

Häufig unterscheiden Fachleute, aber auch Laien zwischen Angst und Furcht. Dann meint Angst ein allgemeines, gegenstandsloses, ungerichtetes und diffuses Gefühl, das nicht zu konkreten Handlungen führen muss. Sie bewirkt eher eine aufmerksame Musterung der Umwelt, steigert die Empfindlichkeit aller Sinne und erhöht auch die Wahrnehmung von Schmerzen. Furcht dagegen ist spezifischer, auf bestimmte Objekte oder Situationen bezogen, und verleitet

zu Flucht, Verstecken oder Angriff. Damit ist sie eher eine Art Alarmreaktion, die zu Handlungen antreibt und das Schmerzempfinden reduziert.

Kurz gesagt: Angst kommt gleichsam „von innen“, Furcht hingegen „von der Außenwelt“. Allerdings hat es sich gezeigt, dass diese Unterscheidung weder im wissenschaftlichen noch im allgemeinen Sprachgebrauch konsequent durchgehalten wird.

gefühlen. Im Traumschlaf wird dieser Hirnbereich besonders stark tätig – vermutlich ist das die Ursache für Angst- und Alpträume.

Ist die Amygdala verletzt, verringern sich Angstgefühle, kognitive Fähigkeiten hingegen bleiben weitgehend erhalten. Patienten mit angeborenen Schädigungen erkennen zudem Furcht in anderen Gesichtern weniger gut – auch auf Fotos. Bei diesem Vorgang ist normalerweise besonders die Amygdala der linken Gehirnhälfte aktiv, und zwar weit stärker als bei Furcht einflößenden Filmen oder Bildern (siehe nebenstehende Abbildung). Dazu müssen wir den Ausdruck der Angst im Gesicht nicht einmal bewusst wahrnehmen. Wenn Sie also Ihre linke Amygdala in Schwung bringen wollen, schauen Sie am besten noch einmal das Bild auf Seite 81 an!

Kleine Kinder sehen solche Furchtgesichter noch, ohne dass ihre Amygdala „aufschreit“. Dies könnte den Vorteil haben, dass Säuglinge sich uneingeschränkt auch an „schlechte“ Eltern emotional binden können. Zumindest lassen sich nur wenige Tage alte Ratten nicht gegen ihre Eltern konditionieren: Schließlich überleben die hilflosen Säuglinge selbst bei ausgesprochenen Rabeneltern besser als ohne sie.

FURCHTBARES LERNEN

Dass das Angstgedächtnis unbewusst wirken kann, erkannte erstmals Edouard Claparède (1873–1940) Anfang des 20. Jahrhunderts. Der Genfer Arzt behandelte eine Patientin, die sich auf Grund einer Hirnschädigung keine neuen Ereignisse mehr merken konnte. Bei jeder Begegnung musste er sich ihr neu vorstellen. Einmal hielt er beim Händeschütteln einen Reißnagel in der Handfläche verborgen. Beim nächsten Treffen weigerte sie sich, dem Arzt die Hand zu schütteln, obwohl sie dafür keine vernünftige Erklärung geben konnte. Claparède schloss daraus, dass ein zweites, unbewusstes Gedächtnis sie gewarnt haben musste.

Inzwischen haben Wissenschaftler detailliert erforscht, wie mit Angst verbundene Situationen ins Gedächtnis gelangen. Besonders gründlich untersuchten sie die so genannte auditorische Furchtkonditionierung (siehe Abbildung Seite 86): Hören zum Beispiel Ratten einen Ton und erhalten dann einen elektrischen Schlag, reagieren sie bald auf den Ton allein mit typischen Angstanzeichen. Bei diesen Untersuchungen wurde deutlich, dass der zentrale Kern der Amygdala als Speicherort eine Schlüsselrolle spielt. Schädigungen des Mandelkerns beeinträchtigen sowohl das Erlernen als

BOTENSTOFFE UND GENE

BEI DER ENTSTEHUNG DER ANGST sind sehr viele verschiedene Botenstoffe im Gehirn – so genannte Neurotransmitter – beteiligt. Fachleute betrachten heute Angststörungen auch als eine Entgleisung von Neurotransmitter-Systemen:

So deuten die Wirkungen von Psychopharmaka darauf hin, dass Angststörungen durch zu wenig Gamma-Aminobuttersäure (GABA) – einen hemmenden Transmitter – entstehen können. Die als Tranquilizer eingesetzten Benzodiazepine wie Chlordiazepoxid (Librium) oder Diazepam (Valium) binden sich an Rezeptoren für GABA und verstärken die Wirkung des Transmitters. Tierexperimente zeigen, dass die gezielte Zufuhr von Benzodiazepinen in die – an GABA-Rezeptoren reiche – Amygdala Angst vermindert, während GABA-Antagonisten diese Wirkung blockieren. Außerdem wurde bei Mensch und Ratte ein kleines Protein im Gehirn gefunden, das Angstzustände erzeugen kann. Es handelt sich um einen so genannten Diazepam-Bindungs-Inhibitor, der wahrscheinlich an die Benzodiazepin-Bindungsstelle der GABA-Rezeptoren andockt.

Neben GABA beeinflusst auch Serotonin die Ängstlichkeit. Medikamente wie Buspiron und Fluoxetin (Prozac) wirken auf Serotoninrezeptoren. Auch Unregelmäßigkeiten im Dopamin-System scheinen zu bestimmten Angststörungen führen zu können.

Bei der Trennungsangst hingegen spielen wohl endogene Opiode eine Rolle: Wird ein junges Säugetier von der Mutter isoliert, werden Opioid-freisetzende Neuronen gehemmt, sodass die Jungen sich unwohl fühlen und Kontaktrufe von sich geben.

MOLEKULARBIOLOGISCHE ERGEBNISSE LEGEN NAHE, dass Ängstlichkeit zum Teil genetisch bedingt ist. Es gibt allerdings nicht etwa ein einzelnes Angst-Gen, sondern sehr viele beteiligte Gene, die etwa mit den genannten Neurotransmittern und deren Rezeptoren zusammenhängen. Auch Gene für die biologischen Uhren, welche die inneren Rhythmen in Organismen erzeugen, scheinen auf eine noch unbekannt Weise zur Ängstlichkeit beizutragen.

Beim Menschen sprechen Beobachtungen an eineiigen Zwillingen für eine Vererbbarkeit: Auch wenn sie getrennt aufwuchsen, waren sie einander in ihrer Furchtsamkeit viel ähnlicher als zweieiige. Ebenso scheinen Angststörungen genetisch veranlagt zu sein, wobei die Umwelt ihre Ausbildung stark beeinflusst.

Schließlich ist es bei Ratten auch schon gelungen, Ängstlichkeit und Furchtlosigkeit zu züchten. Normalerweise bleiben sie instinktiv nicht lange in offenem Gelände, da ihnen dieses keinen Schutz vor Raubtieren bietet. Schon nach wenigen Generationen der Inzucht und Selektion auf möglichst ängstliche beziehungsweise mutige Ratten hin konnten die Wissenschaftler deutliche Unterschiede darin feststellen, wie lange die Tiere auf offenem Feld verweilten.

auch den Ausdruck von Furcht. In Tierversuchen konnten Wissenschaftler inzwischen sogar einzelne Teilfunktionen innerhalb der Amygdala lokalisieren und charakterisieren.

Ein für das bewusste Faktengedächtnis wichtiger Gehirnteil ist der Hippocampus im Schläfenlappen. Deshalb erscheint es zunächst überraschend, dass er für eine Standard-Konditionierung mit einem einfachen neutralen Reiz – etwa einem Ton – nicht gebraucht wird. Dagegen ist er wichtig für Konditionierungen, an denen der Kontext beteiligt ist, in dem der neutrale Reiz steht: Kommt dieser nämlich zusammen mit anderen Reizen – in unserem Beispiel etwa besondere Lichtverhältnisse – vor, können Letztere schon für sich alleine die Reaktion auslösen. Dies bestätigt, was schon Claparède

vermutete: Das bewusste Gedächtnis für Fakten und das emotionale Gedächtnis sind unterschiedliche Systeme.

Zwei getrennte Gedächtnisse für Fakten und Gefühle würden auch erklären, dass bei Angstzuständen die verursachenden Erlebnisse oft vergessen werden, die Angst jedoch bleibt und immer wieder aufsteigt. Das Vergessen hängt dabei anscheinend damit zusammen, dass der Hippocampus bei Stress schlechter funktioniert. Dagegen fördert Stress die Leistungsfähigkeit der Amygdala: Stresshormone wie das Cortisol verstärken Furchtkonditionierungen. Auf diese Weise kann sich Angst hartnäckig und außerhalb einer bewussten Kontrolle ins Gehirn gleichsam einbrennen und unter Umständen ein ganzes Leben lang quälen. „Ein Erlebnis vermag unsere Ge- ▶

*Aus urheberrechtlichen
Gründen können wir Ihnen
die Bilder leider nicht
online zeigen.*

**ANGSTKONDITIONIERUNG IM
EXPERIMENT:**

Solange die Ratte nur einen Ton hört, steigt der Blutdruck wenig und sie verharrt kaum (links). Erst wenn das Tier zugleich über das Bodengitter des Käfigs einen schwachen Stromschlag erhält, zeigt es eine deutliche physiologische Reaktion und erstarrt (Mitte). Nachdem ihm dies mehrmals widerfahren ist, tritt die Reaktion schon beim Ton allein auf (rechts).

fühle so aufzuwühlen, dass es fast eine Narbe im cerebralen Gewebe hinterlässt“, hat William James bereits 1890 vermutet. Heute beginnen die Wissenschaftler zu verstehen, wie sich solche neuronalen „Narben“ bei Angststörungen bilden und auswirken. Vielleicht werden sie sogar schon bald erste medikamentöse Therapieansätze hierzu entwickeln können.

Die so genannte Langzeitpotenzierung scheint für das emotionale Gedächtnis von großer Bedeutung zu sein. Sie beruht auf der gebrauchtsabhängigen Verstärkung von Nervenzellkontakten und benötigt spezielle Empfänger-moleküle –

NMDA-Rezeptoren – auf manchen Neuronen. Werden diese blockiert, funktioniert die Furchtkonditionierung nicht mehr. Außerdem erzeugen die Nervenzellen beim Lernen von Angst zusätzliche Proteine – ein Vorgang, der auch nach der eigentlichen Konditionierung noch abläuft: Wissenschaftler haben festgestellt, dass sie eine bis zu zwei Wochen zuvor erlernte Angstreaktion löschen können, wenn sie die Proteinsynthese im unten liegenden Kern der Amygdala (siehe Abbildung Seite 83) nach einem Abruf verhindern. Es scheint also nach der Reaktivierung von Furchterinnerungen eine labile Phase zu geben. Diese ist möglicherweise ein Angriffspunkt, um traumatische Erinnerungen einmal mit Medikamenten ausradieren zu können.

Das ist heute aber noch Zukunftsmusik. Um mit unserem heutigen Wissen Angststörungen verstehen und behandeln zu können, müssen wir uns anschauen, wie Konditionierungen wieder „abgestellt“ werden. Bei einer solchen Löschung, wie der Fachausdruck heißt, tritt der konditionierte Reiz (etwa ein Ton) immer wieder ohne den entsprechenden unkonditionierten Reiz (etwa

DAS WORT IST MÄCHTIGER ALS DAS SCHWERT!

WIR KÖNNEN FURCHT auch rein sprachlich erlernen, also ohne eine unmittelbare persönliche Erfahrung. So erfuhren die Versuchspersonen in einem Experiment, dass sie beim Aufleuchten des blauen, nicht aber des gelben Quadrats einen leichten Elektroschock erhalten würden. Wenn nun das blaue Quadrat erschien, reagierten die Amygdala und weitere an Angstreaktionen beteiligte Hirngebiete, obwohl gar kein Schock gegeben wurde. Bei Aufleuchten des gelben Quadrats dagegen passierte nichts.

ein Elektroschock) auf, bis die gelernte Reaktion ausbleibt. Sie wird dabei aber nicht einfach vergessen, sondern im Nervensystem aktiv unterdrückt. Im Unterschied zur einfachen Konditionierung ist dafür auch die für bewusste Vorgänge zuständige Großhirnrinde notwendig.

Was geschieht nun bei einer Löschung? Wenn eine Furchtreaktion konditioniert wird, schließen sich daran beteiligte Nervenzellen zu gemeinsam agierenden Ensembles zusammen. Diese bleiben auch nach einer Löschung weiterhin erhalten und verlieren nur die aktivierenden Eingänge. Daher können solche Zellverbände auch nach dem Auslösen zuweilen wieder spontan aktiv werden und Furchtreaktionen bewirken. Eine Furchtkonditionierung kann aber auch auf Grund neu geknüpfter Eingänge rasch wieder aufleben. Es ist durchaus möglich, dass auf diese Weise etwa Phobien entstehen.

Da wir also die unbewussten Erinnerungen, die Angststörungen zu Grunde liegen, letztlich nicht vergessen und verlernen können, müssen wir versuchen, sie aktiv zu unterdrücken. Anders gesagt: Die Amygdala muss von der „bewussten“ Großhirnrinde gebremst werden. Genau das geschieht bei den oben genannten Therapiemethoden: Psychoanalyse und kognitive Therapie verändern die Einsichten und Bewertungen, die über das bewusste Gedächtnis die Amygdala beeinflussen. Die Verhaltenstherapie wirkt dagegen vermutlich eher über unbewusstes Lernen. Allerdings gibt es viel weniger Verbindungen von der Hirnrinde zur Amygdala als umgekehrt. Daher können Angst und andere Gefühle uns so leicht beherrschen, während wir umgekehrt die emotionalen Impulse nur mühsam willentlich unterdrücken können. Das dürfte denn auch der Grund dafür sein, dass Therapien häufig so langwierig und nur begrenzt wirksam sind.

WIR FÜRCHTEN UNS MEHR ALS NOTWENDIG

„Die Fähigkeit, rasch Erinnerungen von Reizen zu bilden, die mit Gefahren zusammenhängen, sie lange zu behalten und sie automatisch zu nutzen, wenn künftig ähnliche Situationen auftreten, ist eine der mächtigsten und wirksamsten Lern- und Gedächtnisfunktionen des Gehirns“ – so der Neurobiologe Joseph LeDoux von der New York University. „Aber dieser unglaubliche Luxus ist kostspielig. Wir haben mehr Ängste, als nötig wäre, und schuld daran ist vermutlich unser äußerst wirksames Furchtkonditionierungssystem zusammen mit einer extrem ausgeprägten Fähigkeit, uns

Ängste auszumalen, und einer Unfähigkeit, sie zu kontrollieren.“

Angst und Furcht sind also eine zweiseitige Angelegenheit. Sie haben sich im Lauf der Evolution als Alarmsignale bewährt und schützen vor gefährlichen Situationen. Wenn etwa bei einem Menschen die Fähigkeit, Angst zu empfinden, auf Grund einer Hirnschädigung ausgeschaltet ist, hat er in sozialen und anderen komplexen Situationen größte Probleme – sein Entscheidungsvermögen ist stark beeinträchtigt. Andererseits hat Angst auch ihre Schattenseiten. Machthaber und Aggressoren etwa nutzen sie zur Unterdrückung und Erpressung bis hin zum politischen Terror. Außerdem: Steigert sich die Angst bis in krankhafte Dimensionen, kann sie den Alltag mitunter vollständig beherrschen und ein normales Leben unmöglich machen. Angst kann andere anstecken und lähmen und wird dann selbst zu einer Gefahr – und der Kampf gegen sie kostet sehr viel Kraft.

Wie sollen wir also zur Angst stehen? Das Schlusswort sei dem Literaturnobelpreisträger Elias Canetti (1905–1994) überlassen: „Es ist besser, die Angst auszusprechen, als sich weiter mit ihr zu tragen. Am besten ist es, sie aufzuschreiben, ohne sie auszusprechen.“ ♦

RÜDIGER VAAS ist Neurobiologe, Philosoph und Wissenschaftsjournalist. Er hat zahlreiche populärwissenschaftliche Artikel und Bücher zu den Themen Hirnforschung und Astrophysik verfasst und ist einst in der amerikanischen Sonorawüste beinahe auf eine Klapperschlange getreten.

Ruediger.Vaas@t-online.de

Literaturtipps

CALDER, A. J. ET AL.: Neuropsychology of fear and loathing. In: Nature Reviews Neuroscience 2, 2001, S. 352.

LEDoux, J. E.: Das Netz der Gefühle. München: Hanser 1998.

ROTH, M. ET AL. (HG.): Handbook of anxiety. Amsterdam: Elsevier Science 1988–1992.

SARTORY, G.: Angststörungen. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 1997.

VAAS, R.: Angst; Emotionen. In: Lexikon der Neurowissenschaft. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 2000.

Weblinks

www.cns.nyu.edu/home/ledoux/overview.html
www.nimh.nih.gov/anxiety/anxiety/index.htm

ANZEIGE

WAS ER SAGT UND SIE VERSTEHT

Die Psychologin Annett Schirmer machte während der Arbeit an ihrer Dissertation eine Entdeckung, die Männern zu denken geben sollte: Frauen erkennen blitzschnell, wenn jemand nicht fühlt, was er sagt – ihre Sprachverarbeitung ist auf den Tonfall geeicht.

VON KATJA GASCHLER

Frauen denken anders, heißt es – Männer aber auch. Ein Klischee? Mit empfindlichen Leistungstests lässt sich in der Tat zeigen, dass es bei bestimmten Denkprozessen subtile Geschlechtsunterschiede gibt. Zum Beispiel können sich Männer schneller visuell und räumlich orientieren; Frauen dagegen sind oft besser, wenn es um Sprache geht, etwa beim Erinnern von Worten, in der Flüssigkeit des Sprechens oder der Grammatik.

Wie diese Unterschiede zu Stande kommen, ist bisher noch weitgehend unbekannt. Wissenschaftler interessieren sich heute aber nicht nur dafür, *was* das weibliche und das männliche Gehirn alles leisten kann, sondern auch, *wie* es das tut. Ein Verfahren, das im Gehirn ablaufende Prozesse sichtbar macht, ist die Aufnahme eines Elektroencephalogramms (EEG). Elektroden, die auf der Kopfoberfläche angelegt werden, registrieren winzige elektrische Potenzialschwankungen im Gehirn. Diese hängen zeitlich unmittelbar mit der Aktivität von bestimmten Zellgruppen zusammen.

Anfang der achtziger Jahre entdeckten M. Kutas und S. A. Hillyard von der University of California, San Diego, eine charakteristische negative Welle im EEG, die eng an sprachliche Prozesse gebunden scheint. Diese negative Potenzialänderung, auch Negativierung genannt, erreicht ihr Maximum 400 Millisekunden, nachdem ein Wort präsentiert wurde. Daher rührt ihr Name: N400.

Die N400-Welle ist um so größer, je weniger jemand ein Wort erwartet: In einem Satz wie „Ich trank meinen Kaffee mit Milch und ... Socken“ löst das Wort „Socken“ eine stärkere Negativierung aus als das Wort „Zucker“ an derselben Position (siehe Abbildung rechts). Kutas

und Hillyard folgerten deshalb, dass die N400 anzeigt, wie schwer oder leicht ein Wort in den vorangehenden Satzkontext integriert werden kann.

Die Rolle der Sprechmelodie

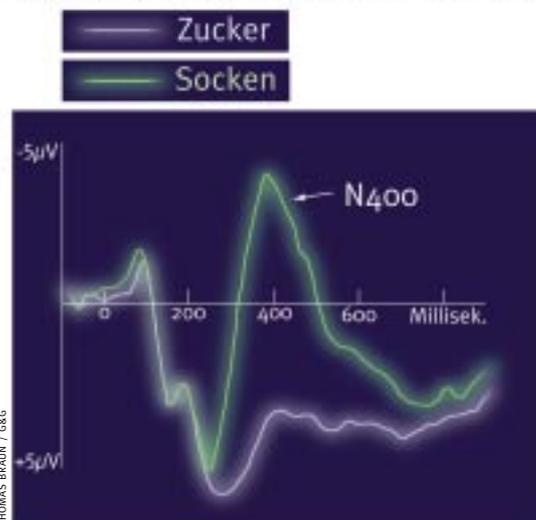
Nach und nach kristallisierten sich weitere Komponenten im EEG heraus, die Prozesse der Sprachverarbeitung abbilden. Weder für die N400 noch für andere Komponenten wurde jedoch über Geschlechtsunterschiede berichtet. Daher galt bisher: Obwohl bei den sprachlichen Leistungen zwischen Mann und Frau feine Unterschiede existieren, sind die grundlegenden Verarbeitungsprozesse bei beiden Geschlechtern gleich.

Annett Schirmer beschäftigt sich im Rahmen ihrer Doktorarbeit in der Arbeitsgruppe Neuropsychologie am MPI in Leipzig damit, welche Rolle der Sprechmelodie bei der Verarbeitung von

Sprache zukommt. Jeder von uns weiß, dass es oftmals nicht so wichtig ist, *was* wir sagen, sondern *wie* wir es sagen. Die Stimme verrät uns, ob eine Äußerung wie „Klasse!“ als Kompliment oder als Beleidigung gemeint ist. Sie sagt uns aber auch etwas über die Stimmung unseres Gesprächspartners und ob er freudige oder traurige Botschaft bringt. Die Kognitionspsychologin stellte sich daher die Frage, ob der emotionale Kontext, den uns die Stimme eines Sprechers liefert, ähnliche Bedeutung für die Sprachverarbeitung hat wie der Satzkontext.

Um dies zu untersuchen, überlegte sie sich Sätze, die ein Ereignis beschreiben, aber dessen Ausgang nicht verraten, wie zum Beispiel „Gestern hatte er seine Abschlussprüfung“. Gesprochen wurden diese einmal fröhlich und einmal traurig. Im Anschluss an jeden gehörten Satz sahen die Versuchspersonen auf einem

Ich trank meinen Kaffee mit Milch und...



Ein Marker für die Leichtigkeit des Verstehens: Wenn die Versuchsperson ein Wort wahrnimmt, das von der Bedeutung her nicht zum Satzkontext passt, lässt eine Analyse der Hirnströme (mittels eines EEG) eine charakteristische „N400“-Welle erkennen. N steht für Negativierung, die konventionsgemäß nach oben aufgetragen wird. 400 weist auf den Zeitpunkt ihres Maximums hin.



ANDREA GAST-SANDMANN

Für die Aufnahme des EEGs trägt die Versuchsperson eine Kappe mit eingearbeiteten Elektroden. Die einzelnen Elektroden werden mit einem Gel gefüllt, das die Übertragung der elektrischen Signale verbessert.

rechts: Annett Schirmer promoviert am Max-Planck-Institut für neuropsychologische Forschung in Leipzig in der Arbeitsgruppe von Angela D. Friederici.

Bildschirm ein Wort wie „Niederlage“ oder „Erfolg“. Das Wort hatte also eine negative beziehungsweise eine positive Bedeutung. Gleichzeitig wurde das EEG gemessen.

Ein fröhliches „Gestern hatte er seine Abschlussprüfung“ suggeriert: Er hat bestanden. Erscheint nun aber anschließend das Wort „Niederlage“, das nicht zum emotionalen Kontext passt, erzeugt das eine ähnlich unerwartete Situation wie der Vorschlag, Kaffee mit Milch und Socken zu trinken. Wenn die Sprechmelodie bei der Wortverarbeitung eine vergleichbare Rolle spielt wie der Satzkontext, sollte die N400 dies widerspiegeln. Das war auch tatsächlich der Fall, allerdings nur bei Frauen! Worte, die dem Dur oder Moll der Sprechmelodie widersprechen, führten nur im weiblichen EEG zu einer größeren N400 (siehe Abbildung Seite 90).

Frage sie jedoch die Versuchspersonen, ob sie die Worte „Niederlage“ oder „Erfolg“ in der entsprechenden Situation als passend oder unpassend empfanden, so urteilten diese unabhängig vom Geschlecht gleich. Demnach nutzen auch

Männer die Sprechmelodie beim Verstehen von Sprache. Aber warum fanden sich dafür keine Anzeichen im EEG?

Eine kleine Variante der Experimente brachte die Antwort. Diesmal war der zeitliche Abstand zwischen dem gesprochenen Satz und dem präsentierten Wort länger: nicht 200, sondern 750 Millisekunden. Gab man den Männern damit etwas mehr Zeit, die sprechmelodische Information zu verarbeiten, stellte sich auch bei ihnen der erwartete N400-Effekt ein.

Damit ist gezeigt, dass Männer und Frauen gesprochene Sprache unterschiedlich verarbeiten, genauer: Das weibliche Gehirn nutzt sprechmelodische Informationen mehrere hundert Millisekunden früher. Doch wirkt sich dieser Zeitvorteil irgendwie aus?

DAS WORT „GELIEBT“ – FRÖHLICH ODER ÄRGERLICH GESPROCHEN

In einem weiteren Versuch hörten die Versuchspersonen inhaltlich positive, neutrale oder negative Worte, wie „geliebt“, „geparkt“ oder „gehasst“. Sie wurden alle einmal fröhlich, einmal ärgerlich und einmal neutral ausgesprochen. Die Wissenschaftlerin stellte zwei verschiedene Aufgaben: In der ersten sollten die Teilnehmer per Tastendruck angeben, ob der *Inhalt* eines gehörten Wortes positiv, neutral oder negativ war. Sie bat die Versuchsteilnehmer, dabei die nebensächliche Informationsart, die Sprechmelodie, zu ignorieren.

In der zweiten Aufgabe sollten die Versuchspersonen entscheiden, ob die *Sprechmelodie* fröhlich, neutral oder ärgerlich klang; auf den Inhalt des Wortes sollten sie diesmal nicht achten. Das Ergebnis: Die korrekte Zuordnung bewältigten Frauen und Männer gleich gut; sie

unterschieden sich jedoch in der Geschwindigkeit ihres Urteils – auch hier waren Frauen schneller.

Das EEG verrät aber noch mehr. Durch seine gute zeitliche Auflösung erlaubt es Aussagen darüber, *wann* das Gehirn bestimmte Informationen verarbeitet. Präsentiert man den Versuchspersonen nacheinander zwei Reize, die sich in genau *einem* Merkmal unterscheiden, kann sich das im EEG widerspiegeln: Die EEG-Kurven weichen zu einem bestimmten Zeitpunkt voneinander ab. Daraus lässt sich folgern, dass das Gehirn auf das Merkmal zugegriffen hat.

Dies führte zu weiteren interessanten Ergebnissen. Demnach verarbeiten Männer zuerst die Information, nach der in der Aufgabe gefragt wurde, also entweder zuerst die Sprechmelodie oder zuerst die Wortbedeutung. Für die jeweils „störende“ zweite Information zeigten sich EEG-Effekte deutlich zeitverzögert, bis zu 700 Millisekunden später. Daraus lässt sich schließen, dass Männer Wortinhalt und Sprechmelodie getrennt voneinander analysieren. Erst wenn die Analyse beider Informationen abgeschlossen ist, stellen sie den Bezug her.

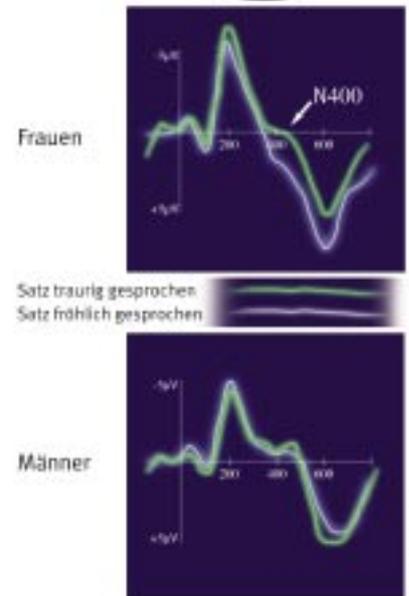
Auch das weibliche Gehirn greift schneller auf die Wortbedeutung zu, falls diese laut Aufgabenstellung relevant ist. Doch schon nach 300 Millisekunden verarbeiten Frauen unabhängig von der Aufgabenstellung beide Informationen gleichsam „interaktiv“. Immer wenn beide Informationen, Sprechmelodie und Bedeutung, zueinander passen, scheint die Verarbeitung erleichtert zu sein. Erkennbar ist dies an einer kleineren N400-Antwort, wenn beispielsweise ein fröhliches „geliebt“ im Vergleich zu einem ärgerlichen „geliebt“ präsentiert wird. Der Effekt war deutlicher, wenn die Sprech-

NEWCOMER



ZEITVORTEIL FÜR „SIE“:

Die Versuchsperson hört einen fröhlich oder traurig gesprochenen Satz. Kurz darauf, nach 200 ms, wird auf einem Monitor ein Wort, etwa „Erfolg“ oder „Niederlage“, eingeblendet. Passt es nicht in den durch die Sprechmelodie festgelegten emotionalen Kontext, zeigt nur das EEG der Frauen einen kleinen, aber deutlichen N400-Effekt. Offensichtlich ist das männliche Gehirn hier etwas langsamer: Erst wenn Männern das unpassende Wort mit einem etwa viermal so großen Zeitabstand (750 ms) präsentiert wird, reagiert ihr Gehirn mit einem ähnlichen Effekt (nicht gezeigt).



ANZEIGE

melodie die „störende“ Information darstellte. Vermutlich beeinflusst sie die Verarbeitung der Wortbedeutung stärker als umgekehrt.

Verglichen mit Männern passen Frauen ihre Verarbeitung weniger der Aufgabenstellung an. Vielmehr schenken sie, unabhängig davon, welche Information relevant ist, dem *Wie* mehr Beachtung als dem *Was*. Selbst wenn sie sich Mühe geben, die Sprechmelodie zu ignorieren, sie können es nicht!

Das bedeutet jedoch nicht, dass Frauen in dieser Hinsicht im Nachteil sind. Wann immer die Sprechmelodie zur Bedeutung passt, fällt ihnen die Verarbeitung leichter. Sie wird jedoch nicht zusätzlich erschwert, falls beide Informationen nicht übereinstimmen. Zudem können Frauen dadurch schneller auf Unstimmigkeiten zwischen dem Gefühl, das ein Sprecher in Worte fasst, und demjenigen, das in seiner Stimme mitschwingt, reagieren.

Warum verarbeiten Frauen Sprache anders als Männer? Bestanden evolutionäre Zwänge, die Frauen mit Genen für eine effizientere emotionale Sprachverarbeitung auszustatten? Vielleicht haben Frauen auf Grund ihrer biologischen Verantwortung für den Nachwuchs ein feineres Gespür für Gefühle entwickelt. Konnte sich die Mutter besser mit ihrem Baby verständigen, erhöhten sich seine Überlebenschancen.

Oder ist der Effekt durch Unterschiede in der Sozialisierung von Mann und

Frau bedingt? Denkbar ist, dass Mädchen im Laufe ihrer Erziehung einfach stärker dazu angeregt werden, auf nicht-sprachliche Signale zu achten und die Gefühle anderer wahrzunehmen. Dann gilt es herauszufinden, ob sich die Unterschiede erst mit der Pubertät entwickeln oder schon früher existieren. Ist die Sensibilität gegenüber der Sprechmelodie vielleicht noch an andere Merkmale als an das genetische Geschlecht gebunden? Es wäre ja möglich, dass sie zum Beispiel durch musikalisches Training gefördert wird. Ein Vergleich zwischen Frauen und Musikern steht jedenfalls noch aus. ♦

KATJA GASCHLER ist promovierte Biologin und Redakteurin bei Gehirn & Geist
gaschler@spektrum.com

Literaturtipps

FRIEDERICI, A. D.: Language Comprehension: A biological Perspective. Berlin: Springer 1999.

KIMURA, D.: Sex and Cognition. Cambridge, MA: MIT Press 1999.

LEDoux, J.: Das Netz der Gefühle. München: Carl Hanser Verlag 1998.

SPRINGER, S. P. UND DEUTSCH, G.: Linkes/Rechtes Gehirn. Heidelberg Berlin: Spektrum Akademischer Verlag 1998.



VIELSEITIGE AUSBILDUNG ZUM HIRNFORSCHER

Der Magdeburger Studiengang Neurowissenschaften

Die Erforschung unseres Denkgorgans ist längst interdisziplinär: Philosophen untersuchen das Denken mit dem Kernspin-Tomografen, Informatiker modellieren das Wachstum von Nervenzellen per Computer, Psychologen interessieren sich für die Mutter-Kind-Beziehung bei Strauchratten.

Der Studiengang Neurowissenschaften der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg trägt diesem Trend Rechnung. Er steht Studierenden vieler Fachrichtungen offen – Biologen und Mediziner, aber beispielsweise auch Psychologen, Physikern und Elektrotechnikern. Die Lehre teilen sich drei verschiedene Einrichtungen: das Institut für Biologie der naturwissenschaftlichen Fakultät, die medizinische Fakultät sowie das Leibniz-Institut für Neurobiologie, wo Lernen und Gedächtnis untersucht werden.

Die Forschung dieser Institute konzentriert sich darauf, wie Organismen als Ganze die Umwelt wahrnehmen und wie sie lernen: auf die systemische Kognitionsforschung. „Wegen der Relevanz für die medizinische Forschung arbeiten wir dabei mit Wirbeltieren, einschließlich des Menschen“, sagt Katharina Braun. Sie ist Gründungsprofessorin des Instituts für Biologie der Magdeburger Universität – und maßgeblich an der Entwicklung des Studiengangs beteiligt.

Das wichtigste Element der Magdeburger Ausbildung ist die enge Verzahnung von Theorie und Praxis. „Das bedeutet, dass schon unsere Studienanfänger nach kurzer Zeit ernsthaft zu forschen beginnen“, sagt die Professorin.

Zunächst hören sie im Hauptfach des jeweiligen Semesters eine Blockvorlesung, für das Basiswissen. Es folgt ein dreitägiges Labor-Grundpraktikum. In einem mehrwöchigen „Spezialpraktikum“ forschen die Studierenden schließlich in einer Arbeitsgruppe an einem eigenen Projekt; Themen sind etwa: Was geschieht mit jungen Strauchratten, wenn sie immer wieder von den Eltern getrennt werden? Wie wirken Designerdrogen auf die Synapsen im menschlichen Gehirn? „Die Ergebnisse sind für das Forschungsgebiet der jeweiligen Gruppe wichtig“, erklärt Braun. Bis zum Diplom hat so jeder Studierende vier Labors von innen gesehen. Zum richtigen Forschen gehören aber auch Publikationen. „Aus jeder Diplomarbeit soll möglichst eine Veröffentlichung in einer wissenschaftlichen Zeitschrift werden“, sagt die Professorin.

Magdeburg ist keine klassische Universität für Biologie. Das biologische Institut befindet sich erst im Aufbau. Frau Braun hat den Lehrstuhl für Zoologie und Entwicklungsneurobiologie inne. Berufungsverhandlungen für die Stelle eines Neurogenetikers laufen und ein Kognitionsbiologe soll noch in diesem Jahr nach Magdeburg kommen. Dafür bietet das Studium junge Fächer und Professoren – und schafft Perspektiven in benachbarten Disziplinen wie Medizintechnik oder Diagnostik. Junge Magdeburger Unternehmen, die sich mit Neurowissenschaften befassen, vergeben Diplom- und Doktorarbeiten und sollen später in Seminaren Management- und Gründerwissen vermitteln. ◆

INTERVIEW

Dominik Albrecht, 27, studiert seit einem Jahr Neurowissenschaften. Termin für die Diplomprüfung ist der Sommer 2002, dann kommt die Diplomarbeit. Von Haus aus ist Albrecht Mediziner. Er hat in Frankfurt am Main Vorklinik, Physikum und das erste klinische Semester absolviert; später möchte er mit bildgebenden Verfahren an Menschen forschen.

G&G: Warum studieren Sie in Magdeburg?

Albrecht: Ich habe in Frankfurt Vorlesungen über Hirnforschung gehört und bin so zum Thema gekommen. Nun gibt es in Deutschland mehrere Universitäten, die Neurobiologie und Hirnforschung als Schwerpunkte anbieten. In Magdeburg ist aber Verhaltens-Neurobiologie und die systemische Sicht besonders stark, eine einzigartige Situation.

G&G: Was gefällt Ihnen am Studiengang – abgesehen von den Themen – am besten?

Albrecht: Wir sind nur sehr wenige – in meinem Semester gerade sieben. Daher haben Professoren und Assistenten mehr Zeit für uns und bei Praktika gibt es keine Wartezeiten. Vorteil Nummer zwei: Neuro-Studenten in Magdeburg arbeiten von Anfang an in laufenden Forschungsprojekten mit.

G&G: Aber es sind auch schon Studenten ausgeschieden. Woran lag das?

Albrecht: Der Arbeitsaufwand ist sehr hoch. Das gilt insbesondere für Nicht-Biologen, die zu Beginn mit den fachlichen Grundlagen kämpfen – was ist ein pH-Wert und so weiter. Aber es gibt Tutorien – sogar mit „Wunschthemen“ – und man kann bei Fragen direkt mit Assistenten oder Profs sprechen. Es ist also zu schaffen.

G&G: Und sonst?

Albrecht: Weil der Studiengang noch sehr neu ist, klappt es manchmal mit der Abstimmung zwischen den vielen Instituten nicht und es kommt zu Überschneidungen im Stoff.

G&G: Was raten Sie Studenten, die überlegen, nach Magdeburg zu gehen?

Albrecht: Sie sollten prüfen, ob sie an den Themen hier interessiert sind. Gut ist ein Hintergrund in Bio – oder die Bereitschaft, sich entsprechendes Wissen eigenständig anzueignen.

G&G: Angenommen, die Entscheidung ist gefallen und jemand fängt hier an. Was ist dann Ihr Tipp?

Albrecht: So früh wie möglich Kontakt zu Arbeitsgruppen suchen. Wenn mich ein Thema interessiert, schafft mir der Prof einen Platz in seinem Labor. Auf diese Weise kann man sich sozusagen das Ausbildungs Menü selbst zusammenstellen.

Der Magdeburger Studiengang Neurowissenschaften

- > Zulassung nach dem Vordiplom in Biologie, Biochemie, Chemie, Physik, Psychologie, Informatik, Elektrotechnik; Mediziner nach der ärztlichen Vorprüfung, andere Fachrichtungen auf Anfrage
- > Dauer des Studiums: sechs Semester
- > Derzeit dreißig Plätze
- > Abschluss Diplom-Biologe, Fachrichtung Zoologie (für Biologen) oder Diplom-Neurowissenschaftler
- > Bewerbung für das Wintersemester jeweils bis 15. Juli des Jahres an: Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg Dezernat Studienangelegenheiten Universitätsplatz 2, Geb. 06 39106 Magdeburg Tel.: (0391) 6718680
- > Fachstudienberaterin: Prof. Dr. A. K. Braun katharina.braun@nat.uni-magdeburg.de

GEHIRNTRAINING MIT BIRKENBIHL WISSENS-NETZ, WISSENS-ABC UND KAWA

VON VERA F. BIRKENBIHL



Diese Grafik vom Wissens-Netz erinnert an unsere neuronalen Bahnen im Gehirn und unterstreicht die Vernetzung all unseres Wissens.

Alles, was wir jemals gelernt haben, ist Teil unseres metaphorischen Wissens-Netzes. Jede Wissens-Einheit stellt quasi einen Faden dar, der mit zahlreichen anderen vernetzt ist. Natürlich gibt es in diesem Wissens-Netz auch Löcher, also Stellen mit weniger Wissens-Fäden. So mag das Wissens-Netz eines Quantenphysikers sicher weit mehr „Quantenphysik-Fäden“ aufweisen als das Wissens-Netz eines Gärtners (sofern dieser kein Hobby-Physiker ist). Dieser aber besitzt zahlreiche Fäden über Gartenbau: Da werden die meisten Quantenphysiker wohl eher ein Loch haben ...

Um herauszufinden, welche Fäden miteinander in Verbindung stehen, brauchen wir nur unsere eigenen Assoziationen zu verfolgen. Dabei sollten wir uns vor Augen halten: Unser Erziehungs-System hat uns in der Regel nicht beigebracht, wie wir unsere eigenen Assoziationen registrieren können. Dies aber ist die Grundlage für differenziertes Denken. Deshalb habe ich im Laufe eines Jahrzehnts so genannte Analoggraffiti-Techniken entwickelt, von denen ich hier einige vorstelle. Sie machen es leicht, sowohl unsere ersten Gedanken kennen zu lernen als auch diese systematisch weiterzuentwickeln. Von diesen Denk-Werkzeugen können Sie sofort profitieren: Mit ihrer Hilfe werden Sie Ihr Wissens-Netz besser nutzen und ausbauen.

Die Anzahl der Assoziationen, die uns zu irgendetwas einfallen, hängt immer von unserem (derzeitigen) Wissens-Netz ab. Sie aber bestimmt die Menge unserer Reaktionen, die unsere Umwelt als „intelligent“ oder besonders „kreativ“ wahrnimmt. Wer sein Wissens-Netz vergrößert, vermehrt automatisch auch den assoziativen Reichtum, der ihm entspringen kann! Das Potenzial für intelligente oder kreative Reaktionen nimmt dabei ebenfalls zu. Woraus Sie sehen, dass sowohl Intelligenz als auch Kreativität „wachsen“ können. Darüber hinaus können wir beide aber noch vermehren, wenn wir mit Hilfe von Denk-Techniken die Ausbeute der vorhandenen Wissens-Fäden dramatisch erhöhen. Dazu stelle ich im Folgenden einige Übungen vor.

Zunächst wollen wir uns auf das Denken in Worten (analytisch-rational und/oder kreativ) konzentrieren. Hierzu brauchen wir natürlich ein gewisses Vokabular. Wenn wir zu einem für uns wichtigen Thema jedoch kein (ausreichendes) Vokabular besitzen, dann können

wir auch nicht sehr differenziert darüber nachdenken. Deshalb lohnt es sich, mit einem Denk-Prozess zu beginnen, indem wir ein erstes spontanes Wissens-ABC zum jeweiligen Thema erstellen.

EXPERIMENT: EIN WISSENS-ABC

Es gilt, zu jedem Buchstaben des Alphabets mindestens eine Assoziation zu notieren, wobei Sie das Thema frei wählen können. Wählen Sie eines, zu dem Sie viel wissen! Wer früher oft Stadt-Land-Fluss gespielt hat, trägt regelrechte geografische Wissens-ABCs im Kopf spazieren. Geht es Ihnen auch so? Dann können Sie bei diesem Thema schnell und gut reagieren. Aber können Sie auch zu einem für Sie wichtigen Themenbereich schnell und leicht ein assoziatives ABC „ausfüllen“? Diese kleine Übung hilft uns ganz schnell:

- eine kleine Inventur vorzunehmen: Wie ergiebig ist unser Wissen zu diesem Thema?
- auszuloten, was sich derzeit in uns (zu diesem Thema) „abspielt“.

Probieren Sie es, indem Sie bei nebenstehendem Alphabet mit dem Stift die erste Spalte nach unten „wandern“ und so schnell wie möglich pro Buchstaben eine erste Assoziation eintragen. Später können Sie zusätzliche Assoziationen nachtragen, wenn Sie wollen.

Angenommen Ihr Thema wären Tiere, dann könnten Sie notieren:

- A = Ameise
- B = Bär
- ...
- Z = Zebra

Manchmal fällt uns nicht sogleich etwas ein, insbesondere bei seltenen Buchstaben wie Y; deshalb gilt es im ersten Ansatz so viele Buchstaben wie möglich zu „belegen“. Wir sprechen später noch darüber, was wir mit den „Lücken“ anfangen können. Jetzt sind Sie dran!

Mit der ABC-Technik können wir uns auch auf ein für uns neues Thema einstimmen, insbesondere, wenn wir davor gedanklich „ganz woanders waren“, wenn wir also einen abrupten Themenwechsel vornehmen wollen (oder müssen). Angenommen, ich würde Ihnen nun vorschlagen, sofort fünf Wissens-ABCs anzulegen: Bei welchem könnten Sie voraussichtlich in kurzer Zeit – sagen wir neunzig Sekunden – am meisten aufschreiben?

- Tiere?
- Berufe?

	SPALTE 1	SPALTE 2	SPALTE 3
A			
B			
C			
D			
E			
F			
G			
H			
I			
J			
K			
L			
M			
N			
O			
P			
Q			
R			
S			
T			
U			
V			
W			
X			
Y			
Z			

- Quantenphysik?
 - Erfolgspsychologie?
 - Geschichte zur Zeit Cäsars?
- Testen Sie Ihre Selbst-Einschätzung!

WISSENS-NETZ UND WISSENS-ABC

Wenn Sie ausloten wollen, ob Sie zu einem Thema eher mehr oder weniger Fäden im Wissens-Netz haben, dann achten Sie bei der simplen ABC-Übung auf zwei Aspekte:

- Wie viel fällt Ihnen ganz spontan innerhalb kurzer Zeit ein, und
- wie schnell fällt es Ihnen ein? Manchmal fließen die Ideen ja schneller, als wir sie notieren können, und manchmal erscheinen sie weit langsamer in unserem Bewusstsein.

Beide Aspekte (Geschwindigkeit und Menge) sind wichtige Hinweise für uns. Oft denken wir, wir wüssten „gar nichts“ zu einem Thema. Wenn wir uns aber dann doch zu einem Wissens-ABC „durchringen“, sind wir verwundert über die vielen Assoziationen, die regelrecht aus uns „herausfließen“. Ein andermal wollen wir schon müde abwinken, weil wir annehmen, wir wüssten sehr viel. Aber wenn wir dann schnell – nur pro forma – ein Wissens-ABC anlegen wollen, dann stellen wir fest, dass wir uns doch sehr anstrengen müssen.

Deshalb lohnt sich so ein kleiner Test allemal: Geben Sie sich jeweils neunzig Sekunden und testen Sie, inwieweit Ihre erste Einschätzung stimmt. Im positiven Fall haben Sie gleich wieder eine schöne Liste. Andernfalls könnten Sie der Frage nachgehen, warum Sie dachten, ein ABC zu diesem Thema sei nicht der Mühe wert, obwohl Sie nicht viel geschafft haben. Könnte das Thema Ihnen unangenehm sein? Dann gleiche Ihr erster Eindruck, hierzu sehr viel zu wissen, wohl einer Schutzbehauptung. Sie sehen, jede einfache Übung dieser Art stellt eine Inventur dar, bei der Sie eine Menge lernen können, aber beileibe nicht nur inhaltlich!

SCHWACH AUF DER BRUST?

Nehmen wir an, Sie stellen fest, dass Sie in irgendeinem Lebensbereich nur ein schwaches Vokabular haben (z. B. weil Sie keine gute ABC-Liste anlegen konnten). Bitte bedenken Sie, dass Sie sehr schnell eine Menge zusätzlicher Wissens-Fäden erwerben können: Einen Teil „ziehen“ Sie bei wiederholter ABC-Übung in zunehmendem Maß aus Ihrem Unbewussten. Andere können Sie auch erwerben, indem Sie über das Thema mit anderen sprechen, lesen oder sogar in der Fachpresse oder in Nachschlagewerken nachsehen. Dadurch erzielen Sie, was ich den Stadt-Land-Fluss-Effekt nenne.

Haben Sie in Ihrer Jugend Stadt, Land, Fluss (das Geografie-Spiel) gespielt? Dann kennen Sie die Erfahrung, dass man nach einiger Übung unheimlich viele Städte, Länder und Flüsse kennt. In den Köpfen von Stadt-Land-Fluss-Spieler/innen existieren regelrechte

Städte-, Länder- und Flüsse-Listen, also genau genommen ganze Wissens-ABCs. Wenn jemand nun zum Beispiel den Bereich der Quantenphysik aktivieren möchte, könnte er die Variante Stadt-Land-Quantenphysik spielen. Hierzu möchte ich Ihnen eine Spiel-Strategie vorschlagen:

- Beginnen Sie mit vertrauten Kategorien (Stadt-Land-Fluss) zu spielen. Nach zwei bis drei Aufwärmrunden gehen Sie zu Schritt zwei über:

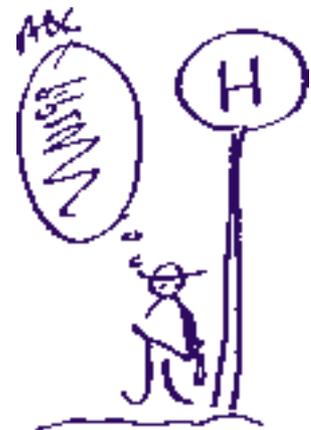
- Schmuggeln Sie eine Kategorie ins Spiel, zu der Sie (oder ein/e andere/r Spieler/in aus der Gruppe) das vorhandene Vokabular aktuell gezielt bereichern möchten.

Bitte bedenken Sie, dass unser passives Wissen unser aktives immer um ein Vielfaches übersteigt. Wenn wir bestimmte Begriffe wie etwa Ventil (oder Wache, anmuten, Wirklichkeitsauffassung oder Personal) hören oder lesen, dann erkennen wir die meisten sofort, obwohl sie nur bei wenigen Menschen zum Aktiv-Wissen gehören. Aktives Wissen ist Wissen, das häufig in das Bewusstsein gerät, während passives Wissen zwar erkannt wird, aber nur nach (längerem) Nachdenken aktiv eingesetzt werden kann.

Wenn Sie nun die neue Variante spielen und hinterher die Spielbögen studieren, werden Sie bei den Listen der Mitspieler/innen auf Begriffe stoßen, die bei den anderen aktiv, bei Ihnen aber noch eher passiv angelegt waren. Spielen Sie die neue Variante aber nun öfter, dann rutschen nach einer Weile einige der Lieblingsbegriffe Ihrer Mitspieler in Ihren eigenen Aktiv-Bereich, und nach einer Weile stellen Sie fest, dass Sie selbst diese Begriffe auch notieren können. Nach einigen solcher Spielchen besitzen auch Sie zu dem neuen Thema einen weit differenzierteren (aktiven) Wortschatz. Deshalb können auch Sie bald über dieses Thema weit differenzierter nachdenken als vorher! Und genau das nenne ich den Stadt-Land-Fluss-Effekt, mit dem Sie Ihre Möglichkeiten, intelligent oder kreativ zu reagieren, spielerisch vergrößert haben.

Übrigens kann man auch alleine spielen, insbesondere wenn man warten muss. Die Wartezeit an der Kasse im Supermarkt oder an der Bushaltestelle wird drastisch verkürzt, wenn Sie Ihr Wissens-Netz aktivieren und den „Stadt-Land-Fluss-Effekt“ für sich arbeiten lassen. Auch Autofahrern empfehle ich solche Spielchen für „ewig“ rote Ampeln und Stausituationen, damit sich wenigstens der Geist bewegt, wenn schon das Auto steht.

Mit jedem derartigen Spiel und jedem erstellten Wissens-ABC entwickeln und erweitern Sie Ihr Vokabular. Dies bedeutet natürlich: Sie „häkeln“ neue Fäden in Ihr Wissens-Netz. Da sich sowohl Intelligenz als auch Kreativität aus dem Wissens-Netz speisen, erhöhen Sie somit beide. Deshalb helfen uns einfache Wissens-ABC-Trainingsaufgaben dreifach:



- Sie machen uns intelligenter und
- sie machen uns kreativer. Hinzu kommt:
- Wir können mit den fertigen Listen später einiges anfangen.

WORT-ASSOZIATIONEN: DAS KAWA

Wir nehmen einen Begriff und assoziieren zu jedem Buchstaben ein Wort, das mit diesem beginnt. Natürlich kann es sich dabei auch um den Namen einer Person handeln.

Angenommen, Sie wollten über einen Bekannten namens Bernd reflektieren; das könnte dann wie nebenstehend aussehen.

Sie müssen übrigens keinesfalls mit dem ersten Buchstaben beginnen. Lassen Sie Ihr Auge wandern, wie vorhin bei der ABC-Liste! Wenn Ihnen zuerst zu einem Buchstaben in der Mitte etwas einfällt, dann schreiben Sie eben diesen Begriff zuerst hin. Sie wollen ja gerade nicht sequenziell, linear, Schritt für Schritt, logisch und rational denken, sondern mehr „aus dem Bauch“ heraus. Wenn wir uns ein Spektrum vorstellen, an dessen einem Ende das Denken steht und am anderen das Fühlen, dann wollen Sie mindestens in der Mitte „stehen“, oder ein wenig mehr in Richtung Fühlen ... Probieren Sie es gleich!

EXPERIMENT: KAWA ZU KUNDE

Fertig? Jetzt frage ich Sie: Haben Sie sich selbst in der Rolle eines Kunden oder einer Kundin gesehen? Oder dachten Sie eher an Menschen, die andere (als) Kunden haben?

Wenn Sie mit mehreren ein KaWa machen, dann sollten Sie nun in der Kleingruppe Ihre Gedanken miteinander vergleichen. Vielleicht wollen Sie sogar ein richtiges Gruppenergebnis erarbeiten.

Bei dieser Übung geschah in einem Seminar etwas Spannendes: Normalerweise assoziiert man zu Kunde die Idee des Einkaufens (oder des Erwerbs von Dienstleistungen), aber an jenem Tag assoziierte eine Dame die Idee von Kunde im Sinne von „Botschaft“. Das löste bei einigen anderen Teilnehmern Erstaunen, ja teilweise sogar verdutzte Ablehnung aus. Unser Wissens-Netz ist es, worauf wir alles beziehen, was wir hören, lesen oder sehen. Es ist ganz klar, es geht gar nicht anders. Unsere Erfahrungen sind ein Filter, und wenn die Erfahrungen mit dem Wort Kunde für diese Teilnehmerin in Richtung Botschaft laufen, dann ist ihre Assoziation genauso legitim wie unsere. Nur weil mehr Menschen bei Kunde an Kaufen denken, ist diese „normale“ Assoziation nicht besser. Sie wissen ja: Normal bedeutet lediglich „der Norm entsprechend“ und nicht geistige oder seelische Gesundheit. So lernen wir hier eine ganz wichtige Lektion: Wir neigen dazu, unsere eigenen Assoziationen für die einzig- oder bestmöglichen zu halten.

Deswegen reagierten einige Teilnehmer/innen mit einem erstaunten: „Wie kommen Sie denn darauf?!“ Diese Art ablehnender Reakti-

WARUM HEISST DIESE DENK-TECHNIK SO?

Das „**K**“ in **KAWA** steht für **KREATIV**: Das Finden von Assoziationen ist natürlich eine Kreativ-Aufgabe.

Das erste „**A**“ in **KAWA** steht für **ANALOGRAFFITI** (meine Bezeichnung für diese und andere Denk-Techniken).

Das „**W**“ in **KAWA** steht für **WORT**. Das Finden von Assoziationen ist eine Wort-Aufgabenstellung.

Das zweite „**A**“ in **KAWA** steht für **ASSOZIATIV**.

on, wenn jemand etwas anderes assoziiert, ist weder geistig gesund noch besonders intelligent, tolerant oder symptomatisch für offenes Denken. Weiter gilt: Die eigenen Assoziationen halten wir auch für logisch. Wir sagen zum Beispiel gerne „Ja, das ist logisch“ oder kurz „logo“. Das hat mit Logik überhaupt nichts zu tun. In 95 Prozent aller Fälle, in denen jemand sagt „Das ist ja logisch“, heißt das:

- „Ja! Das entspricht genau meinen Erwartungen!“ Oder:
- „Ja, den Faden habe ich auch in meinem Wissens-Netz.“ Oder:
- „Ja, die beiden Fäden verbinde ich auch immer in meinem Wissens-Netz.“

Das ist die eigentliche Bedeutung, wenn wir sagen, etwas sei oder klinge logisch.

WISSENS-ABCs SIND EBENFALLS KAWAS

Zum Abschluss möchte ich klarstellen, dass das Wissens-ABC eine Sonderform des KaWa darstellt. Bei einem KaWa assoziieren wir zu den einzelnen Buchstaben des Schlüsselbegriffes, und bei einem Wissens-ABC assoziieren wir zu allen Buchstaben des Alphabetes. Also ist das Wissens-ABC umfassender als ein normales Wort-KaWa und eignet sich besonders gut für Inventuren: Was weiß ich bereits? Was denke ich gerade? Wo sind meine Wissens-Lücken? ◆

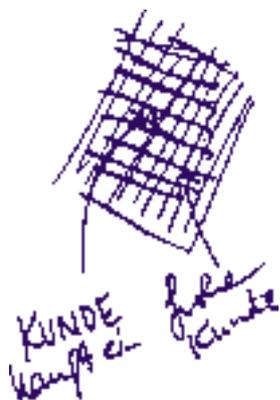
VERA F. BIRKENBIHL ist Seminarleiterin und Managertrainerin. Zur besseren Nutzung des Gehirns propagiert sie eine Reihe von Methoden und Tricks, um Informationen „gehirngerecht“ aufzunehmen und zu verarbeiten.

Literaturtipp

BIRKENBIHL, V.F.: Das große Analograffiti-Buch. Paderborn: Junfermann 2002.



KUNDE



Suchtforschung

Trinkfeste Nager im Technologiepark

Nicht nur Menschen, auch Ratten können alkoholsüchtig werden. Wissenschaftler der Firma Medimod erforschen am Tiermodell, wie sich psychische Abhängigkeit bekämpfen lässt.

VON KATJA GASCHLER

Nur jeder fünfte „trockene“ Alkoholiker schafft es, seine Sucht dauerhaft zu kontrollieren. Schuld daran ist vermutlich ein tief im Gehirn verankertes „Suchtgedächtnis“, das auch eine Entziehungskur nicht zu löschen vermag. Ein Schlüsselreiz genügt, um das Verlangen wieder aufflammen zu lassen. „Damit ein Alkoholkranker wirklich geheilt wird, müsste er seine Sucht quasi wieder vergessen“, erklärt Dr. Andrea Heyne, Geschäftsführerin des privaten Suchtforschungsinstituts Medimod bei Tübingen.

Diesem Vergessensprozess würden die Forscher gerne nachhelfen. Um den Erfolg möglicher Therapien zu testen, arbeiten sie mit einem Tiermodell, das Jochen Wolffgramm, Professor an der Universität Tübingen und wissenschaftlicher Leiter von Medimod, mit seinem Team entwickelt hat.

In den ersten Wochen können die Ratten beliebig zwischen Trinkwasser und verschiedenen Alkohollösungen wählen. Nach einiger Zeit entwickeln die Nager abhängig von psychosozialen Faktoren individuelle Trinkgewohnheiten. So werden untergeordnete Tiere eher „Dauertrinker“, während dominante Tiere sich als typische „Problemtrinker“ nur bei Stress Alkohol genehmigen. Einsam trinken sie häufig mehr, in Gruppenhaltung dagegen seltener. Noch sind aber alle Ratten in der Lage, ihren Alkoholkonsum zu kontrollieren: Werden dem Alkohol Bitterstoffe zugesetzt, gehen sie wieder zum Wasser über. Nach einem knappen Jahr wird der Suchtstoff entzogen, für mehrere Monate bleiben die Tiere „trocken“. Inzwischen hat sich aber fast die Hälfte von ihnen zu Alkoholikern entwickelt: Kaum haben sie wieder die Wahl, trinken sie unmäßige Mengen und hören selbst dann nicht auf, wenn der Alkohol stark bitter schmeckt.

Bis eine Ratte nachweisbar süchtig ist, vergehen fast zwei Jahre, erst dann kommt die eigentliche Aufgabe: sie von



Wasser oder Alkohol? Die Ratten entscheiden selbst, ob sie dem Suchtstoff zusprechen.

ihrer Sucht zu befreien. Dazu besteht durchaus Hoffnung, schließlich gelang es der Arbeitsgruppe bereits, heroinsüchtige Ratten durch „Rückprägung“ zu heilen. Als Therapie wurde den Tieren Codein, ein anderes Opioid, kontinuierlich über das Trinkwasser zugeführt. Dadurch wird die ursprüngliche Assoziation Droge = Genuss „überschrieben“ und damit vergessen. Allerdings funktioniert dies nur bei gleichzeitiger Gabe eines Corticosteroids, welches das Gehirn extrem sensibel für Lernvorgänge macht. Ob sich mit diesem Ansatz auch heroinsüchtige Menschen dauerhaft heilen lassen, wird zur Zeit klinisch erprobt.

Leider scheinen die Vorgänge bei der Entstehung von Alkoholismus im Gehirn komplizierter zu sein. Jedenfalls lässt sich ein „Alkohol-Rezeptor“ analog zu Opioid-Rezeptoren nicht ausmachen. Auch erfolgt der Übergang zur Sucht nicht wie beim Opiat abrupt in einer zeitlich begrenzten, sensiblen Phase, sondern eher fließend. Daher könne man den Prozess der Suchtentstehung beim Alkohol wohl nicht einfach umkehren, sagt Wolffgramm. Dennoch ist er optimis-

tisch: Schon in zwei bis drei Jahren soll es einen pharmakologischen Ansatz geben, der auf menschliche Patienten übertragbar ist. Einige Dreh- und Angelpunkte im Gehirn seien bereits erkannt, und so teste man bereits diverse Substanzen. Die ersten Ratten wurden auch schon geheilt – wodurch, das wollen die Suchtpioniere zum jetzigen Zeitpunkt freilich noch nicht verraten ...

DER WISSENSCHAFTS- UND TECHNOLOGIEPARK in Reutlingen/Tübingen beherbergt die Firma Medimod auf etwa 2000 Quadratmetern. Das Unternehmen wurde 1998 gegründet und hat zur Zeit zwanzig Mitarbeiter, von denen 17 in der Forschung tätig sind.

Ziel des Unternehmens ist der Ausbau von Tiermodellen und die Entwicklung von ursächlich angreifenden Therapieansätzen bei der Opiat-, Alkohol- und Nikotinsucht. Langfristig ist die Entwicklung eines Tests zur Früherkennung eines akuten Suchtrisikos vorgesehen.

Milch, Mama und Musik

Was der frühkindlichen Gehirnentwicklung so alles gut tut

VON BETTINA PABEL

EIN BABY ERKUNDET DIE WELT. Wer es dabei beobachtet, kann nur staunen: So klein – und doch schon ein „ganzer“ Mensch, mit Begabungen und Gefühlen. In ihrem spannenden Buch über die Gehirnentwicklung bei Kleinkindern begibt sich Lise Eliot, Neurobiologin und selbst engagierte Mutter, auf die Spuren unserer geistigen Menschwerdung.

In den ersten Jahren ist das menschliche Gehirn ein leicht formbares dynamisches Gewebe, in dessen neuronalen Schaltkreisen jeder Sinneseindruck und Gedanke Spuren hinterlässt. Eliot erklärt hier sehr detailliert, welche Prozesse für die Hirnentwicklung eines Kindes entscheidend sind: wie sich Nervenzellen, Axone und Synapsen bilden und wie sie miteinander kommunizieren. Nach und nach entsteht im frühkindlichen Gehirn eine richtige „Karte“ der Reizwahrnehmungen. Schon vor der Geburt bilden sich die Sinne aus: Tasten, Gleichgewichts- und Bewegungssinn, Riechen, Schmecken, Sehen und Hören.

Das Buch zehrt von anschaulichen Beispielen. Eliot erzählt vom Stress, dem Babys unter der Geburt ausgesetzt sind, und vom Erfolgsgefühl, wenn sie mit etwa acht Monaten einen Beißring zum ersten Mal selbst greifen können. Auch der Frage nach vorgeburtlichen Risiken geht die Autorin nach. Das fötale Gehirn reagiert höchst empfindlich auf die Ernährung der Mutter – negativ vor allem auf Medikamente, Alkohol, Nikotin und andere Drogen. Doch auch Infektionen können gefährlich sein – Toxoplasmose etwa, aber auch Röteln oder Zytomegalie.

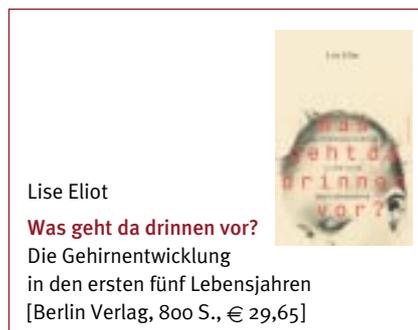
Nach der Geburt profitiert die Hirnentwicklung des Kindes ebenfalls von einer gesunden Ernährung der Mutter, denn deren Milch ist für das Neugeborene sehr wichtig. Aber auch akustische Reize prägen das Kind. Die neuronalen Strukturen für den Gehörsinn entwickeln sich noch in der Gebärmutter und sind lange vor der Geburt funktionsfähig. So kommt es, dass schon das ungeborene Kind „Vorlieben“ entwickelt – wobei die Stimme der Mutter an erster Stelle steht und nicht etwa die Musik-

richtung, die sie am liebsten hört. Alles, was ein Kind vom dritten Schwangerschaftsdrittel an hört, prägt die Entwicklung seines Gehirns, insbesondere die Verschaltung der Neuronen. Und diese ist immerhin für die Ausprägung von Gefühlen und Sprache maßgeblich.

ELIOTS FRAGE „WAS GEHT DA DRINNEN VOR?“ schließt auch die motorischen Leistungen von Kleinkindern ein. Es ist erstaunlich, welche komplexen Vorgänge sich bereits hinter einfachen Handlungen verbergen. Wie „erzeugt“ das Gehirn überhaupt eine Körperbewegung? Die motorische Entwicklung folgt offenbar einem genetisch recht genau festgelegten Schema: Selbst wenn ein Kind noch so viel „trainiert“, setzt manche Motorik doch erst dann ein, wenn Gehirn und Muskeln „reif“ sind. Die entsprechenden Phasen lassen sich zwar in gewissem Maße vorhersagen, sind aber ebenfalls mitbestimmt durch die frühkindlichen emotionalen Erfahrungen.

Mit ihrer eigenen Begeisterung für die Neurobiologie des Gehirns steckt Eliot ihre Leser förmlich an. In diesem Sinne wirkt das schöne Buch kaum minder stimulierend als eine kindgerechte Umwelt auf einen Säugling – es lädt ein, mit eigenen Augen zu beobachten, wie sich der Geist eines Kindes entwickelt, auf Reize reagiert und wie Erfahrungen seine Entwicklung entscheidend mit prägen.

DR. BETTINA PABEL ist freie Wissenschaftsjournalistin in Hannover.



Zwischen den Zeilen

Ein Ratgeber zum Thema
 Lese-Rechtschreibstörungen

VON BURKHART FISCHER

LESEN UND SCHREIBEN gehören zu den ganz großen kulturellen Errungenschaften der Menschheitsentwicklung. Aber erst seit etwa 200 Jahren gibt es in Deutschland eine allgemeine Schulpflicht mit dem Ziel, dass alle Bürger Lesen und Schreiben lernen. Seit Anfang des 20. Jahrhunderts weiß man allerdings auch, dass es Menschen gibt, die sich die Schriftsprache überhaupt nicht oder nur sehr unvollständig aneignen können. Die Erforschung dieses Phänomens hat zu verschiedenen und teils widersprüchlichen Ergebnissen geführt. In den letzten Jahren häufen sich zudem die Fälle von Kindern mit Lese-Rechtschreibstörungen signifikant; die entsprechenden wissenschaftlichen Veröffentlichungen sind schon jetzt fast unüberschaubar.

In diese Situation hinein entlässt Reinhard Werth sein Buch „Legasthenie und andere Lesestörungen“. Es richtet sich an Laien und Betroffene, die selbst keine Kenntnisse von den Lese- und Schreibprozessen haben und insbesondere die komplexen Hirnfunktionen nicht kennen, die das Erlernen und Beherrschen einer buchstabenbasierten Schriftsprache überhaupt erst ermöglichen.

WERTH BEHANDELT DIE WAHRNEHMUNGSFUNKTIONEN des Sehens und die Rolle der Aufmerksamkeit sowie die Bedeutung des Gedächtnisses. Zu den Lesestörungen, die er in seine Ausführungen einbezieht, gehören neben Legasthenie unter anderem Neglekt und Hemianopsie. Besonders eingehend behandelt er Störungen durch falsche Augenbewegungen – ein Phänomen, das in jüngster Zeit von der Forschung immer stärker beachtet wurde und zu dem es mittlerweile umfangreiche Untersuchungen gibt. Die Rolle des Hörens bei Lese- und Sprachstörungen wird ebenfalls aufgegriffen.

Werth erklärt, wie eine schlechte Schreibleistung durchaus an eine schlechte Leseleistung gekoppelt sein kann und dass es deshalb sinnvoll erscheint, das Lesen zu verbessern, um

- | | | |
|--|---|---|
| <p>1. Christian Moullec
Mit den wilden Gänsen fliegen
Franckh-Kosmos / 121 S. / € 30,62 23 Punkte</p> <p>2. Joachim Bublath
Chaos im Universum
Droemer Knauer / 231 S. / € 25,89 23 Punkte</p> <p>3. Friedrich Naumann
Vom Abakus zum Internet
Die Geschichte der Informatik
Primus / 287 S. / € 30,16 23 Punkte</p> <p>4. David Burnie
Tiere
Die große Bildenzyklopädie
Dorling Kindersley/624 S./€ 50,11 23 Punkte</p> | <p>5. J.P. McEvoy
Sonnenfinsternis
Die Geschichte eines Aufsehen erregenden Phänomens
Berlin-Verlag / 255 S. / € 19,43 22 Punkte</p> <p>6. Robin Marantz Henig
Der Mönch im Garten
Die Geschichte des Gregor Mendel und die Entdeckung der Genetik
Argon / 374 S. / € 20,41 21 Punkte</p> <p>7. Duncan Steel
Zielscheibe Erde
Wie Asteroiden und Kometen unseren Planeten bedrohen
Franckh-Kosmos / 160 S. / € 20,41 20 Punkte</p> | <p>8. Ian Wilmut, Keith Campbell, Colin Tudge
Dolly
Der Aufbruch ins biotechnische Zeitalter
Hanser / 384 S. / € 25,46 20 Punkte</p> <p>9. Norbert Borrmann
Frankenstein und die Zukunft des künstlichen Menschen
Diederichs / 368 S. / € 20,50 20 Punkte</p> <p>10. Marc D. Hauser
Wilde Intelligenz
Was Tiere wirklich denken
C.H.Beck / 378 S. / € 24,54 19 Punkte</p> |
|--|---|---|

Alle rezensierten Bücher können Sie bei wissenschaft-online bestellen:

Tel.: 06221/9126-841, Fax: 06221/9126-869, E-Mail: shop@wissenschaft-online.de

www.5x5test.de



darüber das Schreibenlernen zu erleichtern. Überhaupt ist es dem Autor gelungen, die Komplexität der Zusammenhänge deutlich zu machen und einfachen Ursache-Wirkungs-Schlüssen, die bei Legasthenie (wie auch bei anderen Teilleistungsstörungen) nicht angemessen sind, einen Riegel vorzuschieben. Besonders erfreulich: Immer wieder werden praktische Hinweise zur Erkennung spezifischer Leistungsdefizite gegeben.

Alles in allem wird klar, dass eine Lesestörung ein neurobiologisch begründetes Problem darstellt, dem man mit gezieltem Training begegnen sollte, auch wenn noch nicht für alle bekannten Fälle Erfolg versprechende Programme entwickelt werden konnten. Mit Reinhard Werths Buch liegt jetzt ein Ratgeber vor, der sich sowohl für interessierte Eltern und Laien als auch für Lehrer, Erzieher, Ärzte, Psychologen und Therapeuten als hilfreiche Lektüre eignet.

PROF. DR. BURKHART FISCHER ist Hirnforscher und leitet die Arbeitsgruppe Optomotorik sowie das Blicklabor an der Universität Freiburg.



Neuro für alle!

Die Enzyklopädie der Neurowissenschaft ist nun komplett

VON BEAT GÄHWILER

DAS „LEXIKON DER NEUROWISSENSCHAFT“ von Spektrum Akademischer Verlag ist ein außerordentlich gelungenes Nachschlagewerk, das sowohl Neurobiologen wie auch all jene begeistert wird, die sich für dieses zukunftsweisende Fachgebiet interessieren. Es liegt sowohl in Buchform als auch elektronisch auf CD-ROM vor.

Vor allem in der elektronischen Version können die Nutzer die rund 14000 Stichwörter schnell und bequem abfragen. Dabei erhalten sie nicht nur Worterklärungen, sondern auch die englischen Übersetzungen der Begriffe – oft unter Angabe weiterer Synonyme –, etymologische Erläuterungen sowie per Hypertext Verweise auf wichtige Begleitasperte. Wie in der Buchfassung erleichtern 1200 Schwarz-Weiß-Skizzen und -Abbildungen sowie einige exzellente Farbtafeln das Verständnis für die dargestellten Sachverhalte. Die übersichtlich gestalteten Texte sind ergänzt durch wertvolle tabellarische Kurzübersichten und Tabellen. Schade, dass nicht alle Autoren von diesem Hilfsmittel Gebrauch gemacht haben! Die Navigation durch den Text erfolgt problemlos und schnell. Alle Daten und Texte lassen sich einfach kopieren, exportieren und drucken.

Eine Besonderheit des Lexikons sind die hervorragenden und spannenden Essays, in denen namhafte Autoren wichtige Begriffe lehrbuchartig abhandeln und in größere Zusammenhän-

ge stellen. Besonders empfehle ich das ausgezeichnete Vorwort von Wolf Singer, das die Entstehung eines neuen Fachgebietes, der Neurowissenschaft, aus der Perspektive verschiedener Disziplinen aufzeigt und ahnen lässt, welchen Einfluss die Hirnforschung in Zukunft auch auf die Geisteswissenschaften ausüben wird.

Für die potenziellen Käufer des schönen Werkes stellt sich die Frage, ob sie die gedruckten Bände oder aber die elektronische Version vorziehen sollen. Ich habe mit Spaß in den Büchern geblättert und bin dabei auf interessante Übersichtsartikel und Begriffe gestoßen, die ich sonst wohl kaum recherchiert hätte. Regelmäßigen Gebrauch werde ich aus praktischen Gründen allerdings von der elektronischen Version machen.

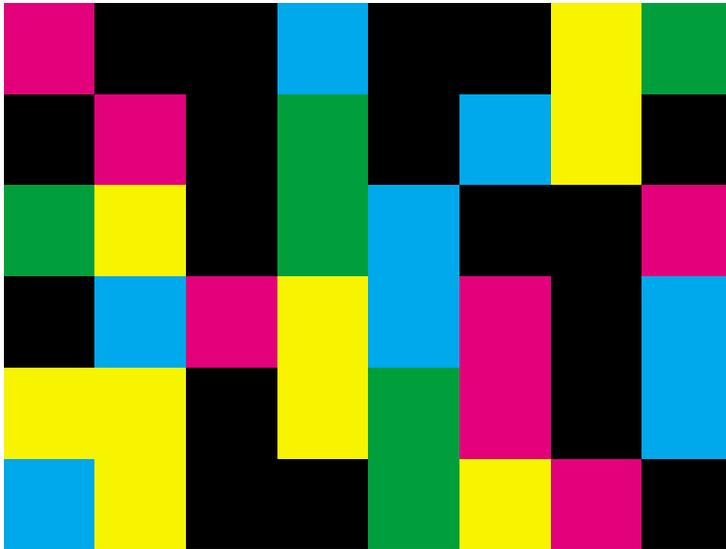
PROF. DR. BEAT GÄHWILER ist Hirnforscher an der Universität Zürich.



Titelthema

KREATIVITÄT UND INTELLIGENZ

Picassos, Mozarts und Einsteins sind selten, oder etwa nicht? Liegen Kreativität und Intelligenz in den Gehirnwindungen verborgen?



DIE SPRACHE DES GEHIRNS

Noch ist die Kommunikation zwischen Nervenzellen nicht verstanden. Doch theoretische Physiker berechnen bereits heute, was ein Neuron alles wissen kann

Aus urheberrechtlichen Gründen können wir Ihnen die Bilder leider nicht online zeigen.

WENN DER BAUCH MIT DEM KOPF DURCHGEHT

Warum uns Abnehmen so schwer fällt



BLICHE UNTER WASSER

An Zebrafischen erforschen Entwicklungsbiologen die genetischen Grundlagen des Sehens

Chefredakteur: Dr. habil. Reinhard Breuer (v.i.S.d.P.)

Stellv. Chefredakteur/Leiter Produktentwicklung: Dr. Carsten Könneker

Redaktion: Dr. Katja Gaschler, Dr. Hartwig Hanser (freiber.)

Ständiger Mitarbeiter: Hermann Englert

Schlussredaktion: Katharina Werle, Christina Peiberg

Bildredaktion: Alice Krüßmann

Art Director/Layout: Karsten Kramarczik

Redaktionsassistentz: Cornelia Schenck, Ursula Wessels

Redaktionsanschrift: Postfach 10 48 40, D-69038 Heidelberg

Tel.: (062 21)91 26-7 11; Fax: (062 21)91 26-7 29

Wissenschaftlicher Beirat:

Prof. Dr. Angela D. Friederici, Max-Planck-Institut für neuropsychologische Forschung, Leipzig

Prof. Dr. Gerhard Roth, Institut für Hirnforschung, Universität Bremen; Hanse-Wissenschafts-Kolleg, Delmenhorst

Prof. Dr. Henning Scheich, Leibniz-Institut für Neurobiologie, Magdeburg

Prof. Dr. Wolf Singer, Max-Planck-Institut für Hirnforschung, Frankfurt/Main

Prof. Dr. Dr. h.c. Wolfgang Wahlster, Computer Science Department, Universität des Saarlandes; Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz, Saarbrücken

Herstellung: Klaus Mohr, Tel.: (062 21)91 2-7 30

Marketing/Vertrieb: Annette Baumbusch, Anke Walter, Tel.: (062 21)91 2-7 41 /-7 44; E-Mail: marketing@spektrum.com

Übersetzer: An diesem Heft wirkten mit: Petra Kaiser, Christine Scholtyssek, Stefanie Scholtyssek

Verlag: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Postfach 10 48 40, D-69038 Heidelberg

Hausanschrift: Slevogtstraße 3-5, D-69126 Heidelberg, Tel.: (062 21)91 26-6 00, Fax: (062 21)91 26-7 51

Geschäftsleitung: Dean Sanderson, Markus Bossle

Leser-Service: Marianne Blume, Helga Emmerich, Ute Park; Tel.: (062 21)91 26-7 43, E-Mail: marketing@spektrum.com

Vertrieb/Abonnementverwaltung: Spektrum der Wissenschaft, Boschstraße 12, D-69469 Weinheim, Tel.: (062 01)60 61 50, Fax: (062 01)60 61 94

Bezugspreise: Einzelheft: € 8,90 (Einführungspreis: € 7,90/sfr 15,40), Jahresabonnement Inland (4 Ausgaben): € 29,60, Jahresabonnement Ausland: € 31,60, Jahresabonnement Studenten Inland (gegen Studiennachweis): € 25,60, Jahresabonnement Studenten Ausland (gegen Studiennachweis): € 27,60. Zahlung sofort nach Rechnungserhalt. Konten: Deutsche Bank, Weinheim, 58 36 43 202 (BLZ 670 700 10); Postbank Karlsruhe 13 34 72 759 (BLZ 660 100 75). Die Mitglieder des Vereins zur Förderung des menschlichen Gehirns e.V. sowie von Mensa in Deutschland e.V. erhalten die Zeitschrift Gehirn & Geist zum gesonderten Mitgliedsbezugspreis.

Anzeigen/Druckunterlagen: top-ad Bernd Beutel, Susanne Beutel, Hammelbächer Straße 30, D-69469 Weinheim, Frachtbriefvermerk: „Gehirn & Geist, Heft Nr. ...“ Tel.: (062 01)18 59 08, Fax.: (062 01)18 59 10, E-Mail: info@top-ad-online.de

Anzeigenpreise: Zur Zeit gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 1 vom Dezember 2001.

Gesamtherstellung: VOD – Vereinigte Offsetdruckereien GmbH, D-69214 Eppelheim

© Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, D-69126 Heidelberg. Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder in eine von Datenverarbeitungsanlagen verwendbare Form oder Sprache übertragen oder übersetzt werden. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

ISSN 1618-8519 ISBN 3-936278-02-4

www.gehirn-und-geist.de