

Liebe Leserinnen, liebe Leser,



das Verhältnis von Geist und Gehirn ist nicht irgendeine wissenschaftliche Streitfrage. Es ist zentral für das menschliche Selbstverständnis. Das Gehirn ist Materie – sie wiegt zwei bis drei Pfund und lässt sich anatomisch wie funktional genauer beschreiben. Der Geist mag mehr oder weniger gewichtig sein, in jedem Fall aber schwerer zu fassen – in der Philosophie wird er häufig mit dem Bewusstsein gleichgesetzt, mit dem bewussten Denken, Fühlen und Wollen. Dass man ohne Gehirn nicht denken kann, ist so richtig wie trivial. Auch ein Auto kann ohne Räder nicht fahren – ein nützlicher Erkenntnisgewinn über Technik und Funktionsweise des Automobils ist mit dieser Feststellung nicht verbunden.

Was sind die materiellen Substrate des Denkens, Fühlens und Wollens? Oder sind es doch nur Korrelate? Die sich darüber wissenschaftlich streiten, kommen aus ganz unterschiedlichen Disziplinen. Auch an unserer Universität. Und genau das ist das Problem, zugleich aber der besondere Reiz der Debatte, wie die Beiträge in dieser Ausgabe unseres Wissenschaftsmagazins widerspiegeln: Wenn sich Philosophen und Religionswissenschaftler, Kogni-

tionspsychologen und Neurobiologen, Mediziner, Natur- und Sozialwissenschaftler, Juristen und Historiker inter- und transdisziplinär an einer gemeinsamen Problemstellung abarbeiten, wird es anregend und kontrovers zugleich.

Wissenschaftliche Disziplinen, die in Abgrenzung voneinander entstanden sind und die sich ihres ureigenen methodischen Repertoires bedienen, kommunizieren miteinander. Gemeinsam und doch arbeitsteilig wird neues Wissen generiert. Natürlich sind es nicht die Fachkulturen, sondern die von ihnen geprägten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die diesen Diskurs führen. Einige herausragende Vertreter unserer Universität haben wir als Autoren gewinnen können. Die Neurowissenschaften sind seit vielen Jahren ein Schwerpunkt unserer Universität. Diese Aktivitäten werden nun im Brain Imaging Center (BIC), im Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS) und im Interdisziplinären Zentrum für Neurowissenschaften (IZN) gebündelt. Auch bei den Templeton Lectures am Institut für religionsphilosophische Forschung (IRF) wird intensiv der interdisziplinäre Austausch zwischen Neurobiologie und Philosophie gepflegt. Gerade unter den neu berufenen, jüngeren Professoren aus ganz unterschiedlichen Disziplinen bilden sich neue Allianzen und Verschaltungen, die in der Art und Schnelligkeit ihrer Vernetzungen durchaus Analogien zum Reifungs- und Organisationsprozess unseres Gehirns nahelegen.

Am Begriff der Willensfreiheit hat sich die Neurodebatte öffentlichkeitswirksam entzündet. In das Selbstverständnis einer empirischen Wissenschaft, wo alles seine Ursachen hat, lässt er sich schwer integrieren. Allen mentalen Vorgängen gehen neuronale Prozesse voraus, sagt der Hirnforscher Wolf Singer. Ist der Mensch deshalb unfrei? Für Marcus Willaschek, den Philosophen, ist Freiheit die Fähigkeit, nach dem Abwägen von Argumenten zu einer Entscheidung zu gelangen. Widerspricht das der Auffassung, dass neuronale Prozesse den kognitiven voran- gehen?

Erwarten Sie also einen gewinnbringenden Zusammenstoß wissenschaftlicher Kulturen: Vom Mentalen, dem Geistigen, als bloßem Epiphänomen des Neuronalen, aber auch von Rationalität, von Ethik und Kultur wird die Rede sein. Und von »Kategorienfehlern«, wenn man sich nicht über die Begrifflichkeit des in Frage stehenden Phänomens verständigen kann.

Lesen Sie die faszinierenden und durchaus polarisierenden Beiträge und lassen Sie sich auf eine spannende Reise zwischen Geist und Gehirn ein.

Ihr

Andreas Gold
Vize-Präsident
der Johann Wolfgang
Goethe-Universität

Nachrichten

- 4 »Ich denke also bin ich Ich?« – Internationale Fachkonferenz

- 4 Dem Gehirn Stotternder zusehen

- 6 Promotionspreis für Duncker

- 6 »Ich sehe was, was Du nicht siehst« – 3. Frankfurter Kinder-Uni

Forschung intensiv

- Kunstgeschichte** 8 Objektive und subjektive Eigenschaften von Leonardos Werk

- Kognitive Hirnforschung** 14 Wie optische Illusionen in der Großhirnrinde entstehen

- Neurokognition** 21 Audio-visuelle Objekterkennung in der Großhirnrinde

- Rechtsphilosophie** 26 Verantwortlich für die eigene Tat? Strafrecht und Schuldbegriff

- Geschichtswissenschaft** 32 »Ich habe es doch selbst erlebt...« Die Tücke des Gedächtnisses

Forschung aktuell

- 38 Funktionelle Bildgebung zeigt, wie wir unsere Aufmerksamkeit lenken

- 41 Warum Zweifel am omnipotenten Erklärungsansatz der Hirnforscher begründet sind

- 45 Bindungsproblem: Synchronisierte Antworten aus der Großhirnrinde

- 48 Funktionelle Bildgebung in der psychiatrischen Forschung

- 51 Der freie Wille – Eine Tatsache des praktischen Lebens

- 54 Wider den überhöhten Geltungsanspruch der Hirnphysiologie

- 58 Gott, Geist, Gehirn – Auf dem Weg zu einer »Biologie des Glaubens«?

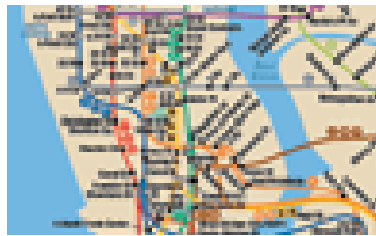
- 62 Neuroinformatiker erforschen, wie Babys lernen, Blicke zu verfolgen

- 65 Wie entwickeln Kinder Bewusstsein?

- 68 Wie formt sich Sprache im Kopf?

- 72 Herausforderungen der Neurochirurgie

Audio-visuelle Objekterkennung in der Großhirnrinde 21



Mit Hilfe unserer Sinne finden wir uns im Alltag zurecht. Wir erkennen Objekte unserer Umwelt zu meist problemlos und rasch, ohne die zugrundeliegenden Verarbeitungsprozesse in unserem Nervensystem zu bemerken. Für die Wahrnehmung eines bellenden Hundes etwa müssen zumindest eingehende

Daten so verschiedener Sinnessysteme wie Sehen und Hören im Gehirn parallel analysiert werden. Wie und wo aber werden die Teilergebnisse der neuronalen Verarbeitung wieder zu einer einheitlichen Wahrnehmung »zusammengebunden«? Neurokognitionsforscher im Team von Prof. Dr. Jochen Kaiser am Institut für medizinische Psychologie untersuchen mit modernen Methoden Verarbeitungspfade des visuellen und auditorischen Systems in der Großhirnrinde.

»Ich habe es doch selbst erlebt« – Geschichtswissenschaft und Tücke des Gedächtnisses 32

Unser Gedächtnis ist ein notorischer Betrüger. Es moduliert und verformt unablässig unsere Erinnerungen und gaukelt uns Wirklichkeiten vor, die so nie geschehen sind. Doch erst die Erinnerung formt aus der Fülle wahrgenommener Einzelheiten ein sinnvolles Ganzes. Historiker sind auf Gedächtniszeugnisse angewiesen, vor dem Hintergrund der psychologischen und neurologischen Forschungsergebnisse sollten sie ihre Methodik der Quellenbearbeitung weiterentwickeln. Dr. Johannes Fried, Professor für Mittelalterliche Geschichte, plädiert für eine Kooperation mit den Kognitionswissenschaftlern.



Unser Gedächtnis ist ein notorischer Betrüger. Es moduliert und verformt unablässig unsere Erinnerungen und gaukelt uns Wirklichkeiten vor, die so nie geschehen sind. Doch erst die Erinnerung formt aus der Fülle wahrgenommener Einzelheiten ein sinnvolles Ganzes. Historiker sind auf Gedächtniszeugnisse angewiesen, vor dem Hintergrund der psychologischen und neurologischen Forschungsergebnisse sollten sie ihre Methodik der Quellenbearbeitung weiterentwickeln. Dr. Johannes Fried, Professor für Mittelalterliche Geschichte, plädiert für eine Kooperation mit den Kognitionswissenschaftlern.

Wie wir unsere Aufmerksamkeit lenken 38

Ein Torwart vor dem entscheidenden Torschuss, ein Autofahrer in der fremden Stadt oder ein Studierender in der Vorlesung: Sie alle müssen sich auf die in ihrer konkreten Situation wesentlichen Informationen konzentrieren. Es scheint, dass Aufmerksamkeit wie ein Scheinwerfer zielgerichtet werden kann, um Wichtiges zu erhellen und Störendes auszublenden. Um die zugrunde liegenden neuronalen Verarbeitungsprozesse im Gehirn zu verstehen, nutzen Wissenschaftler die funktionelle Magnetresonanztomografie. Sie fanden heraus, dass Aufmerksamkeit eher wie ein Zoom-Objektiv funktioniert und ihre Verteilung einem »Mexikaner-Hut« gleicht. Dr. Notger Müller von der Arbeitsgruppe Kognitive Neurologie der Universitätsklinik berichtet vom »Überleben im Datendschungel«.



Warum Zweifel am omnipotenten Erklärungsansatz der Hirnforscher begründet sind 41

Eigentlich haben die Protagonisten nur die abgetragenen Mäntel der Philosophie gegen leuchtend weiße Laborkittel getauscht, aber reicht das allein aus, um zu erklären, warum die Thesen der Hirnforscher soviel Aufmerksamkeit erwecken? Der Philosoph Dr. Matthias Vogel setzt sich kritisch und detailliert mit ihren drei Kernthesen auseinander. Er kommt unter anderem zu dem Schluss, dass die Artikulation unseres Selbstverständnisses immer auf Kontraste angewiesen ist, die sich in dieser Kontroverse ausreichend finden lassen.



Funktionelle Bildgebung in der psychiatrischen Forschung 48



Ein Problem der psychiatrischen Diagnosen besteht darin, dass sie allein auf klinischer Beobachtung und Kategorisierung beruhen. Welche Möglichkeiten eröffnen die neuen funktionell bildgebenden Verfahren der Hirnforschung, die ohne Eingriffe am Gehirn und gefahrlos für den Patienten eingesetzt werden können? Prof. Dr. Dr. Henrik Walter und Dr. Susanne Erk von der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie

der Universität berichten über aktuelle Forschungen zu Schizophrenie und Depression. Sie beschreiben die Chancen und Grenzen solcher Verfahren in der Psychiatrie und schildern, wie sich unser Bild vom Gehirn wandelt: von der ehemals unverständlichen »Black Box« zu einer Art »Aquarium«, das den Psychiatern und Hirnforschern immer öfter »Durchblick« gewährt.

Die Welt jenseits der Oszillografen – Ein Streitgespräch 84



Hirnforscher kartieren psychische Funktionen und treiben die Objektivierung des Geistes voran. Philosophen als traditionell »Zuständige« für Geistiges geraten in die Defensive und warnen vor Kategorienfehlern. »Forschung Frankfurt« initiierte ein Streitgespräch, um kontroverse Frankfurter Positionen zu dokumentieren: Prof. Dr. Wolf Singer, Direktor am Max-Planck-Institut für Hirnforschung, streitet für einen illusionslosen Umgang mit Begriffen wie

Willensfreiheit und Bewusstsein. Prof. Dr. Marcus Willaschek, Philosoph an der Johann Wolfgang Goethe-Universität, plädiert für eine gemäßigte Form der Willensfreiheit und unterstreicht die Bedeutung der Rationalität beim Denken und Entscheiden. Geist oder Gehirn? Auf die Perspektive kommt es an.



Perspektiven

Im Fokus der Hirnforschung: Das Brain Imaging Center	76
Ausgewählte Methoden der Hirnforschung im Überblick	78
Das Gehirn im Überblick	79
»Durch Methodenkombination ein Forschungszentrum erster Güte«	80
»So sieht also mein Gehirn aus...« Expedition ins »Oberstübchen«	81
Ein Streitgespräch zwischen dem Hirnforscher Wolf Singer und dem Philosophen Marcus Willaschek	84
Vom Unfug des gefesselten Willens – Ansichten eines Arztes	91
Wissen vernetzen: Das Frankfurter Institute for Advanced Studies (FIAS)	95

Gute Bücher

Vermessung der zerebralen Utopie – Hirnforschung und Willensfreiheit	98
Schattierungen der Freiheit – Henrik Walters Theorie der Willensfreiheit	99
Willensfreiheit als Selbstbestimmung – Michael Pauens Theorie der Freiheit	100
Benjamin Libet: Wie das Gehirn Bewusstsein erzeugt	101
Mut zur Lücke – John Searles Essay über Freiheit und Neurobiologie	102
Christof Koch: Bewusstsein aus neurobiologischer Sicht	103
Johannes Fried: Memorik als Herausforderung für die Geschichtswissenschaft	104
»Es rechnet, also bin ich?« Kritisch philosophische Reflexionen	105
»Ich fühl' mich heute so ... bin ich« – Eine Ordnung der Gefühle	106
Gerald Kreft: Geschichte der Neurowissenschaften mit deutsch-jüdischer Historiographie	107
Vorschau/Impressum/Bildnachweis	108

»Ich denke, also bin ich Ich?«

Das Selbst zwischen Neurobiologie, Philosophie und Religion
Internationale Fachkonferenz als Auftakt der »Templeton Lectures«

Die Frage, was denn der Geist sei und wie sich der Geist zum Gehirn verhält, ist eine entscheidende Frage für das menschliche Selbstverständnis und beschäftigt die Menschheitsgeschichte traditionell als Leib-Seele-Problem. Seine gesellschaftliche Relevanz ist nach wie vor enorm, denn schließlich ist es politisch, juristisch und sozial folgenreich, ob man sein Gegenüber als determinierte Biomasse oder als frei handelndes Subjekt ansieht. Auch für religiöse Traditionen spielt dies eine große Rolle und wurde sehr unterschiedlich beantwortet.

Wie lässt sich also das Verhältnis zwischen Neuronenfeuer und einer Philosophie des Geistes verbinden? Oder ist gar der Geist nichts anderes als neurobiologische Aktivität und durch diese vollständig bestimmt? Diese Brisanz dieser Thematik liegt auf der Hand. Die internationale Fachtagung »Ich denke, also bin ich Ich? – Das Selbst zwischen Neurobiologie, Philosophie und Religion«, die vom 15. bis 17. Dezember an der Universität Frankfurt ausgerichtet wird, ist die Auftaktveranstaltung der »Templeton Lectures«, die das Institut für religionsphilosophische Forschung (IRF) der eingeworben hat. Das Ziel der »Templeton Lectures«, die mit zirka 500 000 Dollar dotiert sind, ist es, den interdisziplinären Dialog zwischen Naturwissenschaft, Philosophie und Religion zu intensivieren. Als erster Fellow der »Templeton Lectures« wurde der renom-

mierte Philosoph und Theologe Prof. Dr. Philip Clayton von der Claremont Graduate University (USA) für Mai 2006 verpflichtet, der an der Tagung im Dezember teilnehmen wird. Bekannt wurde Clayton durch seine zahlreichen Veröffentlichungen im Grenzgebiet zwischen Naturwissenschaft, Religion und Philosophie.

Die Konferenz liefert einen Beitrag zum universitären Schwerpunkt »Religion im Dialog« und zeigt, wie wichtig Interdisziplinarität und Internationalität bei gesellschaftlichen Fragen geworden sind. Intention der Konferenz ist es, Fragen nach dem Verhältnis von Geist und Gehirn im interdisziplinären Dialog zu konkretisieren und einen Horizont aufzuzeigen, innerhalb dessen sich Antworten methodisch und inhaltlich abzeichnen können.

Folgende international renommierte Wissenschaftler aus den Gebieten Neurobiologie, Medizin, Philosophie, Psychologie, Religionswissenschaft, Physik und Theologie werden als Referenten an der Tagung teilnehmen: Michael von Brück (Universität München), »Ich denke, also ist kein Ich. Bewusst-Werden im Buddhismus«; Philip Clayton, »Subjektivität ohne Dualismus. Wie über das menschliche Subjekt sprechen, ohne Cartesianer zu werden«; Hans Goller (Universität Innsbruck, Österreich), »Religiöses Erleben und Hirntätigkeit. Eine Auseinandersetzung mit der Neuro-

theologie«; Jürgen Habermas (Universität Frankfurt), »Versuch, den ontologischen Kompatibilismus mit dem epistemologischen Inkompatibilismus zu versöhnen«; Christoph Jäger (University of Aberdeen), »Freiheit für Ulrike Meinhof? Analogieargumente für eine inkompatibilistische Theorie moralischer Verantwortung«; Hans-Dieter Mutschler (Universität Krakau, Polen), »Ist die Welt kausal geschlossen?«; Michael Pauen (Universität Magdeburg), »Das Selbst und seine Gründe. Gibt es einen Konflikt zwischen humaner Praxis und naturwissenschaftlicher Erklärung?«; Günter Rager (Universität Fribourg, Schweiz), »Selbst und Bewusstsein: Grundlagen der Neurowissenschaften«; Louise Röska-Hardy (Universität Frankfurt), »Gehirne im Dialog: Zuschreibungen und das Selbst«; Wolf Singer (Max-Planck-Institut für Hirnforschung, Frankfurt), »Warum postulieren wir in unserem Gehirn einen autonomen Beweger?«; Markus Willaschek (Universität Frankfurt) »Was will ich wirklich? Zum Zusammenhang zwischen Freiheit, Rationalität und praktischer Identität«; sowie Thomas Görnitz, Henrik Walter und andere Wissenschaftler der Universität Frankfurt als Teilnehmer einer abschließenden »Frankfurter Runde«. Die Vorträge von Wolf Singer und Philip Clayton am Abend des 15. und 16. Dezember werden öffentlich sein. ◆

Weitere Informationen zu der Tagung unter: www.TRL-Frankfurt.de

Dem Gehirn Stotternder zusehen

Bildgebende Verfahren zeigen abweichende Aktivierungsmuster

Lange Zeit waren die Ursachen des Stotterns unbekannt. Bei Kleinkindern zwischen zwei und vier Jahren sind lockere Laut- und Wortwiederholungen nichts Ungewöhnliches. In der Mehrzahl der Fälle verschwindet das Stottern in den folgenden Jahren von selbst – bei Mädchen drei- bis viermal häu-

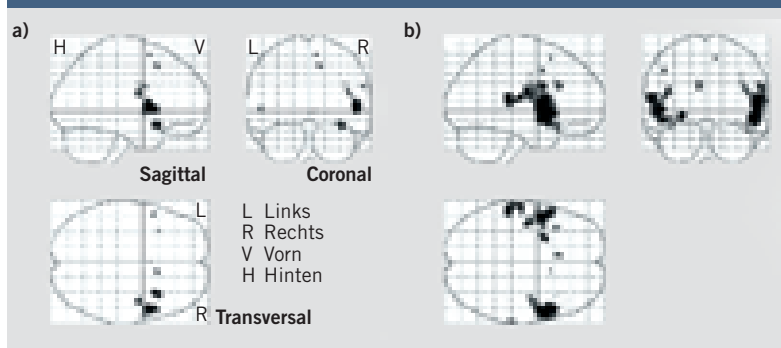
figer als bei Jungen. Wer aber den lästigen Sprachfehler in der Folgezeit nicht verloren hat, gerät unter einen zunehmenden Leidensdruck. Kinder, die vollkommen unbekümmert gestottert haben, entwickeln Furcht, die sich in körperlichen Symptomen ausdrückt: Sie vermeiden Blickkontakt, gestikulieren

oder grimassieren beim Sprechen, erröten oder schwitzen. Diese Reaktionen sind in emotional wichtigen Situationen, etwa bei späteren Vorstellungsgesprächen oder der Partnersuche, besonders ausgeprägt. Viele Stotterer sind als Erwachsene sozial und beruflich benachteiligt und machen im Laufe ihres Lebens

mehrere Therapien mit. Wie wirksam diese Therapien sind und wie sie sich möglicherweise verbessern lassen, untersucht eine Forschergruppe um Privatdozentin Dr. Katrin Neumann in der Klinik für Phoniatrie und Pädaudiologie des Frankfurter Universitätsklinikums mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomografie. Diese Methode erlaubt es, besondere Hirnaktivierungsmuster während des Sprechens zu beobachten. »Wegen des lauten Scanner-Geräuschs konnten die Stotterer ihre eigene Sprache nicht hören. Unter diesen Umständen sprachen sie flüssig«, erklärt Neumann, »das ist ganz wichtig, denn so kommen individuelle Unterschiede nicht zum Tragen. Wenn wir in dieser idealen Situation dennoch Unterschiede zu Nichtstotterern finden, wissen wir, was die Sprachregionen von Stotterern und Nichtstotterern generell unterscheidet.«

Seit den 1970er und 1980er Jahren machte man einen Mix verschiedener Faktoren – genetische Disposition, neurophysiologische Auffälligkeiten und ungünstige Umweltfaktoren – für das Stottern verantwortlich. Tatsächlich konnte mit Hilfe der modernen quantitativen Genetik nachgewiesen werden, dass die Sprachstörung zu 70 Prozent erblich ist. Um den Betroffenen gezielt helfen zu können, haben Hirnforscher in den vergangenen Jahren verstärkt bildgebende Verfahren eingesetzt, mit denen sich die Gehirnaktivität während des Sprechens aufzeichnen lässt. Die Frankfurter Gruppe gehört inzwischen zu den weltweit führenden Experten auf diesem Gebiet. Ihre Ergebnisse, zu denen auch Dr. Christine Preibisch aus der Klinik für Neuroradiologie beitrug, wurden zusammen mit denen einer kanadischen und zweier US-amerikanischen Forschergruppen im Rahmen einer Meta-Analyse ausgewertet. Ziel war es, Schlüsse aus Untersuchungen mit unterschiedlichen funktionellen Bildgebungsverfahren an Stotterern zu ziehen. »Dabei kristallisierte sich heraus, dass bei Stotterern eine spezielle Region des rechten Stirnhirns, das rechte frontale Operculum, besonders stark aktiviert ist«, erklärt die Privatdozentin. Doch dies ist nicht die eigentliche Ursache des Stotterns. Die liegt vermutlich an

Sprachaktivierung bei Stotterern

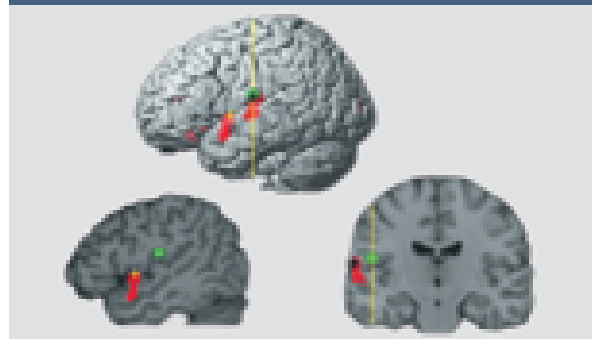


einer gestörten Verknüpfung zwischen den Nervenzellen in der linken vorderen Hirnhälfte. »Wir vermuten, dass diese Defizite der linken Hirnhälfte durch eine Mehraktivierung des rechten frontalen Operculums, das das rechtsseitige Homolog zum links-hemisphärischen Broca-Sprechmotorik-Zentrum ist, kompensiert werden.«

Interessant ist für die Hirnforscher vor allem, wie sich die Aktivierungsmuster durch eine stotter-reduzierende Sprachtherapie verändern. Bei der »Fluency Shaping Therapie« üben die Patienten mit Hilfe eines äußeren Taktgebers einen vorgegebenen Sprechrhythmus ein. Dadurch lässt sich die durcheinander geratene zeitliche Koordination im Gehirn der Stotterer deutlich verbessern. Eine Untersuchung an neun männlichen Stotterern, bei denen sich die Stotterrate aufgrund der Therapie von fast 10 Prozent auf 0,9 Prozent reduziert hatte, brachte ein erstaunliches Ergebnis zu Tage: Im Gegensatz zu nicht stotternden Personen zeigte das Gehirn der Probanden zwar immer noch eine erhöhte Aktivität, aber diese hatte sich inzwischen auf die linke Seite verlegt. Auffällig war, dass sie von Gehirnbereichen in unmittelbarer Nachbarschaft zu den Bereichen mit strukturellen Defiziten ausging. Folglich scheint die Kompensation der gestörten Sprechfunktion effektiver zu sein, wenn es gelingt, die neuronalen Netzwerke in der Nähe des Defektes anzuregen. Wie dies im Einzelnen funktioniert und auf welche Weise sich die Therapie verbessern lässt, wollen Neumann und Dr. Christian Kell aus der Klinik für Neurologie in einer weiteren Studie untersuchen. Insbesondere soll die Aufgabenverteilung zwischen den beiden Hirnhälften überprüft werden. Vieles spricht dafür, dass die linke Hemi-

sphäre bei sprechmelodischen (prosodischen) Aufgaben aktiv wird, die eine linguistisch bedingte Sprechmelodie erfordern, zum Beispiel das Heben der Stimme am Ende einer Frage, während Regionen in beiden Hemisphären für die affektiv-prosodischen Aufgaben zuständig sind, beispielsweise wenn eine Äußerung freudig betont wird. Da eine veränderte Sprechmelodie aber in der Therapie eingesetzt wird, könnte durch mehr Kenntnisse der sprechmelodischen Hirnaktivierungen ein gezielter Einsatz solcher Übungen erfolgen. Außerdem sollen erstmals die möglicherweise unterschiedlichen Kompensationsmechanismen von männlichen und weiblichen Stotterern untersucht werden. Of-

Therapie-Effekte



fenbar ist das weibliche Gehirn stärker bei der spontanen Kompensation von Defiziten, während das männliche Gehirn besser auf Training durch Sprachtherapie reagiert. Und schließlich werden die Hirnaktivierungen von ehemaligen Stotterern untersucht, bei denen sich das Stottern spontan zurückgebildet hat. Wenn diese Aktivierungen sich von denen nicht stotternder Menschen unterscheiden, weisen sie vielleicht auf sehr effektive Kompensationsmechanismen hin, die therapeutisch verwertet werden können. ◆

Stotterer aktivieren während des Sprechens mehr Hirnregionen als nichtstotternde Personen, und zwar in beiden Hemisphären. Nach einer Therapie sind die Aktivierungen noch mehr ausgehend, insbesondere in der linken Hemisphäre.

Die rot markierten Flächen und Kreuze zeigen die Bereiche der linken Gehirnhälfte, die nach einer Stottertherapie vermehrt beim Sprechen aktiviert werden. Sie finden sich in der Nähe von Bereichen (grün), in denen Stotterer strukturelle Defizite aufweisen.

Energie, Bewusstsein und die Entwicklung des EEG

Promotionspreis für Tobias Heinrich Duncker



Der Preisträger: Dr. Tobias Heinrich Duncker promovierte am Zentrum der Psychiatrie an der Frankfurter Universitätsklinik. Derzeit ist er wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Geschichte, Theorie und Ethik der Medizin des Universitätsklinikums Aachen.

Viele methodische Ansätze der heutigen Hirnforschung haben ihren Ursprung in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Damals versuchte man erstmals systematisch, bisher in das Gebiet der Philosophie fallende Fragen mit Hilfe der aufblühenden biomedizinischen Forschung zu beantworten: Wie entsteht das menschliche Bewusstsein? Inwiefern sind unsere Handlungen vorherbestimmt? Und wie werden komplexe Bewusstseinsinhalte im Gehirn repräsentiert? Eine Schlüsselrolle bei dem Versuch einer neurophysiologisch fundierten Beantwortung dieser Fragen spielte die Entwicklung der Elektroenzephalografie (EEG) durch den Jenenser Psychiater und Neurobiologen Hans Berger (1873–1941). Wie viele seiner damaligen Forscherkollegen trieb ihn die philosophisch inspirierte Suche nach der Lösung des Leib-Seele-Problems, wobei er sich bemühte, eine in naturwissenschaftlichen Katego-

rien formulierbare Antwort zu geben. In seiner Dissertation zeigt Tobias Heinrich Duncker, dass der historische Rückblick auf die Entwicklung der Elektroenzephalografie auch zu einer kritischen Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten und Grenzen der heute in den Neurowissenschaften verwendeten bildgebenden Verfahren führen kann. Für seine Arbeit »Energie und Bewusstsein. Untersuchungen zur Psychophysikologie Hans Bergers« wurde Duncker im September mit dem Promotionspreis des Fachbereichs Medizin ausgezeichnet. Der studierte Arzt bewegt sich damit auf der Grenze zwischen theoretischer Neurobiologie und Psychiatriegeschichte.

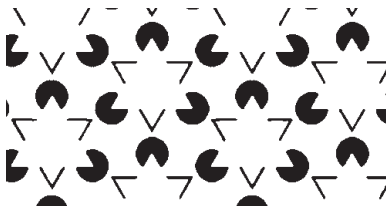
Ein für die medizinhistorische Forschung wichtiges Ergebnis der Arbeit Dunckers ist die Feststellung, dass Berger sein eigentliches Forschungsziel mit der von ihm entwickelten Methode nicht erreichen konnte. Berger war davon ausgegangen, dass Bewusstsein durch die Umwandlung »neuronaler Ener-

gie« in so genannte »psychische Energie« entsteht. Diesen Prozess versuchte er mit Hilfe des EEG im Gehirn zu lokalisieren und an bestimmten Funktionen festzumachen. Er musste jedoch feststellen, dass die unmittelbare psychophysische Aktivität der Großhirnrinde nur als ein einheitlicher Prozess zu begreifen war. So bereicherte er zwar die Hirnforschung um ein bis heute wichtiges Arbeitsinstrument, konnte jedoch die angestrebte physikalisch-reduktionistische Erklärung des menschlichen Bewusstseins nicht finden. Gegen Ende seiner Laufbahn versuchte er darum, dem Leib-Seele-Problem auf andere Weise beizukommen: Er empfahl seinen Kollegen, mit Hilfe des EEG parapsychologische Phänomene, insbesondere die Telepathie, aufzuklären. »Berger ersetzte damit sein frühes psychophysiologisches Projekt durch eine Fokussierung auf interpsychische Phänomene«, fasst Duncker eines der wesentlichen Ergebnisse seiner Arbeit zusammen. ♦

Ich sehe was, was du nicht siehst ...

3. Frankfurter Kinder-Uni zum Thema optische Wahrnehmung

Die Formen gaukeln uns nicht vorhandene schwarze und weiße Dreiecke vor.



Sieht unser Gehirn mehr als unsere Augen?« So lautete eines der fünf Themen, das auf dem Programm der 3. Frankfurter Kinder-Uni stand. Gestellt wurde diese – eher rhetorische – Frage von Prof. Dr. Gerhard Büttner vom Institut für Pädagogische Psychologie. Er befasst sich in seiner Forschung insbesondere damit, wie Kinder lernen und wie man das Lernen fördern kann, und sah sich – wie seine

vier Professoren-Kollegen – bei der Kinder-Uni in einer ungewöhnlichen neuen Rolle: Denn 700 Kinder zwischen acht und zwölf Jahren eine Stunde lang für ein schwieriges Thema zu begeistern, ist eine echte Herausforderung – auch für routinierte Hochschullehrer. Seine mit vielen Experimenten und Beispielen gespickte Vorlesung fesselte die jungen Zuhörer, und Büttner war begeistert – »vor allem von der Unbekümmertheit und Neugier der Kinder«.

Zunächst machte er den jungen Studenten klar, dass wir Gegenstände nicht wirklich sehen, sondern nur die von den Gegenständen reflektierten Lichtstrahlen. Dass Lichtstrahlen ebenso wie ein Ball von ei-

ner festen Oberfläche abprallen und dann von unseren Augen wahrgenommen werden, leuchtete den Kindern sofort ein. Auch dass jeder Betrachter – abhängig von seiner Position im Hörsaal – ein auf dem Pult aufgestelltes Buch anders wahrnimmt, war schnell klar. Sehen ist also auch eine Frage des Blickwinkels. Und so wurde der mit einer Taschenlampe einseitig beleuchtete Kopf des Professors im dunklen Hörsaal mit tosendem Applaus kommentiert.

Unsere Augen können, das wurde den Jungen und Mädchen bewusst, zwar Größe, Form, Farben, Bewegung und Helligkeit wahrnehmen. Sie können diese Informationen aber nicht interpretieren. Dies geschieht ausschließlich im Gehirn, das über Sehnerven und Sehirnrinde mit den Augen verbunden ist. Keiner kann ohne den anderen. Und damit war auch die Frage eines



Kaninchen oder Ente? Ein klassisches Kippbild.

Jungen »Was ist wichtiger? Die Augen oder das Gehirn?« beantwortet. »Es ist wie bei einem Auto – das fährt nicht ohne Räder, aber auch nicht ohne Lenkrad. Wir brauchen beides – Augen und Gehirn – um unsere Umgebung wahrnehmen zu können«, erläuterte Büttner.

Doch unser Gehirn spielt uns beim Sehen so manchen Streich, erfahren die Mädchen und Jungen: Optische Täuschungen, auch wenn man einige schon bestens kennt, sind immer wieder faszinierend. So machten die Kippbilder, bei denen man entweder ein Kaninchen oder eine Ente, einen Saxophonspieler oder das Gesicht einer Frau sieht, eindrucksvoll deutlich, dass Sehen eben nicht gleich Sehen ist. Und dass unser Gehirn deutlich mehr sieht als unsere Augen – beispielsweise Dinge, die gar nicht da sind, wie etwa weiße Dreiecke zwischen schwarzen Teilkreisen und Haken oder einen virtuellen Würfel. Und unmögliche Objekte wie die Reiterin in dem Bild »Die Blancovollmacht« von René Magritte versucht unser Gehirn – vergeblich – in unsere räumliche Vorstellungswelt zu übertragen.

Büttner machte mit den Kindern ein spannendes Experiment: Die Schüler fixierten etwa 30 Sekunden lang einen blauen Kreis und sahen anschließend auf weißem Papier die entsprechende Komplementärfarbe Gelb. Der Grund: Das Auge ist übersättigt. »Der Sehfärbstoff für Blau ist quasi »aufgebraucht«, erläutert Büttner, »und dann sehen wir die »Gegenfarbe.«

Wie wichtig die Umgebung einer optischen Information für unsere Informationsverarbeitung ist, zeigte Büttner an den zwei Worten »DAS OHR«. Nur dass in seiner Darstellung das »A« und das »H« identisch waren, nämlich beide oben offen mit leicht zusammenlaufenden Linien. Die Zuschauer nahmen aber die identischen Buchstaben aufgrund ihrer Umgebung differenziert wahr und konnten selbstverständlich die Worte lesen. Nun hängen aber perspektivisches Sehen und die damit verbundenen optischen Täuschungen auch von unserer Erfahrung ab. Und so wundert es nicht, dass beispielsweise kleine Kinder sich von perspektivischen Spielereien längst nicht so leicht in die Irre führen lassen wie wir Er-

Wie kommt das Loch in die Hand? Die Kinder machten eifrig mit, als es bei der 3. Frankfurter Kinder-Uni um die Frage ging »Sieht mein Gehirn mehr als meine Augen?«



Mit faszinierenden Experimenten zur optischen Wahrnehmung ließ Prof. Dr. Gerhard Büttner die Acht- bis Zwölfjährigen hinter die Kulissen ihrer eigenen Schädeldecke schauen. Insgesamt kamen 8500 Kinder zu den zehn Veranstaltungen zu fünf Themen: Der Paläanthropologe Prof. Dr. Friedemann Schrenk erklärte den Kindern, warum wir alle Afrikaner sind. Was Einstein aus Raum und Zeit gemacht hat, das erfuhren die jungen Studierenden von dem Physiker Prof. Dr. Werner Martienssen. Der Chemiker Prof. Dr. Hans Joachim Bader und sein Team nahmen die jungen Leute mit auf Verbrecherjagd und zeigten ihnen, wie man mit chemischen Methoden dem Täter auf die Spur kommen kann. Die Politikwissenschaftlerin Prof. Dr. Uta Ruppert und ihr Kinder-Uni-Team wagten sich an ein schwieriges Thema: »Warum müssen Kinder Geld verdienen?«; sie vermittelten den Junior-Studierenden ein Gefühl für die Lebenssituationen von arbeitenden Kindern, erläuterten die politischen Zusammenhänge und diskutierten mit ihnen darüber, wie Kinder in Deutschland sich an der Lösung dieser drängenden Probleme beteiligen können.

wachsenen. Wir »wissen« eben, dass ein weiter entfernter Gegenstand zwangsläufig kleiner wahrgenommen wird, als er in Wirklichkeit ist und erliegen damit der Illusion, zwei identisch lange Linien in unterschiedlicher Länge zu sehen. Und selbst wenn wir um die optische Täuschung wissen, sind wir nicht in der Lage, sie zu korrigieren. Kinder haben damit wesentlich weniger Probleme. Genauso wenig wie etwa bestimmte afrikanische Stämme, die in der flachen Savanne in runden Hütten leben und somit keine Erfahrung mit der perspektivischen Sichtweise von Ecken haben. Insgesamt sind Naturvölker deutlich weniger anfällig für optische Täuschungen als wir. Es stimmt also das Kinderspiel »Ich sehe was, was du nicht siehst!« ♦

Anzeige

Spiegelberg:



Antiseptische Ventrikelkatheter

- Antibakteriell
- Antimykotisch
- Antiviral
- Wirksam gegen MRSA
- Keine Resistenzen

Technologie
für
Köpfe

Spiegelberg (GmbH & Co.) KG
Tempowerkring 4
21079 Hamburg

Tel.: 040-790 178-0
Fax: 040-790 178-10
Email: Info@Spiegelberg.de
<http://www.Spiegelberg.de>

»Geistige Dinge, die nicht durch die Sinne gelaufen sind, sind vergeblich ...«

Objektive und subjektive Eigenschaften von Leonardos Werk im Zeitalter der Hirnforschung

von Michael Hoff

Warum die von Leonardo da Vinci gemalte »Mona Lisa« so viele Betrachter fasziniert, hat als eines der größten Rätsel der Kunst jahrzehntelang die Phantasie von Wissenschaftlern, Schriftstellern und Kunstliebhabern beflügelt. In der jüngeren Kunstgeschichte war eine solche Frage allerdings kaum von Interesse. Heute nun beanspruchen Vertreter anderer Disziplinen, die Wirkung solcher Meisterwerke objektiv erklären zu können.

Die Neurobiologin Margaret Livingstone von der Harvard Medical School begründet das Rätselhafte im Lächeln der »Mona Lisa« damit, dass der menschliche Wahrnehmungsapparat zentrale und periphere Formen im Sehfeld mit zwei unterschiedlichen Systemen verarbeitet, die für die Identifizierung



und Lokalisierung von Objekten getrennt verantwortlich sind. Leonardo habe Helligkeit und Dunkelheit im Gesicht der »Mona Lisa« so angeordnet, dass ihr Lächeln am bezwingendsten wirkt, wenn man auf ihre Augen oder die Landschaft im Hintergrund schaut, während sich dieser Eindruck abschwächt, sobald man

Warum beschäftigt das Bildnis einer Florentiner Kaufmannsrau die Phantasie der Betrachter seit Jahrhunderten? Kunsthistoriker erforschen die Hintergründe und Resultate dieser Faszination. Obwohl Künstlerkollegen die Qualitäten des Gemäldes schon bald nachzuzahlen suchten, scheint die »Mona Lisa« dem allgemeinen Publikum noch nicht bei der öffentlichen Ausstellung der königlichen Sammlungen 1797 im Louvre aufgefallen zu sein. (Leonardo da Vinci, Bildnis einer unbekanntenen Dame, wahrscheinlich Lisa del Giocondo, 1503–1506)

direkt auf ihren Mund blickt. Ergänzt wurde dieser Befund durch die beiden Wahrnehmungspsychologen Leonid Kontsevich und Christopher Tyler^{11/}, nach deren Studien eine Manipulation der Mundpartie auf Reproduktionen der »Mona Lisa« den Ausdruck der tatsächlich unverändert gebliebenen oberen Gesichtshälfte zu wandeln scheint. **1** Auch die Malerei der Impressionisten beruht laut Livingstone auf dieser Trennung von direktem Sehen, das Objekte im Sehfeld vor allem über Farbinformationen identifiziert, und dem peripheren Sehen, das mit der Verarbeitung von Helligkeitswerten deren Lage und Bewegung erfasst.

Doch kann auf der Ebene neurophysisch verstandener *lower-level perceptions* tatsächlich erklärt werden, was Kunstwerke als solche auszeichnet? Eine derartige Position vertreten Forscher wie der kalifornische Neuropsychologe Vilayanur S. Ramachandran, der meint, das Gefallen der Betrachter an Kunstwerken sei genauso die Folge neurobiologischer Verschaltungen wie die Reaktion von Möwenbabys, die sich auf eine dem Schnabel der Mutter ähnelnde Anordnung roter Farbpunkte stürzen^{12/}. Als großen Vorzug dieser Ideen sieht ihr Urheber, dass sie – »anders als die unbestimmten Ahnungen von Philosophen und Kunsthistorikern« – experimentell überprüft werden können.

Die Suche nach der Verbindung von Körper und Geist

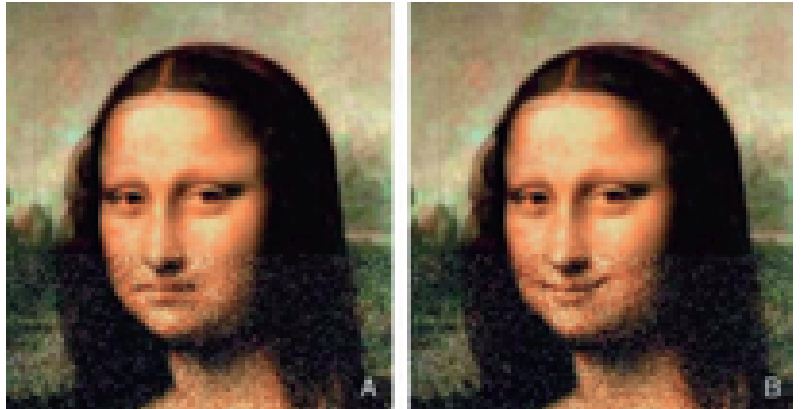
Aus kunsthistorischer Perspektive hat dieser »Vorzug« allerdings keinen Bestand: Wenn ein Künstler an seinem Werk arbeitet, dann ist dies ein ganz singulärer Akt, der in einem Bezug zu den historischen Gegebenheiten seiner Entstehung zu sehen ist; dieser Schaffensakt ist eben kein wiederholbares Experiment wie ein naturwissenschaftlicher Versuch. Auch die Rezeption von Kunstwerken ist immer an die Person und an die Zeit gebunden. Besonders aufschlussreich ist das Beispiel Leonardo da Vincis (1452–1519); denn Leonardo ist nicht nur als Maler berühmt, er wird mit seinen Erkundungen zur Funktion des menschlichen Körpers und Geists auch oft als einer der Ahnen der heutigen Hirnforschung angesehen. Allerdings zog er keineswegs eine direkte Verbindung zwischen physiologischen Strukturen und der Darstellungsleistung der Kunst, wie das einige moderne Naturwissenschaftler tun. Immerhin ging auch Leonardo davon aus, dass alle Vorgänge in der Welt mechanisch erklärbar sind, einschließlich des Menschen, dessen Körper er als die wunderbarste aller Maschinen auffasste.

Bekanntlich wollte Leonardo die Kunst dadurch erneuern, dass er die Tätigkeit des Malers aus der Erkenntnis der Gesetze der Natur hervorgehen ließ.

2 Auf einem Studienblatt zur Funktion des Herzens zeichnet Leonardo einen Ausschnitt der Herzscheidewand und schreibt in seiner typischen Spiegelschrift: »So muss sie gezeichnet werden, damit sie verstanden werden kann.« Doch diese Poren existieren gar nicht, sondern folgen aus der medizinischen Lehre der Antike. Der römische Mediziner Galen meinte, beim Hin- und Herfließen würde ein Teil des Bluts durch die Scheidewand in die linke Herzkammer »geschwitzt« und mit dieser »Subtilisierung« der *spiritus vitalis* erzeugt, der in den Arterien verteilt wird. Über diese Auffassung kam Leonardo zeitlebens nicht hinaus, obwohl er die Funktion der Herzklappen genau untersucht hatte.

Neben seinem mechanistischen Weltbild gründete er dies auf die Überzeugung, dass sich der Mensch mit Hilfe der sinnlich vermittelten Erfahrung selbst zu verstehen vermag: »Erfahrung, der Übersetzer zwischen der formenden Natur und der menschlichen Art, lehrt, wie die Natur in sterblichen Wesen arbeitet.«^{14/}

Das bevorzugte Organ dieser Erfahrung war für Leonardo das Auge, wovon seine erstaunlichen anatomischen Studien Zeugnis geben. Doch auch Leonardos scharfer Beobachtungssinn konnte sich täuschen: So versah er in einer Detailzeichnung die Herzscheidewand



mit einer Reihe von Poren, die in Wirklichkeit nicht existieren. **2** Damit folgte Leonardo der alten galenischen Auffassung, wonach der im Herzen gebildete *spiritus vitalis* (der auf Wärme basiert) durch jene Poren ins Blut übergeht. Anders, als sein eigenes Postulat suggeriert, musste auch Leonardo bei seiner Wahrheitssuche von der gängigen Lehrmeinung ausgehen. Man könnte bei dieser Darstellungsweise von einem einfachen Modus der Repräsentation sprechen, deren (scheinbare) Richtigkeit sich im *Wiedererkennen* propositional gefasster Inhalte begründet.

Viel besser entfalteteten sich Leonardos Fähigkeiten, wenn er beispielsweise in dem heute als »Explosionsansicht« bekannten Verfahren einen mechanischen Sachverhalt anschaulich machte, seien es nun die menschliche Wirbelsäule **3** oder ein mechanisches Getriebe. Die in Einzelemente zerlegte und aus verschiedenen Positionen beobachtete Darstellung ermöglichte es, sich die mechanischen Abläufe vorzustellen und zugleich ihre Gründe zu verstehen. Die Zeichnung wird so zum In-

1 Bemerken Sie auch, wie sich die Stirnpartien der »traurigen« (A) und der »fröhlichen« Mona Lisa (B) scheinbar verändern? Naturwissenschaftler meinen, dass die Wirkung von Kunstwerken experimentell nachvollzogen und objektiv erklärt werden kann.





3 Leonardos neue Darstellungsmethode macht Zusammenhänge anschaulich: Hier gab Leonardo durch »das Zeichnen von verschiedenen Seiten ein volles und wahres Wissen« vom Aufbau der Halswirbel.

strument des *Begreifens*, indem sie dem Verstand Zusammenhänge anschaulich macht, die der einfachen Wahrnehmung verborgen bleiben. Indem Leonardo seine Imagination als Zeichner und Autor in wiederholten Untersuchungen und fortgesetztem Nachdenken zu immer neuer Tätigkeit antrieb, ersann er erstaunliche Apparate und gewann in vielen Bereichen immer bessere Einsichten.

Leonardos Erkenntnisdrang richtete sich auch auf diese imaginativen Vorgänge selbst. Immer wieder suchte er nach einem Zugang zu jenen unsichtbaren Kräften, die man von außen bloß an ihren Wirkungen auf Körper erkennt. Da sowohl die mit den Muskeln verbundenen Nerven als auch die von den Sinnesorganen herkommenden Bahnen dort endeten, musste im Gehirn die zentrale Schaltstelle zu finden sein. Schon früh modifizierte Leonardo das damals gängige Dreikammermodell des Hirns: Er reservierte die vordere Hirnkammer (von ihm *imprensiva* genannt) für die Aufgabe, die vom Sehsinn gelieferten Bilder dem Geist einzuprägen. 4 Diese Sinnesimpulse sollten weiter in die mittlere Kammer gelangen, wo sie vom *sensu commune* unter Rückgriff auf das Gedächtnis (das man in der hinteren Hirnkammer verortete) beurteilt und damit dem bewussten Er-

4 Lehrbuchartige Präzision: Um 1489 meinte Leonardo, den Sitz der Seele im Schädelinneren geometrisch bestimmen zu können.

leben zugänglich werden. Hier sollten auch die mechanischen Bewegungen des Körpers ausgelöst werden, da in diesem Bereich die motorischen Nerven ansetzen. Damit gab es einen konkreten Ort, an dem körperliche Bewegungen aus »spirituellen« Kräften erzeugt werden, von deren körperloser Existenz auch Leonardo ausging.

Um 1489 zeichnete Leonardo neuartige Ansichten des aufgeschnittenen Schädels, die noch heute Illustrationen medizinischer Lehrbücher als Vorbild dienen. 4 Voller Begeisterung über die Präzision seiner Studien meinte er, dass man anhand der Proportionsverhältnisse den genauen Sitz des *sensu commune* ermitteln und so die Seele lokalisieren könne. Später stellte Leonardo bei Hirnsektionen mit einem geschickten Wachsaustrichverfahren die enorme Ausdehnung und die doppelte Anlage der vorderen Hirnkammern fest. Seine Überzeugung, wonach das Auge die gesamte Wirklichkeit aufzunehmen und der rationalen Einsicht zu vermitteln vermag, schien sich hier auch materiell zu bestätigen.

Doch je genauer Leonardo die menschliche Anatomie verstand, desto größere Schwierigkeiten bekam er mit seinem Modell: So war es nicht möglich, die Eintrittsstellen der einzelnen Nerven ins Hirn mit dem schematischen Kammermodell sinnvoll zu verbinden. 5 Auffällig ist auch, dass in Leonardos anatomischen Studien die Darstellung von Gehirn und Sinnesorganen kaum jemals mit der Darstellung der Muskeln oder inneren Organe verbunden ist. In einigen Notizen aus der Zeit um 1508 verfolgte Leonardo den Zusammenhang geistiger und körperlicher Prozesse jedoch anhand des Vagusnerves, der in seiner Doppelfunktion vom urteilgebenden *sensu commune* ausgehend die »spirituellen Kräfte« an die Organe übertragen und diese Zentralinstanz zugleich mit der im Herzen erzeugten »vitalen Energie« versorgen sollte. 6 Diese anatomische Verbindung von Hirnkammern und Körperorganen, die auf diesem Blatt von Leonardo wohl zum einzigen Mal

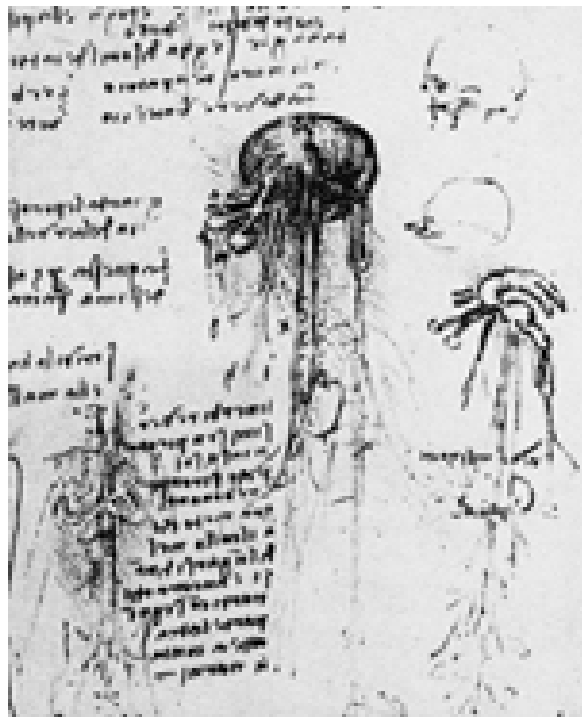
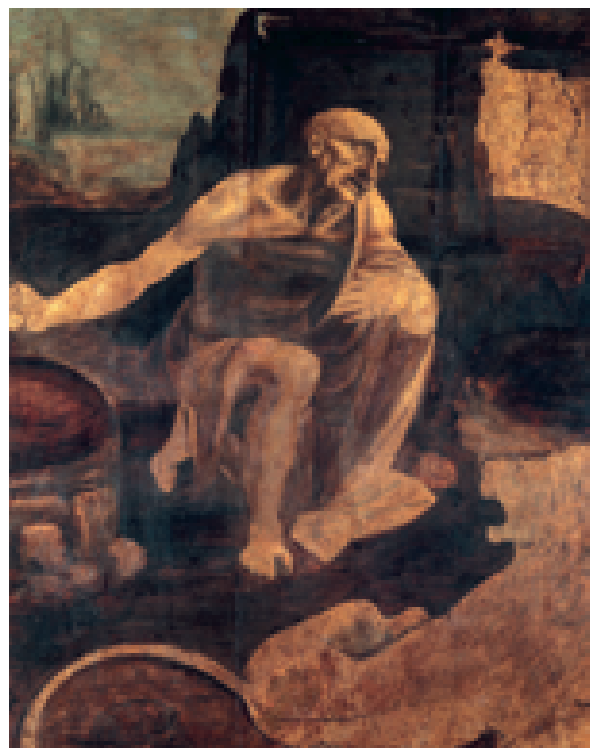


zeichnerisch ausgeführt wird, ist in hohem Maße spekulativ. Dennoch muss er von der Realität dieses Zusammenhangs überzeugt gewesen sein, wenn er unter diesen Skizzen vermerkt: »Geistige Dinge, die nicht durch die Sinne gelaufen sind, sind vergeblich und keine Wahrheit geht daraus hervor außer einer schädlichen...«

Für Leonardo galt das Wissen erst dann etwas, wenn es aus der Erfahrung gewonnen war, vom geistigen »Urteil« reflektiert wurde und schließlich in der praktischen Tätigkeit Bestand hatte. Nichts konnte diesem Ideal so sehr entsprechen wie die Arbeit des Malers. Die andauernde Faszinationskraft seiner Werke spricht dafür, dass er mit seiner Auffassung wichtige Aspekte der menschlichen Wahrnehmung berührte, auch wenn es ihm nicht gelang, ein geschlossenes Modell der entsprechenden Abläufe zu entwickeln. Jedenfalls werden nach Leonardos Auffassung die entscheidenden Leistungen der Kunst vom Wahrnehmungs- und Handlungsapparat des Menschen realisiert, und zwar auf eine Weise, die von zentralen Instanzen des eigenen Denkens und Erlebens getragen wird.

Leonardo verbindet als Maler Emotion und Kognition

Auch in Leonardos Gemälden erhielt das Wechselspiel geistiger und körperlicher Vorgänge eine zentrale Bedeutung. Beim unvollendeten »heiligen Hieronymus« (heute in den Vatikanischen Museen, **5**) zeigte Leonardo den Ausdruck des schmerzverzerrten Gesichts mit der Präzision eines Forschers, der verstanden hatte, wo sich die Muskeln um Mund, Augen und Stirn unter der Einwirkung eines heftigen Schmerzes lockern und wo sie sich zusammenziehen. Den Modus des *Begreifens*, der zum Motor seiner Forschungen und zum Axiom der von ihm vertretenen Kunst-Auffassung werden sollte, setzte Leonardo also schon in diesem frühen Gemälde für die Aussage des Bilds ein.



5 Leonardo kam bei seiner Suche nach einer Verbindung von Körper und Geist in Schwierigkeiten, je genauer er die Anatomie verstand: In diesen Skizzen von etwa 1508 passen die Eintrittsstellen der Sinnesnerven und das Kammernmodell des Gehirns nicht zusammen.

Während der unvollendete »Hieronymus« dem geplanten Publikum vielleicht niemals vorgestellt wurde, konnten beim berühmten Mailänder »Abendmahl« **7** schon Leonardos Zeitgenossen die neuen Implikationen seiner Methode erfahren. So wurde mit Erstaunen berichtet, wie der Maler stunden- oder tagelang nichts malte, sondern über die Gestaltung der Figuren nachsann. Und noch während er daran arbeitete, kamen schon Fremde in das Kloster, um sein wunderbares Abendmahl »zu kontemplieren«, wie es in dem Bericht heißt. Was die Betrachter so fesselte, war (und ist) die Übersetzung der biblischen Episode in ein emotionales Drama. Die Intensität der Erregungen ist im Nachhinein

6 Von Leonardo wurde auch religiöse Gesinnung als körperlicher Vorgang aufgefasst: Anders als die symbolischen Verweise auf die *compassio* älterer Heiligenbilder kann man bei Leonardos Hieronymus einen Ablauf von der Wahrnehmung des Kreuzes über die Bewegung des Armes mit dem Stein bis zu dem Schmerz verfolgen, der sich in den Muskeln im Gesicht abzeichnet. (Der heilige Hieronymus, zirka 1485)

leichter zu erfassen als ihr Inhalt. Leonardo verbindet bei einzelnen Figuren die lebensnahe Bewegungsdarstellung mit konventionalisierten Gesten, so dass die zeitgenössischen Betrachter etwa den Jünger, der sich auf der rechten Seite an die Brust fasst, als Vertreter der christlichen Liebe identifizieren konnten. Leonardo fügte aus den Haltungen der Apostel eine gleichzeitig bewegte und geordnete Komposition, in deren Mitte nur Christus beinahe ungerührt sitzt. Dieser Kontrast betonte innerhalb der religiösen Aussage des Bilds seine Rolle als über das irdische Leiden erhabener Erlöser; er hat Beobachter am Anfang des 19. Jahrhunderts jedoch davon überzeugt, dass Leonardo dieser – schon damals sehr schlecht erhaltenen – Figur die Symptome eines »Seelenleidens« eingeschrieben habe.

Zur anhaltenden Faszination dieses Bilds trägt es erheblich bei, dass sich seine Wirkung beim Betrachter auf vielschichtige Weise – von der Wahrnehmung geometrischer Relationen über die Kenntnis von der bevorste-



7 Schon Leonardos Zeitgenossen faszinierte das emotionale Drama von Leonardos »Abendmahl«. Der Mathematiker Luca Pacioli erkannte 1498 in diesem Bild ein »Simulakrum des Heilsbegehrens«. Welche Gefühle mit Bildern konstruiert werden, ist historisch veränderlich. (Refektorium von Santa Maria delle Grazie, Mailand, zirka 1495–1497)

henden Passion bis zu projektiven Zuschreibungen psychologischer Symptome – realisiert. Eine bemerkenswerte Charakterisierung des Eindrucks, den Leonardos Wandbild machte, gab schon 1498 der Mathematiker Luca Pacioli, der in dem gerade fertig gestellten Werk das »köstlichste Simulakrum unseres brennenden Heilsbegehrens« aufscheinen sah. Der mit Leonardo befreundete Franziskaner beschrieb damit nicht nur den Gefühls-Appell der geltenden religiösen Doktrin, sondern erkannte in der Bezeichnung als »Simulakrum« auch klar die Funktion des Bilds als ein effektvolles Instrument zur Konstruktion solcher Gefühle. Heute mögen die Empfindungen der meisten Betrachter einen anderen Gehalt aufweisen; doch Sinne, Gefühle und Verstand dürften durch Leonardos Bild weiterhin in ganz ähnlicher Weise aktiviert werden.

Kunst fordert unterschiedliche Perspektiven

Weitaus weniger scheint sich die Wahrnehmung von Leonardos »Mona Lisa« in den 500 Jahren seit ihrer Entstehung verändert zu haben. Ruft Leonardo mit sei-

ner Technik der Malerei also doch genau jene Mechanismen auf, die heute neurobiologisch erklärt werden? Ob die Kunst Leonardos als neuronaler Ablauf zu fixieren ist, kann aber nicht zuletzt deshalb bezweifelt werden, weil die Wahrnehmungsbedingungen und Reaktionen auf ein Kunstwerk sehr viel komplexer waren und sind, als dies in einem neurobiologischen *setting* abgebildet werden kann.

Wie unterschiedlich man die von der »Mona Lisa« ausgehenden Reize verarbeitete, verdeutlicht die Bandbreite der Rezeptionen, die schon in der Renaissance von der Umwandlung der Porträtfigur in ein Madonnenbild bis zu den erotisierenden Variationen einer »nackten Gioconda« reichen. Die moderne Karriere des Gemäldes profitierte wesentlich von den erotisch-dämonischen Visionen der Kunstschriftsteller des 19. Jahrhunderts, deren Impetus später wiederum von Freud (entsprechend seiner psychoanalytischen Theorie) rationalisiert oder von Duchamp (mit einem über eine Abbildung der »Mona Lisa« gezeichneten Schnurrbart) ironisiert wurde. Die Analyse solcher Rezeptionen kann zeigen, dass die spezifische Auswertung der von Leonardos Gemälde vorgegebenen »Signale« eben auch von den konkreten Umständen der Zeit und dem darin verankerten Befinden der Rezipienten abhängt.

Kunsthistoriker haben erforscht, wie Leonardo an Madonnenbildern entwickelte Darstellungskonventionen für Bildnisse konkreter Personen adaptiert und so eine neue Tradition bürgerlicher Porträts mitbegründet hat. Auch die »Mona Lisa« dürfte 1503 als ein Auftrag des Florentiner Seidenhändlers Francesco del Giocondo für ein Bildnis seiner dritten Ehefrau begonnen worden sein. Allerdings hat Leonardo das Gemälde Jahre später in Mailand überarbeitet und behielt es bis kurz vor seinem Tod in seinem Besitz. Offenbar empfand er den Vorgang des Begreifens, zu dessen Instrument ihm auch dieses Auftragswerk geworden war, als noch nicht beendet.

Wenn man die nachhaltige Faszination und Wirkung solcher Kunstwerke wie der »Mona Lisa« heute verstehen will, dann dürfte klar sein, dass man über die Ebene neurologischer *low-level perceptions* hinausgehen muss. Vielleicht wäre ein geeigneter Fokus gerade jener Vorgang des *Begreifens*, bei dem Leonardo wohl als erster den konstruktiven Anteil von Bildern ans Licht gebracht hat und an dem neurobiologische Prozesse unterschiedlicher Organisationsstufen ebenso beteiligt sind wie die kulturellen Bedingungen und Resultate ihrer Entfaltung.

Tatsächlich gibt es dafür bereits einige Anknüpfungspunkte: So hält der Londoner Neurobiologe Semir Zeki die vom Hirn stets vollzogene »Suche nach dem Wesentlichen« für die Grundlage des künstlerischen Strebens und der ästhetischen Errungenschaften etwa von Michelangelo, Vermeer oder Cézanne. Interessant ist für Kunsthistoriker an dieser neurobiologischen Beschreibung eines in der Kunsttheorie altbekannten Postulats nicht die Reduktion auf einen biologischen Mechanismus, sondern die Betonung eines prozesshaften Ver-

Der Autor



Michael Hoff, 35, war Stipendiat und einer der Koordinatoren des Graduiertenkollegs »Psychische Energien bildender Kunst«. In seiner Dissertation über Christusbilder im Umfeld der Dominikaner-Observanten in Florenz – betreut von Prof. Dr. Alessandro Nova und ausgezeichnet mit dem Cellini-Preis 2004 – untersuchte er die Bedeutung religiöser Affektvorstellungen für die Herausbildung neuer Darstellungskonventionen der Malerei um 1500. Im Anschluss daran verfolgt er die bisher unbekanntenen Verflechtungen Leonardos in diesen diskursiven Zusammenhang. Seit Anfang Oktober ist er Assistent am Institut für Europäische Kunstgeschichte der Universität Heidelberg.

Kunstgeschichte in Bewegung: »Emotionen in der Kunst«

Es war zunächst wissenschaftliches Neuland, das 1996 mit dem Graduiertenkolleg »Psychische Energien bildender Kunst« betreten wurde: Unter Rückgriff auf psychoanalytische und neurophysiologische Erkenntnisse sollten das Ausdruckspotenzial der künstlerischen Mittel und die von den Kunstwerken vermittelten psychischen Wechselbeziehungen zwischen Künstler und Betrachter in der kunsthistorischen Forschung berücksichtigt werden. Mitte der 1990er Jahre hatte der inzwischen emeritierte Kunsthistoriker Prof. Dr. Klaus Herding die Initiative für dieses innovative Forschungskolleg am Kunstgeschichtlichen Institut der Johann Wolfgang Goethe-Universität ergriffen. Ansätze einer kunsthistorischen Emotionsforschung finden inzwischen über die engeren Fachgrenzen hinaus offene Ohren. Das ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, dass die Kunsthistoriker eng mit Forschungseinrichtungen wie dem Sigmund-Freud-Institut, dem Max-Planck-Institut für Hirnforschung und dem Institut zur Erforschung der Frühen Neuzeit kooperieren, aber auch ausländische Gastwissenschaftler und -wissenschaftlerinnen nach Frankfurt geholt haben.

Während der neunjährigen Laufzeit des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Graduiertenkollegs haben mehr als 50 Kollegiaten und Kollegiatinnen mit ihren Promotions- und Habilitationsvorhaben diese Forschungsperspektiven in der gesamten Breite der Kunstgeschichte entfaltet: Von neuen Thesen zu einer pathognomischen Bestimmung des Figureschmucks an der Kathedrale von Reims bis zu wahrnehmungspsychologisch fundierten Analysen von Werken des zeitgenössischen Videokünst-

lers Bill Viola reicht das Spektrum der bearbeiteten Themen. Auch literatur-, film- und musikgeschichtliche Arbeiten profitierten von der interdisziplinären Arbeit des Kollegs, und neue methodische Perspektiven wie die Gender-Forschung fanden hier eine fruchtbare wissenschaftliche Basis.

Derzeit endet nach Erreichen der Förderungshöchstdauer des Graduiertenkollegs die Laufzeit der letzten Stipendien. Nach zahlreichen Dissertationen und Tagungsbänden werden in Kürze noch ein Begriffslexikon zur interdisziplinären Verständigung von Kunstgeschichte und Psychoanalyse sowie ein Sammelband mit den Beiträgen der großen Abschlussveranstaltung des Graduiertenkollegs erscheinen, bei der sich unter dem Titel »Emotionen in Nahtsicht« im Oktober 2004 Kunsthistoriker, Philosophen und Neurobiologen auch kontrovers mit Darstellungsstrategien und Übertragungswegen von Emotionen in bildender Kunst und visuellen Medien befasst hatten. Mehrere Arbeitsgruppen und Projekte führen die Forschungen in diesem Bereich weiter. Projekte und Initiativen haben sich mit den ehemaligen Stipendiaten über das Kunstgeschichtliche Institut hinaus weiterentwickelt und verselbständigt. Die Auseinandersetzung mit »Emotionen in der Kunst« hat seit kurzem Hochkonjunktur. Im Frankfurter Institut gibt es weiterhin den Forschungsschwerpunkt »Historische Emotionsforschung«, dessen Teilprojekte zurzeit aktualisiert wird.

Dr. Heike Hambrock, Projektkoordinatorin im Graduiertenkolleg und anschließend wissenschaftliche Mitarbeiterin am Kunstgeschichtlichen Institut der Universität Frankfurt (1999–2004).

laufs, für den man Entsprechungen in der durch Skizzen und Varianten dokumentierten Genese künstlerischer Gestaltungen finden dürfte und der aus dem konkreten historischen Kontext zu erklären ist. Einen nüchternen Zugang bietet – nachdem diese emotionalen Aspekte der Kunst lange romantisiert wurden und dann im Gegenzug in den Hintergrund gerieten – die Emotionsforschung, in der die psychologischen und psychoanalytischen Traditionen durch neurobiologische Erkenntnisse zu mentalen Selbstorganisationsprozessen (etwa von Antonio Damasio und Joseph LeDoux) neue Impulse erhalten haben und zu deren Erweiterung und historischer Fundierung die Kunstgeschichte reiches Material beitragen kann. Allein aus den Beobachtungen dazu, wie Künstler innerhalb ihres historischen Kontextes auf jeweils spezifische Weise die wohl immer wirksame Spannung zwischen körperlichen und geistigen Vorgängen in ihren Werken umsetzen, würde sich eine faszinierende Geschichte der Kunst schreiben lassen. In einer solchen Kunstgeschichtsforschung würden religiöse Vorgaben, Absichten des Auftraggebers oder kunsttheoretische Postulate nicht als kausale Ursache künstlerischer Gestaltungen gelten, sondern als genau analysierbare Teile kultureller Prozesse, in die über die Vorgänge (bewusster oder unbewusster) mentaler Verarbeitung auch emotionale Impulse eingehen.

An Beispielen wie dem Werk Leonardos kann die Kunstgeschichte den Naturwissenschaften zeigen, wie

das Empfinden von einer als Schönheit bezeichneten Qualität mit den als Kunst rezipierten Artefakten nicht natürlich verbunden ist, sondern ihnen innerhalb konkreter historischer Situationen zuwächst – und damit nicht zuletzt eine Einsicht bekräftigen, von der aus die Tragweite rein neurobiologischer Erklärungen der Kunst realistischer eingeschätzt werden kann. ◆

Anmerkungen und Literatur

- | | | |
|---|--|--|
| ^{1/1} Vision Research 44/2004 | Frank Fehrenbach (Hrsg.): Leonardo da Vinci: Natur im Übergang. Beiträge zu Wissenschaft, Kunst und Technik. München: Fink 2002. | Seeing. New York: Harry N. Abrams 2002. |
| ^{2/2} Journal of Consciousness Studies 6–7/1999 + 8–9/2000 | Kenneth D. Keele: Leonardo da Vinci's Elements of the Science of man. New York: Academy Press 1983. | Frank Zöllner und Johannes Nathan: Leonardo da Vinci – Leben und Werk – Gemälde und Zeichnungen. Köln: Taschen 2003. |
| ^{3/3} London, Victoria & Albert Museum, Cod. Forster II, fol. 116v | Margaret Livingstone: Vision and Art. The Biology of | Semir Zeki: Inner vision. An Exploration of Art and the Brain. Oxford: Oxford University Press 1999. |
| ^{4/4} Mailand, Biblioteca Ambrosiana, Codex Atlanticus, fol. 86r. | | |



In der Werbung werden scheinbar bewegte Bilder auf Leuchtreklametafeln wirkungsvoll eingesetzt.

Interpret und kreativer Lückenfüller

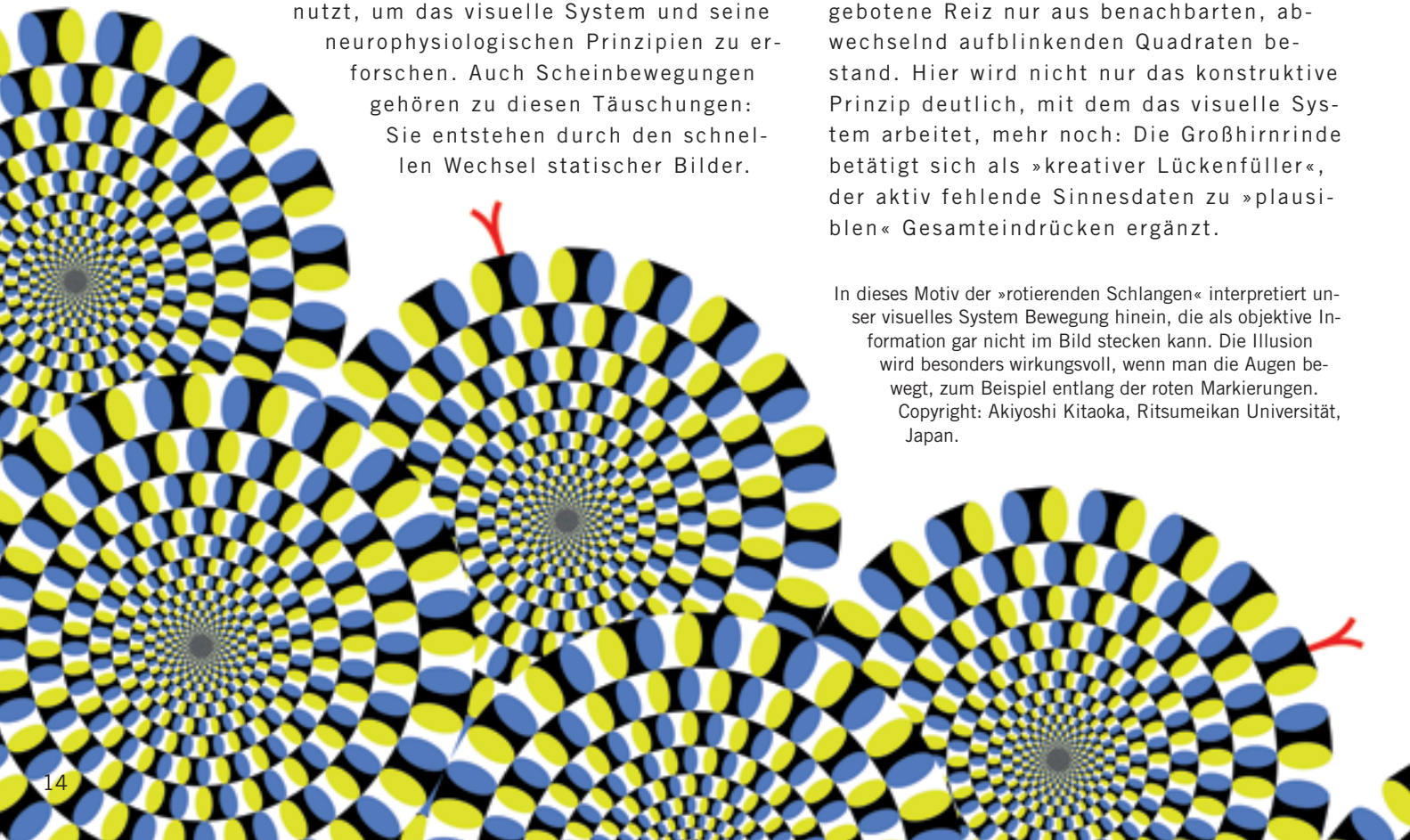
von
Lars Muckli
und
Axel Kohler

Wie optische Illusionen in der Großhirnrinde entstehen

Optische Täuschungen sind nicht nur kuriose Beispiele dafür, wie leicht unser Wahrnehmungsapparat »ausgetrickst« werden kann, sie werden seit langem von Psychologen und Kognitionsforschern genutzt, um das visuelle System und seine neurophysiologischen Prinzipien zu erforschen. Auch Scheinbewegungen gehören zu diesen Täuschungen: Sie entstehen durch den schnellen Wechsel statischer Bilder.

Frankfurter Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Hirnforschung konnten mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomografie zeigen, wie das Gehirn die Illusion einer Bewegung erzeugt, obwohl der gebotene Reiz nur aus benachbarten, abwechselnd aufblinkenden Quadraten bestand. Hier wird nicht nur das konstruktive Prinzip deutlich, mit dem das visuelle System arbeitet, mehr noch: Die Großhirnrinde betätigt sich als »kreativer Lückenfüller«, der aktiv fehlende Sinnesdaten zu »plausiblen« Gesamteindrücken ergänzt.

In dieses Motiv der »rotierenden Schlangen« interpretiert unser visuelles System Bewegung hinein, die als objektive Information gar nicht im Bild stecken kann. Die Illusion wird besonders wirkungsvoll, wenn man die Augen bewegt, zum Beispiel entlang der roten Markierungen.
Copyright: Akiyoshi Kitaoka, Ritsumeikan Universität, Japan.



Die Werbebranche weiß schon lange, wie sie unsere Aufmerksamkeit lenken kann: Zum Beispiel zwingen uns bewegte Bilder auf großen Leuchtreklametafeln zum Hinschauen. Doch eine echte Bewegung findet hier gar nicht statt, vielmehr werden in kurzer Folge neue Lichtquellen hinzu- und vorherige abgeschaltet. Für uns als entfernte Beobachter entsteht damit der Eindruck einer Bewegung. Ebenso wie etwa beim Daumenkino, wo das schnelle Überblättern statischer Bilder scheinbar bewegte Figuren erzeugt. Auch im Kino und im Fernsehen verschmelzen die Einzelbilder so, dass der Zuschauer natürliche Bewegungen wahrnimmt; die Illusion ist hier besonders eindrucksvoll. Dagegen ist sich der Betrachter beim Daumenkino oder bei Neon-Leuchtreklamen der Täuschung unmittelbar bewusst; er sieht zwar die Einzelbilder, kann sich aber dennoch nicht dem bewegten Gesamteindruck entziehen.

Desillusionierende Neurowissenschaft

Solche Scheinbewegungen gehören zur großen Gruppe der optischen Täuschungen [siehe Informationskasten »Optische Täuschungen«, S. 15]. Sie überlisten unser visuelles System und führen uns scheinbar in die Irre. Wir erliegen optischen Täuschungen jedoch nicht, weil unser Sehsystem defizitär ist: Es ist optimal an seine natürliche Umwelt angepasst, und optische Täuschungen stellen zumeist sinnmachende Interpretationen dieses optimierten Wahrnehmungsapparates dar. Aus diesem Grund können die Täuschungen auch helfen, wichtige Prinzipien der Wahrnehmung aufzudecken. Durch Beobachtung schlichter Wahrnehmungspräferenzen bei der Verarbeitung visueller Illusionen definierten bereits um 1920 experimentell arbeitende Psychologen die so genannten Gestaltgesetze ¹¹ [siehe Informationskasten »Gestaltgesetze«, Seite 18]. Fast hundert Jahre später haben die in den Gestaltgesetzen formulierten Wahrnehmungsprinzipien immer noch Bestand; ungelöst ist hingegen, wie diese Prinzipien in unseren Gehirnen wirksam werden.

Wieso sieht unser visuelles System auf diese Art und Weise? Warum erliegen wir immer wieder den gleichen visuellen Trugschlüssen? Wie funktionieren die neuronalen Schaltprinzipien, die in natürlichen Umgebungen so effizient arbeiten können? Der Einsatz visueller Illusionen bei der Untersuchung der neurophysiologischen Grundlagen der Wahrnehmung ist praktisch und ergiebig: Sie ermöglichen eine isolierte Untersuchung der konstruktiven Prinzipien, nach denen unsere Wahrnehmung funktioniert. Visuelle Illusionen lassen sich meist durch wenige einfache Reize hervorrufen, und die Variation einzelner Reizparameter kann die Illusion schnell wieder zum Verschwinden bringen. Diese Eigenschaften sind ideale Voraussetzungen für die experimentelle Erforschung der visuellen Wahrnehmung und der ihr zugrunde liegenden Prozesse.

Moderne Methoden der Neurokognitionsforschung

Wahrnehmungspsychologen wie Max Wertheimer standen vor einem Jahrhundert nur relativ einfache technische Methoden zur Verfügung, um die gesetzmäßigen Zusammenhänge zwischen Reizparametern – wie etwa

Helligkeit oder Farbe – und der Wahrnehmung zu entschlüsseln. Heute, nach Jahrzehnten rasanter technologischer Entwicklung im Bereich der Computer und Medizingeräte, kann sich die Psychologie ein wahres Methodenarsenal mit hochentwickelter Hard- und Software zunutze machen: Um den Funktionsprinzipien des Gehirns die Geheimnisse zu entlocken, stehen »schnelle« Verfahren wie Elektroenzephalogramm (EEG) und transkranielle Magnetstimulation (TMS) ebenso zur Verfügung wie die »langsamen«, aber örtlich hochauflösenden bildgebenden Verfahren, etwa die funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT) [siehe »Ausgewählte Methoden der Hirnforschung im Überblick«, Seite 78].

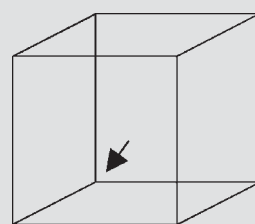
Beispiele für optische Täuschungen

Wichtige Klassen optischer Täuschungen sind Helligkeits-, Tiefen-, und Bewegungsillusionen. Dabei werden mit einfachen Mitteln Wahrnehmungsaspekte vermittelt, die gar nicht im Bild selbst vorhanden sind, sondern durch unser Gehirn hinein interpretiert werden. Manche Illusionen wie der Neckerwürfel sind mehrdeutig und lassen verschiedene Interpretationen zu.

Kontrastillusion



Neckerwürfel



Bewegungsillusion



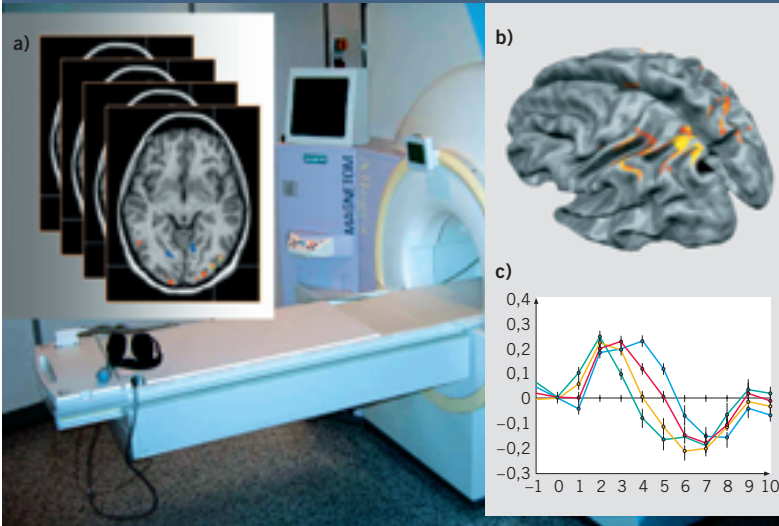
Kontrastillusion: Obwohl der waagrechte Balken überall die gleiche Helligkeit hat, erscheint er links heller als rechts: Der Kontrast zum Hintergrund spielt für unsere Wahrnehmung eine entscheidende Rolle.

Neckerwürfel: Unser Sehsystem interpretiert diese zweidimensionale Figur als dreidimensionalen Würfel. Er ist bistabil: Die mit dem Pfeil gekennzeichnete Ecke kann als hinten- oder vorneliegend gesehen werden.

Bewegungsillusion: Die beiden Ringe scheinen ruckartig in entgegengesetzte Richtungen zu rotieren. Der Eindruck ist am stärksten, wenn man die Ringe nur am Rande wahrnimmt und dabei die Augen bewegt. Lesen Sie zum Beispiel einen darüber oder darunter stehenden Text und versuchen Sie dabei, auf die Bewegung der Ringe zu achten.

Unsere Arbeitsgruppe vom Max-Planck-Institut für Hirnforschung hat am Frankfurter Brain Imaging Center Studien an den dortigen fMRT-Geräten durchgeführt [siehe auch Stefan Kieß »Im Fokus der Frankfurter Hirnforschung: Das Brain Imaging Center«, Seite 76], deren Resultate wichtige Aufschlüsse über die Entstehung von visuellen Illusionen in der Großhirnrinde geben können. Die in unseren Experimenten verwendeten fMRT-Geräte zeichnen sich durch eine besonders hohe – für unsere Probanden jedoch völlig ungefährliche – magnetische Feldstärke aus, wodurch die örtliche Auflösung der Messung und damit die Möglichkeit der anatomischen Lokalisierung von Erregungsmustern im Gehirn beträchtlich erhöht wird. Die Auflösungsgrenze liegt dadurch im Millimeterbereich. ■ Am Beispiel der von uns untersuchten Scheinbewegung möchten wir auch Funktionsprinzipien des visuellen Kortex – der »Schrinde« des Großhirns – erklären und schließlich

fMRT-Messung und Datenanalyse



1 Der Magnetresonanztomograf am Frankfurter Brain-Imaging-Center ermöglicht eine nicht-invasive Messung funktioneller Gehirnzustände. Die Probanden liegen dabei in der Röhre des Geräts, sind einem starken Magnetfeld (3 Tesla) ausgesetzt und schauen auf eine Projektionsfläche mit visuellen Mustern. Über Tasten können sie den Versuchsleiter kontaktieren und gestellte Aufgaben beantworten.

- a) Im Sekundenabstand werden schichtartige Messungen von Blutflussänderungen im Gehirn (farbig markiert) durchgeführt, die eng mit neuronaler Aktivität korrelieren.
- b) Mehrere Mess-Serien liefern sowohl anatomische als auch funktionelle Daten, so dass auf der rekonstruierten (und hier teilweise »aufgeblasenen«) Oberfläche des Gehirns Stellen mit besonders hoher neuronaler Aktivität (farbig markiert) eingezeichnet werden können.
- c) Die Messkurven (Signaländerung im Lauf der Messungen) zeigen den Zeitverlauf lokaler Blutflussänderungen an einer gewählten Stelle der Großhirnrinde. Mit ihrer Hilfe kann während unterschiedlicher Bedingungen (farbige Kurven) auf die Aktivität der lokalen Nervenzellen bei den Verarbeitungsprozessen geschlossen werden.

2 a): Einige visuelle Areale liegen im hinteren (okzipitalen) Bereich des Gehirns und sind hier am rekonstruierten Modell farbig dargestellt. Der Betrachter schaut auf den mittleren Teil der linken Hemisphäre, der normalerweise durch die andere Hirnhälfte verdeckt ist. Die verschiedenen Regionen des visuellen Kortex können mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomografie und der so genannten »retinotopen Kartierung« identifiziert werden. Dabei stimuliert ein dargebotenes schachbrettartiges Muster die entsprechenden Ausschnitte im Sehfeld der Versuchsperson. Da auf dem visuellen Kortex eine – wenn auch verzerrte – Karte des Sehfeldes existiert, zeigen die einzelnen Abschnitte nur dann Aktivität, wenn der Reiz am entsprechenden Ort des Sehfeldes erscheint. Zum Beispiel reagieren die blau-grün gefärbten Regionen nur auf Reize im unteren Sehfeld und die gelb-roten Regionen auf Reize im oberen Sehfeld.

b) Bläst man die Modelle der Hirnhälften virtuell auf, kann man die Lage der visuellen Areale noch besser verstehen. Aufgrund der links dargestellten Farbkarten können dann die verschiedenen visuellen Areale eingezeichnet werden. Der primäre visuelle Kortex (V1) ist blau markiert und die beiden Teile der sekundären Sehrinde (V2) sind in Grün eingezeichnet. Weitere Regionen des visuellen Kortex folgen daran anschließend im unteren und oberen Bereich.

aufzeigen, wo visuelle Illusionen erzeugt werden und wie der Kortex als »kreativer Lückenfüller« fehlende Information aktiv ergänzt.

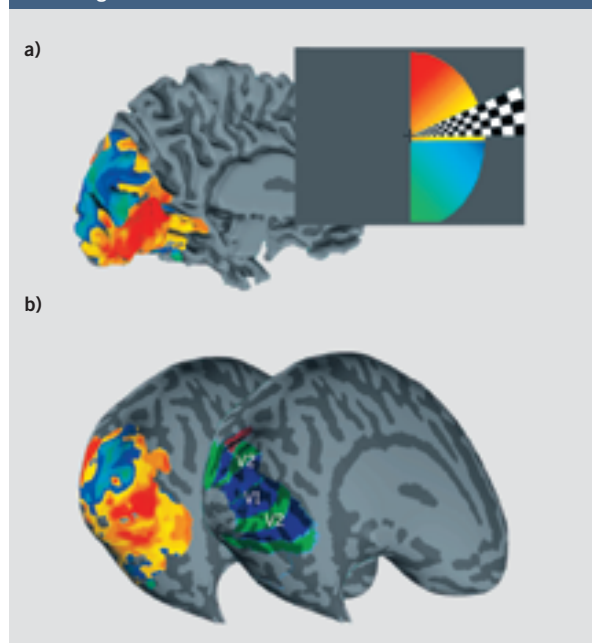
Das visuelle Areal V1 als retinotop Projektionsfläche

Was passiert beim Sehen, wenn wir zum Beispiel auf einen Gegenstand blicken? Vereinfacht erklärt, wird sein Abbild – auf dem Kopf stehend und stark verkleinert – zunächst auf die Netzhaut oder Retina im Auge projiziert. Das neuronale Zellgeflecht der Retina wandelt die physikalischen Lichtreize in physiologische Signale um und leitet die kodierte Information mit Hilfe ihrer Ganglienzellen über Zwischenstationen weiter zur »Eingangsstation« in der Großhirnrinde – dem primären visuellen Kortex, der wichtigsten Anlaufstelle für die weitere visuelle Informationsverarbeitung. Dieses Areal wird als »V1« bezeichnet. Interessanterweise treffen hier die Daten präzise sortiert ein: Nebeneinander liegende Punkte der Außenwelt, die auf der Netzhaut benachbart abgebildet sind, werden kortikal in V1 ebenfalls nebeneinander verarbeitet¹²; die Topografie bleibt somit im Wesentlichen erhalten. Lange Zeit war es nur im Tierexperiment möglich, die retinale Topografie im primären visuellen Kortex aufzuzeigen. Inzwischen erlaubt es die funktionelle Magnetresonanztomografie, diese geordnete Projektion in V1 auch nicht-invasiv am Menschen zu verfolgen. In **2** ist das Prinzip einer solchen »Retinotopie« dargestellt. Das Areal V1 ist somit als retinotop Projektionsfläche eine Art Leinwand, auf der die erblickte Außenwelt hochgeordnet abgebildet wird.

Funktionell spezialisierte Areale

Dem kortikalen Eingangsareal V1 sind mehrere Dutzend weitere Areale nachgeschaltet. Sie sind funktionell spezialisiert und konstruieren gemeinsam in parallel verteilter Arbeitsweise die von uns empfundenen visuellen Szenen [siehe Marcus Naumer et.al. »Audio-visu-

Kartierung der frühen visuellen Areale



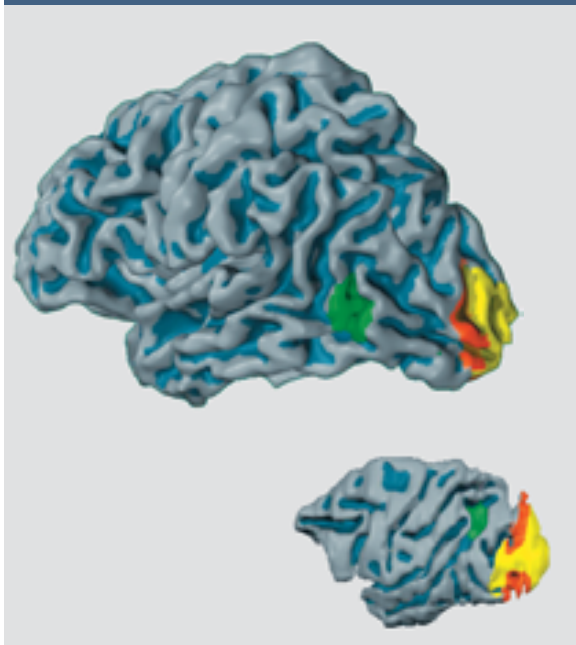
elle Objekterkennung in der Großhirnrinde«, Seite 21]. Die Idee der funktionellen Spezialisierung von Kortexregionen^[3] lässt sich auf Beobachtungen von Ärzten zurückführen, die an Menschen mit Hirnverletzungen selektive Wahrnehmungsausfälle feststellten. Die durch Unfälle, Schlaganfälle, Gehirntumore oder Kriegsverletzungen hervorgerufenen, lokal begrenzten Zerstörungen der Großhirnrinde gehen einher mit genau umschriebenen Ausfällen der Wahrnehmungsleistung – beispielsweise fehlende Farbwahrnehmung, das Unvermögen, Gesichter zu erkennen, oder das Fehlen von Bewegungswahrnehmung. Dieses Konzept der Lokalisierung von Hirnfunktionen war im vergangenen Jahrhundert heftig umstritten. Heute ist es Routine, bei Menschen – seien es Probanden in neurokognitiven Experimenten, neurologische Patienten in der Anamnese oder Hirnverletzte vor neurochirurgischen Eingriffen [siehe auch Notger Müller »Vom Überleben im Datendschungel – Wie wir unsere Aufmerksamkeit lenken« , Seite 38 und Volker Seifert et al. »Herausforderungen der Neurochirurgie«, Seite 72] – mit Hilfe von fMRT-Untersuchungen die wichtigsten funktionell spezialisierten Regionen aufzufinden.

Eine dieser kortikalen Regionen, die für das menschliche Sehen eine bedeutende Rolle spielen, ist der menschliche Bewegungskomplex: ein Zusammenschluss von visuellen Arealen, der generell als »V5«, beim Menschen auch als »hMT+« bezeichnet wird. Die Bezeichnung »hMT+« (»human middle temporal complex«) für das entsprechende menschliche Areal stammt aus der Beschreibung seiner anatomischen Lage im Gehirn von Eulenaffen, wo es ursprünglich entdeckt wurde. Beim Menschen ist das eigentliche Bewegungsareal nur schwer von den Nachbarregionen zu trennen, deshalb spricht man hier von einem Komplex, der mehrere Areale zusammenfasst (ausgedrückt durch das »+« in der Bezeichnung). Patienten mit einer Verletzung in der kortikalen Region V5/hMT+ (im weiteren Verlauf schlicht als V5 bezeichnet) haben Schwierigkeiten mit der Wahrnehmung von Bewegungen. In **3** sieht man V5, farbmarkiert auf der Kortex-Oberfläche eines Rhesusaffen – bei dieser Primatenart wurde das Bewegungsareal ausführlich untersucht.

Arbeiten zur Scheinbewegung

Im Jahr 1998 konnte unsere Arbeitsgruppe am Max-Planck-Institut für Hirnforschung in einer Pionierarbeit^[4] zeigen, dass dieses spezialisierte visuelle Areal nicht nur echte Bewegungen verarbeitet, sondern auch bei der Wahrnehmung bestimmter Bewegungsillusionen beteiligt ist. Selbst wenn die Versuchspersonen nur eine Scheinbewegung sahen oder sich etwa nur eine Bewegung vor ihrem »inneren Auge« vorstellten, registrieren wir eine erhöhte Aktivität im Bewegungsareal V5. Aus den Ergebnissen konnten wir schlussfolgern, dass das Areal V5 sowohl bei tatsächlicher Bewegung aktiviert wird, als auch bei rein subjektiv empfundener Bewegung für die Konstruktion der visuellen Szene von Bedeutung ist. Einen überzeugenden Beweis für den Zusammenhang zwischen bewusster Bewegungswahrnehmung und V5-Aktivität konnten wir in einer Folgestudie^[5] liefern. Dabei machten wir uns eine interessante Eigenschaft der Scheinbewegung zunutze: ihre so genannte Bistabilität. Bei bistabilen Reizen kann sich die

Vergleich von Gehirnhälften bei Affe und Mensch



3 Bei diesen Modellen der linken Hemisphäre (oben: Mensch, unten: Rhesusaffe) ist das Bewegungsareal V5 (auch MT bzw. hMT+ genannt) grün markiert. Zur Orientierung sind die frühen visuellen Areale ebenfalls farbmarkiert (V1: gelb; V2: orange).

Anzeige



FMS

FMS Falk Minow Services

Tel 08152 3722-24, Fax -29

EASY CAP EEG-Ableithauben

Custom-made 19 bis 128 Kanäle
geeignet für DC-EEG
MRI-geeignet
MEG-kompatibel

Aktive Elektroden

weniger Impedanzminimierung
kein Brumm
keine Bewegungsartefakte

SIGGI II

Signalgenerator Impedanzmeßgerät
Elektrodentester Data-Log/Verstärker

Das externe reliable Test-Tool zur Überprüfung aller Eigenschaften von EEG-Verstärkern und -Elektroden

www.easycap.de

Gestaltgesetze



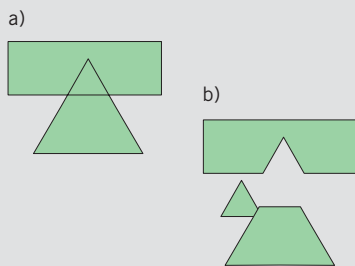
Mitgestalter der Gestaltpsychologie:
Max Wertheimer, um 1914.

Die Gestaltpsychologie formulierte schon in den 1920er Jahren einige wichtige Grundsätze der Formwahrnehmung. Als Mitbegründer gilt der Psychologe Max Wertheimer (1880–1943), der von 1910 bis 1916 und 1929 bis 1933 an der Universität Frankfurt forschte und lehrte. In seinen Werken beschrieb er Gestaltfaktoren, die später auch als Gestaltgesetze bezeichnet wurden. Es handelt sich hierbei jedoch eher um Faustregeln; sie beschreiben, welche Wahrnehmungen entstehen, wenn bestimmte Randbedingungen gegeben sind.

Hier sind die wichtigsten sechs Prinzipien dargestellt.

1) Gute Gestalt

a) Es werden zwei einfache überlagerte Formen wahrgenommen (Dreieck und Rechteck) anstatt dreier eher komplizierter Formen wie in b).



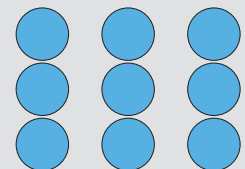
2) Gute Fortsetzung

Gerade und sanft geschwungene Linien werden als zusammengehörig wahrgenommen.



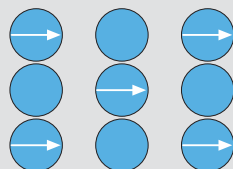
3) Nähe

Dinge, die sich nahe beieinander befinden, werden als zusammengehörig gesehen. Im Beispiel treten Spalten deutlicher hervor als Zeilen.



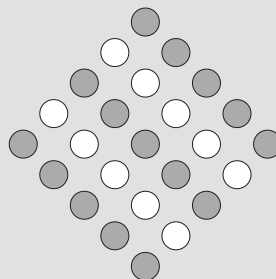
4) Gemeinsames Schicksal

Dinge, die sich in die gleiche Richtung bewegen, erscheinen als zusammengehörig.



5) Ähnlichkeit

Die Kreise mit der gleichen Farbe werden zu Streifen verbunden.



6) Vertrautheit

Dinge bilden eine Gruppe, wenn die Gruppe vertraut erscheint oder etwas bedeutet. Hier ändert der Kontext die Interpretation der Symbole in der Mitte.



subjektive Wahrnehmung ändern, obwohl der äußere Reiz selbst unverändert bleibt [siehe Informationskasten »Beispiele für optische Täuschungen«, Seite 15]. Wird eine Scheinbewegung für längere Zeit beobachtet, kann der bewusste Eindruck zwischen Bewegung und unbewegtem Flackern hin- und herwechseln. Die Probanden sehen entweder einen Punkt, der zwischen zwei Raumpositionen hin- und herspringt (Scheinbewegung) oder zwei voneinander entfernte Punkte, die unabhängig von einander aufblincken (Flackern). Obwohl beide Wahrnehmungsinterpretationen jeweils möglich sind, kann sich zu einem gegebenen Zeitpunkt immer nur eine Interpretation durchsetzen. In diesen Situationen ist es dann nicht nur möglich, die Reaktion des Gehirns auf konstante äußere Reize zu beobachten, sondern auch solche Aktivitätsänderungen zu registrieren, die direkt mit Wahrnehmungswechseln einhergehen.

Unsere Arbeitsgruppe stellte sich nun die Frage, welches Areal am besten die subjektive Wahrnehmung widerspiegeln würde. Um diese Frage zu beantworten, untersuchten wir unsere Versuchspersonen im Magnetresonanztomografen und präsentierten ihnen für längere Zeit einen Scheinbewegungsreiz, der schlicht aus zwei blinkenden Punkten bestand. Die Teilnehmer betrachteten während der Messung den Reiz und gaben uns per Knopfdruck Rückmeldung darüber, wann sie Bewegung und wann sie Flackern sahen. In der folgenden Datenanalyse konnte nun rekonstruiert werden, in welchen Gehirnarealen die Aktivität der Nervenzellen mit den spezifischen Wahrnehmungsinhalten gekoppelt war. Es zeigte sich wiederum, dass insbesondere das Bewegungsareal V5 ein verlässliches Abbild unserer Innenwelt lieferte: Erkannten die Versuchspersonen Bewegung beim Betrachten des visuellen Reizes, war die

gemessene Aktivität in V5 hoch, empfanden sie dagegen nur das Flackern, war auch die Aktivität entsprechend niedrig. Und das, obwohl der physikalische Reiz – das dargebotene visuelle Muster – während der experimentellen Messung immer der gleiche war.

Die kortikale Konstruktion von Scheinbewegung

Die beiden beschriebenen Studien konnten bereits einige Fragen bezüglich der neuronalen Grundlagen von Scheinbewegungen beantworten. Doch wurden dadurch – wie so oft in der Forschung – auch neue Fragen aufgeworfen: Nun interessierte uns, ob das Wahrnehmen von Scheinbewegung auch zur Ergänzung von Zwischenbildern führt. Blättert man etwa ein Daumenkino zu langsam, so sieht man die Akteure und Objekte ruckartig ihre Position wechseln. Wird das Daumenkino mit höherer Geschwindigkeit geblättert, so verschmelzen die Eindrücke zu fließenden Bewegungen, als ob nun viel mehr Zwischenbilder vorhanden wären. Werden nun zwei identische benachbarte Quadrate in regelmäßigem Wechsel dargeboten – etwa nur das obere, dann nur das untere, wieder das obere und so fort – so scheint für den Betrachter nur ein einziges Quadrat zu existieren, das zwischen beiden Positionen hin- und herspringt. Bei geeigneter Frequenz entsteht auch die Empfindung, dass sich das Quadrat zwischen den Endpositionen hin- und herbewegt. ⁶¹ Dem Ursprungsreiz wird somit nicht nur ein Bewegungseindruck – das Springen – hinzugefügt, sondern zugleich noch ein räumlich definierter Bewegungspfad, dem aber kein realer äußerer Reiz zugrunde liegt. Wie bereits dargestellt, liefert das visuelle Areal V5 die »Bewegungsantwort«, aber verfügt es auch über die notwendige räumliche Auflösung für den Weg der Scheinbewegung? Als Kandidaten dafür kommen »frühe« visuelle Areale in Frage, wie zum Beispiel der primäre visuelle Kortex – das bereits als »Projektionsfläche« vorgestellte Areal V1. Dort befindet sich eine hoch aufgelöste Karte der Außenwelt: Sollte hier auch die Scheinbewegung der springenden Quadrate ihre »imaginäre« räumliche Spur hinterlassen? Dieser Frage gingen wir zusammen mit Kollegen in einer in diesem Jahr veröffentlichten Studie nach.⁶¹ Mit einer detaillierten Analyse der genauen

Verteilung von Aktivitätsmustern innerhalb des Areals V1 konnten wir in mehreren Experimenten zeigen, dass es tatsächlich Aktivität in V1 gibt, die mit der subjektiven Wahrnehmung des Scheinbewegungspfades zusammenhängt. In der visuellen Karte der primären Sehrinde fand sich nämlich nicht nur eine Repräsentation der Quadrate, durch die die Scheinbewegung verursacht wird, sondern zusätzlich genau zwischen den Endpunkten auch eine Repräsentation des Weges der Scheinbewegung. Wie kann es aber Aktivität auf dem Pfad der Scheinbewegung in V1 geben, obwohl dort gar kein Reiz dargeboten wird? Unsere Daten legen nahe, dass V5 die Bewegungsinformation des Reizes verarbeitet und dann durch Rückprojektionen die Information an V1 liefert. Erst durch die Zusammenarbeit der beiden Areale entsteht somit der Eindruck einer realistischen Bewegung.

Der Kortex als kreativer Interpret

Aus den oben dargestellten Ergebnissen lassen sich wichtige Schlussfolgerungen ziehen:

- Das visuelle System unseres Gehirns liefert uns kein fotografisches Abbild der Außenwelt, es ist kein passiver Beobachter der Geschehnisse. Vielmehr versucht es mit Hilfe bestimmter Grundannahmen die Vorgänge in der Welt zu rekonstruieren. Kennt man diese Grundannahmen, so kann man das Gehirn leicht »austricksen« und damit Wahrnehmungswahrnehmungen – wie zum Beispiel die Scheinbewegung – erzeugen. Umgekehrt können wir durch die genaue Untersuchung dieser Illusionen mehr über die funktionellen Prinzipien unseres Wahrnehmungsapparates herausfinden. Mit Hilfe moderner, auch bildgebender Verfahren der Hirnforschung lassen sich zusätzlich die neurophysiologischen Mechanismen darstellen, die unseren Wahrnehmungen zugrunde liegen.
- In der Großhirnrinde gibt es eine große Anzahl spezialisierter Areale für die Analyse und Verarbeitung spezifischer Einzelaspekte visueller Szenen, wie etwa Farbe, Bewegung oder Form. Die Areale arbeiten aber keineswegs unabhängig voneinander. Vielmehr ist die Interaktion zwischen den verschiedenen Hirn-

Anzeige

● Beamer ● Grossbild-Projektoren ● Leinwände ● Overheads ● 3-D-Projektion ● Rückprojektion

Beratung, Planung und schlüsselfertige Ausführung.

Ihr kompetenter Partner für Projektionstechnik im Konferenzraum, Labor und Hörsaal.

MEDIA-TEC GmbH
Bachbohlweg 16
D-78467 Konstanz

www.MEDIA-TEC.de
www.MaxxLuxx.de

MEDIA-TEC GmbH
Niederlassung Frankfurt a. M.
Dreieichstrasse 10
D-65451 Kelsterbach
Tel. 06107-63 40 40
Fax 06107-63 40 41



Der Weg der Scheinbewegung im primären visuellen Kortex



regionen entscheidend für einen geschlossenen Gesamteindruck des Gesehenen. Erst die Zusammenarbeit der verteilten Systeme [siehe auch Marcus Naumer et al. »Audio-visuelle Objekterkennung in der Großhirnrinde«, Seite 21] erlaubt es uns, die Welt in ihrem Detailreichtum wahrzunehmen. Beispielsweise signalisiert bei der Scheinbewegung das Areal V5 den Bewegungsaspekt der abwechselnd dargebotenen Quadrate, aber die räumliche Auflösung für die Wahrnehmung des illusionären Bewegungspfad wird erst durch Rückkopplung mit dem primären visuellen Kortex geliefert.

4 In den fMRT-Experimenten fixierten die Versuchspersonen das Kreuz in der Mitte der Projektionsfläche, während ihnen abwechselnd zwei Quadrate im rechten Gesichtsfeld präsentiert wurden (dargestellt durch das gefüllte und gestrichelte Quadrat). Dadurch nahmen sie ein scheinbar bewegtes Quadrat wahr, dessen Bewegungspfad sich über den mittleren Bereich erstreckte (grüner Pfeil), obwohl dort gar kein Reiz präsentiert wurde. Der Wahrnehmung entsprechend beschränkte sich die Aktivität im primären visuellen Kortex (links im Bild) nicht nur auf die Repräsentation der tatsächlich dargebotenen Quadrate (rote und gelbe Regionen), sondern es waren auch Gebiete aktiviert (grün gekennzeichnet), die normalerweise nur auf reale Reize im Bereich zwischen den Quadraten reagieren (die Mitte des kortikalen Scheinbewegungspfad ist orange markiert). Damit zeigt sich bereits im primären visuellen Kortex eine »Abbildung« des illusionären Scheinbewegungspfad.

– Neuronale Aktivität im primären visuellen Kortex ist entscheidend an der Konstruktion unserer bewussten Wahrnehmung beteiligt. Die traditionelle Annahme, dass V1 eine wichtige, aber doch passive Zwischenstation auf dem Weg zum visuellen Bewusstsein darstellt, muss revidiert werden. Unsere Ergebnisse sprechen zusammen mit Studien anderer Forschergruppen dafür, dass V1 – wenn auch durch Interaktion mit anderen Arealen – an der Rekonstruktion unserer manchmal illusionären Innenwelt beteiligt ist. ♦

Literatur:

^{11/} Sarris, V. (2000): Max Wertheimers Frankfurter Arbeiten zum Bewegungssehen – die experimentelle Begründung der Gestaltpsychologie. <i>Forschung Frankfurt</i> 3/2000: Seite 120–126.	^{12/} Hubel, D. (1995): <i>Auge und Gehirn. Neurobiologie des Sehens.</i> Heidelberg, Spektrum der Wissenschaft.	Bewusstsein. <i>Spektrum der Wissenschaft</i> 1: 36–43.	functional magnetic resonance imaging studies of apparent motion and motion imagery. <i>European Journal of Neuroscience</i> 10: 1563–1573.	fermann, H.; Zanel-la, F.E.; Singer, W. & Goebel, R. (2002): Apparent motion: event-related functional magnetic resonance imaging of perceptual switches and states. <i>Journal of Neuroscience</i> 22: RC219.	^{16/} Muckli, L.; Kohler, A.; Kriegeskorte, N. & Singer, W. (2005): Primary visual cortex activity along the apparent-motion trace reflects illusory perception. <i>Public Library of Science Biology</i> 3: e265.
^{13/} Logothetis, N. K. (2000): <i>Das Sehen – ein Fenster zum</i>	^{14/} Goebel, R.; Khorram-Sefat, D.; Muckli, L.; Hacker, H. & Singer, W. (1998): The constructive nature of vision: direct evidence from		^{15/} Muckli, L.; Kriegeskorte, N.; Lan-		

Die Autoren



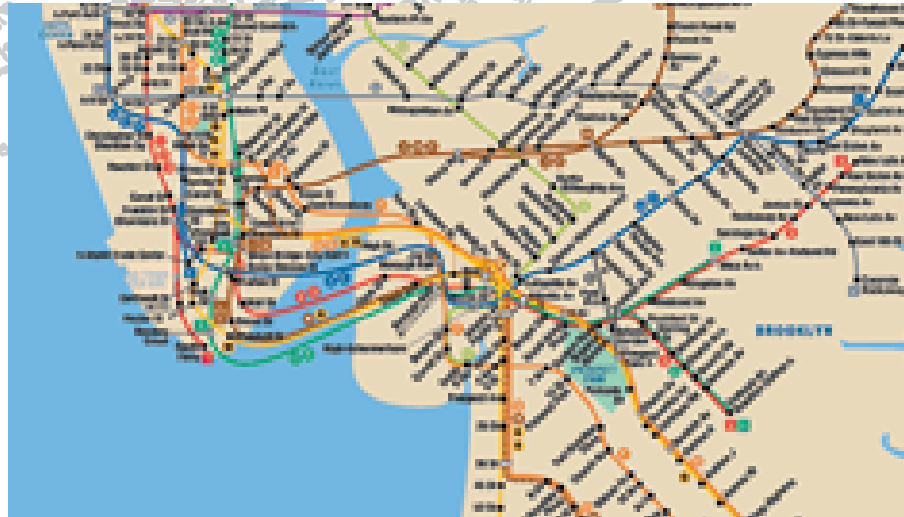
Dr. Lars Muckli, 36, (rechts) studierte von 1991 bis 1997 Psychologie an der Universität Gießen und dem University College London. 1996 wurde er Mitglied der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Rainer Goebel am Max-Planck-Institut für Hirnforschung, in der er zunächst seine Diplomarbeit (1996) über die Wahrnehmung von Bewegungsillusionen schrieb

und später über die Themen Blindsight, Scheinbewegung und Amblyopie forschte. Er promovierte im Jahr 2002 an der Universität von Maastricht. Seit fünf Jahren ist er Leiter der Arbeitsgruppe für funktionelle Bildgebung in der Abteilung Neurophysiologie des Max-Planck-Instituts für Hirnforschung, die auch am Brain Imaging Center vertreten ist. Die Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit der Erforschung von Integrationsleistungen verteilter arbeitender Subsysteme, der Analyse von Bewegungsinformation und der Erforschung visueller Vorstellung.

Axel Kohler, 29, studierte von 1996 bis 2002 Psychologie und Philosophie an der Eberhard-Karls-Universität in Tübingen sowie an der Washington University in St. Louis, Missouri. Für seine Diplomarbeit forschte er in der Arbeitsgruppe von Lars Muckli am Max-Planck-Institut für Hirnforschung. Zurzeit arbeitet er an seiner Promotion zum Thema »Die Beziehung zwischen Aufmerksamkeit und der Wahrnehmung von Scheinbewegung«. Im Zentrum steht dabei die Kombination verschiedener Methoden der kognitiven Neurowissenschaften.

Vom neuronalen Einzelfahrschein zur kortikalen Netzkarte

Audio-visuelle Objekterkennung in der Großhirnrinde



von Marcus J. Naumer,
Christoph Bledowski, Christian
F. Altmann und Jochen Kaiser

Die Wahrnehmung von Objekten gelingt uns jeden Tag unzählige Male – zumeist rasend schnell und problemlos. Obwohl fast immer mehrere unserer Sinne gleichzeitig bei ihrer Wahrnehmung angesprochen werden, erscheinen uns diese Objekte dennoch als ganzheitlich und geschlossen. Für die neuronale Verarbeitung eines bellenden Hundes zum Beispiel empfängt die Großhirnrinde zumindest Eingangsdaten des Seh- und des Hörsystems. Sie werden auf getrennten Pfaden und in spezialisierten Arealen mit aufsteigender Komplexität analysiert. Dieses Funktionsprinzip der parallel verteilten Verarbeitung stellt die Wissenschaftler aber auch vor das so genannte »Bindungsproblem«: Wo und wie werden die Details wieder zu einem Ganzen – zu einer neuronalen Repräsentation – zusammengefügt? Am Institut für medizinische Psychologie der Universitätsklinik Frankfurt untersuchen Neurokognitionsforscher die crossmodale Objekterkennung mit einer Kombination modernster Verfahren der Hirnforschung und kommen dabei den Verarbeitungspfaden in der Großhirnrinde auf die Spur.

Nun aber schnell die Beine in die Hand nehmen: Das laute Bellen dröhnt in den Ohren, mit raschen Sätzen kommt er näher, schwarz ist er, der Hund, und Furcht einflößend groß, dazu der strenge Geruch! Wenn er nun auch noch beißt? Ach nein, er springt nur hoch und legt die Pfoten auf die Schulter...« Das Gehirn des Joggers hat gerade eine ebenso bemerkenswerte wie rätselhafte Leistung vollbracht. Daten wurden blitzschnell mit Hilfe von vier unterschiedlichen Sinnessystemen verarbeitet, und seine Großhirnrinde konstruiert eine Repräsentation dieses einen Hundes. Wir nehmen ihn als eine geschlossene und lebendige Einheit wahr. Daher erscheint es zunächst plausibel, dass die Information, die über verschiedene Sinne – also crossmodal – dem Gehirn übermittelt wird, dort in einem bestimmten Zentrum wieder zusammenläuft. Neuere Ergebnisse der Hirnforschung deuten jedoch in eine andere Richtung.

Tatsächlich werden zunächst die unterschiedlichen Aspekte von Alltagsobjekten – wie Form, Farbe und Bewegung oder die charakteristischen Geräusche eines Hundes – in jeweils hoch spezialisierten Regionen der Großhirnrinde – dem Kortex – verarbeitet. Dabei ist der primäre visuelle Kortex, auch »V1« genannt [siehe auch Lars Muckli et al. »Wie optische Illusionen in der Großhirnrinde entstehen«, Seite 14), nicht das einzige Areal, welches Seheindrücke verarbeitet. Die Information über das Bild, das wir gerade betrachten, ist mehrfach repräsentiert. Die Verarbeitung schreitet dabei von eher einfacheren Merkmalen zu immer komplexeren Aspekten des visuellen Reizes fort. Das heißt, in anderen visuellen Arealen werden zum Beispiel komplexe

Ähnlich wie die Linien eines U-Bahnnetzes (hier: Karte des südlichen Teils von New York City) laufen Verarbeitungspfade in der Großhirnrinde häufig parallel und kreuzen sich gelegentlich, konvergieren aber nie in einem einzigen Punkt.

Formen bis hin zu bestimmten Klassen von Objekten, wie Werkzeugen oder Gesichtern, analysiert. Die Beobachtung dieser Verarbeitungshierarchie vom Einfachen zum Komplexen führte in den frühen 1970er Jahren zu der heute überwundenen Vorstellung, dass die bewusste Wahrnehmung eines Objekts der Außenwelt über ein einziges Neuron vermittelt wird, das am Ende einer solchen Abstraktionskette steht.^{11/} Wenn wir beispielsweise einen schwarzen Hund schlafend vor seiner Hütte sehen, so gibt es dieser Theorie zufolge ein einzelnes Neuron in unserem Gehirn, das diesen Sinneseindruck selektiv repräsentiert. Wenn derselbe Hund nach dem Aufwachen uns anschaut, sollte ein anderes Neuron diesen visuellen Inhalt vermitteln. Da die Anzahl der möglichen Sinneseindrücke fast unbegrenzt, die Anzahl unserer Neurone hingegen begrenzt ist, gilt eine solche, strikt konvergent verlaufende neuronale Verarbeitung heute als sehr unwahrscheinlich.

Kortikale Verarbeitungspfade beim Sehen

Zeitgleich mit diesen (inzwischen überwundenen) Überlegungen wurde ein weiteres Organisationsprinzip der Großhirnrinde entdeckt: die Analyse von visueller Information in parallelen Verarbeitungspfaden. So erkannte man, dass die Verarbeitung von Seheindrücken in höheren Arealen nicht einfach nur komplexere Aspekte betraf, sondern fand eine Aufspaltung der Verarbeitung, die ihre Entsprechung in der Beschreibung des Objekts nach Kriterien der Identität beziehungsweise der Lage hat: »Was ist das?« und »Wo befindet es sich?« **1** Während entlang eines ventral (unterhalb) gelegenen so genannten »Was-Pfades« vor allem Form- und Farbaspekte verarbeitet werden, existieren weitere Areale, die vor allem die Bewegung und Position eines Objekts enkodieren und damit dem dorsalen (oberhalb gelegenen) so genannten »Wo-Pfad« zugerechnet werden.

Mit Hilfe von Läsionsstudien an Rhesusaffen konnte die funktionelle Relevanz dieser Organisation gezeigt werden: Der Ausfall von visuellen Arealen, die die Form eines Objekts repräsentieren, führt dazu, dass das betroffene Tier ein Objekt zwar nicht mehr identifizieren, meist jedoch weiterhin zielsicher nach ihm grei-

fen kann. Ergebnisse aus neuropsychologischen Forschungsarbeiten konnten dieses Modell weiter verfeinern: So existiert ein Pfad, der die Identität eines Objekts repräsentiert und ein weiterer, der die Handlungsvorbereitung bezüglich des Objekts leistet. Beispiele für solche objektbezogenen Handlungen sind das Ergreifen des Objekts oder das Fixieren mit den Augen. Diese offenkundige Trennung von Prozessen bei neurologischen Patienten ist häufig sehr eindrucksvoll, vermutlich weil sie so deutlich unserer phänomenal »glatten« visuellen Erlebniswelt widerspricht.

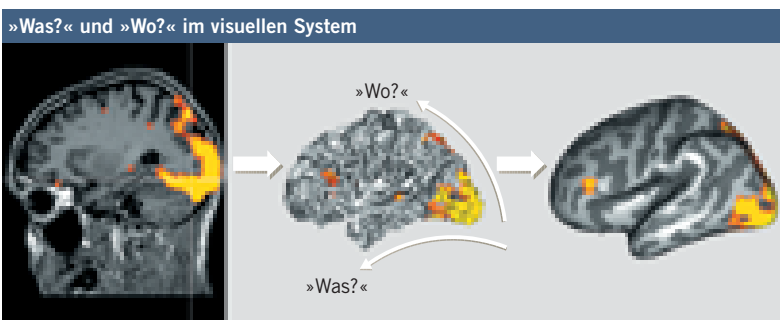
Gestützt auf diese bemerkenswerten tierexperimentellen und neuropsychologischen Befunde, verstärkten in den 1990er Jahren – der »Dekade des Gehirns« – die Neurokognitionswissenschaftler ihre Anstrengungen, um diese parallelen Verarbeitungspfade zu bestätigen und weitere Dissoziationen zu finden. Mit Hilfe der funktionellen Bildgebung konnten zahlreiche visuelle Areale mit ihren unterschiedlichen Spezialisierungen immer detaillierter beschrieben werden.

Verarbeitungspfade im auditorischen System

Aber nicht nur im Seh-, sondern auch im Hörsystem vermutet man mittlerweile, dass die Verarbeitung von komplexen Geräuschen auch in Regionen außerhalb der primären Hörrinde »A1« – der ersten kortikalen Verarbeitungsstation für akustische Reize – stattfindet. Diese Regionen lassen sich ebenfalls in zwei getrennte Verarbeitungspfade gruppieren. Sowohl Einzelzellableitungen aus dem Gehirn von Affen als auch Studien mit bildgebenden Verfahren beim Menschen haben gezeigt, dass Geräuschmerkmale wie Tonhöhe und Lautstärke in anderen Strukturen repräsentiert werden als die räumliche Position oder die Bewegung einer Geräuschquelle. Diese Beobachtungen legen die Existenz spezialisierter Pfade der auditorischen Wahrnehmung nahe, die der Objekterkennung (»Was?«) beziehungsweise der Objektlokalisierung (»Wo?«) dienen. Eine serielle Informationsverarbeitung entlang dieser Pfade haben wir in einer Reihe von magnetenzephalografischen Studien nachgewiesen.^{12/} Nach einer frühen, relativ unspezifischen Antwort der primären Hörrinde auf unerwartete Geräuschveränderungen folgt nach etwa 130 Millisekunden eine detaillierte Analyse entweder des Geräuschmusters oder von dessen räumlichen Merkmalen in hierfür jeweils spezialisierten Regionen entlang der »Was-« beziehungsweise »Wo-Pfade.« **2**

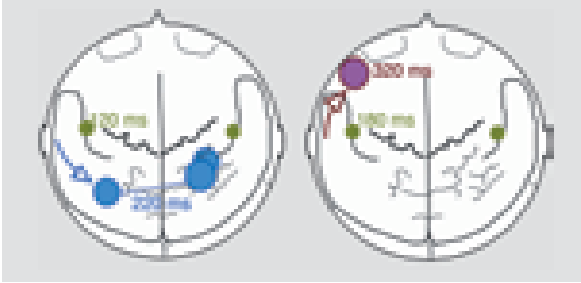
Netzwerke synchron »feuernder« Nervenzellen

Das Wissen, dass kortikale Hirnregionen für Einzelmerkmale von Wahrnehmungsinhalten spezialisiert sind, steht jedoch in dem bereits erwähnten starken Kontrast zu unserer Alltagserfahrung: Den laut bellenden schwarzen Hund, der mit großen Sätzen auf uns zukommt, nehmen wir ganz selbstverständlich als ein und dasselbe Objekt wahr, egal wo er sich befindet und welche Ansicht er uns gerade präsentiert. Dies gelingt uns schnell und mühelos, und vom zugrunde liegenden Verarbeitungsprozess merken wir nichts, obwohl die unterschiedlichen Eigenschaften des Hundes doch an ganz unterschiedlichen Orten in unserem Gehirn verar-



1 Basierend auf fMRT-Daten von Versuchspersonen sind solche Hirnrindenregionen farblich markiert, die auf visuelle Stimulation hin einen Aktivitätsanstieg zeigen. Diese funktionelle Karte wurde auf ein Schnittbild (links) sowie gefaltete (Mitte) beziehungsweise virtuell aufgeblasene 3D-Rekonstruktionen (rechts) der linken Großhirnhälfte projiziert. Hirnwindungen und -furchen erscheinen in hell- beziehungsweise dunkelgrau. Während entlang eines ventral (das heißt unterhalb) verlaufenden so genannten »Was-Pfades« vor allem Form- und Farbaspekte verarbeitet werden, existieren weitere Areale, die vor allem die Bewegung und Position eines Objekts enkodieren und dem dorsal (das heißt oberhalb) gelegenen »Wo-Pfad« zugerechnet werden.

»Was?« und »Wo?« im auditorischen System



2 Magnetenzephalografisch gemessene evozierte Felder (grün; gemessen zirka 120-180 Millisekunden nach Darbietung eines Geräusches) und Gammaband-Aktivität (blau und rot) während der Wahrnehmung räumlicher Abweichungen (links) und abweichender Geräuschmuster (rechts). Die Positionen der MEG-Sensoren sind auf einer schematischen Karte der Großhirnoberfläche dargestellt (von oberhalb des Kopfes gesehen). Während die evozierten Felder im Bereich der primären Hörrinde kaum zwischen den beiden Arten von Geräuschveränderungen differenzieren, zeigt die Gammaband-Aktivität die Spezialisierung höherer Regionen entlang des »Was«- (roter Pfeil) und des »Wo-Pfades« (blauer Pfeil) für Veränderungen des Geräuschmusters (nach zirka 320 Millisekunden) beziehungsweise Veränderungen der Geräuschposition (nach zirka 220 Millisekunden).

beitet werden. Als Neurokognitionsforscher stehen wir damit vor dem so genannten »Bindungsproblem«: Wie schaffen es die Neuronen der Großhirnrinde, nach einer lokal verteilten Analyse von spezifischen Objekteigenschaften die »Einheit der Wahrnehmung« wieder herzustellen? Existiert dafür ein übergeordnetes kortikales Zentrum, wo alle neuronalen Informationen zusammenlaufen? Oder gibt es vielleicht trickreiche Bindungsmechanismen?

Ein Vorschlag zur Lösung dieses Bindungsproblems stammt aus dem Frankfurter Max-Planck-Institut für Hirnforschung^{3/} und wurde auf der Grundlage tierexperimenteller Befunde formuliert: Die zahlreichen Nervenzellen, die an der Verarbeitung ganz unterschiedlicher Eigenschaften ein und desselben Objekts beteiligt sind, synchronisieren ihre Entladungen miteinander [siehe auch Wolf Singer »Synchronisierte Antworten aus der Großhirnrinde«, Seite 45]. Hierdurch entstehen Netzwerke reziprok verknüpfter und synchron »feuern« Nervenzellen, die für eine gewisse Zeit rhythmische Aktivitätsmuster zeigen. Das heißt: Sie oszillieren ähnlich wie ein Schwingkreis mit einer Frequenz zwischen 30–100 Hz, im so genannten »Gamma-Frequenzbereich«. Diese oszillatorische Gamma-Aktivität kortikaler Neuronenverbände gilt als Korrelat der zeitlichen Integration räumlich verteilter Information. Ein solches Konzept flexibler Zellverbände kann die Fähigkeit unseres Gehirns erklären, mit einer begrenzten Zahl von Neuronen eine praktisch unbegrenzte Zahl von Objektrepräsentationen im Kortex entstehen zu lassen.

Methoden der Hirnforschung

Untersuchungen der Gamma-Aktivität im menschlichen Elektroenzephalogramm (EEG) zeigen deutlich den Zusammenhang mit der Objektwahrnehmung der Versuchspersonen, mit ihrer selektiven Ausrichtung der Aufmerksamkeit und der inneren Aktivierung von Repräsentationen, zum Beispiel während bestimmter Gedächtnisprozesse. Dies ist die Basis, auf der die Forschungsprojekte unserer Arbeitsgruppe aufbauen: Am Institut für Medizinische Psychologie des Frankfurter Universitätsklinikums beschäftigen wir uns mit der nicht-invasiven Erforschung uni- und crossmodaler Integrationsprozesse bei gesunden Menschen. Wir kombinieren hierfür die funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT) mit zwei weiteren Verfahren der kognitiven Hirnbildgebung, der Elektroenzephalografie (EEG) und der Magnetenzephalografie (MEG) [siehe auch »Ausgewählte Methoden der Hirnforschung im Überblick«, Seite 78). Durch die Integration der zeitlichen und räumlichen Vorteile dieser Methoden ist eine recht detaillierte Beschreibung jener neuronalen Vorgänge

möglich, die einer kognitiven Leistung zugrunde liegen. Schließlich können die analysierten Bestandteile der neuronalen Verarbeitungsprozesse mit bestehenden Modellen aus der kognitiven Psychologie abgeglichen werden.

Präzisere Lokalisierung durch Methodenkombination

Das Elektroenzephalogramm (EEG) erfasst mit Hilfe von Kopfhautelektroden Spannungsänderungen der unter der Schädeldecke liegenden Hirnrindenschichten. 3 Die hervorragende zeitliche Auflösung im Millisekundenbereich, die für die Untersuchung kognitiver Prozesse entscheidend ist, und die relative Nähe des EEG-Signals zur eigentlichen Nervenzellaktivität machen das EEG zu einer sehr bedeutenden Methode für die modernen Neurowissenschaften. Diesen Vorteilen stehen jedoch das niedrige räumliche Auflösungsvermögen und die damit zusammenhängende Überlappung der auf der Kopfoberfläche gemessenen Hirnquellensignale gegenüber. Daher werden seit einigen Jahren enorme Anstrengungen unternommen, aus der gemessenen Aktivität an der Kopfoberfläche das Quellensignal mathematisch zu erschließen und in der Hirnrinde zu verorten. Diese »klassische« Quellenanalyse stößt jedoch aufgrund des so genannten »inversen Problems« an Grenzen. Dieses Problem besteht darin, dass eine nahezu unendliche Anzahl von Quellenkonfigurationen das EEG-Signal gleichwertig erklären kann: Eine Einschränkung des Lösungsraums durch weitere objektive Daten ist notwendig.

Hier kommt die funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT) ins Spiel, da diese Methode der funktionellen Bildgebung eine sehr gute räumliche Auflösung im Millimeterbereich bietet. Bei der Kombination von Elektroenzephalografie und funktioneller Magnetresonanztomografie werden durch die fMRT-Messung zunächst die aufgabenrelevanten Hirnregionen identifiziert und als potenzielle Quellen definiert. Die mathematische Quellenanalyse überprüft dann, welchen Beitrag diese gesetzten Quellen leisten können, um das an der Kopfoberfläche gemessene EEG-Signal zu erklären.^{4/} 4 Diese Methodenkombination liefert über die Verortung der EEG-Quellen hinaus millisekundengenaue Information über den neuronalen Aktivitätsverlauf.



3 EEG-Probant mit Elektrodenkappe. Die Untersuchung kognitiver Prozesse mit Hilfe der Elektroenzephalografie liefert Daten, die zeitlich hochaufgelöst sind. Nachteile der EEG-Methode ergeben sich jedoch aus dem niedrigen räumlichen Auflösungsvermögen.

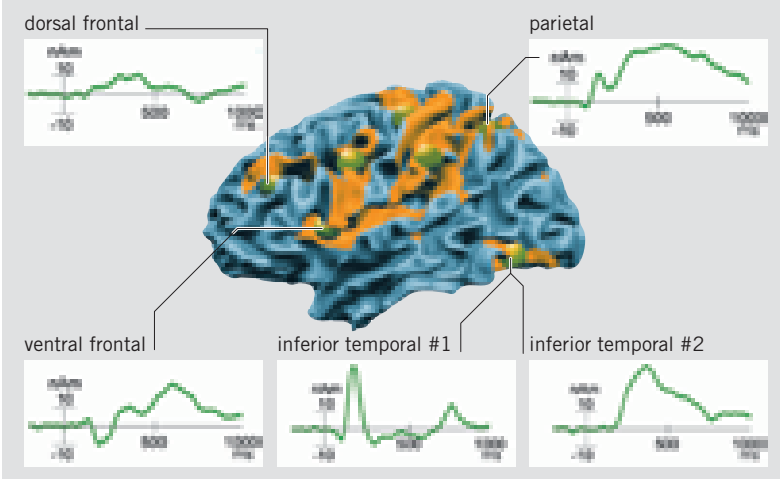
Untersuchungen mit der Magnetenzephalografie

Wie stark sich die automatische Integration von Information aus verschiedenen Sinnesmodalitäten auf unser Erleben auswirkt, lässt sich am Beispiel der so genannten McGurk-Illusion verdeutlichen, bei der Kombinationen von gesprochenen Silben und hierzu inkongruenten Mundbewegungen zu einem veränderten auditorischen Wahrnehmungseindruck führen. Gemeinsam mit Kollegen des Tübinger Universitätsklinikums setzten wir in einer Studie^{15/} die Magnetenzephalografie (MEG) ein, um die von der McGurk-Illusion ausgelösten neuronalen Prozesse zu untersuchen. Dabei boten wir überwiegend kongruente Kombinationen aus Silben und Mundbewegungen dar: Die Probanden hörten die Silbe »ta« und sahen gleichzeitig die dazu passende Mundbewegung. In diese Reizsequenz eingestreut waren weitaus seltenere Darbietungen, bei denen man die gleiche Silbe »ta« hörte, aber eine dazu nicht passende Mundbewegung sah, nämlich die Bewegung, die beim Aussprechen der Silbe »pa« entsteht. Die Illusion besteht nun darin, dass bei inkongruenten Präsentationen der Eindruck dominiert, ein »pa« zu hören. Der Vergleich von Hirnantworten auf inkongruente und kongruente Darbietungen ergab eine erhöhte Gamma-band-Aktivität über einer Reihe von Hirnrindenregionen **5**. Zunächst trat diese Aktivität über Arealen des

Scheitel- und Hinterhauptlappens auf, die vermutlich die abweichende visuelle Mundbewegungsinformation repräsentierten. Nach weiteren 120 Millisekunden kam es zu erhöhter Gammaband-Aktivität über einer weiteren Region im linken Stirnhirn, die auch an der Verarbeitung rein akustischer Musterveränderungen beteiligt ist. Diese Magnetenzephalografie-Befunde sprechen dafür, dass die Aktivierung neuronaler Netzwerke im auditorischen »Was-Pfad« dem subjektiven Eindruck eines veränderten Geräuschmusters zugrunde liegt.

Auch eine aktuelle Magnetresonanztomografie-Studie zur audio-visuellen Erkennung von Alltagsobjekten erweiterte unser Verständnis der Hirnprozesse, die crossmodale Integration erst ermöglichen.^{16/} Den Versuchspersonen wurden als Reize Geräusche und Schwarzweißfotos aus vier Objektkategorien dargeboten. Bei der Analyse der gewonnenen Daten fanden wir räumlich voneinander getrennte Aktivitätsspitzen für Tiere, Werkzeuge, Sporttreibende und Autos im visuellen »Was-Pfad«. **6** Überraschenderweise zeigten diese Hirnrindenregionen ihre jeweilige Präferenz für eine Objektkategorie nicht nur während visueller Reizdarbietung, sondern auch nach rein auditorischer Stimulation. Da wir mit einem Kontrolleexperiment visuelle Imagination als eine mögliche Alternativerklärung für diesen Befund ausschließen konnten, scheinen Regionen des visuellen »Was-Pfads« tatsächlich auch in die Verarbeitung von Alltagsgeräuschen involviert zu sein. Diese Entdeckung verweist auf die Bedeutung von angelegten Assoziationen, wenn physikalisch höchst unterschiedliche optische und akustische Eigenschaften von Alltagsobjekten verarbeitet werden.

EEG-fMRT-Methodenkombination am Beispiel einer Kurzzeitgedächtnisaufgabe



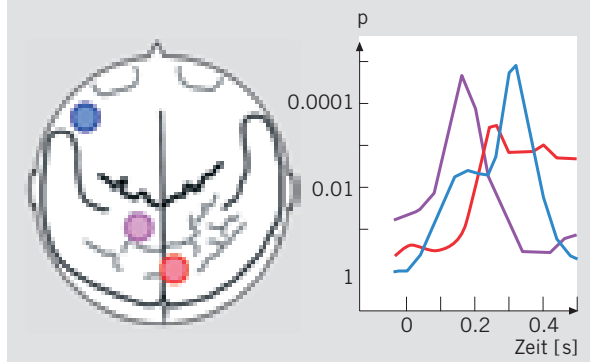
4 Dargestellt sind das räumliche Aktivitätsmuster (fMRT) und die millisekundengenauen Zeitverläufe der modellierten Quellenaktivität (EEG) während des Abrufs von visuellen Gedächtnisinhalten. Die aus den fMRT-Daten (im Modell orange markiert) abgeleiteten Positionen für die EEG-Quellen sind als grüne Kugeln dargestellt. Die Zeitverläufe der jeweiligen Quellenaktivität (die fünf aussagekräftigsten sind als grüne Kurven gezeigt) repräsentieren die zeitliche Struktur der am Gedächtnisabruf beteiligten Prozesse.

5 Illusorische akustische Veränderungen aufgrund inkongruenter visueller Präsentationen (das heißt von Mundbewegungen, die nicht zu der jeweils dargebotenen Silbe passen) werden von Aktivierungen visueller Regionen im hinteren Scheitel- und Hinterhauptlappen sowie einer Region im linken Stirnhirn begleitet. Links sind auf einer schematischen Karte der Großhirnoberfläche die Positionen der MEG-Sensoren mit erhöhter Gammaband-Aktivität dargestellt (von oberhalb des Kopfes gesehen). Rechts sind in der entsprechenden Farbe die Zeitverläufe der Aktivierungsunterschiede zwischen inkongruenten und kongruenten audio-visuellen Darbietungen für diese Sensoren gezeigt. Die Aktivierung im Stirnhirn (im angenommenen auditorischen »Was-Pfad«) folgt dabei den weiter hinten gelegenen Arealen, die die visuelle Information der Mundbewegung repräsentieren.

Das Schließen der »Bild-Ton-Schere«

Während wir also für die Verarbeitung von eher sprachlichem Material einen auditorischen Verarbeitungsschwerpunkt ausmachen konnten **5**, fanden wir bei der Erkennung von Alltagsobjekten crossmodale Modulations- und Integrationseffekte eher in visuellen Hirnrindenstrukturen **6**. Wo solche Effekte zu finden sind, scheint unseres Erachtens vor allem davon abzuhängen, welche Art von Sinnesreizen integriert werden müssen. Wir wissen, dass sich das auditorische und das visuelle System hinsichtlich ihrer zeitlichen und räumlichen Verarbeitungsgenauigkeit deutlich unterscheiden: Das visuelle System verfügt über ein höheres räumliches, das auditorische System über ein höheres zeitliches Auflösungsvermögen. Daher stellt das Sehsystem für die Verarbeitung von Alltagsobjekten, das Hörsystem jedoch

Audio-visuelle Objekterkennung I – MEG-Befunde

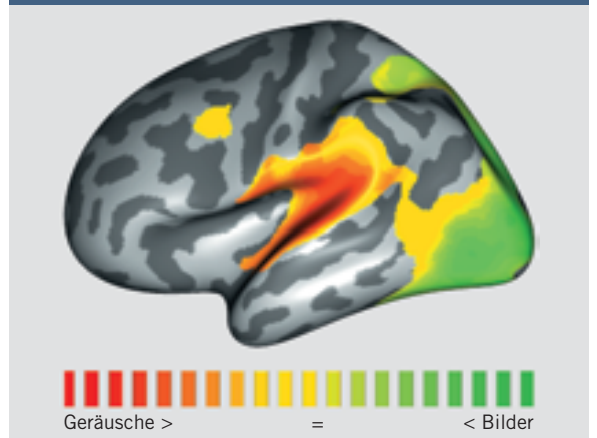


für die Verarbeitung eher sprachlichen Materials die verlässlichere Information bereit. Vor diesem Hintergrund halten wir die Annahme für plausibel, dass die »Bild-Ton-Schere« in Regionen des jeweils dominierenden Sinnessystems geschlossen wird.

Gleichzeitig wird auch unser gesamtes Objektwissen räumlich verteilt repräsentiert, und zwar in Netzwerken von Hirnrindenregionen, die über reziproke Verbindungen miteinander interagieren. Dabei dienen dieselben Hirnregionen, die eine spezifische Art eingehender Sinnesinformation verarbeiten, auch als Wissensspeicher für die jeweilige Objekteigenschaft¹⁷¹. Die lokalen unimodalen Repräsentationen sind nun so miteinander verknüpft, dass bereits das einfache Betrachten eines Hundefotos die entsprechenden auditorischen, taktilen und auch Bewegungsrepräsentationen aktivieren kann. Erst diese unmittelbare Verfügbarkeit von umfassendem Erfahrungswissen über Grenzen zwischen einzelnen Sinnesmodalitäten hinweg ermöglicht uns schnelle und dennoch hinreichend flexibel an die jeweilige Situation angepasste Verhaltensweisen: In der menschlichen Großhirnrinde wird auf diese Weise ein »Einzelfahr-schein« quasi automatisch zur »Netzkarte«.

Die Abbildung zeigt eine virtuell aufgeblasene 3D-Rekonstruktion der linken Großhirnhälfte eines gesunden erwachsenen Probanden, wobei Hirnwindungen und -furchen in hell- beziehungsweise dunkelgrau erscheinen. Die verwendete Falschfarbenskala gibt den relativen Anteil auditorischer (Geräusche; in rot) und visueller (Bilder; in grün) Aktivierungen an der Gesamtaktivierung der jeweiligen Region an. Zusätzlich zu diesen Regionen, die den visuellen beziehungsweise »Was-« und »Wo-Pfaden« angehören, fanden wir weitere Regionen (in gelb). Diese zeigten entweder eine stärkere Aktivierung während bimodaler audio-visueller Stimulation als während unimodaler auditorischer oder visueller Reizpräsentation, oder sie waren sensitiv dafür, ob die jeweiligen Bilder und Geräusche zueinander passten.

Audio-visuelle Objekterkennung II – fMRT-Befunde



Literatur:

^{11/} Breidbach, O. (1997): Die Materialisierung des Ichs – Zur Geschichte der Hirnforschung im 19. und 20. Jahrhundert. Frankfurt: Suhrkamp, stw 1276.

^{12/} Kaiser, J. & Lutzenberger, W. (2003): Induced gamma-band activity and human brain function. *Neuroscientist*. 9(6): Seiten 475–84.

^{13/} Singer, W. (1999): Neuronal synchrony: a versatile code for the definition of relations? *Neuron*, 24(1): Seiten 49–65, Seiten 111–25.

^{14/} Bledowski, C.; Prvulovic, D.; Hochstetter, K.; Scherg, M.; Wibral, M.; Goebel, R. & Linden, D.E. (2004): Localizing P300 generators in visual target and distracter processing: a combined event-related potential and functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Neuroscience* 24(42): Seiten 9353–60.

^{15/} Kaiser, J.; Hertrich, I.; Ackermann, H.; Mathiak, K. & Lutzenberger, W. (2005): Hearing lips: gamma-band activity during audiovisual speech perception. *Cerebral Cortex*: 15(5): Seiten 646–53.

^{16/} Naumer, M.J.; Wibral, M.; Singer, W. & Muckli, L.: Natural sounds activate object-related visual cortex. (Manuskript ist eingereicht und wird derzeit begutachtet).

^{17/} Amedi, A.; von Kriegstein, K.; Atteveldt, N.M.; Beauchamp, M.S. & Naumer, M.J. (2005): Functional imaging of human crossmodal identification and object recognition. *Experimental Brain Research* (im Druck).

Die Autoren

Marcus J. Naumer, 32, (Zweiter von links) studierte Philosophie und Psychologie an den Universitäten Freiburg im Breisgau und Koblenz-Landau. In seiner Doktorarbeit am Max-Planck-Institut für Hirnforschung in Frankfurt untersuchte er audio-visuelle Objekterkennungsprozesse mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomografie (fMRT). Seit Mai 2005 lehrt er als wissenschaftlicher Assistent am Institut für Medizinische Psychologie der Johann Wolfgang Goethe-Universität und erforscht vor allem crossmodale (audio-visuo-taktile) Wahrnehmungsprozesse.

Christoph Bledowski, 33, (Dritter von links) studierte von 1995 bis 2001 Psychologie an den Universitäten Freiburg im Breisgau und Bonn. Seine Doktorarbeit zur Kombination der Methoden fMRT und EEG fertigte er im Rahmen eines Tandemprojekts der Klinik für Psychiatrie der Johann Wolfgang Goethe-Universität und des Max-Planck-Instituts für Hirnforschung in Frankfurt an. Seit Ende 2004 ist er als wissenschaftlicher Assistent am Institut für Medizinische Psychologie der Johann Wolfgang Goethe-Universität tätig und erforscht vor allem Gedächtnis- und Aufmerksamkeitsprozesse.

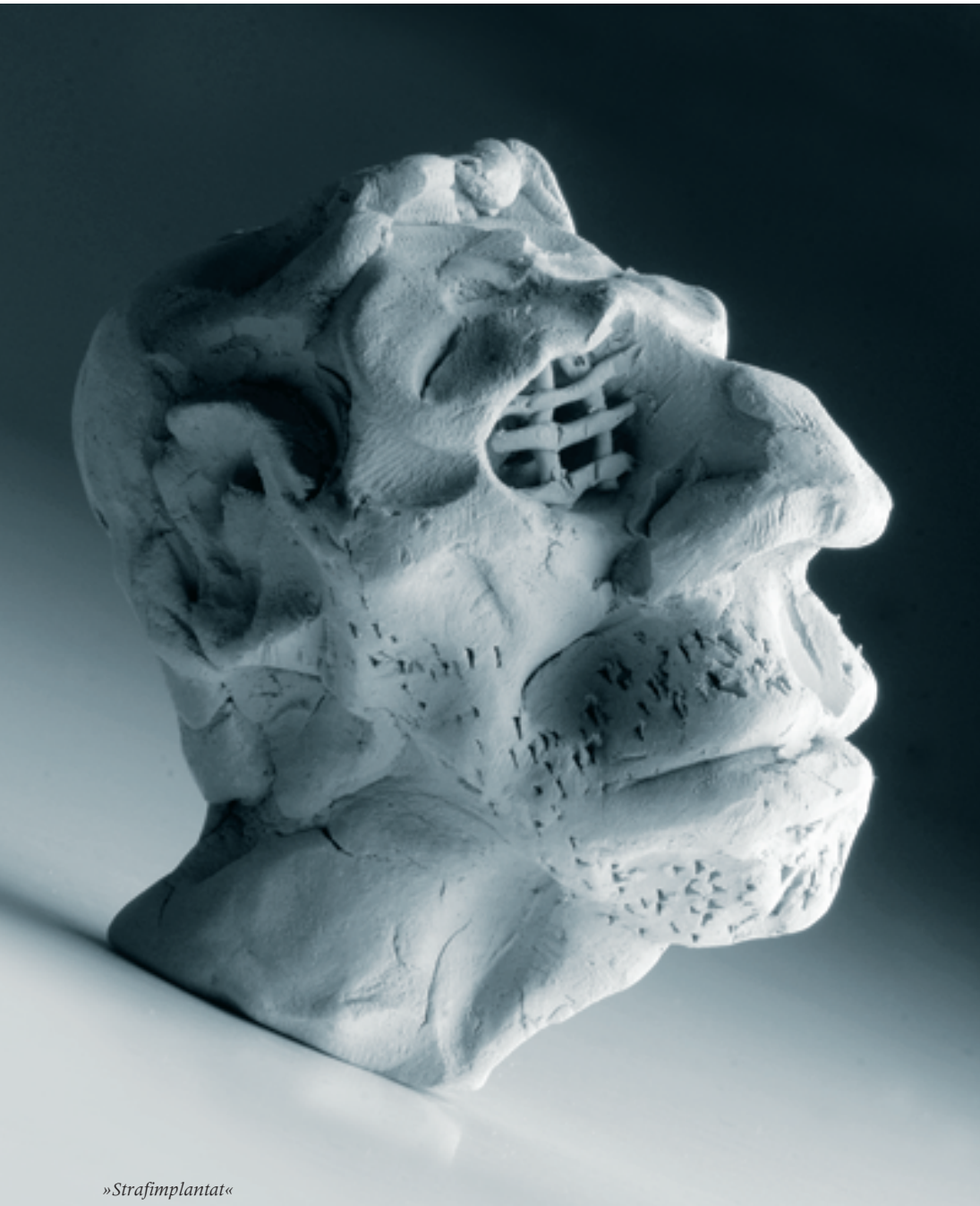
Dr. Christian Altmann, 30, (Erster von links) studierte Psychologie an der Universität Konstanz und untersuchte in seiner Doktorarbeit am Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik in Tübingen visuelle Formerkennung mit Hilfe der fMRT. Seit April 2005 ist er als wissen-

schaftlicher Assistent am Institut für Medizinische Psychologie der Johann Wolfgang Goethe-Universität tätig und widmet sich dort unter anderem den neuronalen Korrelaten auditorischer Wahrnehmung.



Prof. Dr. Jochen Kaiser, 37, (rechts) studierte Psychologie an den Universitäten Mainz und Glasgow und promovierte 1998 am Imperial College London. Während seiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Assistent an der Universität Tübingen war er Teilprojektleiter im Sonderforschungsbereich »Erkennen, Lokalisieren, Handeln: Neurokognitive Mechanismen und ihre Flexibilität« und vollendete 2003 seine Habilitation zum Thema »Oscillatory activity in human magnetoencephalogram during auditory spatial and auditory pattern processing«. Für seine Arbeiten wurde er mit dem Young Scientist Award der European Federation of Psychophysiology Societies (FEPS) und dem Walter-Kalkhof-Rose-Gedächtnispreis der Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz ausgezeichnet. Seit 2004 ist Kaiser Leiter des Instituts für Medizinische Psychologie der Johann Wolfgang Goethe-Universität. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich auditorischer und crossmodaler Wahrnehmungs- und Gedächtnisprozesse.

Verantwortlich für die eigene Tat?



Das Strafrecht
und der
Schuldbegriff –
Eine alte
Diskussion
mit neuen
Impulsen

von Klaus Günther

Muss das Strafrecht, vor allem der Schuldbegriff, wegen aktuellen Erkenntnisse der Hirnforschung in einem neuen Licht gesehen werden? Wenn unsere Entscheidungen und Handlungen durch neurologische Prozesse vollständig kausal vorherbestimmt sind, bleibe für die Willensfreiheit kein Raum. Und wenn der Wille nicht frei ist, dann könne ein Täter für eine Straftat auch nicht verantwortlich sein; denn er hätte in der gleichen Situation nicht anders handeln, also die Straftat auch nicht unterlassen können. Wird die Freiheit der Person so fundamental in Frage gestellt, steht freilich das Recht insgesamt zur Disposition.

Einige prominente Hirnforscher gründen auf ihre Forschungsergebnisse sogar die Forderung, den strafrechtlichen Schuldvorwurf abzuschaffen und die Schuldstrafe durch sichernde Maßnahmen zu ersetzen oder, soweit dies nach dem medizinischen Kenntnisstand möglich ist, durch neurologische Eingriffe und Therapien. Trotz dieser Herausforderungen reagiert die Strafrechtswissenschaft uneinheitlich.¹¹ Denn der strafrechtliche Schuld begriff ist selbst umstritten, vor allem die Frage, ob er Willensfreiheit voraussetzt oder nicht. [siehe auch Marcus Willaschek »Warum die Hirnforschung die Willensfreiheit nicht in Frage stellen kann«, Seite 51]

Strafrechtsordnungen definieren nicht, was schuldhaft ist

Ernüchternd ist allerdings die Feststellung, dass sich in kaum einer Strafrechtsordnung der Welt eine rechtlich bindende positive Definition des Schuld begriffs finden lässt. Nirgendwo steht ein Satz wie »Schuldhaft handelt ein Täter, wenn...« Vielmehr sind überwiegend nur negative Definitionen anzutreffen: Ein Täter ist schuldig, wenn bestimmte Ausnahmen nicht vorliegen. Im deutschen Strafrecht sind das vor allem: Die durch fehlende Reife (Alter unter 14 Jahre) oder Krankheit verursachte Unfähigkeit, das Unrecht der Tat einzusehen oder nach dieser Einsicht zu handeln (§§ 19, 20 Strafgesetzbuch – StGB), fehlende Unrechtskenntnis bei Unvermeidbarkeit dieses Irrtums (Verbotsirrtum – § 17 StGB), besondere Umstände der Tatsituation, die eine Befolgung des Rechts unzumutbar oder eine Rechtsgutsverletzung zumindest verständlich erscheinen lassen (Entschuldigender Notstand – § 35; Notwehrexzess – § 33 StGB), sowie generell die Unzumutbarkeit normgemäßen Verhaltens (zum Beispiel bei Pflichtenkollisionen). Diese Normen, die festlegen, wann Schuld ausgeschlossen wird, variieren historisch und kulturell. So wird der entschuldigende Notstand in einigen Rechtsordnungen (zum Beispiel im anglo-amerikanischen *common law*) nur als ein Strafmilderungsgrund anerkannt, und das Strafmündigkeitsalter schwankt zwischen den verschiedenen Rechtsordnungen teilweise erheblich.

Der Vorzug von solch negativen Definitionen besteht darin, dass der Gesetzgeber sich nicht auf eine bestimmte Bedeutung des Schuld begriffs mit einer möglicherweise problematischen Antwort auf die Frage nach der Willensfreiheit festlegen muss. Neben diesem pragmatischen Grund gibt es vermutlich jedoch noch einen tieferen. Bei Abwesenheit eines Schuld ausschließungs- oder Entschuldigungsgrunds wird stets ohne weitere Begründung positiv strafrechtliche Schuld angenommen. So gilt etwa jeder Delinquent, der nicht unter einem der genannten internen Defizite leidet, als schuldig. Entsprechend wird auch im Strafverfahren der Angeklagte ohne weitere Beweiserhebung für schuldig gehalten, es sei denn, besondere Umstände lassen diese Annahme zweifelhaft erscheinen. Praktiziert wird ein Regel-Ausnahme-Verfahren: Strafrechtliche Schuld ist das, was übrig bleibt, wenn keine der zuvor rechtlich bestimmten Ausnahmen vorliegt. Dann, so lautet die übliche Rede, ist die Straftat dem Täter auch individuell vorwerfbar, entsprechend darf ihm ein Schuldvorwurf gemacht werden.¹²

Was folgt aus diesem einfachen Befund für den strafrechtlichen Schuld begriff? Das Strafrecht und das Kriminaljustizsystem operieren mit einer Art Normalitätsunterstellung. Die Regel ist das, was regelmäßig anzutreffen, was insoweit »normal« ist. Entspricht der Delinquent dem Maßstab, ist er schuldig, entspricht er ihm nicht, dann liegt keine Schuld vor, und er darf auch nicht bestraft werden. So verhalten wir uns auch im Alltag. Tritt uns jemand auf die Füße, reagieren wir zunächst mit Vorwürfen oder fragen, vielleicht nur rhetorisch, nach den Gründen. Das heißt aber, wir machen die betreffende Person für ihr Handeln verantwortlich. Erst wenn diese mit einer Bitte um Entschuldigung reagiert oder wenn wir sehen, dass sie nur gestolpert war, wechseln wir die Einstellung – sie hat es nicht gewollt, sie konnte nichts dafür. Dann lagen Umstände vor, die die durchschnittlich erwartete Kompetenz, die eigenen Körperbewegungen rational beherrschen zu können, für einen Augenblick massiv beeinträchtigt hatten. Diese Selbstverständlichkeit der wechselseitigen Zuschreibung von Verantwortlichkeit, von der wir nur in begründeten Ausnahmefällen abweichen, regiert auch das Strafrecht.

Wann ist ein Delinquent schuldig und schuldig?

Dabei bleibt freilich offen, welche weiteren Annahmen mit dieser generalisierenden Normalitätsunterstellung verbunden sind, insbesondere, ob sich aus ihnen Schlussfolgerungen für oder gegen die Willensfreiheit ziehen lassen. In der strafrechtswissenschaftlichen Diskussion finden sich sowohl deterministische als auch indeterministische und agnostische (das Freiheitsproblem für unlösbar haltende) Positionen. Der bedeutende Strafrechtler Franz von Liszt (1851 – 1919) charakterisierte die Zurechnungsfähigkeit als »normale Determinierbarkeit« durch Vorstellungen und Motive (zum Beispiel sittliche Werte, aber auch die Strafdrohung): »Zurechnungsfähig ist mithin jeder geistig reife und geistig gesunde Mensch bei ungetrübtem Bewusstsein.





Normaler Inhalt und normalmotivierende Kraft der Vorstellungen machen mithin das Wesen der Zurechnungsfähigkeit aus.«^{13/} Der Schuldfähige ist in seinem Verhalten genauso determiniert wie der Schuldunfähige – der Unterschied besteht nur darin, dass die Determination des Schuldfähigen als normal gilt, während die des Schuldunfähigen von dem weiten Bereich der Normalität abweicht. Wie viele andere Deterministen auch verfügt Liszt über ein wichtiges Argument gegen den Indeterminismus, also die Behauptung einer absoluten Willensfreiheit: Wäre unser Verhalten nicht determiniert, dann könnte es nur das Spiel des Zufalls sein. Eine Person für Zufälle verantwortlich zu machen, würde unserer Intuition aber noch viel mehr widersprechen als die Voraussetzung des Determinismus.

Sehr weit in die Richtung des Indeterminismus vorgewagt hatte sich dagegen der Bundesgerichtshof mit einer Entscheidung aus dem Jahre 1952. Danach hätte sich der schuldige Täter für das Recht entscheiden können. Der Grund des Schuldvorwurfs liege nämlich darin, dass »der Mensch auf freie, verantwortliche, sittliche Selbstbestimmung angelegt und deshalb befähigt ist, sich für das Recht und gegen das Unrecht zu entscheiden.«^{14/} Indes hat dieser höchstrichterliche Versuch, den strafrechtlichen Schuld begriff positiv zu bestimmen, keine weitreichenden Folgen gehabt. Die Strafgerichte sind nach wie vor nicht dazu übergegangen, in jedem Einzelfall zu prüfen, ob die in der Definition genannten Merkmale des Schuld begriffs auch tatsächlich beim Angeklagten vorliegen.

Die wissenschaftliche Kontroverse um den Schuld begriff und sein Verhältnis zur Willensfreiheit war damit auch keineswegs beendet. Viele ziehen sich auf eine agnostische Position zurück und versuchen, den strafrechtlichen Schuld begriff so zu bestimmen, dass er für beide Positionen offen bleibt. Nach dem Münchner Strafrechtswissenschaftler Claus Roxin, der sich ausdrücklich als Agnostiker bekennt, »ist Schuld zu verstehen als unrechtes Handeln trotz normativer Ansprechbarkeit.«^{15/} Damit ist nicht mehr gemeint als die

psychische Fähigkeit einer Person, sich selbst zu steuern, also auch auf Normen psychisch so zu reagieren, dass sie diese in ihre Handlungssteuerung einbezieht. Auch hier findet sich wieder das Argument der Normalität, wenn Roxin feststellt, dass diese Steuerungsmöglichkeit »dem gesunden Erwachsenen in den meisten Fällen gegeben ist.« Wer so beschaffen ist, wird »als frei behandelt«, und dies sei eine »normative Setzung (...), deren gesellschaftlicher Wert vom erkenntnistheoretischen und naturwissenschaftlichen Problem der Willensfreiheit unabhängig ist.«

Die normative Natur jener Entscheidung hat schließlich einige Rechtswissenschaftler auch dazu geführt, den Schuld begriff gänzlich von jeglicher Freiheitsunterstellung abzulösen und nur noch normativ oder funktional zu bestimmen.^{16/} Als schuldig gilt dann derjenige Delinquent, dessen Bestrafung nötig ist, um einen gesellschaftlich gewollten Zweck zu erreichen. Sei es die Abschreckung potenzieller künftiger Straftäter, sei es die Wiederherstellung oder Bekräftigung des Vertrauens der Allgemeinheit in die Geltung der Rechtsnormen und die Unverbrüchlichkeit der Rechtsgüter, das durch die Straftat erschüttert wurde. Ob und in welchem Maße eine Gesellschaft durch Rechtsverletzungen irritiert ist, hängt von ihren Funktionsbedingungen und normativen Entscheidungen ab. Dass zum Beispiel das fehlende Wissen über das Unrecht einer Tat Schuld ausschließt, ist eine relativ junge Entscheidung. Über viele Jahrhunderte galt der konträre Satz, dass Unkenntnis nicht vor Strafe schützt (*error iuris nocet*). Freilich kann die Gesellschaft den Delinquenten nicht beliebig für ihre Zwecke einspannen. Dann müsste eine fahrlässige Tötung im Straßenverkehr aus Gründen der Abschreckung härter bestraft werden als ein Mord. Deshalb fungiert der Schuld begriff gleichzeitig als normative Grenze für präventives Strafen. Die Zweckstrafe muss in einem angemessenen Verhältnis zur Tat und zum Grad des Verschuldens stehen. Wer in einer schwierigen Lage, aber noch schuldhaft, fremde Rechtsgüter verletzt, verdient weniger Strafe als derjenige, der aus purem Eigennutz handelt. Diese Unterscheidungen lassen sich jedoch nicht ohne Blick auf die Grade der Freiheit und der inneren Beteiligung des Delinquenten machen.^{17/}

Drei Modelle, wie sich das Strafrecht zu den Ergebnissen der Hirnforschung verhalten kann

In dieser Situation bleiben dem Strafrecht und der Strafrechtswissenschaft im Wesentlichen drei Optionen, die auch in der Vergangenheit immer schon in unterschiedlichem Umfang und mit mehr oder weniger weit reichenden Konsequenzen ausgeübt worden sind:

(1) Man lässt alles so, wie es ist, revidiert allenfalls im Rahmen des § 20 StGB diejenigen Kriterien, die sich auf die Einsichts- und Steuerungsfähigkeit aufgrund einer Krankheit nach den neuesten Erkenntnissen der Neurowissenschaften oder anderen Naturwissenschaften beziehen. Das Strafrecht koppelt sich aber nicht von der alltäglichen Zuschreibungspraxis von Freiheit und Verantwortung ab, wie sie in unserer Gesellschaft stattfindet, und bedient sich der gleichen Sprache – unabhängig davon, ob wir determiniert sind oder nicht. Das Strafrecht verfeinert und formalisiert lediglich die Zurech-

nungskriterien und die Verfahren, in denen über die Schuld des Delinquenten entschieden wird. Für diese Option spricht, dass sie mit dem gesellschaftlich praktizierten Selbstverständnis übereinstimmt und mit den grundlegenden Strukturen, Institutionen und Prinzipien, die für eine gerecht geordnete Gesellschaft von gleichen und freien Bürgerinnen und Bürgern konstitutiv sind (Verfassung und Grundrechte, repräsentative Demokratie, unabhängige Gerichte, Eigentumsrechte

und Vertragsfreiheit). Die spätestens seit der Aufklärung sich mit jedem Wechsel einer paradigmatischen Naturwissenschaft wiederholenden Kontroversen über den Determinismus – von der Physik über die Psychologie zur Biologie – haben das Schuldstrafrecht nur an der Peripherie, nicht jedoch im Zentrum zu verändern vermocht. Allerdings könnte sich dies ändern, wenn es den Hirnforschern gelingen sollte, unser Menschenbild grundlegend zu wandeln.

Anzeige



UNIQUE
OPMI® Pentero™

UNIQUE
Die besten Grundeigenschaften

UNIQUE
Integrierte Digitale Visualisierung

UNIQUE
Intraoperative Diagnostik

UNIQUE
Integration in den Krankenhaus-Workflow

UNIQUE
Einfach einzigartig. Einzigartig einfach.

Einige Optionen sind noch in der Entwicklung und noch nicht erhältlich.

Carl Zeiss Surgical GmbH
E-Mail: surgical@zeiss.de
Produktinformationen:
www.zeiss.de/neuro
Ansprechpartner:
www.zeiss.de/kontakte

ZEISS

We make it visible.

Der Autor



Prof. Dr. Klaus Günther, 48, ist Professor für Rechts-
theorie, Strafrecht und Strafprozessrecht am Fach-
bereich Rechtswissenschaft; er beschäftigt sich seit sei-
ner Habilitationsschrift über »Schuld und kommuni-
kative Freiheit« mit der Frage, wie in modernen Gesell-
schaften Verantwortung zwischen Individuum und Ge-
sellschaft verteilt wird und welche Verteilungskriterien
gerecht sind. In diesem Zusammenhang setzt er sich
auch mit den naturalistischen Herausforderungen der
Verantwortung auseinander, unter anderem im Rahmen
eines interdisziplinären Forschungsprojekts der Volks-
wagen-Stiftung über »Kontrolle und Verantwortung«.

(2) Man lässt sich auf die wissenschaftlichen Kontrover-
sen über Determinismus und Indeterminismus ein, um
den Schuldbegriff eventuell zu revidieren. Dabei zeigt
sich indes, dass das Strafrecht nicht nur an naturwissen-
schaftliche, sondern auch an philosophische Kontrover-
sen gebunden wird.^{18/} Hier finden sich wiederum ver-
schiedene Versionen eines starken und schwachen
Determinismus, Indeterminismus und eines mit dem
Determinismus vereinbaren kompatibilistischen Frei-
heitsbegriffs [siehe auch Marcus Willaschek »Warum
die Hirnforschung die Willensfreiheit nicht in Frage stel-
len kann«, Seite 51, und Matthias Vogel »Warum Zweifel
am omnipotenten Erklärungsansatz der Hirnforscher
begründet sind«, Seite 41]. Ein starker Determinismus
würde dazu zwingen, unser alltägliches freiheitliches
Selbstverständnis und damit auch die darauf gründen-
den Strukturen, Institutionen und Prinzipien (und also
nicht nur das Schuldstrafrecht, sondern das Recht über-
haupt!) aufzugeben. Dagegen müsste der Indeterminis-
mus entweder nachweisen, dass es eine Art Lücke in
der kausal geschlossenen Welt der Natur gibt, in der
eine Handlung aus Freiheit, das heißt, ohne eine Ursa-

che zu haben, bewirkt werden kann.^{19/} Dann ist aber
Freiheit nicht mehr vom Zufall abzugrenzen – und im
Recht ist niemand für Zufälle verantwortlich. Die Alter-
native wäre ein metaphysischer, von der Naturkausalität
vollständig abgelöster Freiheitsbegriff, mit dem sich
aber nicht erklären lässt, wie die Welt des freien Geistes
in der Welt der Natur etwas verursachen könnte, ohne
selbst zur Natur zu werden. Am aussichtsreichsten er-
scheinen solche Versuche, die nicht bestreiten, dass wir
in einer kausal geschlossenen, determinierten Welt leben,
jedoch die Art und Weise der Determination des Men-
schen durch seinen eigenen Geist anspruchsvoller und
komplexer beschreiben, als die Neurowissenschaften es
tun. Die *normale* Determination, an die das Strafrecht
mit seinem Regel-Ausnahme-Modell der Schuldzu-
schreibung anknüpft, wird hier also philosophisch de-
taillierter entschlüsselt. Im Wesentlichen handelt es sich
dabei um die Vermutung, dass freies Handeln durch
Gründe bestimmt wird, für die menschliche Gehirne
durch eine kulturelle Programmierung empfänglich ge-
macht worden sind.^{10/}

(3) Man zieht aus den deterministischen Hypothesen
der Neurowissenschaften die radikale Konsequenz, den
Schuldbegriff des Strafrechts abzuschaffen, ersetzt ihn
durch neurowissenschaftliche Kategorien und schafft
dann allerdings folgerichtig auch die Strafe ab, um sie
durch Schutzmaßnahmen der Gesellschaft gegen ge-
fährliche Individuen zu ersetzen.

Die dritte Konsequenz wird indes auch von den meisten
Hirnforschern gefürchtet.^{11/} Von ihnen verstehen sich
die meisten als Repräsentanten eines aufklärerischen
Humanismus, der Menschen von den belastenden Fol-
gen einer Illusion befreien will, ähnlich den Kämpfern
gegen die Hexenprozesse in der frühen Neuzeit. Ein auf
Willensfreiheit gegründeter Schuldvorwurf wäre dann
ebenso falsch wie der Glaube, bestimmte Menschen

Anmerkungen

^{1/1} dazu erschien in
jüngster Zeit u. a.:
Günther Jakobs,
Individuum und
Person. Strafrecht-
liche Zurechnung
und die Ergebnisse
moderner Hirnför-
schung, in: Zeit-
schrift für die ge-
samte Strafrechts-
wissenschaft 2005,
Seiten 247ff.; Tho-
mas Hillenkamp,
Strafrecht ohne
Willensfreiheit? Ei-
ne Antwort auf die
Hirnforschung, in:
Juristenzeitung 60,
2005, Seiten 313ff.;
Björn Burkhardt,
Was ist es, ein
Mensch zu sein?,
in: Jörg Arnold u. a.
(Hrsg.), Festschrift
für A. Eser zum 70.
Geburtstag, Mün-

chen 2005, Seiten
77ff.; Klaus Lüders-
sen, Ändert die
Hirnforschung das
Strafrecht?, in:
Christian Geyer
(Hrsg.), Hirnför-
schung und Wil-
lensfreiheit, Frank-
furt am Main 2004,
Seiten 98ff.; Anja
Schiemann, Kann
es einen freien Wil-
len geben? Risiken
und Nebenwirkun-
gen der Hirnför-
schung für das
deutsche Strafrecht,
in: Neue Juristische
Wochenschrift
2004, Seiten 2056ff.
^{12/} Herbert Trönd-
le/Thomas Fischer,
Strafgesetzbuch
und Nebengesetze,
Kommentar,
52. Aufl. München

2005, Vor § 13,
Rn. 28

^{13/} Franz v. Liszt,
Lehrbuch des
Deutschen Straf-
rechts, 13. Aufl.
Berlin 1903, Seiten
163f.

^{14/} Entscheidungen
des Bundesge-
richtshofs in Straf-
sachen (BGHSt), 2,
194 (200).

^{15/} Claus Roxin,
Strafrecht Allge-
meiner Teil I, 3.
Aufl. München
1997, § 19 Rn. 36
und Rn. 37.

^{16/} S. exemplarisch:
Günther Jakobs,
Strafrechtliche
Schuld ohne Wil-
lensfreiheit, in:

Dieter Henrich
(Hrsg.), Aspekte
der Freiheit, Re-
gensburg 1982,
Seiten 69 ff.

^{17/} S. zum Vorste-
henden im Einzel-
nen: Klaus Günt-
her, Voluntary
Action and Crimi-
nal Responsibility,
in: Sabine Maasen,
Wolfgang Prinz
u. Gerhard Roth
(Hrsg.), Voluntary
Action, Brains,
Minds, and Society,
Oxford 2003, Sei-
ten 263 ff.

^{18/} S. dazu vor al-
lem die Beiträge
zur Philosophie des
Geistes. Zusam-
menfassend und
einführend: Micha-

el Pauen, Grund-
probleme der Phi-
losophie des Geis-
tes, 2. Aufl.
Frankfurt/Main
2001; Ansgar Be-
ckermann, Analyti-
sche Einführung in
die Philosophie des
Geistes, 2. Auflage
Berlin/New York
2001.

^{19/} Zumindest als
Hypothese zulassen
(mit der Folge ei-
ner Beweislast der
Neurowissenschaften
und einer Bewah-
rung des
Schuldbegriffs) will
dies Klaus Lüders-
sen, Das Subjekt
zwischen Metaphy-
sik und Empirie –
Einfluss der moder-
nen Hirnforschung
auf das Strafrecht?

in: Aktuelle An-
thropologie, Jubilä-
umsband der Wis-
senschaftlichen
Gesellschaft an der
Johann Wolfgang
Goethe-Universität,
Frankfurt am
Main, Stuttgart
2005, Seiten 187 ff.

^{10/} S. dazu Lutz
Wingert, Gründe
zählen. Über einige
Schwierigkeiten
des Bionaturalis-
mus, in: Christian
Geyer (Hrsg.),
Hirnforschung und
Willensfreiheit,
Frankfurt am Main
2004, Seiten 194ff.;
Jürgen Habermas,
Freiheit und Deter-
minismus, in:
Deutsche Zeit-
schrift für Philoso-
phie 2005, Seiten

187ff.; Klaus Günt-
her, Grund, der
sich begründet.
Oder Was es heißt,
eine Person zu
sein, in: Neue
Rundschau 2003,
Seiten 66ff.

^{11/} Z. B. Gerhard
Roth in einem
Streitgespräch mit
Klaus Günther, in:
bild der wissen-
schaft, Heft 3/2005

^{12/} Generell dazu:
Klaus Günther,
Kritik der Strafe I,
in: West End –
Neue Zeitschrift für
Sozialforschung
2004, Seiten 117ff.,
Teil II erschienen in
Heft 1/2005, Seiten
13ff.

würden sich bösen Mächten ausliefern oder würden von diesen heimgesucht, um auf der Welt Unheil zu stiften. Die Schuldstrafe erscheint dann als ebenso ungerecht wie die Hinrichtung auf dem Scheiterhaufen. Freilich ist der Kampf gegen die Hexenprozesse auch und vor allem von Juristen geführt worden; und auch später sind es immer wieder Rechtsgelehrte (wenn auch oft erst unter dem Eindruck einer kritischen, aufgeklärten Öffentlichkeit) gewesen, die gegen Illusionen und unüberprüfte Annahmen im Strafrecht gekämpft haben.

In dieser Hinsicht ziehen Hirnforschung und kritische Strafrechtswissenschaft an einem Strang: Der § 20 StGB steht gleichsam immer unter dem Vorbehalt, dass die Naturwissenschaften nicht neue Krankheiten entdecken, welche ein ursprünglich für frei gehaltenes Handeln als unfrei erweisen. Diese kontinuierliche Kritik an einem bornierten Schuldstrafrecht lebt indes von der Überzeugung, dass nur aus Freiheit unrecht handelnde Menschen Strafe auch tatsächlich verdienen – und dass es deshalb ungerecht ist, auch dann noch Schuld vorzuwerfen und zu strafen, wenn ein Mensch diese Freiheit zum Zeitpunkt der Tat nicht mehr hatte^{12/}. Der aufklärerische Humanismus der Hirnforscher zielt jedoch darüber hinaus: In Frage gestellt wird jene Überzeugung selbst.

Am Scheidepunkt

Hier trennen sich die Wege zwischen der Hirnforschung und einer selbstkritischen Strafrechtswissenschaft. Würde das freiheitliche Menschenbild selbst preisgege-

ben, könnte eigentlich gar nicht mehr gestraft werden. Würde sich die Strafe nicht mehr auf Schuld gründen, bliebe nur noch der Schutz der Allgemeinheit als Strafzweck. Dann müssten an die Stelle der Strafe sichernde Maßnahmen treten, wie sie heute schon zum Beispiel bei der Sicherungsverwahrung für gefährliche Rückfalltäter praktiziert werden. Die Schutzbedürfnisse der Allgemeinheit können zudem je nach gesellschaftlicher Lage und politischem Klima sehr verschieden sein. Vor allem jedoch dürfte die Allgemeinheit bei der Festlegung der Zwecke, um derentwillen gestraft wird, ebensowenig ein freiheitliches Menschenbild zugrunde legen wie bei der Auswahl der gefährlichen Individuen, die bestraft werden sollen.

Wenn die Strafe nicht mehr dem Schutz rechtlich gesicherter gleicher Freiheit dient – welche Zwecke bleiben dann noch übrig? Vermutlich dürfte man noch nicht einmal von »Zwecken« sprechen, soweit dies eine selbstbestimmte Entscheidung von Personen impliziert. Statt dessen bliebe nur das nackte Überlebensinteresse einer Mehrheit gegenüber einer Minderheit. Was als strafwürdiges Verhalten gilt, hinge davon ab, welche Gruppe sich in einer bestimmten Population von Menschen durchgesetzt hat. Strafe wäre dann nichts anderes als ein Mittel im Kampf ums Dasein. Gerecht wäre das, was der sich durchsetzenden Gruppe nützt, indem es sie schützt – gerecht wäre das Recht des Stärkeren. Spätestens seit Platon gilt dies als das Gegenteil von Gerechtigkeit. Der Humanismus, für den die strafrechtskritischen Hirnforscher eintreten, erweist sich somit selbst als eine Illusion. ♦

Geformte Tonklumpen: Mal als Befund, mal als Motto, mal als Kommentar Arbeiten von Elmar Lixenfeld

In den Hard-Fact-Sciences haben bildgebende Verfahren hohe Konjunktur. Gemessene Daten produzieren Anschauungsmaterial von nahezu fotografischer Objektivität; das Wissen lässt sich sozusagen den Bildern anschauen. Das überzeugt. Obendrein erreichen sie eine derartige ästhetische Qualität, dass man glaubt, es handele sich um eine Art autogenetischer Kunst, die hier den Weg zur Wahrheit bahnt. Mit welchen Bildern aber überzeugt die Philosophie? Der Soziologe zeichnet vielleicht Statistiken, Tabellen oder Diagramme. Da braucht das Argument eine lange Weile bis ins Gedächtnis der Bilder – ein tomografisches Bild hingegen zeigt unmittelbar den brennenden Punkt. Die Bildredaktion hat den Beiträgen der Geisteswissenschaften Illustrationen von Elmar Lixenfeld beigegeben. Das bildgebende Verfahren stützt sich auf keine Maschine: Es sind geformte Tonklumpen – plastische Eingriffe in Köpfe. Sie geben Antworten und stellen Fragen zugleich, mal als Befund, mal als Motto, mal als Kommentar.

Elmar Lixenfeld, 42, studierte Visuelle Kommunikation an der Hochschule für Gestaltung Offenbach, Diplom 1987, und an der Accademia di Belle Arti in Rom. Er führt sein Büro für Redaktion und Gestaltung in Frankfurt am Main. Von 1998 bis 2002 war er Dozent an der Universität Frankfurt im Fortbildungs-



programm Buch- und Medienpraxis. Er arbeitet typografisch, zeichnerisch, fotografisch, plastisch, schriftentwerferisch, musikalisch. Hauptsächlich konzipiert und gestaltet er Bücher, dazu gehört auch das »Emotionale Gesetzbuch – Dekalog der Gefühle« [siehe auch Buchtipp, Seite 106]. Auch das grafische Konzept des Wissenschaftsmagazins Forschung Frankfurt hat Lixenfeld vor drei Jahren entworfen.

»Ich habe es doch selbst erlebt ...«

Die Geschichtswissenschaft und die Tücke des Gedächtnisses –
Über die Kooperation mit Neurowissenschaften



»Kanäle des Erinnerns«

VON
Johannes
Fried

Das Gedächtnis arbeitet nicht für Historiker. Es dient dem Leben, und dieses bedarf fließender Anpassungen des erworbenen Wissens an die Anforderungen der Gegenwart und Zukunft. Die Erkenntnisse der Hirnforschung fordern die Historiker heraus: Sie sollten nicht nur erforschen, wie es war, sondern wie Erinnerungskulturen funktionieren. Dazu bedürfen sie der Kooperation mit den Kognitionswissenschaften.

Unser Gedächtnis ist ein notorischer Betrüger. Es moduliert und verformt unablässig unsere Erinnerungen und gaukelt uns Wirklichkeiten vor, die so, wie sie erinnert werden, nie geschehen sind. Es passt sie den flüchtigen Bedingungen jener Augenblicke an, in denen sie zunächst kodiert wurden und sodann reproduziert werden. Unsere Erinnerungen verharren nicht unveränderlich bei der ersten Wahrnehmung eines Geschehens. Sie leben und altern vielmehr mit uns, vermischen sich unmerklich mit früheren und späteren Erfahrungen, stoßen zutreffende, auch wesentliche Einzelheiten ab, saugen Nichtzugehöriges an, unter-

liegen Überschreibungen und Kontaminationen mit sachlich Fremdem, vermengen sinnlich Wahrgenommenes mit bloß Gedachtem oder Gewünschtem, Erzähltes oder Geträumtes mit real Erlebtem, vergessen und erfinden, kodieren alles nach jeder Reproduktion situationsbedingt neu, um es entsprechend verändert dem Gedächtnis anzuvertrauen und bei jedem Abruf wiederum neu zu (re-)produzieren. Keine Erinnerung bleibt mit sich selbst identisch.

Gleichwohl stiftet erst die Erinnerung die Einheit eines Geschehens und formt erst aus der Fülle wahrgenommener Einzelheiten ein sinnvolles Ganzes. Ein

Erlebnis, eine bewusste Erfahrung, ein Wissen ist stets Erinnerung und niemals bloße, schon gar nicht ursprüngliche Wahrnehmung. Die Geschichtsforschung, die auf Gedächtniszeugnisse angewiesen ist, ist unmittelbar davon betroffen, dass sich alle Erinnerungen bereitwillig verformen. Sie muss entsprechend in das Verformungsrepertoire des Gedächtnisses eindringen, um dasselbe in ihre Arbeit einzukalkulieren, mithin eine spezifische »Memorik« entwickeln, welche die einschlägigen Erkenntnisse der empirischen Kognitionswissenschaften bis hin zur Neurobiologie zu berücksichtigen versteht.

Geschichte ist eine Human- und Lebenswissenschaft, keine Aktenkunde

Historiker hören das nicht gern. Ihre bisherigen Methoden kennen keine derartige Memorik; auch fürchten sie um die Glaubwürdigkeit des Quellenmaterials, das sie dem Gedächtnis von Zeitzeugen verdanken und aus dem sie ihre eigenen Erkenntnisse gewonnen haben. Manche erwarten gar, nach der Methode des Vogel Strauss dem Irrgarten des Gedächtnisses entkommen zu können. Belegen nicht, so ihre trügerischen Hoffnungen, eine lange Forschungsgeschichte und deren reiche Erträge, dass die Geschichtsforschung der experimentellen Humanwissenschaften nicht bedürfe, um zu ihren Erkenntnissen zu gelangen; dass sie zu »verstehen«, nicht zu »erklären« lehre und deshalb sich grundlegend von den Naturwissenschaften unterscheidet? Und haben nicht zwar popularisierend, doch mit wissenschaftlicher Hilfe unlängst einige Spiel- und Dokumentationsfilme eindrucksvoll vor Augen geführt, »wie es tatsächlich gewesen ist«? Selbst Neurobiologen zeigten sich von solcher historischen Inszenierungskunst beeindruckt.

Indes, Geschichte ist eine Human- und Lebenswissenschaft, keine Aktenkunde, keine Textverknüpfungskunst oder Diskurstheorie, obgleich sie Akten, Texte, Diskurse untersucht, und solche auf einander bezogen werden müssen. Der Umstand wird nur allzuleicht übersehen. Erwartungen und Planungen, Verhalten, bewusstes Handeln, Wissen, Können und Erfindungen, Habitus der Menschen, kulturelle Konditionen und dergleichen mehr sowie ihrer aller Wirkungen verlangen nach Beachtung und eben auch das Kontinuität und Sinn stiftende Gedächtnis und mit ihm die Entstehung von Handlungseinheiten oder historischen Tatsachen. Widersprüche zwischen realem Geschehen und den Erinnerungen sind selbst aufschlussreiche Sachverhalte, die erforscht werden müssen, sobald menschliches Wissen, Planen und Handeln erfasst werden soll.

Dokumentarfilme und die Unschärfe der erinnerten Ereignisse

Gut in Erinnerung dürften tatsächlich die jüngsten Filme und Fernsehsendungen zur Zeitgeschichte sein: *Der Untergang* von Bernd Eichinger und Oliver Hirschbiegel; *Sophie Scholl* von Marc Rothmund und Fred Breinersdorfer oder *Speer und Er* von Heinrich Breloer. Ihre Autoren beriefen sich auf, wie es schien, verlässliche Quellen, auf die Erinnerungen nämlich von Beteiligten und weiteren Zeitgenossen. Derartige Berichte von Augenzeugen genießen in der Regel hohes Ansehen; sie versprechen Authentizität und scheinen sachli-

che Details zu vermitteln, die oftmals keinerlei Parallelquellen überliefern. Wie steht es angesichts der Skepsis gegenüber den Leistungen des Gedächtnisses um sie? Wieweit dürfen wir uns auf sie verlassen? Wieweit haben sie uns eine zutreffende, eine unzutreffende, gar eine falsche Geschichte vor Augen geführt?

Diese Filme bilden in der Tat keine Ausnahme. Ohne Zweifel bereiteten die Alliierten Hitlers Terrorsystem das Ende, wurde Sophie Scholl vernommen, verurteilt und hingerichtet, hatte Speer den Untergang seines »Führers« überlebt. Doch die Filme beschränken sich nicht auf diese allgemeinen Feststellungen. Sie reproduzieren Episoden, entwerfen komplexe Handlungen, Dialoge, Gesten, visualisieren prozesshafte Geschehnisse, wie sie allein Erinnerungen produzieren können. Damit bemächtigen sich ihrer die Modulationskräfte des Gedächtnisses. Einfach erfunden waren die Vergangenheitsbilder nicht, durch die, die sie entwarfen, aber sie litten unter der Unschärfe der erinnerten Ereignisse und waren deshalb in unterschiedlicher Intensität mit Fehlern durchsetzt.

Der Untergang verließ sich – ohne sie kritisch zu hinterfragen – im Wesentlichen auf die Aufzeichnungen von Traudl Junge aus den Jahren 1947/48, eine der letzten Sekretärinnen Hitlers, die den Untergang im Führerbunker überlebte. Doch allein durch die Umstände ihres Zustandekommens bieten diese Erinnerungen höchst problematische und irreführende Auskünfte, nicht zuletzt auch gravierende Fehler und Fehlinformationen. Hier nur zwei Beispiele: Junge konnte entgegen ihrer Behauptung jenen Schuss – »Volltreffer!« – nicht gehört haben, mit dem Hitler seinem Leben ein Ende setzte; nicht einmal dessen Diener Heinz Linge, der unmittelbar vor den Privaträumen des »Führers« auf diesen Schuss wartete, hatte ihn nach eigener Aussage vernommen. So schrieb dieser Film auch den vielfach und nicht zuletzt in Junges und seinen eigenen »Erinnerungen« kolportierten Mythos von Albert Speer als »guten Nazi«, als Hitler-Freund und Hitler-Widersacher, fort, ohne sich um eine längst überfällige und tatsächlich bereits eingeleitete »Entmythologisierung« des letzten Rüstungsministers in Hitler-Deutschland zu kümmern.

Anders *Sophie Scholl*: Dieser Film benutzte die Akten des Prozesses gegen die Heldin des wirklichen Lebens vor dem »Volksgerichtshof«, was sachlich verlässlichere Aussagen ermöglichte als jene nachträglichen Erinnerungen. *Speer und Er* bediente sich verschiedener Dokumente und Erinnerungen von Hitlers letztem Rüstungsminister und weiterer, zum Teil entgegengesetzter Memoiren noch anderer Zeitzeugen, die aufgrund umfangreicher Aktenrecherchen aber nicht unerheblich korrigiert wurden. Damit



entstand ein kritischer Beitrag zum Speer-Diskurs, der auch jene nicht schonte, die bis zuletzt den Mythos kolportierten.

Die Filme verfestigen ihrerseits freilich Vergangenheitsbilder, da sie selbst sich tatsächlich dem Erinnerungsfluss entziehen. Sie halten gleichsam die Zeit an, konservieren, wovon sie erzählen. Alles – Sprache, Dialoge, Tonfall, Bilder, Farbe, Bildsequenzen, abrupte Schnitte, Interviews, Musik, Bewegungen, Handlungseinheiten und anderes mehr – bleibt im Film fortan identisch. Damit wird eine Abgeschlossenheit und Unveränderbarkeit der Vergangenheit suggeriert, die es im Gedächtnis tatsächlich nicht gibt. Der Betrachter ändert sich mit der Zeit. Für das kollektive und kulturelle Gedächtnis bleibt Derartiges nicht ohne Folgen. Die Inszenierung implantiert bei jenen Zuschauern, die sich mit der Sache nie weiter haben beschäftigen können, Erinnerungsbilder, die – wie zu befürchten steht – stärker haf-



ten als alle Dokumente und alles sonstige Wissen, die somit – wenn auch im Dienst künstlerischer Freiheit – Wirklichkeit vortäuschen, wo keine ist, die endlich im Medium des Films festgebannt und damit unendlich wiederholbar sind. So kanonisieren die Filme ein wirklichkeitsfernes Vergangenheitskonstrukt und laufen zudem Gefahr, sich ihrerseits faktisch zu einer kanonisierten Gedächtnisikone zu wandeln.

Erinnerung also steht nicht still. Zahlreiche Disziplinen bestätigen und verdeutlichen den Befund. Die Ethnologie etwa kennt das sich gleitend und kontinuierlich der jeweiligen Gegenwart anpassende kollektive Gedächtnis schriftloser oder schriftarmer Kulturen; es interpretiert und legitimiert diese Gegenwart durch »historische« Erzählungen. Auch literaten, zumal diktatorisch, weltanschaulich oder religiös geprägten Kulturen ist ein derartiger Anachronismus nicht fremd. Was dauerhaft bewahrt werden soll, muss kanonisiert und besonderen »Medien« anvertraut werden: Sei es dem Gedächtnis eigens geschulter Spezialisten (wie zum Beispiel die »Veden« der Brahmanen), sei es einem Zeichensystem (wie die Bibel der Schrift) oder sei es dem Medium eben des Films. Alle großen Religionen der Erde kennen derartige Kanonisierung. Doch garantiert kein Kanon die episodische Wahrheit der zu bewahrenden Erinnerung.

Souverän: Die modulierenden Operationen des Gedächtnisses

Die Psychologie wartet mit Experimenten auf, die derartige Unzuverlässigkeit des episodischen Gedächtnisses geradezu messbar machen. Die Neurobiologie bietet, obgleich die »Elektro-Chemie« des Erinnerungsprozesses selbst noch nicht hinreichend entschlüsselt ist, erste Erklärungen dafür, dass und in welcher Weise die Hirnorganisation zu diesen Verformungen erinnerten Episoden entscheidend beiträgt. So können die Neurowissenschaftler beispielsweise belegen, dass jede Erinnerung tatsächlich eine Neukonstruktion darstellt und kein

Welche Faktoren können die Erinnerungsleistung verformen?

Aus unseren Forschungen ließen sich 19 primäre Verformungsfaktoren namhaft machen. Sie alle müssen nicht gleichzeitig wirksam werden; sie können einander in unterschiedlichen Konstellationen ablösen; auch mag es noch weitere derartiger Faktoren geben. Wie dem aber sei, sie formen maßgeblich die Gedächtniskonstrukte eines jeden Zeugen und bewirken aufs Ganze gesehen, dass keine Erinnerung an dasselbe Geschehen einer zweiten gleicht. Weitere, noch nicht erkannte Faktoren sind damit nicht ausgeschlossen.

Diese Liste lässt sich als Prüfraster über jede Erinnerung legen.

- 1) aktive oder passive Teilnahme an einem Geschehen
- 2) intuitive Nutzung hirninterner Darstellungsmuster
- 3) Wiederholung des Berichts
- 4) konditionierende Wissensvorgaben (wie sie etwa eine Frage oder auch Stress bewirken)
- 5) Anzahl und Dichte der zu erinnernden Geschehnisse
- 6) Bewertung, Selektion und Dekonstruktion der tatsächlich eingehenden zahllosen Sinnesdaten
- 7) entgegengerichtete Konstruktion der Erinnerungen mit Hilfe der selektierten Daten zu einem in sich geschlossenen Ganzen
- 8) emotional getönte Positionierung der eigenen Person in dem erinnerten Geschehen (wie Selbstheroisierung oder Scham)
- 9) Bereitschaft zur Kanonisierung der Erinnerungen
- 10) Kontamination mehrerer gleichartiger Geschehnisse zu einem einzigen
- 11) Abgelegenes heranholende und vergrößernde Teleskopie
- 12) Überschreibung gleichartiger Faktoren verschiedener Episoden zu eigentümlichen Mischkonstrukten
- 13) Kontraktion zeitlich gedehnter Geschehnisse zu einem einzigen Augenblick, einer einzigen Geste, vielleicht nur einem Wort
- 14) Mehrdeutigkeit eingehender Signale
- 15) temporale und qualitative Inversion, die jeweils Früheres in Späteres oder »Gutes« in »Böses« (auch in umgekehrter Richtung) verwandelt
- 16) situative soziale, psychische oder neuronale Konstellation der Wahrnehmungskodierung
- 17) entsprechende Situation zum Zeitpunkt der Reproduktion
- 18) Gewissheitssyndrom (wonach derjenige, der sich erinnert, seine Erinnerungen für zuverlässig erachtet)
- 19) Art und Weise der neuronalen Verrechnung der primären und sekundären Verformungsfaktoren insgesamt durch ein sich erinnerndes Hirn.

Hervorholen einer früheren Wahrnehmung. Der gesamte Kreis der Kognitionswissenschaften bestätigt die eigentümlich souverän modulierenden Operationen des Gedächtnisses, die niemanden und nichts unberührt lassen, die kein »Ich« durchschaut, und die erst dann zur Ruhe kommen, wenn die letzte Spur des einstmaligen Wahrgenommenen und vom Gedächtnis Bewahrten erloschen ist. Kein Zeuge entkommt dieser Herrschaft seines Hirns über seine Erinnerungen.

Die Folgen, nämlich die jeweiligen Erinnerungsprodukte, sind in der Regel weder prognostizierbar noch im Nachhinein – aus Mangel an hirninernen Informationen – erklärbar. Niemand weiß, was er morgen von heute tatsächlich erinnern wird. Die Produkte erscheinen als irrational, zufällig oder willkürlich, obgleich sie den physikalisch-chemischen Prozessen des Hirns unterliegen. Nur wer weiß, wie das Gedächtnis arbeitet, kann dessen Leistungen angemessen beurteilen und entsprechende Folgerungen ziehen. Historische Gedächtnisforschung verlangt deshalb danach, psychologische und neurologische Forschungsergebnisse zu berücksichtigen; insofern bedarf es der Zusammenarbeit der Geschichtswissenschaft mit diesen Disziplinen.

Für den Historiker sind dabei oftmals die psychologischen Erkenntnisse aufschlussreicher als jene der Neurowissenschaften im engeren Sinn. Psychologen differenzieren unter anderem zwischen dem episodischen und semantischen Gedächtnis und damit zwischen historischem Geschehen und der »Lehre« aus der »Geschichte«. Episodisches Gedächtnis bezeichnet die Fähigkeit, detailreich eigene Erlebnisse oder fremde Erzählungen zu erinnern; semantisches Gedächtnis umfasst das Vermögen, das kontextunabhängige Wissen zu bewahren – wie eine mathematische Formel, aber auch Allgemeinbegriffe wie »Baum« oder eine von den Einzelereignissen gelöste Lebenserfahrung. Es könnte sein, dass an beiden Gedächtnisarten unterschiedliche Hirnareale maßgeblich beteiligt sind. Das episodische Gedächtnis ist stärkeren und nachhaltiger wirksamen Verformungskräften ausgesetzt als das semantische. Dass Hitler beispielsweise im Bunker seinem Leben ein Ende setzte, steht fest; wie es aber dazu kam, ist – wenn überhaupt – nur durch kritische Analyse widersprüchlicher Erinnerungszeugnisse zu klären.

Die Angst des Historikers vor dem Gedächtnis

Die Angst der Historiker vor dem Gedächtnis ist somit nicht grundlos, doch ist sie unberechtigt. Gedächtniskritik beraubt sie keiner einzigen Quelle. Wohl aber stellt sie neue Anforderungen an die Methodik und die Beurteilung von Zeugenaussagen, mithin ihrer Quellen, soweit diese sich einem Gedächtnis verdanken. Der Quellenwert verschiebt sich. Manche bisher für zuverlässig geltende Information muss korrigiert oder ganz aufgegeben werden; manch eine Aussage verlagert ihren Geltungsbereich. Neue, bisher verdeckte Sachverhalte treten in den Blick. Die Berücksichtigung von Neurobiologie oder Psychologie verheißt damit mehr als bloße Quellenkritik; wird doch jede Interaktion zwischen Individuen und Kollektiven irgendwie vom Gedächtnis gesteuert. Konfliktwahrnehmung, Konfliktverhalten und Konfliktlösung beispielsweise sind an Erinnerungen gebunden. Auch Terror sitzt »in den Köpfen«, was

heißt: im Gedächtnis. Wiederholung verfestigt und erleichtert die Stimulation.

Eine erste Unterscheidung von vier Erinnerungstypen erweist sich für Historiker als hilfreich: Erinnerung nämlich, Gegenerinnerung (die Erinnerung einer Gegenseite, der »altera pars«), Parallelerinnerung (die jeweiligen Erinnerungen der verschiedenen Gruppenmitglieder zu demselben Geschehen) und »neutrale« Kontrollzeugnisse (wie etwa Akten) sind auseinanderzuhalten. Doch stehen nicht immer alle vier Gedächtnistypen zur Verfügung. Der wechselseitige Vergleich verweist auf wesentliche Faktoren und Momente der Gedächtnisverformung. Zu ihnen tritt eine Reihe primärer und sekundärer, mehr oder weniger stets wirksamer Verformungsfaktoren. So unterlag Traudl Junge einer typischen Selbstheroisierung, indem sie sich in ihrer Erinnerung zum Ohrenzeugen des Schusses machte, mit dem Hitler endete, obwohl sie erst nachträglich über die Art des Selbstmordes informiert wurde.

Anzeige



Innovationen für Menschen

www.siemens.de/medical

Mr-2864-2

Proven Outcomes. Sichtbare Ergebnisse in der Bildgebung. Innovative Verfahren in der bildgebenden Diagnostik ermöglichen häufig ein schnelleres und genaueres therapeutisches Vorgehen. Dabei wird der Patient möglichst wenig belastet und der gesamte Therapieverlauf effizient gestaltet. So können möglichst viele Menschen am medizinischen Fortschritt partizipieren. Siemens Medical Solutions ist weltweit einer der größten Anbieter im Gesundheitswesen, beschäftigt rund 31.000 Mitarbeiter und ist in 120 Ländern präsent.

Siemens **Medical Solutions** that help

SIEMENS
medical

Als sekundäre Einflüsse, welche die Zuverlässigkeit unserer Erinnerungen bedrohen, kommen bewusste Mittel der Aussagengestaltung in Betracht, wie etwa die Versprachlichung einer Information, die dabei bewusst eingesetzten Erzähl- oder Darstellungsmuster, der Einfluss des Adressaten auf die Erinnerung, deren Zweck, die Einbindung in einen intersubjektiven Diskurs, auch absichtliche Täuschung oder Lüge und dergleichen Faktoren mehr. Sie sind typologisch deutlich von den primären Faktoren zu unterscheiden, die stets unbewusst gemäß den situativen Dispositionen des Hirns wirksam werden. Beide Faktorenbündel fließen im realen Leben mitunter ineinander [siehe Informationskasten »Welche Faktoren können die Erinnerungsleistung verformen?«, Seite 34]

Das Hypothetische historischer Argumentation tritt stärker hervor, wenn diese Faktoren mitberücksichtigt werden. Ungewohnte, zum Teil unbequeme Fragen müssen gestellt werden – beispielsweise nicht nur, ob dieser oder jener Verformungsfaktor wirksam wurde, sondern gerade auch: Wodurch wurde er ausgelöst, was und womit wurde etwas überschrieben, welche Art von Inversion liegt vor, aus welchen Gründen konnte sie erfolgen? Die jeweiligen Antworten verweisen auf individuelle Dispositionen des Zeugen, aber auch auf Rückkopplungseffekte zu seinem gesellschaftlichen Umfeld, insgesamt also auf »neuro-kulturelle« Konstellationen. Denn die Neuronen sind von ihrer ersten Ausprägung an auf Austausch und Interaktion erst mit ihrer körperinternen, dann mit ihrer körperexternen Umwelt angelegt. Jedes individuelle Erinnerungszeugnis lässt sich auf Spuren derartiger Rückkopplung untersuchen sowie daraufhin, was diese jeweils bewirkte. Neuartige »neuro-

kulturelle« Forschungsmethoden kommen mit dem Fortschritt der Neuro- und Kognitionswissenschaften auf die Geschichtsforschung zu. Sie beschränken sich auch nicht auf das Individuum. Die bislang viel zu wenig beachteten Erinnerungsweisen einer Zivilisation, die Konfrontation der Leistungen des stets auf Individuen angewiesenen kulturellen Gedächtnisses mit jenen des zerebralen, können dem Historiker somit Befindlichkeiten der Individuen und Kollektive anzeigen, die ihm bisher verborgen blieben.

Ausblicke: »Zeitgeist« wird fassbar

Ohne dass schon alle Konsequenzen dieser neu ausgerichteten Forschung zu überschauen wären, lassen sich schon jetzt Untersuchungsbereiche umreißen. Zu denken wäre etwa an die Wirkungen der jeweils praktizierten Erziehungsmuster und damit an die Abfolge der in Habitus, Interessen, Wertsetzungen, privaten oder öffentlichen Existenzmustern differierenden menschlichen Generationen, deren neuronale Netze durch die jeweilige Elterngeneration maßgeblich geformt wurden; »Zeitgeist« wird fassbar. Auch der Divergenz einander fremder Kulturen, die auf einen von divergierenden kollektiven Erinnerungen geprägten Sozialisationsprozess zurückzuführen sind, ließe sich so klarer herausarbeiten. Ein solcher Umgang mit neurokulturellen Erkenntnissen könnte auch zu neuen Einsichten in den Auf- und Niedergang großer Reiche, religiöser Kulte und Weltreligionen führen – ja, sogar Einblicke in die Entfaltung menschlicher Zivilisation überhaupt ermöglichen. ♦

Weiterführende Literatur

Johannes Fried, Die Aktualität des Mittelalters. Gegen die Überheblichkeit unserer Wissensgesellschaft, 3. Aufl. Stuttgart 2003.

Johannes Fried, Der Schleier der

Erinnerung. Grundzüge einer historischen Memorik, München 2004. [siehe auch Buchtipps »Die Memorik als Herausforderung für die Geschichtswissenschaft«, Seite 104]

Christian Geyer (Hrsg.), Hirnforschung und Willensfreiheit. Zur Deutung der neuesten Experimente, Frankfurt am Main 2004. [siehe auch Buchtipps »Versuch, die zerebrale Uto-

pie zu vermessen«, Seite 98]

Hans-Joachim Markowitsch, Dem Gedächtnis auf der Spur: Vom Erinnern und Vergessen, Darmstadt 2002.



Der Autor



Prof. Dr. Johannes Fried, 63, ist Professor für Mittelalterliche Geschichte an der Universität Frankfurt. Seine Forschungsschwerpunkte sind das Früh- und Hochmittelalter sowie die Geschichte von Bildung und Wissen mit Erinnern und Vergessen im Mittelalter. Die Mediävisten müssen ihre Quellen ganz besonders unter die Lupe nehmen, denn häufig haben Zeugen erst Jahrzehnte später ihre Erinnerungen aufgeschrieben. Die Geschichtswissenschaft habe schriftlichen Zeugnissen allzu oft vertraut, so Fried, ohne die Erinnerungsfähigkeit der Zeugen zu überprüfen. Nicht zuletzt um einen Umdenkprozess anzustoßen, sucht Fried den Kontakt zu den Kognitionswissenschaftlern. So arbeitet er

gemeinsam mit dem Entwicklungspsychologen Dr. Wolfgang Mack [siehe auch Wolfgang Mack »Wie sich Selbstbewusstsein im Säuglings- und Kindesalter entwickelt«, Seite 65] an einem Projekt, in dem es darum geht, wie Kindern im Mittelalter Wissen vermittelt wurde und wie sich Kinder in jener Zeit kognitiv entwickelten. Von 1996 bis 2000 war Fried Vorsitzender des Verbandes der Historiker und Historikerinnen Deutschlands. Für sein Werk »Der Weg in die Geschichte. Die Ursprünge Deutschlands bis 1024« (Berlin 1994) erhielt er den Preis des Historischen Kollegs. Zu seinen jüngeren Publikationen zählt unter anderem »Der Schleier der Erinnerung. Grundzüge einer historischen Memorik [siehe auch Buchtipps »Die Memorik als Herausforderung für die Geschichtswissenschaft«, Seite 104]. 1995 war Fried Fellow des berühmten Institute for Advanced Studies in Princeton. Fried ist Mitglied von zwei nationalen und zwei internationalen wissenschaftlichen Akademien.

Vom Überleben im Datendschungel



Funktionelle Bildgebung zeigt, wie wir unsere Aufmerksamkeit lenken

Ein Moment höchster Konzentration. Der Torwart richtet seine Aufmerksamkeit wie einen Scheinwerfer auf einen bestimmten Ausschnitt des Gesichtsfeldes, der sich mit dem Herannahen des Balls (gelb) vergrößert. Zuvor hat er versucht, zwei Orte gleichzeitig zu beachten (grün) und dabei Störendes auszublenden (rot). Nicht nur Orte, auch ganze Objekte können Aufmerksamkeit beanspruchen (blau). Die Arbeitsgruppe Kognitive Neurologie am Universitätsklinikum Frankfurt erforscht, wie unser Gehirn solche Aufgaben meistert.

Es geschah vor ein paar Jahren in Costa Rica: Beim Warten auf den Bus zum Nebelwald setzte sich ein alter, etwas hilflos wirkender Mann neben mich. Wohl auf der Suche nach Geld für seine Fahrkarte fielen ihm plötzlich Münzen aus der Hand, die direkt vor meine Füße rollten. Wortreich entschuldigte er sich und bat mich, ihm beim Einsammeln der Münzen zu helfen. Natürlich kam ich dieser Bitte nach. Kurz darauf stieg er mit der Begründung aus, er habe etwas vergessen. Der Bus fuhr endlich los, der Schaffner kam, wollte meinen in der Geldbörse aufbewahrten Fahrschein sehen – und die Geldbörse war weg. Der arme alte Mann war ein Taschendieb gewesen! Doch wie war ihm das gelungen? Die Geldbörse befand sich in einer mit einem Klettverschluss verschlossenen Hosentasche direkt an meinem Körper. Nun, er war ein Experte der Aufmerksamkeit: Er hatte mich schlichtweg so geschickt abgelenkt, dass ich diesen Vorgang, der sonst kaum unbemerkt geblieben wäre, nicht wahrgenommen habe.

Experten der Aufmerksamkeit

Nicht nur Taschendiebe wissen um den Effekt von Aufmerksamkeit auf unsere Wahrnehmungsfähigkeit. Auch der ganze »Hokuspokus«, den Zauberkünstler mit Stab, Tuch

und hübscher Assistentin inszenieren, hat nur den einen Zweck: unsere Aufmerksamkeit vom eigentlichen Geschehen abzulenken. Die Werbeindustrie auf der anderen Seite treibt immensen Aufwand, um unsere Aufmerksamkeit auf die Produkte ihrer Auftraggeber zu lenken. Taschendiebe, Zauberkünstler, Werbeleute – sie haben alle eines begriffen: Nur das, worauf wir unsere Aufmerksamkeit lenken (oder lenken lassen), wird bewusst wahrgenommen, brennt sich ins Gedächtnis ein, beeinflusst unsere (Kauf-)Entscheidungen.

Unsere Arbeitsgruppe Kognitive Neurologie am Universitätsklinikum Frankfurt hat das Ziel, die neuronalen Prozesse zu charakterisieren, die solchen erstaunlichen Aufmerksamkeits-effekten zugrunde liegen. Wir untersuchen, welchen Einfluss Aufmerksamkeit auf die Aktivität in sensorischen Hirnarealen hat, mit denen wir Sinneseindrücke verarbeiten. Die Methode, die dabei vorzugsweise eingesetzt wird, ist die funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT; [siehe »Ausgewählte Methoden der Hirnforschung im Überblick«, Seite 78]: Sie erlaubt es, neuronale Aktivität indirekt über Änderungen der Blutversorgung mit recht guter räumlicher Auflösung darzustellen, weil arbeitende Neuronenverbände viel Energie und Sauerstoff anfordern.

Top-down-Kontrolle: Das Spotlight-Modell

Ausgangspunkt unserer Arbeiten sind dabei fMRT-Studien, die Ende der 1990er Jahre für Furore sorgten (für einen Überblick siehe^{1/}). Diese Untersuchungen zeigten, dass neuronale Aktivität in der Sehrinde, der primären Auswertstation für die von den Augen gelieferten Daten, nicht nur davon abhängt, was die Netzhaut meldet (bottom-up), sondern auch davon, ob diesem Input Aufmerksamkeit zuteil wird. Dabei werden solche Subareale der Sehrinde stärker aktiviert, die jene Region des Gesichtsfeldes kodieren, auf die die Probanden ihre Aufmerksamkeit richten. Mit anderen Worten: Wahrnehmungszentren wie die Sehrinde unterliegen einer Top-down-Kontrolle durch höhere, im Scheitel- und Stirnhirn lokalisierte Zentren, die die Aufmerksamkeit und die Verteilung von Verarbeitungsressourcen steuern. Dabei wird Aufmerksamkeit gerne mit einem Spotlight – einem Scheinwerfer – verglichen: So wie ein Spotlight einen Teil der Bühne ausleuchtet, um das dortige Geschehen hervorzuheben, wählt die Aufmerksamkeit bestimmte Gesichtsfeldregionen aus, so dass Reize in dieser Region bevorzugt verarbeitet werden. Neuronales Korrelat dieser Fokussierung ist die top-

down vermittelte gesteigerte Aktivität in denjenigen Subarealen der Sehrinde, die Information aus diesem Teil des Sehfeldes zu verarbeiten haben. Dabei ist für jeden Bereich des Sehfeldes ein Bezirk der Sehrinde zuständig (Retinotopie; [siehe auch Lars Muckli et al. »Wie optische Illusionen in der Großhirnrinde entstehen«, Seite 14]. Anders gesagt: ob ein Reiz an einem bestimmten Ort im Sehfeld erscheint, dann auf die korrespondierende Stelle der Netzhaut fällt und schließlich in dem für diese Stelle zuständigen Subareal verarbeitet wird, oder ob man sich in seiner bloßen Vorstellung auf diesen Ort konzentriert, ohne dass irgendein Reiz gesetzt wird, spielt keine Rolle für das Ergebnis: Es wird das gleiche Areal des Gehirns aktiviert. Man spricht daher auch von der »Retinotopie der Aufmerksamkeit«. Der Grund dafür, dass mir damals die Geldbörse gestohlen wurde, ist also, dass »meine Aufmerksamkeit beschlossen hatte«, jene visuellen Areale zu aktivieren, die zum Gesichtsfeldausschnitt mit den Münzen des Diebs gehörten – und dummerweise nicht diejenigen Areale, in deren Gesichtsfeldausschnitt sich meine Geldbörse befand.

Zoomobjektiv und Mexikaner-Hut

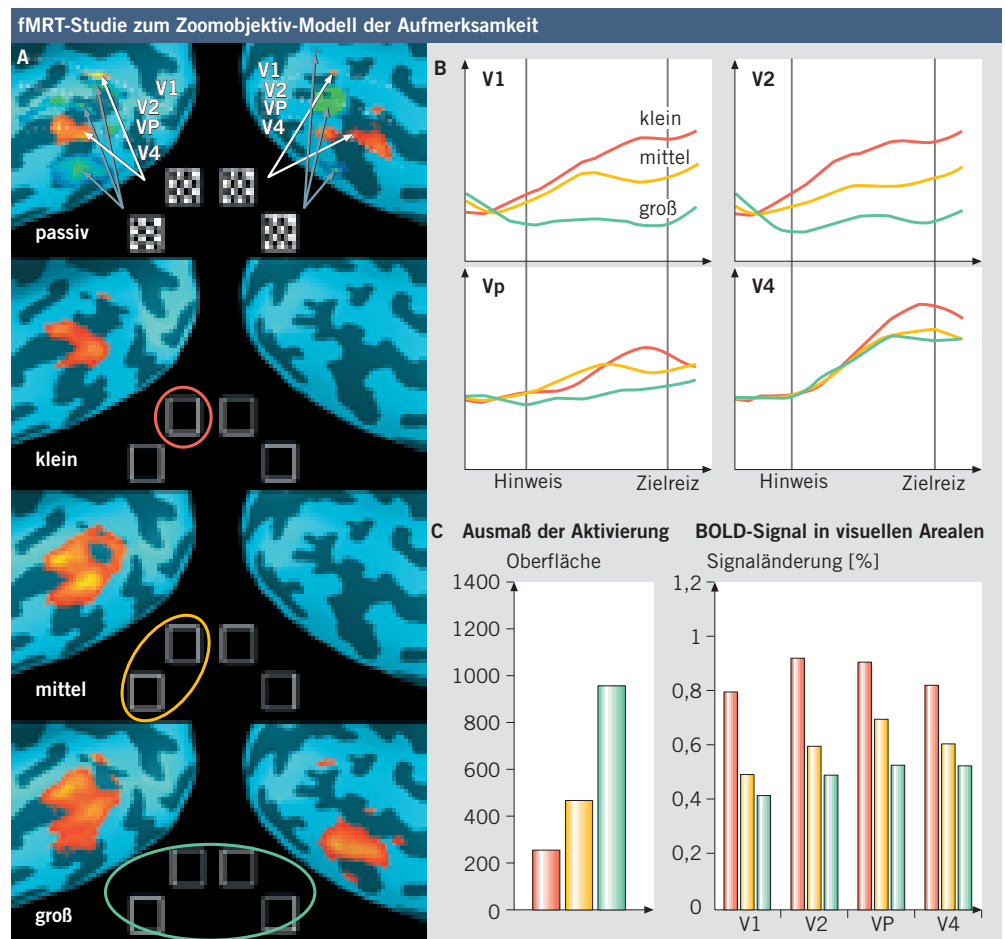
Das Spotlight-Modell ist einleuchtend, aber nicht ausreichend. Im wirklichen Leben variiert nämlich der Ausschnitt einer visuellen Szene, der uns interessiert. Beim Autofahren sollten wir tunlichst auch das spielende Kind am Gesichtsfeldrand nicht übersehen, während wir uns beim Kartenlesen ganz auf den Ausschnitt konzentrieren möchten, wo wir die gesuchte Straße vermuten. Statt eines Spotlights brauchen wir also eher ein Zoomobjektiv.

■ In A sind Ausschnitte von rekonstruierten und aufgeblasenen Gehirnmodellen der Probanden gezeigt; die Ausschnitte zeigen Areale des visuellen Kortex. Die Probanden mussten entweder einen kleinen, mittleren oder großen Gesichtsfeldausschnitt beobachten. Je größer der zu beachtende Ausschnitt war, desto mehr visuelle Subareale wurden aktiviert (orange markiert), das Niveau der Aktivierung wurde jedoch geringer, wie in B und C gezeigt ist. Bemerkenswert ist auch, dass bei passiver Stimulation dieselben visuellen Subareale aktiviert wurden wie bei Aufmerksamkeitslenkung auf den betreffenden Ort.

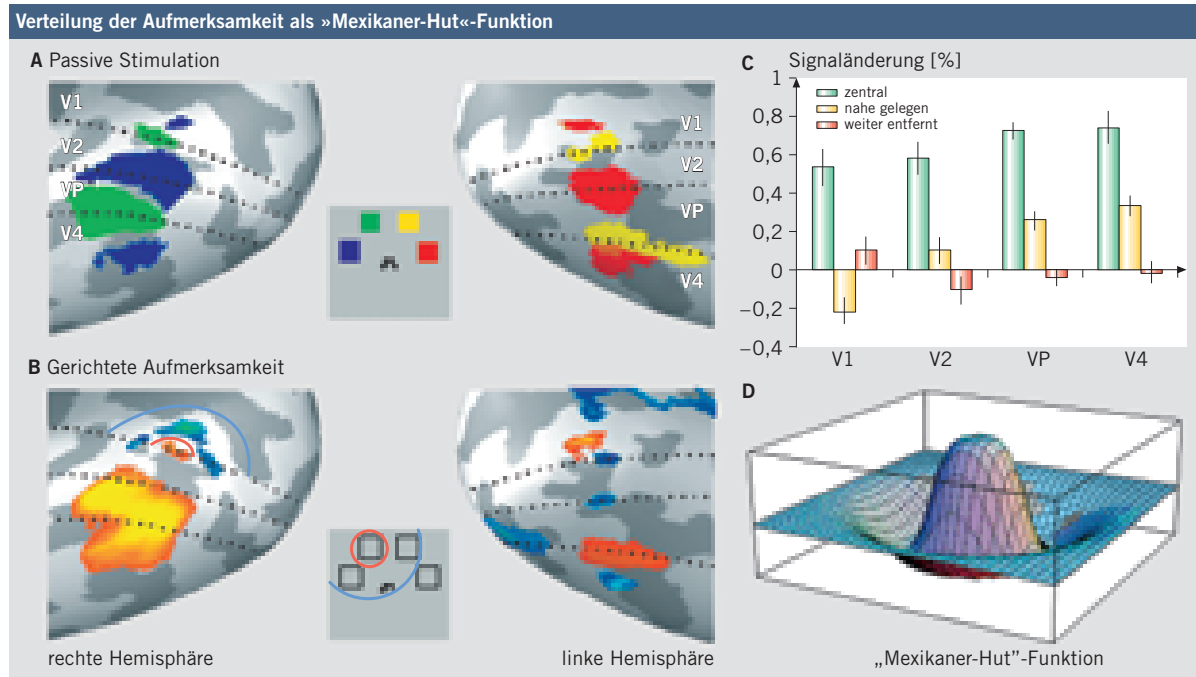
Dass wir ein solches Instrument tatsächlich besitzen, konnten wir in einer Studie zeigen, in der wir die Größe der Region, in der unsere Probanden mit einem Zielreiz rechnen konnten, variierten.^{12/} ■ Wenn sie sich auf einen engen Ausschnitt konzentrieren konnten, wurden tatsächlich nur die visuellen Areale aktiviert, die diesen Ausschnitt kodierten. Der Aktivierungsanstieg war dabei erheblich. Wenn der Zielreiz aber an mehreren über das Gesichtsfeld verteilten Orten erscheinen konnte, wurden zusätzliche Areale aktiviert, wobei der Anstieg dann geringer ausfiel. Das Bemerkenswerte ist: Diese Aktivitätsänderungen waren zu beobachten, während die Probanden auf den Zielreiz warteten; der Bildschirm war dabei weitgehend leer. Entscheidend ist auch, dass sich die Aktivierungsänderungen in den Verhaltensdaten widerspiegelten – die Probanden reagierten schneller auf den Zielreiz, wenn das Aktivierungsniveau im visuellen System hoch war, weil Aufmerksamkeit auf einen kleinen Bereich fokussiert werden konnte. Mehr noch: Wir konnten zeigen, dass um die relevante Region eine

Hemmzone angeordnet ist, in der Reize besonders schlecht erkannt werden. ■ Mit anderen Worten: Aufmerksamkeit verteilt sich wie ein »Mexikaner-Hut« mit einem Kegel in der Mitte und einer tiefen Krempe am Rande. Ein solches Verteilungsmuster von Aktivität wirkt als Kontrastverstärker für die relevante, zentrale Region. Grundlage ist wiederum die top-down gesteuerte Aktivität im visuellen System. Subareale in der primären Sehrinde, die diese Zone um den Aufmerksamkeitsfokus kodieren, werden in ihrer Aktivität heruntergefahren.^{13/} Wahrscheinlich hatte sich meine Geldbörse just in dieser Zone befunden...

Wir suchen uns die Orte, auf die wir Aufmerksamkeit lenken, jedoch nicht immer freiwillig aus: Wenn wir Aufmerksamkeit auf eine Region lenken, in die zufällig ein Objekt hineinragt, werden nicht nur die visuellen Areale, die diese Region kodieren, aktiviert, sondern automatisch auch visuelle Areale, die alle umgebenden Orte kodieren, die vom Objekt besetzt sind.^{14/} Tatsächlich ist es so, dass wir Merkmale, die zu einem gemeinsamen Objekt



2 Mit derselben Versuchsanordnung wie in **1** konnten wir zeigen, dass Aufmerksamkeit kortikal wie ein Mexikaner-Hut (D) organisiert ist: visuelle Kortexareale, die den beobachteten Ort kodieren, werden am stärksten aktiviert. Areale, welche die Nachbarschaft des Aufmerksamkeitsfokus kodieren, werden gehemmt (B, C). In A ist die Aktivierung von Arealen bei passiver Stimulierung dargestellt.



gehören, viel schneller erfassen können als Merkmale zweier verschiedener Objekte – auch wenn der räumliche Abstand dieser Merkmale jeweils identisch ist.

Wenn alles auf einmal kommt...

Meistens sehen, hören, riechen und fühlen wir gleichzeitig. Der Taschendieb war seinerzeit so schlau, mich nicht nur mit seinen Münzen abzulenken, gleichzeitig redete er auch noch auf mich ein. Lange hatte man ja geglaubt, dass die Sinnessysteme unabhängig voneinander arbeiten; der offensichtliche Engpass bei der Datenverarbeitung wurde in einer späteren Verarbeitungsstufe vermutet. Wir konnten kürzlich zeigen, dass sich die Sinnessysteme durchaus gegenseitig beeinflussen, wobei das Vorzeichen dieser Interaktion nicht naturgegeben ist und durch Aufmerksamkeit

und Lernen beeinflusst wird. Hatten unsere Probanden gelernt, dass derselbe Ton immer mit demselben Bild kombiniert wurde, sorgten sie dafür, dass beide Sinnessysteme aktiviert wurden und zwar unabhängig davon, ob es darum ging, Töne oder Bilder auseinander halten zu müssen. War die Kombination von Tönen und Bildern jedoch zufällig, wurde nur das System aktiviert, das die relevante Information bearbeitete, während gleichzeitig das andere System heruntergeregelt wurde. Obwohl der sensorische Input in beiden Aufgaben praktisch identisch war, reagierten die sensorischen Systeme höchst unterschiedlich – wiederum ein Beleg für die aufmerksamsystemgelenkte Top-down-Kontrolle der Wahrnehmungssysteme.

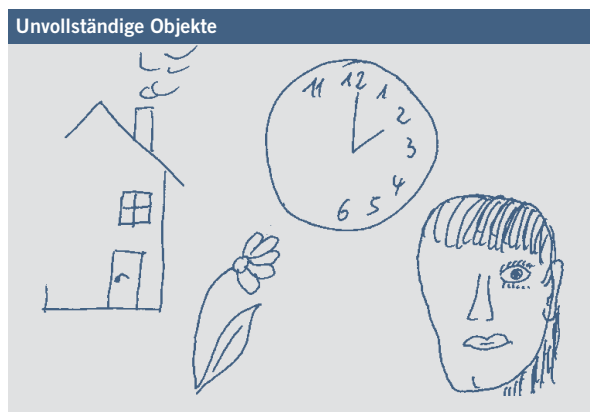
Wenn Aufmerksamkeit gestört ist...

In der Neurologie hat man es anders als in der Psychiatrie in der Regel mit Patienten zu tun, die eine umschriebene Hirnläsion – etwa als Folge eines Schlaganfalles – erlitten haben. Hier erschließt sich der Sinn einer Untersuchung kognitiver Funktionen mit fMRT zunächst nicht: Es überrascht nicht, dass dort, wo Hirngewebe abgestorben ist, keine Hirnaktivität mehr mittels fMRT registriert wird. Auf den zweiten Blick ergeben sich jedoch durchaus faszinierende Fragestellungen auch für solche Patienten-

gruppen: Wie wirkt sich eine Läsion auf die Aktivierung in anderen Bereichen des Gehirns aus?

Es lag für uns nahe, Patienten zu untersuchen, die an einer Aufmerksamkeitsstörung leiden. Klassisch tritt eine solche zutage, wenn Patienten als Folge eines Schlaganfalls im Bereich des rechten Scheitellhirns ein Hemineglect-Syndrom erleiden. Obwohl deren Sehrinde intakt ist, übersehen diese Patienten Dinge, die sich in der linken Raumhälfte befinden: Sie essen nur die rechte Hälfte des Tellers leer oder vergessen, die linke Gesichtshälfte zu rasieren. Wenn Sie ein Objekt zeichnen sollen, so entsteht ein Bild wie in **3**. Unsere Idee ist, dass bei

3 Patienten mit Hemineglect-Syndrom können Vorlagen nicht vollständig abzeichnen. Der Hemineglect ist durch eine Vernachlässigung der linken Raumhälfte gekennzeichnet.



Literatur

^{1/1} Kanwisher, N. & Wojciulik, E. (2000): Visual attention: insights from brain imaging. *Nature Reviews Neuroscience* 1:91–100.

^{1/2} Müller, N.G. & Kleinschmidt, A. (2003): Dynamic interaction of object- and space-based attention in retinotopic visual areas. *Journal of Neuroscience* 23: 9812–9816.

^{1/3} Müller, N.G. & Kleinschmidt, A. (2004): The attentional »spotlight's« penumbra: center-surround modulation in striate cortex. *Neuroreport* 15: 977–980.

^{1/4} Müller, N.G.; Bartelt, O.A.; Donner, T.H.; Villringer, A.; Brandt, S.A. (2003): A physiological correlate of the »Zoom Lens« of visual attention. *Journal of Neuroscience* 23: 3561–3565.

diesen Patienten die Top-down-Kontrolle der Wahrnehmungszentren gestört ist, so dass zwar beispielsweise die Sehrinde der linken Hirnhälfte noch durch Aufmerksamkeit aktiviert werden kann. Der rechten Sehrinde gelingt das jedoch nicht mehr – weil dort der lenkende Einfluss des Scheitelhirns fehlt. Leider sind solche Untersuchungen nicht einfach: Anfangs sind die Patienten häufig zu krank, um mit der Bearbeitung der Aufgaben im Scanner zurechtzukommen. Wenn es ihnen dann aber besser geht, haben sie häufig keinen Neglect mehr! Große Probandenzahlen darf man daher nicht erwarten – das ist aber unserer Meinung nach auch nicht nötig, denn mit der gesunden Hirnhälfte hat man ja eine individuelle Kontrolle.

Eine weitere für uns interessante Gruppe sind Patienten mit aufgabenspezifischen Dystonien, beispielsweise Menschen mit einem Schreibkrampf: Sobald sie einen Stift nur in die Hand nehmen, entwickeln diese Patienten einen starken Muskelkrampf, der ihnen das Schreiben unmöglich macht. Es ist bekannt, dass die Symptome gelindert werden können, wenn man die Patienten ablenkt und ihre Aufmerksamkeit zum Beispiel auf das Musikhören richtet. Wir vermuten daher, dass auch dieser Krankheit eine gestörte Top-down-Kontrolle, in diesem Fall des sensomotorischen Systems, zugrunde liegt, wobei es zu einer unkontrollierten Überaktivierung des Handareals kommt. Schließlich wollen wir

nicht nur die Tricks der Taschendiebe, sondern auch die Leiden unserer Patienten verstehen. ◆

Der Autor

Dr. Notger Müller, 38, studierte Medizin in Heidelberg, Tübingen und Berlin. Sein Weg führte ihn über die University of California, Davis, das Max-Planck-Institut für Neuropsychologische Forschung in Leipzig und die Neurologische Klinik der Charité Berlin nach Frankfurt. Hier leitet er seit Jahresanfang die Arbeitsgruppe Kognitive Neurologie an der Klinik für Neurologie an der Universität Frankfurt. Im Besonderen interessiert ihn der Einfluss höherer kognitiver Funktionen wie Aufmerksamkeit und Gedächtnis auf Wahrnehmungsprozesse. Auch klinisch ist er in diesem Bereich als Leiter der Spezialambulanz für Kognitive Neurologie und Demenz tätig.

»Nicht du, sondern dein Gehirn...«

Warum Zweifel am omnipotenten Erklärungsansatz der Hirnforscher begründet sind

Wenn wir einigen der Hirnforschern glauben dürfen, die sich in letzter Zeit mit großem öffentlichen Echo zu Wort gemeldet haben, darunter in vorderster Reihe Gerhard Roth und Wolf Singer, dann stehen uns infolge ihrer Arbeit »was unser Bild von uns selbst betrifft, [...] in absehbarer Zeit beträchtliche Erschütterungen ins Haus«. ^{1/} Und sie scheinen uns auf diese Erschütterungen vorbereiten zu wollen, wenn sie wie Therapeuten auftreten, die unser vermeintlich verfehltes Selbstverständnis korrigieren wollen. Dann sagen sie ihnen von der Alltagssprache verwirrten Patienten (also uns): Nicht unser Wille, sondern »Verschaltungen legen uns fest: Wir sollten aufhören von Freiheit zu sprechen«. ^{2/} Zugleich fordern sie uns auf, endlich von althergebrachten Trugbildern abzulassen: »Wir sind determiniert. Die Hirnforschung befreit von Illusionen.« ^{3/} Dabei scheint für die Hirnforscher festzustehen, dass die Philosophie ein Teil des Problems, aber nicht der Lösung ist.

So traut nicht nur Wolfgang Prinz – selbst mit der Abwehr einer »feindliche Übernahme« der Psychologie durch die Hirnforschung beschäftigt – den Philosophen bei



»Ich denke, also denke ich, dass ich es bin«

diesen Patienten die Top-down-Kontrolle der Wahrnehmungszentren gestört ist, so dass zwar beispielsweise die Sehrinde der linken Hirnhälfte noch durch Aufmerksamkeit aktiviert werden kann. Der rechten Sehrinde gelingt das jedoch nicht mehr – weil dort der lenkende Einfluss des Scheitellhirns fehlt. Leider sind solche Untersuchungen nicht einfach: Anfangs sind die Patienten häufig zu krank, um mit der Bearbeitung der Aufgaben im Scanner zurechtzukommen. Wenn es ihnen dann aber besser geht, haben sie häufig keinen Neglect mehr! Große Probandenzahlen darf man daher nicht erwarten – das ist aber unserer Meinung nach auch nicht nötig, denn mit der gesunden Hirnhälfte hat man ja eine individuelle Kontrolle.

Eine weitere für uns interessante Gruppe sind Patienten mit aufgabenspezifischen Dystonien, beispielsweise Menschen mit einem Schreibkrampf: Sobald sie einen Stift nur in die Hand nehmen, entwickeln diese Patienten einen starken Muskelkrampf, der ihnen das Schreiben unmöglich macht. Es ist bekannt, dass die Symptome gelindert werden können, wenn man die Patienten ablenkt und ihre Aufmerksamkeit zum Beispiel auf das Musikhören richtet. Wir vermuten daher, dass auch dieser Krankheit eine gestörte Top-down-Kontrolle, in diesem Fall des sensomotorischen Systems, zugrunde liegt, wobei es zu einer unkontrollierten Überaktivierung des Handareals kommt. Schließlich wollen wir

nicht nur die Tricks der Taschendiebe, sondern auch die Leiden unserer Patienten verstehen. ◆

Der Autor

Dr. Notger Müller, 38, studierte Medizin in Heidelberg, Tübingen und Berlin. Sein Weg führte ihn über die University of California, Davis, das Max-Planck-Institut für Neuropsychologische Forschung in Leipzig und die Neurologische Klinik der Charité Berlin nach Frankfurt. Hier leitet er seit Jahresanfang die Arbeitsgruppe Kognitive Neurologie an der Klinik für Neurologie an der Universität Frankfurt. Im Besonderen interessiert ihn der Einfluss höherer kognitiver Funktionen wie Aufmerksamkeit und Gedächtnis auf Wahrnehmungsprozesse. Auch klinisch ist er in diesem Bereich als Leiter der Spezialambulanz für Kognitive Neurologie und Demenz tätig.

»Nicht du, sondern dein Gehirn...«

Warum Zweifel am omnipotenten Erklärungsansatz der Hirnforscher begründet sind

Wenn wir einigen der Hirnforschern glauben dürfen, die sich in letzter Zeit mit großem öffentlichen Echo zu Wort gemeldet haben, darunter in vorderster Reihe Gerhard Roth und Wolf Singer, dann stehen uns infolge ihrer Arbeit »was unser Bild von uns selbst betrifft, [...] in abschbarer Zeit beträchtliche Erschütterungen ins Haus«. ^{1/} Und sie scheinen uns auf diese Erschütterungen vorbereiten zu wollen, wenn sie wie Therapeuten auftreten, die unser vermeintlich verfehltes Selbstverständnis korrigieren wollen. Dann sagen sie ihren von der Alltagssprache verwirrten Patienten (also uns): Nicht unser Wille, sondern »Verschaltungen legen uns fest: Wir sollten aufhören von Freiheit zu sprechen«. ^{2/} Zugleich fordern sie uns auf, endlich von althergebrachten Trugbildern abzulassen: »Wir sind determiniert. Die Hirnforschung befreit von Illusionen.« ^{3/} Dabei scheint für die Hirnforscher festzustehen, dass die Philosophie ein Teil des Problems, aber nicht der Lösung ist.

So traut nicht nur Wolfgang Prinz – selbst mit der Abwehr einer »feindliche Übernahme« der Psychologie durch die Hirnforschung beschäftigt – den Philosophen bei



»Ich denke, also denke ich, dass ich es bin«

der Entwicklung eines Menschenbilds, das in der Lage wäre, die objektiven Ergebnisse der Wissenschaft und alltagspsychologischen Intuitionen zu versöhnen, nicht viel zu: »Bisher haben wir das weitgehend den Philosophen überlassen –

liche Differenzierungen vorschlagen und theoretische Modelle zur Lösung der genannten Probleme zu entwickeln versuchen, und ich weiß kein einziges Argument der Hirnforscher zu nennen, das auf dem Niveau dieser Modelle wäre.

der Evolution der Nervensysteme ausgebildet haben.«^{15/}

Drei Kernthesen der Hirnforscher

Auch wenn nicht immer ganz leicht zu verstehen ist, was die Hirnforscher genau sagen wollen, so scheinen sie anzunehmen, dass insbesondere die folgenden drei Thesen die Kraft haben, unser Selbstverständnis nachhaltig zu erschüttern: (1) Das gewöhnliche Selbstverständnis, aber auch die Philosophie, operiert mit einem *Freiheitskonzept*, das sich angesichts der Ergebnisse der Hirnforschung einfach nicht halten lässt. Denn das Gehirn, das unser Verhalten steuert, ist ein deterministisches System. Weil Determinismus und Willensfreiheit unvereinbar sind, der Determinismus aber wissenschaftlich gut bestätigt ist, muss Willensfreiheit eine Illusion sein. (2) Das gewöhnliche Selbstverständnis, aber auch die Philosophie, propagiert eine *dualistische Weltansicht*, weil sie reklamiert, dass Geist und Bewusstsein keine Bestandteile der natürlichen Welt sind, die sich mit Mitteln der Naturwissenschaft beschreiben lassen. Weil Geist und Bewusstsein aber Produkte des Gehirns sind und das Gehirn den Naturgesetzen unterworfen ist, muss der Dualismus falsch sein. »Geist und Bewusstsein – wie einzigartig sie von uns auch empfunden werden – fügen sich also in das Naturgeschehen ein und übersteigen es nicht.«^{16/}

(3) Das gewöhnliche Selbstverständnis, aber auch die Philosophie, reklamiert einen *besonderen Status* für das so genannte mentale Vokabular, mit dessen Hilfe wir *Personen* mentale Zustände wie Überzeugungen, Absichten und Wünsche beziehungsweise mentale Prozesse wie Entscheidungen zuschreiben. Abgesehen von Ausdrücken, die sich auf das phänomenale Erleben von Personen beziehen, ist dieser besondere Status mentaler Ausdrücke jedoch nicht gerechtfertigt: Weil unsere mentalen Zustände und Handlungen durch vorbewusste neuronale Prozesse in Gang gesetzt werden, ist es nicht nur legitim, sondern angemessen, mentale Ausdrücke auf das Gehirn anzuwenden. Ja, wir erliegen sogar einer Täuschung, wenn wir *Gründe* und nicht *Hirnzustände* als die Ursachen unseres Handelns betrachten.^{17/} Wir



mit mäßigem Erfolg. Wenn wir hier wirklich weiterkommen wollen, müssen wir in dieses Geschäft selbst einsteigen. Denn neue theoretische Ideen tun Not – egal woher sie kommen.«^{14/} Man könnte solche Einschätzungen gelassen zur Kenntnis nehmen und sie als Teil einer Rhetorik betrachten, die in Zeiten, in denen sich der Wert wissenschaftlicher Arbeit zunehmend an ihrer ökonomischen Verwertbarkeit bemisst, die Budgets der Geisteswissenschaften als die Einsparpotenziale von morgen betrachtet. Dabei sind es im wesentlichen Philosophen, die immer wieder begriff-

Dazu kommt, dass sich die Hirnforscher gern mit abgehalfterten philosophischen Theorien auseinandersetzen (zum Beispiel mit dem so genannten interaktiven Dualismus), die nicht nur eine leichte Beute sind, sondern philosophischen Laien auch den Eindruck vermitteln, dass die Freunde der Weisheit wohl hinter dem Mond leben müssen. Ich kenne jedenfalls keinen Philosophen, der an die »vielleicht wichtigste Erkenntnis der modernen Neurowissenschaften« erinnert werden müsste, dass »Geist und Bewusstsein [...] nicht vom Himmel gefallen sind, sondern [...] sich in

sollten vielmehr sagen: »Nicht mein bewusster Willensakt, sondern mein Gehirn hat entschieden.«^{18/}

Da hier der Raum für eine detaillierte Prüfung dieser Argumente fehlt, möchte ich wenigstens in Umrissen plausibel machen, dass sie kaum geeignet sind, unser Selbstverständnis begründet in Zweifel zu ziehen.^{19/}

Freiheit als der durch unsere guten Gründe determinierte Wille

Zu (1): Es mag sein, dass das gewöhnliche Selbstverständnis mit einem Freiheitskonzept operiert, das nicht gerade transparent ist. Wenn man jedoch die philosophische Debatte um den Freiheitsbegriff betrachtet, dann wird man feststellen, dass es eine relativ gut ausgearbeitete Auffassung gibt, die davon ausgeht, dass sich Willensfreiheit und Determinismus vereinbaren lassen. Wenn wir Determinismus als die Auffassung verstehen, dass jeder Zustand, in dem sich ein System befindet, vollständig durch den jeweils vorangegangenen Systemzustand bestimmt wird, dann wird schnell klar, dass die Vereinbarkeit davon abhängt, wie man Freiheit versteht. Der Determinismus schließt eine Freiheit aus, die soviel wie Indeterminiertheit bedeutet. Indeterminiertheit hat aber mit unserem gewöhnlichen Freiheitsverständnis nicht viel zu tun, denn wir würden uns wohl kaum als frei betrachten, wenn wir ohne ersichtlichen Grund von eben auf jetzt irgend etwas täten, das nicht durch seine Ursachen determiniert ist. Der wahrscheinlich beste Sinn, den wir dem Ausdruck »Willensfreiheit« geben können, besteht darin, dass ein Wille frei ist, wenn er durch gute Gründe, die unsere Gründe sind, bestimmt wird. »Frei« bin ich gemäß dieser Auffassung, wenn ich meinen Willen durch Gründe bestimmen kann, die mich überzeugen. Diese Auffassung von Freiheit aber steht in keinem Gegensatz zum Determinismus, sondern setzt den Determinismus sogar voraus.^{10/} Wenn sich diese Auffassung – der so genannte Kompatibilismus [siehe auch Marcus Willaschek »Warum die Hirnforschung die Willensfreiheit nicht in Frage stellen kann«, Seite 51] – halten lässt, dann zeigt das erste Argument schlicht und einfach nicht, was es zeigen soll.

Geist und Gehirn: Nicht eins und doch nicht zweierlei

Zu (2): Nicht wenige (wenngleich keineswegs alle!) Positionen in der gegenwärtigen Philosophie des Geistes bestehen darauf, dass das Mentale etwas ist, das sich nicht auf natürliche Tatsachen reduzieren lässt. Doch selbst wenn das zunächst einmal dualistisch klingt, muss man sehen, wie das Besondere des Geistes in diesen Positionen charakterisiert wird. Der globale Dualismusvorwurf will zwar anderes glauben machen, wonach zwei fundamental voneinander unterschiedene Arten von Phänomenen – physische und psychische – existieren. Aber hier ist kein *ontologischer Dualismus* im Spiel, der weitreichende Probleme aufwerfen würde, sondern eine bescheidnere Position, die man auch als *Vokabular-Dualismus* bezeichnet.

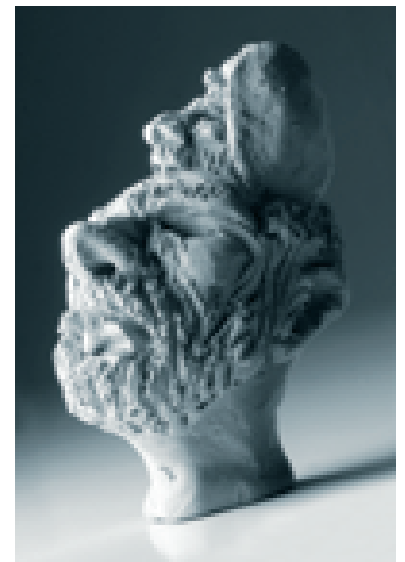
Im Kern besagt diese Auffassung, dass das *Vokabular*, mit dem wir mentale Zustände zuschreiben, nicht auf das *Vokabular* zurückgeführt werden kann, mit dessen Hilfe wir physische Eigenschaften zuschreiben. Für Anhänger des *Vokabular-Dualismus* ist es daher möglich, zu sagen, dass mentale Sachverhalte durch physikalische Sachverhalte realisiert werden, die ihrerseits ontologische Bestandteile der natürlichen Welt sind. Wenn Philosophen also auf der Besonderheit mentaler, semantischer oder logischer Ausdrücke bestehen, so hat dies nicht *notwendig* inakzeptable dualistische Konsequenzen; es ist vielmehr mit einem ontologischen Monismus, wie ihn neben vielen Philosophen auch die meisten Naturwissenschaftler voraussetzen, vereinbar, aber die Hirnforscher müssten erst einmal zeigen, wie sich etwa mentale oder logische Ausdrücke naturwissenschaftlich verstehen lassen.

Nichts, was einfach zur Disposition steht: Unser Selbstverständnis

Zu (3): Dass unsere mentalen Zustände und Prozesse durch neuronale Prozesse realisiert werden, bestreitet heute kaum jemand, der sich mit der Philosophie des Geistes beschäftigt. So mag es auch neuronale Prozesse geben, die dem Eintreten bewusster mentaler Zustände vorausgehen und zu ihrer Realisierung beitragen. Daraus folgt aber keineswegs, dass mentale Zustände

nichts anderes sind als Gehirnzustände. Denn dass ein Gehirnzustand einen mentalen Zustand, also einen Zustand mit einem Gehalt, realisieren kann, hat Voraussetzungen, die zum großen Teil auch außerhalb des Gehirns erfüllt werden müssen. Eine dieser Voraussetzungen nennen die Hirnforscher selbst, wenn sie die Rolle der Evolutionsgeschichte betonen. Aber sie scheinen die Tatsache zu übersehen, dass wir keine sprachlich differenzierten Gedanken haben könnten, wenn wir nicht in einer Gemeinschaft sozialisiert worden wären, in der wir Begriffe der Überzeugung, des Glaubens, Wünschens erwerben – Begriffe, die schlicht notwendig sind, um sich und anderen mentale Zustände zuschreiben zu können.

Aber nehmen wir einmal an, es sei etwas faul mit diesem Vokabular und wir würden den Hirnforschern darin folgen, zu sagen, »nicht mein bewusster Willensakt, sondern mein Gehirn hat entschieden«. Unsere gewöhnliche Auffassung, dass bewusste Absichten und Überzeugungen *Gründe und Ursachen* unseres Handelns sind, scheint dann falsch zu sein, so dass wir uns fundamental über die Rolle von Gründen täuschen würden (weil Ursachen allein hinreichend für Handlungen wären). Wenn aber Sätze des Typs »Ich tue x, weil ich x will« samt und sonders falsch wären, insofern wir x in Wahrheit nur tun, weil x neuronal bewirkt wurde, dann wird es schwierig zu erläutern, was es heißt, etwas zu wollen. Da der Begriff des Wollens aber mit dem des Wünschens, des Überzeugtseins und anderen grundlegenden Begriffen der Alltagspsychologie verbunden ist und sich diese Begriffe gegenseitig erläutern, würde das gesamte psychologische Vokabular in Gefahr geraten. Träte dieser Fall ein, dann wären wir keiner Illusion beraubt, sondern jeglicher Möglichkeit, uns und andere zu verstehen.



Denn die Möglichkeit des Verstehens hängt ja eben von diesem Vokabular ab. Die avisierte Erschütterung unseres Selbstverständnisses brächte uns also um nichts Geringeres als letztendlich um den Verstand.

Immer wieder: Auch im Licht verfremdender Modelle sagen, wer wir sind

Da keines der drei Argumente überzeugend oder auch nur wirklich neu ist, allenfalls die Protagonisten nur die abgetragenen Mäntel der Philosophie gegen leuchtend weiße Laborkittel getauscht haben, stellt sich die Frage, warum die Thesen der Hirnforscher so viel Aufmerksamkeit haben finden können. Vielleicht hilft die folgende Überlegung weiter: Die Artikulation unseres Selbstverständnisses, so scheint es, ist immer auf Kontraste angewiesen. Denn anhand dieser Kontraste können wir unsere Selbstverständnisse präzisieren, indem wir nach den Unterschieden suchen, die für uns spezifisch sind.

Und dazu brauchen wir offenbar Protagonisten reduktionistischer

anthropologischer Modelle, die uns immer wieder mit *verfremdenden Selbstbeschreibungen* konfrontieren. Sie sagen: Wir sind doch im Grunde nichts anderes als komplexe mechanische Räderwerke, komplizierte Tiere, Produkte der Evolution, Sklaven unseres Unbewussten oder organische Computer. Solche verfremdenden Beschreibungen greifen auf die *Generalisierung* von Modellen zurück, die sich in unterschiedlichen lokalen Kontexten bewährt haben; sie steigern beispielsweise mechanische Modelle zu mechanistischen, biologische zu biologistischen, evolutionstheoretische zu soziobiologischen oder psychoanalytische zu vulgarpsychologischen Modellen. Weil jedes der zugrunde liegenden Modelle sich bei der Lösung schwieriger Probleme wie dem Bau komplizierter Maschinen, der Erklärung der Artenentstehung, der Vererbung oder der Erklärung irrationalen Handelns bewährt hatte, konnten sie den Nimbus gewinnen, auch über Ressourcen zu verfügen, die erklären können, was uns insgesamt ausmacht.

... aber der Charme des Reduktionismus ist flüchtig ...

Auch wenn keines dieser Modelle als anthropologisches Modell bisher auch nur im Ansatz geleistet hat, was seine Protagonisten versprochen haben, und heutzutage jemand, der uns weismachen will, dass wir nur komplizierte mechanische Maschinen sind, kein Publikum fände, so verdanken wir diesen (philosophischen) Auseinandersetzungen wichtige Präzisierungen unserer Selbstverständnisse. Zweifellos hat etwa die Vorstellung, Gottesgeschöpfe zu sein, an rationaler Anziehungskraft verloren, weil uns die Evolutionsbiologie im Kontext der natürlichen Entwicklung des Lebens situiert hat. Aber dies zu akzeptieren heißt natürlich nicht, zu akzeptieren, dass wir nichts anderes sind als Produkte der Evolution. Und zweifellos wird auch die Hirnforschung Vorstellungen verdrängen helfen, die behaupten, unser Denken und Bewußtsein seien nicht von dieser Welt. Doch das bedeutet noch lange nicht, dass sie nichts anderes als Gehirnprozesse sind. Interessant bleibt die Auseinandersetzung mit den reduktionistischen Modellen der Hirnforschung insbesondere dann, wenn die Argumente deutlich genauer ausgearbeitet werden. Bis dahin sehe ich keinen Grund, irritiert aufzuhorchen, wenn es wieder einmal heißt: Nicht du, sondern dein Gehirn... ♦



Der Autor

Dr. Matthias Vogel, 44, studierte Philosophie, historische und systematische Musikwissenschaft an der Universität Hamburg. In seiner Masterarbeit in Philosophie beschäftigte er sich mit Jürgen Habermas' Konzept der Moderne. 1990 erhielt er ein Promotionsstipendium der Freien und Hansestadt Hamburg, wechselte aber 1991 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an das Institut für Philosophie der Universität Frankfurt (Professur Wolfgang Detel). 1994 wurde er mit einer Arbeit promoviert, die unter dem Titel »Medien der Vernunft. Eine Theorie des Geistes und der Rationalität auf Grundlage einer Theorie der Medien« im Suhrkamp Verlag erschienen ist, und war danach Hochschulassistent an diesem Institut. Zurzeit arbeitet er im Rahmen seiner Habilitation an einer integrativen Theorie des Mentalen, die den Arbeitstitel »Geist und Psyche« trägt. Im Mittelpunkt seiner Forschung stehen die Philosophie des Geistes, die philosophische Ästhetik, insbesondere Probleme des Kunstverstehens, und die Grundlegung einer Theorie der Medien und des nichtsprachlichen Denkens.

Anmerkungen:

^{1/1} Vgl. C. Elger/A. Friederici et. al. (2004): Hirnforschung im 21. Jahrhundert. Das Manifest. In: Gehirn und Geist 6/2004, Seiten 30–37.

^{1/2} Singer (2004): Verschaltungen legen uns fest: Wir sollten aufhören, von Freiheit zu sprechen. In: Geyer (Hrsg.) Hirnforschung und Wil-

lensfreiheit. Frankfurt 2004, Seiten 30–65.

^{1/3} Roth (2004): Wir sind determiniert. Die Hirnforschung befreit von Illusionen. In: Geyer (Hrsg.) Hirnforschung und Willensfreiheit. Frankfurt 2004, Seiten 218–222.

^{1/4} Prinz (2004): Neue Ideen tun Not. In: Gehirn

und Geist 6/2004 Seite 35.

^{1/5} Vgl. C. Elger/A. Friederici et. al. (2004), Seite 33. Mich erstaunt eher, dass diese Aussage »vielleicht die wichtigste Erkenntnis der modernen Neurowissenschaften« darstellen soll, denn sie artikuliert doch nichts weiter als eine adaptionsistische Hypothese,

die sich im Rahmen einer nachdarwinistischen Biologie geradezu zwangsläufig ergibt und gar nicht spezifisch für die Hirnforschung ist.

^{1/6} Vgl. C. Elger/A. Friederici et. al. (2004), Seite 33.

^{1/7} Vgl. dazu Roth (2004b): Worüber dürfen Hirnforscher reden – und in welcher Weise?

In: Deutsche Zeitschrift für Philosophie, 52 Bd. 2, Seiten 223–234, hier: Seite 229, 230, 232 und Singer (2004): Selbsterfahrung und neurobiologische Fremdbeschreibung. ebd. Seiten 235–255, hier Seite 238.

^{1/8} Roth (2004b), Seite 227.

^{1/9} Eine detaillierte Auseinanderset-

zung findet sich in: Vogel (2004): Gehirn im Kontext. In: Deutsche Zeitschrift für Philosophie Bd. 52, Nr. 6, Seiten 985–1005.

^{1/10} Analoges gilt für den Begriff der Verantwortung, denn wie sollten wir unser Handeln verantworten können, wenn es nicht durch unseren Willen bestimmt würde?

Synchronisierte Antworten aus der Großhirnrinde

Ein Lösungsvorschlag für das Bindungsproblem

Unsere Intuition legt nahe, dass es in unserem Gehirn ein Zentrum geben müsse, an dem alle Informationen zusammengeführt werden: ein Ort, an dem die Verarbeitungsergebnisse der verschiedenen Sinnessysteme zu kohärenten Wahrnehmungen der umgebenden Welt gebunden werden, an dem Entscheidungen für zukünftiges Handeln getroffen werden, an dem die Programme für angepasste Verhaltensreaktionen erstellt werden; und letztlich auch der Ort, an dem sich das »Ich« konstituiert. Selbst Descartes scheint nicht ohne ein solches Konvergenzzentrum angekommen zu sein **1**, obgleich er doch zwischen den materiellen Prozessen im Gehirn und dem Mentalen eine strikte Trennung vornahm, und es für die *res cogitans* keiner Verortung bedurfte hätte. Die naturwissenschaftliche Analyse der Organisation unserer Gehirne ergibt jedoch ein gänzlich anderes Bild.

Offenbar irrt sich unsere Intuition hinsichtlich der Verfasstheit des Organs, dem sie sich verdankt. Die Schaltdiagramme von Primatengehirnen lassen jeden Hinweis auf die Existenz eines singulären Konvergenzzentrums vermissen. Sie weisen vielmehr darauf hin, dass Gehirne, das menschliche eingeschlossen, in hohem Maße distributiv organisiert sind **2**. So verarbeiten die sensorischen Areale der Großhirnrinde gleichzeitig unterschiedliche Teilaspekte der Sinneswelt und senden ihre Ergebnisse über parallele Bahnen an eine Vielzahl exekutiver Strukturen, ohne dass es jemals zu einer Zusammenführung all dieser Aktivitäten in einem singulären Zentrum kommt.

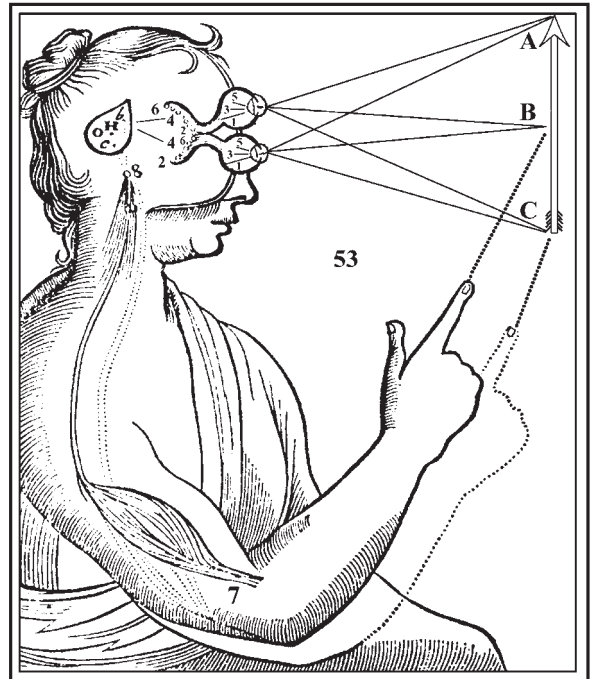
Strukturbildende Selbstorganisation

Die Architektur der Vernetzungen ähnelt der von *small world networks*, also etwa der Verbindungsarchitektur des Internet. Es gibt eine große Zahl abgrenzbarer Knoten unterschiedlicher Größe, die bestimmte Verarbeitungsleistungen erbringen, und diese kommunizieren mitei-

einander über ein äußerst komplexes Netz reziproker Verbindungen. Diese Verschaltungsarchitektur weist trotz ihrer astronomischen Komplexität ein hohes Maß an Spezifität auf. Diese hat sich in einem Jahr-millionen währenden evolutionären Prozess herausgebildet und wird während der Individualentwicklung jeweils noch durch Erfahrung optimiert und an die speziellen Gegebenheiten der Umwelt angepasst. Die Auslegung der Verbindungen zwischen den Neuronen bestimmt die Regeln, nach denen Gehirne Sinnessignale verarbeiten, Assoziationen herstellen, lernen, Entscheidungen treffen, bewerten, neue Lösungen erarbeiten und Pläne für zukünftiges Handeln entwerfen. Die komplexe Architektur unserer Gehirne verdankt sich also strukturbildenden Selbstorganisationsprozessen. Und diese haben ein System hervorgebracht, dessen multiple Teilfunktionen sich wiederum über selbstorganisierende Prozesse so koordinieren, dass das Gesamtsystem ohne eine zentrale lenkende Instanz auskommt. Wie können sich trotz dieser distributiven Organisation kohärente Zustände ausbilden? Die Antwort hierauf ist mit einer Lösung des so genannten Bindungsproblems verknüpft: Es gilt, die Selbstorganisationsprozesse zu verstehen, die aus weit verteilten Teilprozessen kohärente Zustände höherer Ordnung entstehen lassen.

Vorteile der Ensemble-Codierung

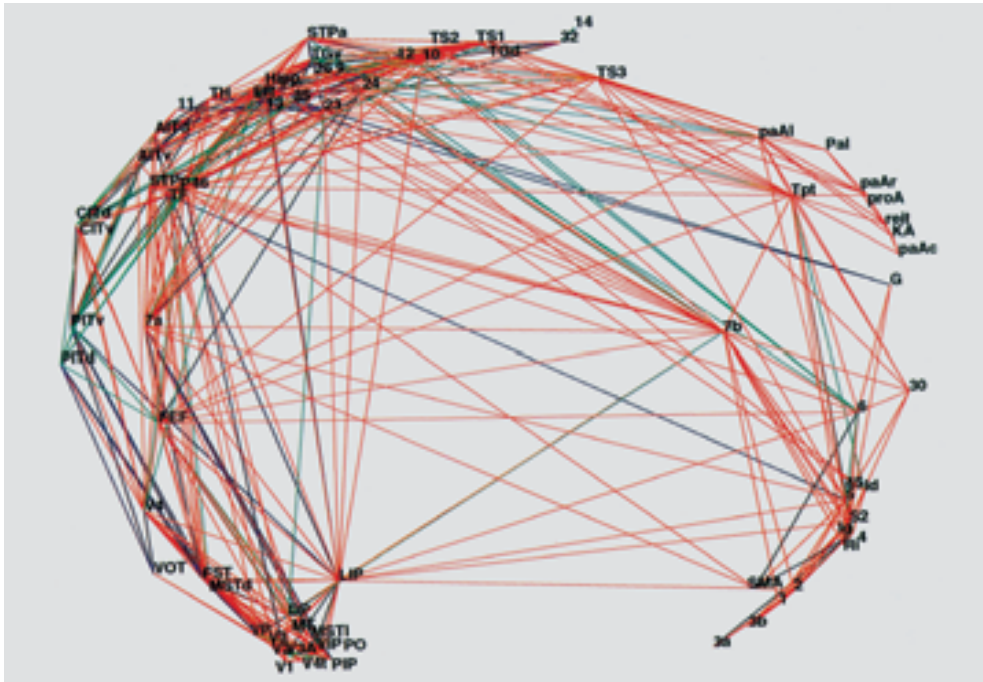
Der Lösungsansatz, den wir in Frankfurt am Max-Planck-Institut für Hirnforschung mit experimentellen und am Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS) mit theoretischen Ansätzen verfolgen [siehe auch Anne Hardy »Disziplinen unter einem Dach: Das Frankfurter Institute for Advanced Studies (FIAS)«, Seite 95], geht davon aus, dass die neuronalen Repräsentationen von Wahrnehmungen, Erinnerungen und Handlungsentwürfen auf dynamisch konfigurierten



Ensembles einer großen Zahl von Nervenzellen beruhen. Jede einzelne dieser zu Ensembles gebundenen Nervenzellen sollte dabei jeweils nur einen Teilaspekt zu der Repräsentation beitragen. Das nicht weiter reduzierbare Äquivalent des repräsentierten Inhalts wäre das raum-zeitliche Erregungsmuster, das durch die Gesamtheit der jeweils zu einem Ensemble zusammengeschlossenen Neuronen definiert würde. Diese Codierungsstrategie hat den Vorteil, dass Neuronen, die für einen bestimmten Teilaspekt zuständig sind, zu verschiedenen Zeiten an verschiedenen Ensembles teilhaben können. Sie beruht auf dem gleichen Prinzip wie unsere Sprache, die es erlaubt, mit einer kleinen Zahl von Buchstaben beziehungsweise Phonemen durch Rekombination eine nahezu unendliche Zahl verschiedener Inhalte zu codieren. Ensemble-Codes erfordern wesentlich weniger Neuronen als die komplementäre Strategie, jedes kognitive Objekt durch eine hoch spezialisierte Zelle zu repräsentieren.

Dieses aufwändige Codierungsverfahren ist zwar ebenfalls realisiert, bleibt aber der Repräsentation

1 Auf der Suche nach dem Sitz der Seele boten sich dem Philosophen René Descartes zwei Strukturen im Gehirn, die nicht paarweise vorkommen: Die Hypophyse und die Epiphyse. Descartes entschied sich für Letztere. Heute wissen wir, dass die Epiphyse mit der Koordination der circadianen Rhythmik befasst ist.



Am Beispiel der Großhirnrinde von Rhesusaffen lässt sich zeigen, wie sehr die kortikalen Areale miteinander vernetzt sind: Es entsteht eine komplexe Architektur. Die Zahlen und Buchstabenfolgen bezeichnen Hirnrindenareale, die farbigen Striche stehen für massive, meist reziproke, Verbindungen.

von Objekten vorbehalten, die einen hohen Bekanntheitsgrad aufweisen oder aber von besonderer Verhaltensrelevanz sind. Für neue, noch nie gesehene Objekte kann diese Strategie nicht angewandt werden, da nicht für alle möglichen Objekte spezialisierte Zellen vorgehalten werden können. Die Codierung in Ensembles wirft jedoch wiederum ein Bindungsproblem auf, das nur gelöst werden kann, wenn die Nervenzellen zwei Botschaften gleichzeitig vermitteln. Zum einen müssen sie durch ihre Erregung signalisieren, dass »ihr Merkmal« vorhanden ist, und dann müssen sie angeben, mit welchen Partnerzellen sie im Augenblick gemeinsam ein Ensemble bilden. In ihrer Aktivität muss also eine Signatur mitcodiert werden, die angibt, mit welchen anderen Neuronen sie gerade verbunden sind.

Präzise Synchronisation der neuronalen Antwort

Theoretische Analysen des Psychologen David Milner und des deutschen Physikers Christoph von der Malsburg [siehe auch Hardy zu FIAS, Seite 95] haben in den 1980er Jahren zu dem Vorschlag geführt, dass sich solche Bindungsprobleme über die präzise zeitliche Synchronisation neuronaler Antworten lösen ließen. Die Signatur für die jeweilige Zusammengehörigkeit von Neuronen – so die Hypo-

these – könnte die präzise Synchronisation ihrer Antworten sein. Bei der Untersuchung von Mechanismen, die der erfahrungsabhängigen Ausreifung von Großhirnrindenfunktionen zugrunde liegen, entdeckten wir Mitte der 1980er Jahre, dass Neuronen der Sehrinde ihre Antworten mit sehr hoher Präzision synchronisieren können und dies vor allem dann, wenn ihre Aktivität eine rhythmische Modulation im Bereich von etwa 40 Hertz, dem so genannten Gamma-Frequenzband, aufweist.

Da diese Synchronisationsphänomene vorwiegend zwischen Neuronen auftraten, die sich an der Codierung des gleichen Objekts beteiligten, lag die Vermutung nahe, dass diese präzise Synchronisation in der Tat die Signatur für die Zugehörigkeit von Neuronen zum gleichen Ensemble sein könnte.

Seither verfolgen wir diese Hypothese mit unterschiedlichen experimentellen Ansätzen. Im Zentrum stehen elektrophysiologische Verfahren, die es ermöglichen, die Aktivität einer großen Zahl von Nervenzellen der Hirnrinde gleichzeitig zu erfassen, und die komplexen raum-zeitlichen Aktivitätsmuster mit kognitiven Leistungen in Verbindung zu bringen. Ergänzt werden diese Untersuchungen durch nicht-invasive Messungen von Hirnaktivität am Menschen mit der Elektroenzephalografie, der funktionellen Magnetresonanztomografie

und in naher Zukunft auch der Magnetenzephalografie. Durch die Gründung des Frankfurter Brain Imaging Centers (BIC), das in Kooperation zwischen dem MPI für Hirnforschung und dem Fachbereich Medizin aufgebaut wurde, entstand eine Forschungsplattform für die Untersuchung der Organisationsprinzipien des menschlichen Gehirns, deren Leistungsfähigkeit jedem – auch international – Vergleich standhält. [siehe auch Stefan Kiehl »Im Focus der Frankfurter Hirnforschung: Das Brain Image center«, Seite 76].

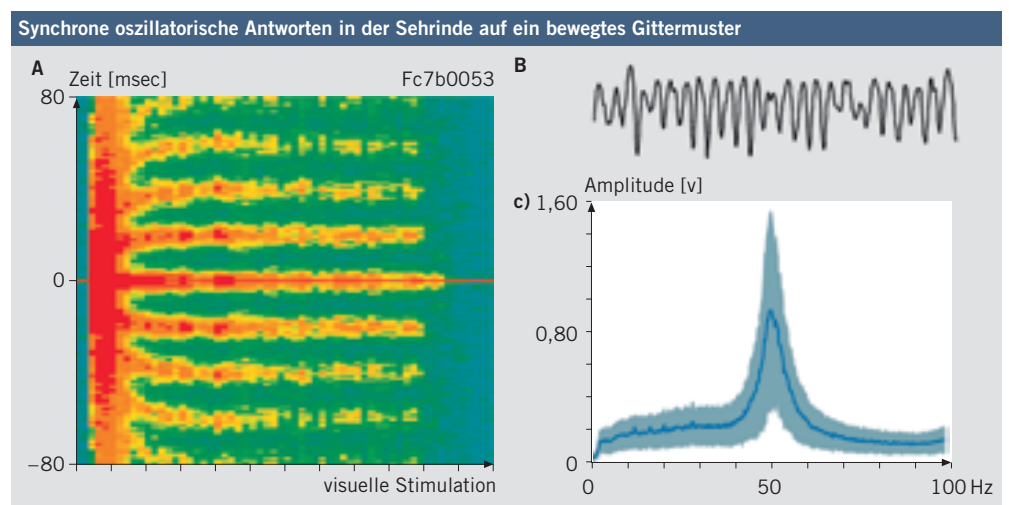
Inzwischen befassen sich zahlreiche Laboratorien weltweit mit der experimentellen Untersuchung von oszillatorischen Prozessen und deren Synchronisation: Die Befunde legen nahe, dass die Funktionen dieser zeitlichen Koordination weit über die zunächst vermuteten hinausgehen. So bestehen enge Bezüge zwischen der Synchronisation neuronaler Aktivität und Aufmerksamkeitsprozessen, Speichervorgängen und der Koordination motorischer Aktionen. Auch zeichnet sich ab, dass Inhalte nur dann bewusst werden, wenn die entsprechenden neuronalen Ensembles ein hinreichend hohes Maß an Synchronizität im Gamma-Frequenzbereich aufweisen. Die vielleicht wichtigsten Implikationen könnten die jüngsten Untersuchungen an schizophrenen Patienten haben. Untersuchungen, die in Zusammenarbeit mit der Psychiatrischen Klinik der Universität durchgeführt werden und eine Vielzahl von Daten aus anderen Laboratorien zeigen, dass die Synchronisation oszillatorischer Aktivität im Gehirn von Patienten gestört ist, die an Schizophrenie leiden. Wenn zutrifft, dass Synchronisation der Koordination von parallelen, räumlich verteilten, neuronalen Operationen dient, könnte die beobachtete Störung synchronisierender Mechanismen manche der dissoziativen Phänomene erklären, welche diese geheimnisvolle Krankheit charakterisieren. Die Befunde könnten dann Hinweise für eine gezielte Suche nach den zugrunde liegenden pathophysiologischen Mechanismen liefern.

Integrierte Lösungsansätze notwendig

Noch sind wir weit davon entfernt, zu verstehen, wie die vielfältigen

Bindungs- und Koordinationsprobleme in unseren dezentral organisierten Gehirnen gelöst werden. Fest steht schon jetzt, dass die Beschreibungen der dynamischen Zustände der vielen Milliarden miteinander wechselwirkenden Neuronen der Großhirnrinde ein Maß an Komplexität aufweisen werden, das unser Vorstellungsvermögen übersteigt. Dies bedeutet nicht, dass es uns nicht gelingen kann, analytische Verfahren zu entwickeln, mit denen sich diese Systemzustände erfassen und in ihrer zeitlichen Entwicklung verfolgen lassen. Die Beschreibungen dieser Zustände werden jedoch abstrakt und unanschaulich sein. Sie werden keine Ähnlichkeit aufweisen mit den Wahrnehmungen und Vorstellungen, die auf diesen neuronalen Zuständen beruhen.

Aus diesem Grund benötigen wir neue Forschungsstrukturen, die eine enge Verschränkung von experimentellen und theoretischen Ansätzen erlauben. Die Hoffnung ist, dass dieser integrierte Ansatz den Weg für ein tieferes Verständnis der außerordentlich komplexen Dynamik neuronaler Prozesse ermöglichen wird. Dies wiederum ist Voraussetzung für eine Fülle wichtiger Anwendungen. In dem Maße, in dem uns eine formale Beschreibung neuronaler Verarbeitungsprozesse und der Dynamik neuronaler Repräsentationen gelingt, wird es möglich sein, neuronale Prothesen zu entwickeln, mit denen gestörte Sinnesfunktionen ersetzt beziehungsweise ausgefallene motorische Funktionen kompensiert werden können. Ein besseres Verständ-




nis der informationsverarbeitenden Prozesse im Gehirn wird uns auch befähigen, künstliche Systeme zu entwerfen, die nach Prinzipien funktionieren, die sich im Laufe der Evolution herausgebildet und als erfolgreich erwiesen haben. Solche Systeme werden gerade in den Bereichen besonders leistungsfähig sein, in denen sich konventionelle Computer, die nach gänzlich anderen Prinzipien arbeiten, als wenig effektiv erweisen: die maschinelle Muster- und Spracherkennung, der assoziative Zugriff auf große Datenmengen, das Lösen komplexer kombinatorischer Aufgaben und die autonome Anpassung von Verhalten an wechselnde Umweltbedingungen. Mit der Gründung des Frankfurt Institute for Advanced Studies ist die Hoffnung verbunden, dass sich auf dieser Forschungsplattform integrative Ansätze zur Lösung von Organisationsproblemen in komplexen Systemen verwirklichen lassen. ◆

3 A. Dieses zeitaufgelöste Kreuzkorrelogramm zeigt, dass Neuronen an zwei unterschiedlichen Orten der Sehrinde nach Beginn der visuellen Stimulation synchron zu oszillieren beginnen und diese Synchronisierung im 50 Hz Bereich über die gesamte Reizdauer anhält. B. Im gleichzeitig abgeleiteten Summenpotenzial drückt sich diese Synchronisation in periodischen Potenzialschwankungen aus. C. Die Spektralanalyse der in B dargestellten oszillatorischen Aktivität zeigt ein deutliches Maximum im Bereich von 50 Hz.

Der Autor

Prof. Dr. Wolf Singer, 62, studierte Medizin in München und Paris. Seit 1981 ist er Direktor der neurophysiologischen Abteilung am Frankfurter Max-Planck-Institut für Hirnforschung, wo er an der Aufklärung der strukturellen und funktionellen Organisation der Großhirnrinde arbeitet und neuronale Grundlagen von Wahrnehmungsprozessen und höheren kognitiven Leistungen wie Erinnern und Aufmerksamkeit studiert. Für seine Arbeit wurde er mit zahlreichen Preisen ausgezeichnet. Er gehört dem Hochschulrat der Johann Wolfgang Goethe-Universität an und ist Gründungsdirektor des 2004 entstandenen Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS).

Anzeige




No Compromises.

Good ideas are nothing without good data.

Never compromise on quality.

Compumedics Germany GmbH:
Heussweg 25
20255 Hamburg
Germany
Tel: +49 40 40 18 99 41
Fax: +49 40 40 18 99 49



Neuroscan™

SynAmps² - The Ultimate amplifier

For the past two decades Neuroscan has remained the leader in innovative technology in EEG and ERP. Once again Neuroscan sets the new standard of quality with our next generation of firsts.

- First** to record over 500 channels.
- First** to record 256 channels at 20kHz sampling per channel.
- First** driven ground amplifier with active noise cancellation.
- First** amplifier with high speed USB2 plug-and-play interface.
- First** amplifier to accommodate rapid electrode preparation time WITHOUT sacrificing data quality!

www.compumedics.com

ABB13 Issue 1



Von der »Black Box« zum Aquarium

Funktionelle Bildgebung in der psychiatrischen Grundlagenforschung

In Psychologie und Psychiatrie wurde das Gehirn lange Zeit als eine Art »Black Box« angesehen: Die Regelkreise im Inneren waren nicht einsehbar, allein aus dem Verhalten der Person konnte indirekt auf den Zustand des »Systems« geschlossen werden. Die Zeiten sind vorbei. Aus der selbst noch recht jungen »Kognitionswissenschaft«, in der mathematisch-naturwissenschaftliche Ansätze gleichberechtigt neben psychologisch-philosophischen stehen, ist in den letzten fünfzehn Jahren die »kognitive Neurowissenschaft« entstanden. Deren jüngster Spross wiederum ist die »Affective and Social Cognitive Neuroscience«, die auch den Schwerpunkt unserer Arbeitsgruppe an der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Universität

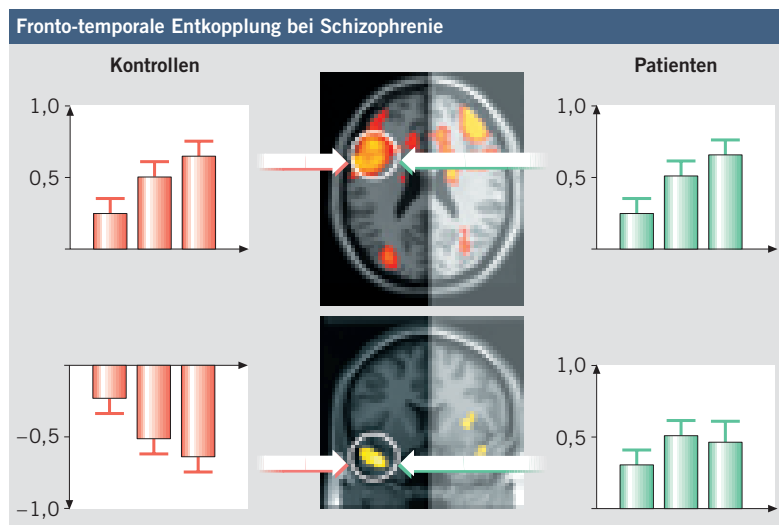
Frankfurt bildet. Es sind vor allem die modernen bildgebenden Verfahren, die zu einer rasanten Entwicklung auf diesem Gebiet geführt haben. Nicht zufällig haben dabei Psychiater von Anfang an eine wesentliche Rolle gespielt. Ein Problem der psychiatrischen Diagnosen besteht darin, dass sie allein auf klinischer Beobachtung und Kategorisierung beruhen und es bis heute praktisch keine objektiven Methoden gibt, um psychische Erkrankungen zu diagnostizieren. Die Möglichkeit, ohne Nebenwirkungen für die Person dem funktionierenden Gehirn »bei der Arbeit zuzuschauen«, ist deshalb für die Psychiatrie und Psychotherapie von großem Interesse: Sie führt zu einer immer umfassenderen Objektivierung des menschlichen Geistes. Die heutige Grundlagenforschung ist die Basis für sinnvolle klinische Anwendungen in der Zukunft.

Schizophrenie: Gestörte Regelkreise im Gehirn

Ein wesentliches Kennzeichen der Schizophrenie ist, dass bei den betroffenen Personen Einschränkungen höherer kognitiver Funktionen

auftreten, etwa beim Arbeitsgedächtnis oder bei der kognitiven Umstellungsfähigkeit. Die Intaktheit dieser Funktionen ist an den lateralen Präfrontalkortex gebunden, den evolutionsgeschichtlich jüngsten Anteil unseres Großhirns, der ein Drittel der Kortexoberfläche ausmacht. Die lange Zeit vorherrschende, auf nuklearmedizinischen Untersuchungen beruhende Hypothese einer Unterfunktion des Präfrontalkortex (»Hypofrontalität«) lässt sich aufgrund neuerer Untersuchungen mit der funktionellen Magnetresonanztomografie [siehe »Ausgewählte Methoden der Hirnforschung im Überblick«, Seite 78] nicht mehr halten. Vielmehr muss man heute von einer »dynamischen Dysfunktion« des Präfrontalkortex ausgehen. So konnten wir kürzlich nachweisen, dass bei Schizophrenie die übliche Spezialisierung des lateralen Präfrontalkortex für verbales Material (links) und räumliches Material (rechts) aufgehoben ist.^{1/1} In einer Anschlussuntersuchung konnten wir zeigen, dass die üblicherweise vorhandene Kopplung zwischen verschiedenen Hirnregionen, nämlich Stirnhirn (Frontalkortex) und Schläfenlappen (Temporalkortex), bei schizophrenen Patienten aufgehoben ist. **1** Diese Befunde stehen im Einklang mit Hinweisen auf mikrostrukturelle Verdrahtungsstörungen im frontalen und temporalen Kortex. Sie stützen die Auffassung von der Schizophrenie als einem »Diskonnektivitätssyndrom«, das heißt als Ergebnis eines gestörten Zusammenspiels verschiedener Hirnregionen.

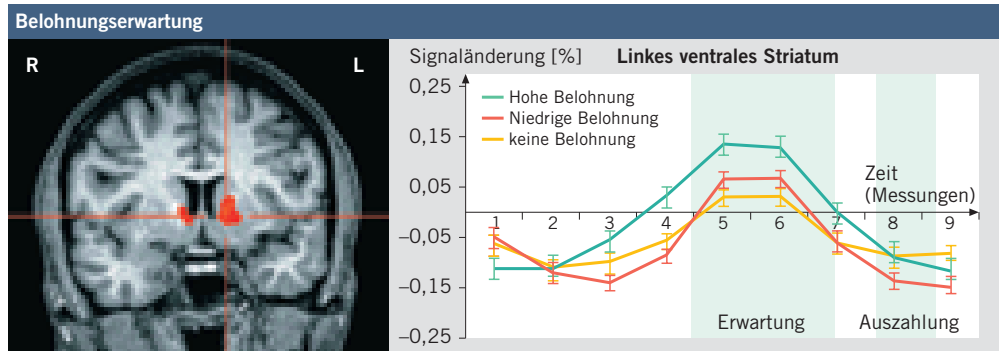
Patienten mit Schizophrenie haben Schwierigkeiten, sich in die Gedankenwelt anderer hineinzusetzen und zu verstehen, was andere denken, fühlen oder meinen. Diese Fähigkeit wird auch als »theory of mind« (TOM) bezeichnet. In Zusammenarbeit mit einer italienischen Arbeitsgruppe an der Universität Turin haben wir ein ex-



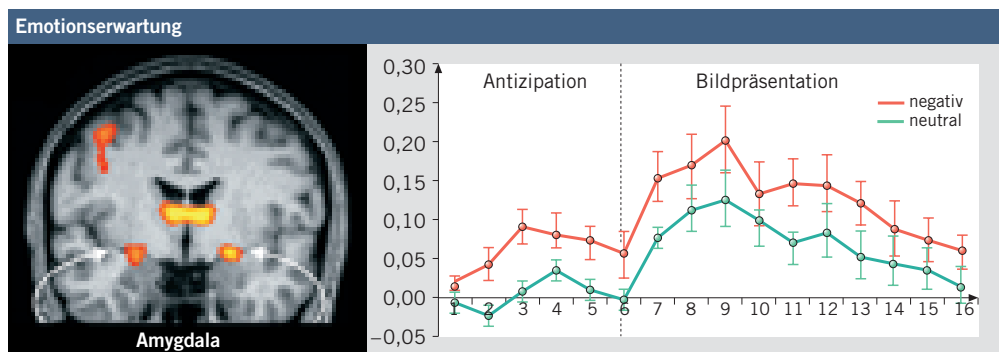
1 Bei gesunden Kontrollprobanden zeigt sich mit zunehmender Anforderung an das Arbeitsgedächtnis eine ansteigende Aktivierung präfrontal (links oben) und eine abnehmende Aktivierung temporal (links unten). Diese gegensinnige fronto-temporale Kopplung ist bei Patienten mit Schizophrenie nicht mehr vorhanden (rechte Seite).

perimentelles Design entwickelt, mit dessen Hilfe wir nachweisen konnten, dass ein bestimmter Bereich im medialen, also innen gelegenen Anteil des Präfrontalkortex bei TOM-Aufgaben in Abhängigkeit vom Grad der sozialen Interaktion aktiviert wird.^{12/} In einer gerade abgeschlossenen fMRT-Studie an Patienten mit Schizophrenie haben wir ein funktionelles Defizit in diesem Bereich nachgewiesen. Dieses ergibt sich interessanterweise nicht einfach aus einer Unteraktivierung des medialen Präfrontalkortex bei TOM-Aufgaben, sondern aus einer im Vergleich zu Gesunden verstärkten Aktivierung bei den verwendeten Kontrollaufgaben (Erkennen physikalischer Zusammenhänge bei Objekten). Dies stimmt mit der psychopathologischen Beobachtung überein, dass Patienten mit Schizophrenie bei zufälligen Ereignissen häufig eine dahinter steckende Absicht zu erkennen glauben. Wir vermuten, dass wir mit unseren Befunden einen Hinweis auf den zugrunde liegenden Mechanismus entdeckt haben. Um diese Hypothese zu überprüfen, wollen wir künftig in Zusammenarbeit mit der Klinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie Patienten mit Autismus untersuchen, die – wenn auch aus anderen Gründen – ebenfalls Schwierigkeiten haben, TOM-Aufgaben zu lösen.

Inzwischen ist es möglich, noch kleinere und weiter innen gelegene Hirnstrukturen funktionell zu untersuchen: Tief im Gehirn liegt im so genannten ventralen Striatum der Nucleus accumbens, ein sehr kleiner Kern, dem jedoch eine zentrale Stellung im gehirninternen Belohnungssystem zukommt. Die Signalübertragung im Nucleus accumbens erfolgt durch den Neurotransmitter Dopamin. Ein »Überschießen« dieses dopaminergen Systems wird für Schizophrenie-symptome wie Wahn und Halluzinationen verantwortlich gemacht. Mit Hilfe eines Belohnungsparadigmas^{13/} lässt sich eine Aktivierung des Nucleus accumbens in Abhängigkeit von Höhe (und Wahrscheinlichkeit) der Belohnung bewirken, die im fMRT nachweisbar ist. **2** Bei Ausbleiben einer erwarteten Belohnung zeigt sich dagegen eine Deaktivierung – genau so, wie es auch in Tierexperimenten bei nicht-menschlichen Primaten beschrie-



2 Gezeigt ist der fMRT-Signalverlauf im linken ventralen Striatum bei einem Belohnungsexperiment für jene Durchgänge, in denen trotz Erwartung keine Belohnung erfolgt. In der Erwartungsphase zeigt sich ein Signalanstieg, der umso höher ausfällt, je höher die erwartete Belohnung ist.



3 Die Amygdala (Mandelkern) reagiert bereits während der Erwartung eines negativen Bildes mit einem signifikanten Signalanstieg. Links: Aktivierung beider Amygdala. Rechts: fMRT-Signalverlauf in der Amygdala während der Erwartungsphase und während der Präsentation des erwarteten Stimulus. Der rote Kurvenverlauf weist auf die erhöhte neuronale Reaktion auf negative Bildmotive hin, im Vergleich zur Reaktion auf neutrale Motive (grün).

ben worden ist. Mit dieser Methode ist es nun möglich, sowohl die Symptome der Schizophrenie als auch die Wirkung verschiedener Medikamente gegen Schizophrenie zu untersuchen, die das dopaminerge mesolimbische System blockieren. Diese Zusammenhänge untersuchen wir zurzeit in laufenden Studien.

Affektive Mechanismen und ihre Störungen

Ein aktueller Schwerpunkt unserer Forschung sind neuronale Mechanismen der Emotionsverarbeitung und -regulation. Es ist schon seit längerem bekannt, dass der Anblick von emotionalen Bildern den Mandelkern (Amygdala) im Gehirn aktiviert, eine zentrale Schaltstation emotionaler Informationsverarbeitung. Häufig ist es jedoch nicht der Stimulus selbst, sondern sind es mit ihm verknüpfte Erwartungen und Interpretationen, die bei den Versuchspersonen Emotionen hervorrufen. Dies konnten wir kürzlich auch auf neuronaler Ebene bele-

gen: So fanden wir heraus, dass schon die Erwartung eines negativen Stimulus zu einer Aktivierung der Amygdala führt. **3** Natürlich interessiert uns nunmehr die Frage, wie sich dies bei depressiven Patienten verhält, deren klinische Symptomatik oft stark durch Angst geprägt ist. Tatsächlich fanden wir in einer weiteren Studie, dass depressive Patienten eine signifikant stärkere Amygdala-Aktivierung bei Erwartung negativer Stimuli zeigen, die zudem mit dem Ausmaß ihrer depressiven Symptomatik korreliert.

Menschen sind ihren Emotionen aber nicht hilflos ausgeliefert, sondern können sie in einem gewissen Maße beeinflussen. Der regulierende Umgang mit Emotionen ist ein zentrales Element jeder psychotherapeutischen Arbeit. Doch kann man dies auch auf neuronaler Ebene objektivieren? Bei gesunden Probanden gelang uns dies: Die willentliche Unterdrückung negativer Emotionen führt zu einer klaren Aktivitätsabnahme in der Amygda-

la. Diese Unterdrückung wird durch ein streng rechtshemisphärisches Netzwerk bewirkt. Die willentliche Beeinflussung emotionaler Reaktionen wirkt sich auch objektiv messbar auf den späteren Umgang mit den gleichen Stimuli aus; mit künftigen Forschungsprojekten wollen wir hier anknüpfen und herausfinden, ob und in welcher Weise solche Mechanismen bei Patienten mit affektiven Erkrankungen gestört sind.

Bei depressiven Störungen werden erste therapeutisch relevante Ansätze der Bildgebungsforschung sichtbar [siehe »Ausgewählte Methoden der Hirnforschung im Überblick«, Seite 78]: Die repetitive transkranielle Magnetstimulation (TMS) ist ein modernes Verfahren, das der Elektrokrampftherapie ähnelt, aber deutlich weniger in das neuronale Geschehen eingreift. Bei Stimulation des präfrontalen Kortex wirkt es antidepressiv – allerdings nicht immer. Mögliche Begründung hierfür ist, dass üblicherweise immer der gleiche Ort für die TMS-Stimulation gewählt wird: der linke präfrontale Kortex. Die Festlegung auf diesen Standard beruht auf frühen Untersuchungen mit der Positronen-Emissions-Tomografie (PET), die vor allem in dieser Hirnregion einen verminderten präfrontalen Blutfluss und Glukosestoffwechsel aufzeigten. In einer ersten Pilotstudie haben wir, damals noch mit PET, die Idee verfolgt, zunächst die Stelle des verminderten zerebralen Stoffwechsels zu lokalisieren, um danach dort gezielt stimulieren zu können.^{4/} Die Ergebnisse waren ermutigend, wenn auch aufgrund der geringen Gruppengröße nur begrenzt aussagekräftig. Heutzutage ist ein solcher Ansatz mit Hilfe der fMRT einfacher zu realisieren und gehört sicher zu den in der Einleitung erwähnten klinischen Einsatzmöglichkeiten.

Chancen und Grenzen: Ein Ausblick

Die Möglichkeiten der funktionellen Bildgebung in der psychiatrischen Hirnforschung sind groß: Können doch fast alle psychischen Störungen im Prinzip mit ihrer Hilfe untersucht werden^{5/}. Doch die anfängliche Begeisterung über erste Befunde – in manchen Pressemitteilungen ungerechtfertigt zu kleinen Sensationen aufgebauscht und gelegentlich an »Heilsversprechen« grenzend – ist inzwischen zumindest in einschlägigen Fachkreisen einer kritischen Betrachtung gewichen. Immer differenziertere Forschungsansätze zeigen methodische Probleme auf und machen die Grenzen dieser Verfahren deutlich. Problematisch ist beispielsweise – neben der hohen Artefaktanfälligkeit – die starke individuelle Variabilität der Ergebnisse, wodurch die Interpretation von Längsschnittuntersuchungen schwierig wird.

Dennoch wurden Fortschritte erzielt, die interessante Entwicklungen für die Zukunft versprechen. Insbesondere der Einsatz ausgefeilter mathematischer Methoden zur Datenanalyse bringt unsere Forschung voran. Die Kombination verschiedener Methoden, etwa von Elektroenzephalografie (EEG) und fMRT [siehe auch Marcus Naumer et al. »Audio-visuelle Objekterkennung in der Großhirnrinde«, S. 21], liefert wichtige komplementäre Informationen. Das Pharmako-fMRT wird zur Objektivierung von Medikamentenwirkungen eingesetzt werden. Und die Kombination molekulargenetischer Untersuchungen mit Bildgebungsverfahren (»imaging genomics«) wird zu einem besseren Verständnis von Risikofaktoren und Mechanismen psychischer Erkrankungen führen.

Auch wenn die eingangs erwähnte »Black Box« des Gehirns

inzwischen eher einem belebten Aquarium mit großen Scheiben gleicht: Noch ist das Wasser nicht allzu klar und die Bepflanzung extrem dicht. Ob wir jemals den vollständigen »Durchblick« erhalten, erscheint angesichts der Komplexität des Gehirns als ein hoch ambitioniertes Ziel. Noch sind wir weit davon entfernt, selbst eine so schwere Erkrankung wie Schizophrenie mit Hilfe funktionell bildgebender Verfahren objektiv diagnostizieren zu können. Es besteht jedoch begründete Hoffnung, dass zumindest einige Ansätze der funktionellen Bildgebung sich in den nächsten zehn Jahren ihren Platz auch in der Praxis der klinischen Psychiatrie und Psychotherapie erobern werden. ◆

Die Autoren

Prof. Dr. Dr. Henrik Walter, 43, studierte Medizin, Psychologie und Philosophie in Marburg, Gießen und Boston und promovierte in Medizin und Philosophie. Als Professor für Biologische Psychiatrie leitet er seit Dezember 2004 das Labor für Klinische Neurophysiologie und Neuroimaging in der Klinik für Psychiatrie der Universität Frankfurt. Das Verhältnis von Geist und Gehirn interessiert ihn nicht nur in der Psychiatrie: Er arbeitet auch über die »Neurophilosophie der Willensfreiheit« und startete im Herbst 2005 das von der Volkswagen-Stiftung geförderte Projekt »Animal emotionale«, in dem die neurobiologischen Grundlagen der Emotionsregulation und des moralrelevanten Verhaltens erforscht werden.

Dr. Susanne Erk, 35, studierte Medizin in Köln und Bern. Im Februar 2005 wechselte sie von Ulm nach Frankfurt und arbeitet an der Universitätsklinik im Labor für Klinische Neurophysiologie und Neuroimaging mit dem Schwerpunkt Emotionsforschung. Im Besonderen beschäftigt sie sich mit dem Einfluss von Emotionen auf Gedächtnisleistungen sowie die Mechanismen der Emotionsregulation.

Literatur:

^{1/} Walter, H.; u. a. (2003): No hypo-frontality, but absence of prefrontal lateralization comparing verbal and spatial working memory in schizophrenia. *Schizophrenia Research*

61/2 (3): Seiten 175–184

^{2/} Walter, H.; u. a. (2004): Understanding intentions in social interaction: The role of the anterior paracingulate cortex. *Journal of Cognitive Neuro-*

science 16(10): Seiten 1854–1863

^{3/} Abler, B.; Walter, H. & Erk, S. (2005): The neural correlates of frustration. *Neuro-report* 16(7): Seiten 669–672

^{4/} Herwig, U.; u. a. (2003): Add-on rTMS for treatment of depression: a pilot study using stereotaxic coil-navigation according to PET data. *Journal of Psychiatric Research* 37(4): Seiten 267–75

^{5/} Walter, H. (2005): Funktionelle Bildgebung in Psychiatrie und Psychotherapie. Stuttgart, Schattauer Verlag.

Der freie Wille – Eine Tatsache des praktischen Lebens

Warum die Hirnforschung die Willensfreiheit nicht in Frage stellen kann



»Ich wollt', ich könnte anders«

Wir Menschen sind ein Teil der natürlichen Welt. Wir unterliegen den Naturgesetzen und unsere Handlungen sind die Produkte natürlicher Prozesse und Faktoren: unseres Erbguts, unserer Erziehung und Sozialisation sowie der komplexen neuronalen Vorgänge in unserem Gehirn. Daraus leiten einige Hirnforscher die These ab, die Idee der Willensfreiheit sei eine bloße Illusion, deren Unhaltbarkeit von der neurobiologischen Forschung bewiesen werde. Es geht um nichts weniger als ein neues Menschenbild: Das tradierte Selbstverständnis des Menschen, der für sein eigenes Tun verantwortlich ist, müsse ersetzt werden durch ein Menschenbild, das ohne Begriffe wie Verantwortung, Verdienst und Schuld auskommt, denn diese Begriffe seien

nur auf Wesen anwendbar, die über Willensfreiheit verfügen. Willensfreiheit, also die Fähigkeit, sich im Lichte von Gründen und Gegenständen frei zu entscheiden, ist eine notwendige Bedingung dafür, dass wir einer Person ihre Körperbewegungen als ihre eigenen Handlungen zuschreiben können.

Sind Freiheit und Notwendigkeit unvereinbar?

Das Problem der Willensfreiheit ist keineswegs eine Entdeckung der modernen Hirnforschung: Die Philosophen zur Zeit des Hellenismus hinterfragten den freien Willen vor dem Hintergrund eines allumfassenden Schicksals, im Mittelalter trat an dessen Stelle die Allmacht und das Allwissen Gottes. In der Neuzeit schließlich stellte sich mit

dem Aufkommen der modernen Naturwissenschaften die Frage, wie unsere Handlungen und Entscheidungen frei sein können, wenn doch alles Geschehen in der Natur vollständig durch natürliche Ursachen determiniert ist. Strukturell handelt es sich stets um dasselbe Problem: Lässt sich die Willensfreiheit mit der Annahme vereinbaren, dass alles Geschehen in der Welt mit strikter Notwendigkeit geschieht – sei dies nun die Notwendigkeit des Schicksals, der Ratschlüsse Gottes oder der Naturgesetze?

Wer diese Frage mit »Nein« beantwortet, ist Befürworter des philosophischen *Inkompatibilismus* und kann folgendermaßen argumentieren: Meine Entscheidungen und Handlungen sind nur dann frei,

wenn sie meiner Kontrolle unterliegen. Wenn meine Handlungen nun durch natürliche Ursachen determiniert sind, so kontrolliere ich meine Handlungen nur dann, wenn ich auch alle ihre Ursachen kontrolliere. Unter den Bedingungen des Determinismus ist das aber nicht möglich, da sich die Kette der Ursachen meiner Handlungen bis in die entfernte Vergangenheit erstreckt. Eine Entscheidung kann demnach nur dann frei sein, wenn sie die *unverursachte* Ursache meiner Handlungen ist.

Wer diese inkompatibilistische Position bezieht, hat genau zwei Möglichkeiten: Entweder er leugnet den freien Willen – oder er bestreitet, dass alles Geschehen in der Welt durch natürliche Ursachen determiniert ist. Vor die Wahl gestellt, wird so mancher das unmittelbare Bewusstsein der eigenen Freiheit

für verlässlicher halten als die unbeweisbare These eines allumfassenden Determinismus. Doch die empirischen Befunde der Neurobiologie, der Verhaltensgenetik und anderer Disziplinen lassen eine solche Lösung des Freiheitsproblems zunehmend unplausibel erscheinen. Einmal davon abgesehen, dass das bloße Leugnen des Determinismus noch nicht verständlich macht, wie freie Entscheidungen in einer natürlichen Welt möglich sind, setzt die wissenschaftliche Erforschung des menschlichen Verhaltens keinen *universellen* und damit unbeweisbaren Determinismus voraus, sondern belegt im *Einzelnen*, wie unsere Entscheidungen durch natürliche Vorgänge, etwa im Gehirn, verursacht werden. Diese Theorien lassen sich daher nicht durch den Hinweis widerlegen, dass man sich seiner eigenen Freiheit unmittelbar bewusst ist. Auch lässt sich kaum leugnen, dass unser Verhalten natürliche Ursachen hat, deren Kenntnis es mit zunehmender Genauigkeit erlaubt, menschliches Handeln naturkausal zu erklären.

Inhumanes Menschenbild

Diejenigen, die ein neues Menschenbild ohne die Annahme von Willensfreiheit und persönlicher Verantwortung fordern, scheinen vor allem an eine Revision des Strafrechts zu denken: Nicht nur psychisch kranke Rechtsbrecher verdienen Mitleid statt Strafe; vielmehr gelte für *jeden* Straftäter, dass seine Handlungen das unausweichliche Produkt natürlicher und sozialer Bedingungen sind, für die er nicht verantwortlich ist. Begriffe wie Schuld und Strafe, auf denen unser Strafrechtssystem beruht, ließen sich im Lichte dieses »wissenschaftlich aufgeklärten« Menschenbilds nicht mehr aufrechterhalten – das Ergebnis wäre ein humanerer Umgang mit denjenigen, die durch Gene und Sozialisation benachteiligt sind. [siehe auch Klaus Günther »Das Strafrecht und der Schuld-begriff – Eine alte Diskussion mit neuen Impulsen«, Seite 26]

Doch dieser humane Impuls schlägt bei Lichte betrachtet in sein Gegenteil um. Wer dauerhaft nicht zurechnungsfähig ist, wird von einem mündigen Subjekt zum Objekt sozialer Fürsorge und Kontrolle – und dies gilt nicht nur für Straftä-

ter, sondern für *alle* Menschen. Die Idee vom mündigen Bürger, der für sein Leben selbst verantwortlich ist, erwiese sich somit als ebenso hilflos wie die Ideen von Schuld und Strafe. Neben diesem Wandel unseres *sozialen* Zusammenlebens würde sich auch der *private* Umgang der Menschen untereinander grundsätzlich verändern: Wir dürften es einem Freund nicht übel nehmen, wenn er uns im Stich lässt. Er hatte ja keine Wahl. Hilft er uns hingegen, wäre Dankbarkeit aus demselben Grund ebenso unangebracht. Freundschaft und Liebe würden ihre Grundlage verlieren, denn wir müssten jedes Zeichen der Zuneigung als unausweichliches Produkt von Naturkräften begreifen. Eine Gesellschaft ohne die Idee von Willensfreiheit und Verantwortung ist schwer vorstellbar. Wünschenswert wäre sie jedenfalls nicht.

Es lohnt sich deshalb zu fragen, ob aus der natürlichen Verursachung unseres Verhaltens tatsächlich folgt, dass wir keinen freien Willen haben. Viele Philosophen haben dies bestritten. So lesen wir bei Immanuel Kant: »Man kann (...) einräumen, dass (...) man eines Menschen Verhalten auf die Zukunft mit Gewissheit, so wie eine Mond- oder Sonnenfinsternis ausrechnen könnte *und dennoch dabei behaupten, dass der Mensch frei sei*«. Determinismus und Freiheit, so Kant, schließen sich nicht aus, sondern sind miteinander vereinbar – eine Auffassung, die man in der Philosophie als *Kompatibilismus* bezeichnet. Der Schluss von der natürlichen Verursachung unseres Verhaltens auf das Fehlen von Willensfreiheit, wie er der Forderung der Hirnforscher nach einem neuen Menschenbild zugrunde liegt, ist keinesfalls so zwingend, wie es zunächst scheint.

Freiheit im Kontext

Um verständlich zu machen, wie Freiheit und Determinismus vereinbar sein können, möchte ich andeuten, wie eine freie Entscheidung in einer Hinsicht unverursacht und in anderer Hinsicht Wirkung natürlicher Ursachen sein kann. Die Lösung besteht darin, zwei Arten von Kontexten und damit zwei Arten von Ursachen zu unterscheiden: *evaluative* Kontexte, in denen wir Personen für ihr Tun Verantwortung zuschreiben, und *explanative* Kon-



texte, in denen wir menschliches Verhalten wissenschaftlich erklären.

Betrachten wir zunächst die Bedingungen, unter denen wir einander im Alltag und im Recht für unser Tun verantwortlich machen, so stellen wir fest, dass diese Bedingungen keineswegs positiv spezifiziert sind. Statt dessen gibt es eine Reihe von Ausnahmebedingungen, wie zum Beispiel mangelnde Reife, psychische Erkrankungen, Fremdsteuerung oder extreme emotionale Belastung, unter denen Menschen für ihr Tun nicht verantwortlich sind. Umgekehrt gilt: Dort, wo diese Bedingungen nicht vorliegen, hat man es mit einer Person zu tun, die für ihr Handeln – wenn auch nicht notwendigerweise für alle seine Konsequenzen – verantwortlich ist. Dies wird besonders deutlich im Strafrecht. Ganz im Einklang mit dem alltäglichen Verständnis von Verantwortung betreffen die negativen Bedingungen für strafrechtliche Schuld in erster Linie Einschränkungen der Fähigkeit, sich im Lichte von Gründen und Gegengründen entscheiden und dieser Entscheidung gemäß handeln zu können. Im Umkehrschluss kann man daraus folgern, dass für Verantwortung – und damit für Willensfreiheit als deren Voraussetzung – dem alltäglichen und strafrechtlichen Verständnis zufolge nicht mehr erforderlich ist als die Fähigkeit, sich nach Abwägung von Gründen (und insofern »vernünftig«) entscheiden und dementsprechend handeln zu können. Welche kausalen Bedingungen einen Menschen dazu in die Lage versetzen (etwa das Vorhandensein eines funktionsfähigen Gehirns), spielt für die Zuschreibung von Verantwortung hingegen keine Rolle. Die einzigen Ursachen, die in *evaluativen* Kontexten relevant sind, sind daher diejenigen, die Verantwortung *ausschließen*, indem sie vernünftige Entscheidungen und ihre Umsetzung verhindern oder erschweren.

In der naturwissenschaftlichen Erklärung menschlichen Verhaltens können hingegen auch ganz andere Ursachen eine Rolle spielen, zum Beispiel biochemische Stoffwechselfvorgänge oder spezifische Gehirnstrukturen. Prinzipiell können in solchen *explanativen* Kontexten alle kausalen Faktoren relevant werden. Insbesondere ist die Frage nach den Ursachen der Ursachen, und

nach deren Ursachen, und so weiter, hier prinzipiell sinnvoll und zulässig.

Freiheit als Tatsache des praktischen Lebens

Sagen wir nun, dass eine Entscheidung frei ist, wenn sie keine natürlichen Ursachen hat, dann ist diese Formulierung zweideutig, solange wir nicht hinzufügen, um welchen Kontext es geht. Genau genommen muss es heißen: Eine Entscheidung ist frei, wenn sie keine natürlichen Ursachen hat, *die im jeweiligen Kontext relevant sind*. Wenn der Determinismus wahr sein sollte, dann gibt es im Kontext wissenschaftlicher Erklärungen keine freien Entscheidungen, denn hier sind potenziell alle natürlichen Ursachen relevant. Im Kontext moralischer Bewertung und der Zuschreibung von Verantwortung hingegen sind nur solche natürlichen Ursachen relevant, die vernünftiges Entscheiden und Handeln verhindern (Psychosen etwa oder die Nachwirkungen frühkindlicher Vernachlässigung). Geistige Gesundheit, eine normale Erziehung und durchschnittliche Persönlichkeitsentwicklung, so sehr sie auch zu den Ursachen unseres Verhaltens gehören mögen, sind für die Frage der Verantwortung dagegen insofern nicht relevant, als ihr Vorliegen Verantwortung weder sicherstellt noch ausschließt. In einem moralisch-praktischen Kontext ist es deshalb durchaus zutreffend, dass die allermeisten unserer Handlungen auf freie Entscheidungen zurückgehen, denn sie haben keine Ursachen, die in einem evaluativen Kontext, also für die Zuschreibung von Verantwortung, relevant sind.

Begriffe wie Willensfreiheit und Verantwortung gehören in eine moralisch-praktische Perspektive. Welche Ursachen für die Frage der Willensfreiheit relevant sind und welche nicht, ist daher keine Frage, die sich im Labor entscheiden ließe. Es ist vielmehr unsere menschliche, aber für jeden einzelnen Menschen unverfügbare Praxis, einander als verantwortliche Personen zu be-

handeln, die definiert, welche Ursachen als Entschuldigungsgründe gelten und welche nicht. Und sobald wir über diese Unterscheidung verfügen, wird klar, dass die Ursachen unserer Entscheidungen in einem evaluativen Kontext normalerweise nicht relevant sind. Freiheit und Determination sind dem-



nach vereinbar: Der Determinismus impliziert zwar, dass jedes Ereignis hinreichende Ursachen hat, nicht aber, dass jedes Ereignis hinreichende Ursachen hat, die in einem evaluativen Kontext relevant sind. Möglicherweise kann die Hirnforschung in dem ihr eigenen, explanativen Kontext aufzeigen, auf welche Weise das Gehirn unser Verhalten determiniert. Doch ihre Ergebnisse können die Freiheit des Willens nicht widerlegen. Freiheit und Verantwortung erfordern nicht mehr als die Abwesenheit von Faktoren, die eine vernünftige, das heißt, auf der Abwägung von Gründen basierende Entscheidung verhindern. Dass die meisten Menschen normalerweise über Freiheit in diesem Sinn verfügen, ist keine gewagte metaphysische These, sondern eine Tatsache des praktischen Lebens. Sie wird durch die Hirnforschung nicht in Frage gestellt. ♦

Der Autor

Prof. Dr. Marcus Willaschek, 42, studierte Philosophie, Biologie, Psychologie und Rechtswissenschaft und lehrt seit 2003 Philosophie an der Universität Frankfurt. Seine Forschungsschwerpunkte sind Metaphysik und Erkenntnistheorie sowie die Philosophie Immanuel Kants. Zurzeit arbeitet er an einem Projekt zur Vereinbarkeit von Willensfreiheit und Determinismus. [siehe auch Streitgespräch »Die Welt jenseits der Oszillografen«, Seite 84]

Welchen Menschen wollten wir erklären?

Wider den überhöhten Geltungsanspruch der Hirnphysiologie



»Input-Output-Maschine«

Weder die Anthropologie noch die Psychologie, Soziologie, Geschichts- oder Rechtswissenschaften liefern uns einen eindeutigen Begriff, was der Mensch von seinem Wesen her ist. Vielleicht sind wir einfach zu Vieles, und vielleicht sind unsere Möglichkeiten geschichtlich gesehen so variabel, dass wir mit einer Definition, die ja eine Abgrenzung sein soll, nie ans Ende kommen. Sollte dies der Fall sein, dann hat das für die »naturwissenschaftliche« Erklärbarkeit des Menschen eine gravierende, häufig übersehene Konsequenz: Welchen Menschen wollten wir eigentlich erklären?

Wenn wir ein physikalisches System erklären wollen, zweifeln wir in der Regel nicht, welche Parameter infrage kommen. Im Planetensystem sind es die Orts- und Impulskoordinaten, die von Interesse sind, beim Wasserstoffatom die Energieniveaus, bei einem Schwingkreis Kapazitäten, Induktivitäten, Ströme und Spannungen. Das *explanandum* scheint jeweils klar. Kommen wir zu komplexeren Gebilden wie Lebewesen, Biotopen oder Maschinen, dann entsteht das aus der Kybernetik bekannte Problem, dass gar nicht so klar ist, was eigentlich die Input- und Outputgrößen sein sollen, es gibt einfach

zu viele davon. Die meisten Kybernetiker sind daher der Meinung, dass wir uns nicht lange mit der Frage herumquälen sollten, was das eigentliche Wesen solcher komplexen Systeme ist, sondern dass die Art unserer Untersuchungen von der jeweiligen Fragestellung abhängt. Der Mensch ist freilich das komplexeste Wesen im Universum, das wir kennen. Dementsprechend wurden völlig verschiedene Eigenschaften des Menschen als die »wesentlichen« angesehen: seine Reflexionsfähigkeit, dass er spielen kann, dass er ein soziales oder ein werkzeuggebrauchendes Wesen ist, dass er der philosophischen Kontempla-

tion fähig ist, dass er sich frei aus sich entwerfen kann, dass er nach Gottes Bild gestaltet wurde und was der, übrigens ziemlich widersprüchlichen, Bestimmungen mehr sind.

Wenn Libets Experimente ihren Inhalt verlieren

Nur ein Beispiel vorweg: Die berühmten Experimente des mittlerweile 80-jährigen Pioniers der Hirnforschung, Benjamin Libet [siehe auch Buchtipp »Benjamin Libet erklärt, wie das Gehirn Bewusstsein erzeugt«, Seite 99] setzen voraus, dass Freiheit ein zentrales Definiens des Menschen ist und dass es eine eindeutige Abbildbarkeit menschlicher Freiheit auf Körperbewegungen gibt. Beides scheint höchst zweifelhaft. Liest man Homers »Ilias«, dann hat man nicht den Eindruck, dass sich die alten Griechen als Freiheitswesen in unserem Sinne verstanden haben. Von Augustinus bis Calvin gab es eine christliche Prädestinationslehre, die menschliche Freiheit ausschloss. Unser heutiger, geschichtlich gewordener Begriff von »Freiheit« wird gewöhnlich aufgefächert in Willens- und Handlungsfreiheit. Willensfreiheit ist die Fähigkeit des Menschen, sich selbst »ein Gesicht zu geben«, das heißt: seine normativen Präferenzen festzulegen, während sich Handlungsfreiheit auf jenen Bereich bezieht, den der Neurophysiologe Libet in seinen Experimenten testen wollte: die Fähigkeit nämlich, konkret in die Materie einzugreifen. Das heißt, Libet hatte nur einen Teilaspekt von Freiheit vor Augen und – wie ich meine – den weniger bedeutsamen, während seine Erklärung auch dann in Zukunft falsch oder zumindest irrelevant werden könnte, wenn sie die Phänomene jetzt richtig beschrieb. Was zum Beispiel, wenn sich in Zukunft ein neuer Fatalismus weltweit durchsetzen würde, wie er in gewissen islamischen Kreisen heute schon herrschend ist? Dann würden die Libet-Experimente plötzlich inhaltsleer.

Doch wie kann man etwas als eine wissenschaftliche Erklärung akzeptieren, das imstande ist, seinen Inhalt zu *verlieren*? Mir scheint, dass es diesen Fall in der gesamten Geschichte der Naturwissenschaft niemals gegeben hat. Gleichgültig, wie wir die Ergebnisse unserer Altvorderen einschätzen, wenn sie sachgemäß waren, haben sie ihre Be-

deutung auch noch nach 20000 Jahren nicht verloren. Der erste Mensch, der entdeckte, dass der Sonnenstand die Tageszeit anzeigt oder dass gekochte Speisen verträglicher sind als ungekochte, hatte sachhafte Einsichten in Zusammenhänge, die bis heute nicht falsch oder bedeutungslos geworden sind, und das gilt auch für alle höherstufigen wissenschaftlichen Entdeckungen, von Galileis Fallgesetz bis zur Schrödingers Gleichung in der Quantentheorie. Aber wenn es möglich ist, dass die Libet-Experimente in 100 Jahren überhaupt keine Bedeutung mehr haben, welche hatten sie dann jemals?

Der Mensch – zu komplex für eine schlichte Frage

Jeder Versuch einer »naturwissenschaftlichen« Erklärung des Menschen setzt eine Entscheidung darüber voraus, was wir als wesentlich ansehen wollen. Solche Entscheidungen sind bei Atomen, Planetensystemen oder Schwingkreisen leicht zu treffen, beim Menschen möglicherweise überhaupt nicht.

Die Aufforderung »Erkläre den Menschen« scheint mir so ähnlich zu sein, wie es die Aufforderung wäre »Erkläre die Stadt«. Niemand käme auf die Idee, die Aufforderung »Erkläre die Stadt« ernst zu nehmen. Es gäbe einfach zu viel zu erklären. Soll sich die Erklärung auf Stoffkreisläufe beziehen, also beispielsweise auf die Versorgung mit Wasser, Elektrizität, Gas oder Nahrungsmitteln und Informationen, auf die demografische, historische, kulturelle oder politische Entwicklung, auf ihre ästhetische Wirkung oder auf ihre Lebensqualität?

Während wir die Aufforderung »Erkläre die Stadt« sofort als unsinnig, weil total unterbestimmt, zurückweisen würden, gilt in der Naturwissenschaft die Aufforderung »Erkläre den Menschen« als eine sinnvolle Forderung, obwohl der Mensch mit seiner Komplexität sicher nicht hinter einer Stadt zurücksteht.

Mehr als eine Input-Output-Maschinerie

Manche Hirnphysiologen betrachten den Menschen als eine Input-Output-Maschinerie, die Sinnesdaten in motorische Steuerung umsetzt, wie das die Roboter ebenfalls tun. Ich will nicht bestreiten, dass ein solcher

Ansatz etwas Reales am Menschen beschreibt. In gewisser Hinsicht sind wir eine solche Input-Output-Maschinerie, aber dann nur so, wie wir auch eine hydraulische Maschine sind. Alle Gesetze der Hydraulik sind in unseren Blut- und Lymphkreisläufen erfüllt. Andererseits bestehen wir nicht ausschließlich aus Blut und Lymphe. Viele unserer unwillkürlichen Körperbewegungen erschließen sich einem neurokybernetischen Modell, aber wenn der Mensch dadurch hinreichend erklärt werden sollte, müsste gezeigt werden, dass sich *alle* mentalen Zustände in Körperbewegungen ausdrücken und dass alle nichtkybernetisch beschreibbaren Körperbewegungen *unwesentlich* sind. Aber »unwesentlich« gemessen an was? Die Antwort »sie passen nicht ins kybernetische Modell« wäre offenbar zirkulär. Zudem ist völlig unklar, ob Körperbewegungen – wie sie Libet untersucht hat – überhaupt ein Maß für das sein können, was im Menschen vorgeht. Wenn ich beispielsweise schweige, da mir jemand eine unverschämte Frage gestellt hat, dann bewegt sich womöglich kein Molekül in meinem Körper, auch mein Gehirnzustand könnte ganz derselbe bleiben. Wir hätten also eine Handlung vor uns, die nicht mit einer Körperbewegung verbunden ist. Und doch kann Schweigen große Bedeutung haben und damit eine Handlung von Gewicht sein.

Viele Hirnphysiologen argumentieren so, dass unser Geist offenbar sensibel von unserem Gehirn ab-



hängig ist, dass in unserem Gehirn gewisse strenge Gesetzmäßigkeiten erfüllt sind und dass man nicht sieht, wie unser Geist etwas produzieren könnte, was außerhalb dieses Rahmens liegt. Aber man sieht sofort, dass diese Argumentation nicht richtig sein kann. So bin ich beim Schreiben dieses Artikels auf meinen Computer angewiesen, da ich keine andere Maschine besitze. Im Innern des Computers sind alle Gesetze der Elektrodynamik erfüllt. Physikalisch gesehen ist mein Computer ein total determiniertes System. Hindert mich dies, zu schreiben, was ich will? Legen die Gesetze der Elektrodynamik die Inhalte fest, die ich hier entfalte? Dann würden alle Autoren in diesem Heft denselben Artikel schreiben, oder die Artikel würden sich danach unterscheiden, ob sie auf »Apple« oder IBM geschrieben wurden.

Offenbar gibt es beim Computer eine wechselseitige Indifferenz zwischen der physikalischen und der semantischen Ebene. Die Physik er-

laubt einen variablen Überbau. Warum sollte das beim Gehirn anders sein? Natürlich gibt es in unserem Gehirn fest verdrahtete Abhängigkeitsverhältnisse, die durch unsere evolutive Vorgeschichte festgelegt wurden. Wenn ein Gegenstand auf meine Augen zufliegt, schließe ich sie ganz automatisch. In solchen Fällen mögen kausale Abhängigkeiten greifen, und es ist eine rein empirische Frage, wie weit sie reichen. Aber es spricht nicht viel dafür, dass solche strengen Kausalverhältnisse auch dann noch definiert sind, wenn es zum Beispiel darum geht, einen Artikel für »Forschung Frankfurt« zu schreiben, schließlich konnte die Evolution nicht vorhersehen, dass es irgendwann einmal eine Zeitschrift »Forschung Frankfurt« geben würde, und diese Zeitschrift ist ja auch in keiner Weise überlebensnotwendig, wie überhaupt der gesamte Bereich der Kultur nicht überlebensnotwendig ist.

Wenn wir uns einreden, wir müssten die Aufforderung »Erkläre die Stadt« ernst nehmen, dann müssten wir auch die Aufforderung »Erkläre Heidelberg« ernst nehmen, denn eine Stadt wird nur »sie selbst« wenn wir ihre Individualität berücksichtigen. Was gewinnen wir schon, wenn wir nur die allgemeinen Charakteristika aller Städte auflisten, dass sie nämlich alle ein Halenbad, einen Bahnhof, eine Kläranlage und ein Telefonnetz haben *und warum* sie all dies haben?

Eine »Erklärung von Heidelberg« könnte nur eine Geschichte dieser Stadt sein, wie sie sich in den letzten Jahrhunderten entwickelt hat. Die Nachzeichnung einer geschichtlichen Entwicklung wird in der Regel von keinen allgemeinen Gesetzmäßigkeiten Gebrauch machen, da wir keine solchen Gesetzmäßigkeiten kennen. Die Historiker sind inzwischen zu Recht sehr aller-

gisch gegen überwölbende historische »Gesetze«, wie sie Hegel, Marx oder Spengler gelehrt haben.

Die Grenzen der Verallgemeinerung

Ganz entsprechend müssten wir, wenn wir die Aufforderung »Erkläre den Menschen« für sinnvoll halten, auch eine Aufforderung akzeptieren wie »Erkläre Bodo Sack«. Den Menschen im Allgemeinen erklären würde ja, wenn es gelänge, das unbestimmt lassen, was jeden von uns auszeichnet und was Herrn Bodo Sack zu diesem ganz bestimmten und einmaligen Bodo Sack macht. Man kann freilich argumentieren, dass sich Naturwissenschaft immer nur auf das Allgemeine bezieht, aber im Fall des Menschen bedeutet dies eine weitere Grenze ihres Erklärungsanspruchs. Selbst wenn es sich, gegen die Wahrscheinlichkeit, so verhalten sollte, dass unser Gehirn *alle* Inhalte des Bewusstseins deterministisch festlegt, müssen wir damit rechnen, dass jedes Gehirn durch die individuelle Geschichte seines Trägers eine individuelle Feinstruktur hat. Selbst für den Fall, dass wir einen gigantisch komplizierten Gehirnscanner hätten, der all diese Feinstrukturen minutiös abbilden würde, könnten wir sie als individuelle Strukturen noch längst nicht erklären. Wir könnten sie nur zur Kenntnis nehmen: *individuum est ineffabile* (das Individuelle lässt sich nicht erklären). Ja, wir könnten von der Hirnphysiologie her noch nicht einmal eine individuelle Geschichte erzählen, weil die Umwelten, die einstmals in dem individuellen Gehirn gewisse Bahnungen hervorgerufen haben, inzwischen untergegangen sind. Der Historiker, der eine Geschichte erzählt, zehrt von Dokumenten in Raum und Zeit und von gewissen Sinnunterstellungen. Beides kommt im Gehirn nicht vor.

In der Euphorie des Neuen: Der überhöhte Geltungsanspruch der Hirnforschung

Wenn eine neue Wissenschaft erblüht, erzeugt ihr Anfangserfolg zu meist völlig überhöhte Geltungsansprüche, die sich später abschleifen. Nach dem Siegeszug der Newtonschen Physik glaubte man, alles in der materiellen Natur aufgrund des



Der Autor

Prof. Dr. Hans-Dieter Mutschler, 59, studierte Theologie, Physik und Philosophie in München, Paris und Frankfurt, in der Mainmetropole promovierte und habilitierte er sich in Philosophie. Von 1997 bis 2003 war Mutschler Privatdozent an der Johann Wolfgang Goethe-Universität, weiterhin lehrte und forschte er als Gastprofessor in Eichstätt, Innsbruck und am C.G.Jung-Institut in Zürich. Seit 2003 ist er Professor für Natur- und Technikphilosophie an der Hochschule »Ignatianum« in Krakau. Mutschler hat unter anderem folgende Bücher veröffentlicht: »Spekulative und empirische Physik. Aktualität und Grenzen der Naturphilosophie Schellings«, Kohlhammer-Verlag, Stuttgart 1990; »Naturphilosophie«, Reihe »Grundkurs Philosophie« Band 12, Kohlhammer-Verlag Stuttgart 2002; »Ist der Geist berechenbar?« (herausgegeben zusammen mit Wolfgang R.Köhler, siehe auch Buchtipp, S. 105), Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt 2003; »Physik und Religion«, Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt 2005.

Gravitationsgesetzes erklären zu können, zum Beispiel auch Farb- und magnetische Erscheinungen. Es hat sich aber herausgestellt, dass diese Erscheinungen über die Erklärungskraft der Newtonschen Physik hinausreichen. Als der junge Max Planck nicht sicher war, was er studieren sollte, Physik oder Musik, wandte er sich an Philipp Jolly, den berühmten Erfinder des Gasthermometers. Jolly riet Planck, Musik zu studieren, weil in der Physik schon alles Wesentliche entdeckt sei. Überhöhte Geltungsansprüche gibt es in der Wissenschaftsgeschichte zuhauf, insbesondere, wenn eine Disziplin ihre ersten Anfangserfolge verzeichnen kann. Ich erinnere daran, dass sofort nach Bekanntwerden des Indeterminismus in der Quantentheorie argumentiert wurde, jetzt sei das Freiheitsproblem gelöst. Dies glaubt heute niemand mehr. Die Fachleute bezweifeln sogar, dass die Quantentheorie in Betracht gezogen werden muss, wenn wir über »Freiheit« reden.

Ich plädiere dafür, den Geltungsanspruch der Hirnphysiologie radikal herunter zu kürzen. Die Forderung nach einer Erklärung *des* Menschen hat nicht den leisesten Sinn. Ich glaube noch nicht einmal, dass die Hirnphysiologie *als solche* imstande ist, wirklich Entscheidendes zum Leib-Seele-Problem beizutragen. Dazu müsste sie einen Begriff von der »Seele« haben, der aber der Naturwissenschaft unzugänglich bleibt.

Die Hirnphysiologie als solche hat mit dem Geist so viel zu tun wie ein Konstrukteur von Automobilen mit dem Verkehrsminister. Ohne Zweifel beziehen sich beide auf Automobile, aber auf eine derart verschiedene Weise, dass ein Verkehrsminister, der nichts von einem Vergaser oder einer Scheibenbremse wüsste, trotzdem ein exzellenter Verkehrsminister sein könnte, während ein Konstrukteur, der *alles* über Vergaser und Scheibenbremsen wüsste, damit noch nicht im Mindesten qualifiziert wäre, Verkehrsminister zu werden.

Lassen wir die Hirnphysiologie an ihrem Ort: Sie ist eine praktische Disziplin, die das immanente Funktionieren des Gehirns untersucht, wofür wir ihr dankbar sind. Immerhin erwarten wir von dieser Disziplin, dass sie uns einmal die Grundlage für Hirnprothesen liefern wird,

so dass, wie in der Bibel geschrieben steht »Blinde sehen, Lahme gehen und Taube hören«. Wenn sie dies leistet, das heißt: wenn sie als Medizintechnik lebenserhaltende und -fördernde Mittel zur Verfügung stellt, dann ist sie gerechtfertigt, und ich bin mir sicher, dass sie *diesen* Test glänzend bestehen wird.

Warum das Gehirn kein Modell für alles ist

Wir wissen, dass viele unserer Städte, allen voran Berlin, vor dem Kollaps stehen, zumindest was die Finanzen anbelangt. Wolf Singer hat neulich auf einem Städtetag den Bürgermeistern empfohlen, die Steuerung der Städte »von oben« aufzugeben. Schließlich sei auch das Gehirn ein dezentrales System, das seine erstaunlichen Leistungen durch Selbstorganisation erbringe. Wenn die Bürgermeister diesem Rat folgen würden, entstünde in den Städten ein rechtsfreier Raum, den sofort die Mafia ausfüllt. Wir bekämen sizi-



lianische Verhältnisse. Es gibt aber keine guten Gründe, die Arbeitsweise des Gehirns direkt auf soziale Prozesse abzubilden.

Wenn wir von der Hirnphysiologie erwarten, dass sie »den Menschen« und alles, was er tut, auf dieselbe Weise erklärt, wie wir heute die Energieniveaus von Atomen, elektrische Schwingkreise oder die Bewegungen des Planetensystems erklären, dann machen wir den Konstrukteur zum Verkehrsminister. ♦

Anzeige



Sie brauchen mehr **Rechenpower?**
Oder Sie wollen die **Denkarbeit** Ihrer
Systeme **bündeln?**

Nach **erfolgreicher Installation** eines erneuten HPC Linux Clusters unter Debian im **Brain Imaging Center (BIC)** in Frankfurt können wir auch **Ihre Rechenleistung erhöhen!** Rufen Sie uns an!

transtec

THE EUROPEAN IT FACTORY

Competence Center Cluster
transtec AG, Tübingen
07071-703 400

Gott, Geist, Gehirn

Auf dem Weg zu einer »Biologie des Glaubens«?



»Wirtskörper des Transzendenten«

In einem kleinen dunklen Raum im Labor einer großen Universitätsklinik zündet ein junger Mann namens Robert Kerzen und Jasminräucherstäbchen an; dann nimmt er auf dem Boden Platz und verschränkt seine Beine mühelos zum

Lotussitz.^{11/} Mit der Beschreibung dieser »Versuchsanordnung« beginnen die beiden Neurowissenschaftler Andrew Newberg und Eugene D'Aquili ihre inzwischen heiß diskutierte Studie »Der gedachte Gott«. Wie Glaube im Gehirn entsteht. In

ihr entwerfen sie das Programm einer »Biologie des Glaubens«^{12/}, die den Zusammenhang zwischen religiöser Erfahrung und Gehirnfunktion erforscht.

Der gläubige Buddhist Robert ist während seiner Meditation mit

einer Baumwollschnur verbunden. An dieser Schnur zieht er, wenn sich »sein meditativer Zustand seinem transzendenten Höhepunkt nähert«^{3/}. Das ist der Moment, in dem Newberg, Radiologe an einem nuklearmedizinischen Institut, dem Probanden eine radioaktive Substanz intravenös verabreicht. Wenige Minuten später findet sich Robert unter einer SPECT-Kamera wieder. Das bildgebende Verfahren SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) registriert die radioaktive Strahlung und erzeugt rechnergestützt Aufnahmen der Durchblutungsmuster in Roberts Gehirn. »Und wir werden nicht enttäuscht«, so Newberg. »Die fertigen Bilder zeigen eine ungewöhnliche Aktivität in einem kleinen Klumpen grauer Materie im oberen hinteren Abschnitt des Gehirns.«^{4/} Newberg und D'Aquili haben ihre Tests mit zahlreichen Personen unterschiedlicher religiöser Bindung durchgeführt, mit tibetanischen Buddhisten ebenso wie mit franziskanischen Nonnen. Dabei fanden sie sich stets in der Beobachtung bestätigt, dass im Zustand höchster meditativer Versenkung die Gehirnaktivität der Betroffenen deutlich messbar verändert ist.

Was in Phasen religiöser Versenkung im Orientierungs-Assoziations-Areal des Gehirns geschieht

Die SPECT-Analysen zeigen nach Newberg und D'Aquili eine signifikante Deaktivierung des »Orientierungsfeldes« oder Orientierungs-Assoziations-Areals (OAA). Diese Region befindet sich im Lobus parietalis superior, also im oberen Scheitellappenteils in der hinteren Großhirnrinde. Dem Orientierungs-Assoziations-Areal wird gewöhnlich die Fähigkeit zugeschrieben, aus dem ständigen Informationszufluss unterschiedlicher Sinnesorgane eine klare und stabile Repräsentation der Grenzen zwischen eigenem Körper und Umwelt aufzubauen. Ohne ein solche verlässliche Wahrnehmung der Grenzen zwischen körperlichem Selbst und Umgebung wäre eine Orientierung und Bewegung im Raum kaum möglich. Patienten, die unter Schädigungen dieses Areals leiden, haben zum Beispiel größte Mühe, ihr Bett zu finden oder – wenn sie es schließlich

erreicht haben – sich hinzulegen.

Aus der auffälligen Inaktivierung des Orientierungs-Assoziations-Areals, die während der Meditation zu beobachten ist, hat Newberg nun den Schluss gezogen, dass im Moment höchster religiöser Versenkung die Grenze zwischen Ich und Welt verschwindet und der natürliche Bezug zu Raum und Zeit verloren geht. Damit scheint die neuronale Basis für jene inneren Erlebnisse identifiziert, von denen die Mystiker unterschiedlichster religiöser Traditionen berichten: ozeanische Gefühle der Versenkung, Entgrenzung und Aufhebung des Ich und des eigenen Körpers, Erfahrungen der Einheit mit einer größeren, umfassenden Wirklichkeit. Alle diese Erlebnisse erscheinen nun verständlich und erklärbar als Resultat einer durch Meditation selbst induzierten Deaktivierung des Orientierungsfeldes im posterioren superioren Parietallappens. Der Beweis scheint erbracht, dass es sich bei mystischen Erlebnissen nicht um Halluzinationen, sondern um biologisch nachweisbare Tatsachen handelt.

Newberg ist fest davon überzeugt, dass die genannten Experimente nicht nur Aufschluss darüber geben, »wie Glaube im Gehirn entsteht« (so der Untertitel der deutschsprachigen Ausgabe seines Buches), sondern auf biologische Weise die Notwendigkeit und Unverzichtbarkeit eines solchen Glaubens an Gott demonstrieren. Daher trägt die amerikanische Originalausgabe auch den treffenderen und provozierenderen Titel »Why God Won't Go Away«.

Glaube an Gott und Versuch eines naturwissenschaftlichen Gottesbeweises

Was aber zeigen die Experimente von Newberg wirklich? Bieten sie tatsächlich so etwas wie einen neurobiologischen Gottesbeweis, die naturwissenschaftliche Rechtfertigung des Glaubens an Gott? Wird in Zukunft die rationale Verantwortung religiösen Glaubens die Form einer *Neurotheologie* annehmen müssen? Neurotheologie, die neurowissenschaftliche Erforschung religiöser Phänomene, entwickelt sich jedenfalls gegenwärtig zu einem boomenden Zweig der Hirnforschung mit rasch wachsender Popularität.

Neben Andrew Newberg bestimmen dabei vor allem die Beiträge von Vilaynur S. Ramachandran^{5/} und Michael Persinger diese Diskussion. Der Neuropsychologe Ramachandran ist mit Untersuchungen zur so genannten Schläfenlappen-Persönlichkeit bekannt geworden, in deren Zentrum die schon seit langem bekannte Korrelation spezifischer Formen der Epilepsie mit extremen Erscheinungen von Religiosität stehen. Die eindeutige Lokalisierbarkeit der von der Schläfenlappen-Epilepsie betroffenen Hirnregionen hat Ramachandran zu der Mutmaßung veranlasst, dort den Sitz des »Gott-Moduls« im menschlichen Gehirn gefunden zu haben. Auf den Nachweis einer spezifischen Korrelation von religiösem Bewusstsein und Gehirnaktivität in den Schläfenlappen zielen auch die Experimente von Persinger, der mit Hilfe transzerebraler Magnetsimulation bei seinen Probanden religiöse Erfahrungen zu stimulieren versuchte.

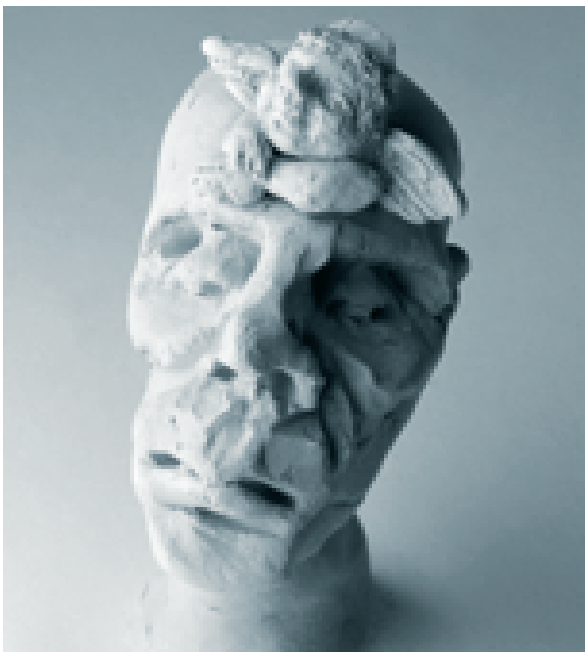
Alle diese Ansätze teilen die grundlegende neurobiologische Auffassung, dass es sich beim menschlichen Geist um ein Produkt des Gehirns handelt. Alles, was wir im Bewusstsein haben, gelangt aufgrund neuronaler Aktivität dorthin. Nun existiert der Gedanke an Gott im Bewusstsein religiöser Menschen. Dieser Gedanke muss also vom menschlichen Gehirn produziert werden, wie sollten Menschen sonst einen solchen Gedanken fassen können? Folgt man dieser Auffassung, dann lässt uns die Hirnforschung in der Tat die biologischen Grundlagen religiöser Gedanken erkennen. Sie kann die Klasse religiöser Überzeugungen, Vorstellungen und Erfahrungen mit einem Blick auf die spezifische neuronale Basis solcher Überzeugungen von anderen Gedankeninhalten abgrenzen. Auf diese Weise scheint die Realität jener bewussten Erlebnisse, die als Glauben an Gott bezeichnet werden können, biologisch nachweisbar.

Religiöse Gedanken sind reale Vorgänge im Bewusstsein mit einer für sie spezifischen neuronalen Basis. Damit ist allerdings noch nichts über die Wahrheit und Rationalität religiöser Überzeugungen gesagt. Bestenfalls scheint damit die biologische Realität des religiösen Bewusstseins als eines Denkens an Gott gezeigt werden zu können,

nicht aber ob Gott, als Inhalt dieser Gedanken, unabhängig von diesen Gedanken existiert. Dies wird von Newberg auch ausdrücklich eingeräumt: »Unsere eigene Gehirnforschung kann die Existenz Gottes weder beweisen noch widerlegen, zumindest nicht mit einfachen Aussagen.«^{16/} Allerdings erhärtet die Erforschung der »neurobiologischen Aspekte der spirituellen Erfahrung« Newberg zufolge »das Gefühl der Wirklichkeit Gottes«.^{17/}

Ist Bewusstsein nicht mehr als ein neuronaler Zustand?

Damit erscheint das neurotheologische Programm deutlich weniger dramatisch als auf den ersten Blick. Versteht man Newberg nämlich im Sinne der generellen These, dass Denken ohne Hirnaktivität unmöglich sei, so ist diese These so trivial und harmlos, dass ihr auch »traditionelle« Theologen und Philosophen ohne weiteres zustimmen können. Solche Positionen können auch durchaus einräumen, dass bestimmte Bewusstseinszustände in der Regel mit bestimmten Gehirnzuständen korrelieren. In einer solchen Korrelationsbeziehung bleibt aber offen, ob das Gehirn den Geist determiniert oder der Geist das Gehirn programmiert.^{18/} Problematisch erscheint nur die vollständige Identifikation religiöser Überzeugungen mit Gehirnzuständen, wonach religiöse Bewusstseinsinhalte nicht anderes seien als *neuronale Zustände*.



Versteht man Newberg allerdings genau in diesem radikaleren Sinn, wonach Wesen und Inhalt religiöser Erfahrungen und Überzeugungen in nichts anderem als in bestimmten Gehirnzuständen bestehen, so sind die Konsequenzen auch dieser Lesart letztlich weniger dramatisch, als es Newberg und manche seiner Anhänger glauben. Denn was unter solchen Voraussetzungen biologisch gezeigt werden kann, ist nicht, dass Gott unmöglich verschwinden kann – also mithin existieren muss, sondern bestenfalls, dass religiöses Bewusstsein notwendig im menschlichen Gehirn verankert ist. Das könnte aber auch der biologische Nachweis sein, dass ein bestimmtes Wunschdenken unverzichtbar ist.

Die Ergebnisse Newbergs könnten also nicht nur die Grundlage einer Neurotheologie, sondern auch einer neurobiologischen Religionskritik bieten, einer Naturalisierung des von Feuerbach und Freud formulierten Verdachtes, dass Religion nichts anders ist als das Produkt tiefsitzender menschlicher Denkweisen.

Spiritualität und Religiosität sind zweierlei

Die neurobiologischen Befunde einer Biologie der Glaubens scheinen also methodisch agnostisch zu sein, sie erlauben eine anti- und eine pro-religiöse Deutung. Der pro-religiösen Deutung zufolge kann gezeigt werden, dass religiöse Erfahrungen real sind. Es handelt sich bei den Berichten der Mystiker und anderer religiöser Virtuosen nicht um Hirngespinnste, sondern um biologisch verankerte Tatsachen des Bewusstseins. Es hat reale, biologische Gründe, wenn Menschen an Gott glauben. Genau diese Auffassung lässt sich jedoch zum Ausgangspunkt einer antireligiösen Deutung der neurobiologischen Untersuchungen religiöser Erfahrung erheben. Wenn biologisch erklärt werden kann, warum wir an Gott glauben müssen, dann haben wir doch offensichtlich den naturwissenschaftlichen Beleg für die Notwendigkeit einer Illusion gefunden.

Die Neurologie kann, ergänzt durch Genetik und Soziobiologie, die genetische Verankerung und den evolutionären Anpassungsvorteil von Religion erläutern. So glaubt etwa der Verhaltensgenetiker Dean Hammer das »Gottes-Gen«^{19/},

die genetische Prädisposition für spirituellen Glauben gefunden zu haben. Spiritualität ist Hammer zufolge ein genetisch bedingtes menschliches Erbe. Spiritualität als das generelle Gefühl der Selbsttranszendenz und der mystischen Einheit ist allerdings zu unterscheiden von Religiosität. Religiosität ist stärker inhaltlich bestimmt durch die Bindung an die Lehren und Praktiken einer konkreten Religion. Wie Hammer selbst betont, ist daher die Frage, warum Menschen an Gott glauben, strikt zu unterscheiden von der Frage, ob Gott existiert.

Aus der bloßen Tatsache, dass Menschen an Gott denken, folgt trivialerweise nicht, dass Gott auch wirklich existiert. Kant hat in seiner einflussreichen Kritik der philosophischen Gottesbeweise betont, dass daran auch der Aspekt der Notwendigkeit eines Denkens an Gott nichts ändert. Selbst wenn gezeigt werden kann, dass Gott ein notwendiges Objekt des Denkens ist, dass wir also gewissermaßen gezwungen sind, Gott zu denken, so folgt daraus nach Kant noch nicht, dass Gott wirklich, in der empirischen Realität existiert. Trotz aller aufwändiger und teurer High-Tech-Apparaturen gelangt der neurobiologische Gottesbeweis keinen Millimeter über diese von Kant bestimmten Grenzen der traditionellen metaphysischen Gottesbeweise hinaus.

Plädoyer für eine Zeit des Abwartens

Es ist unbestreitbar, dass im Umkreis der Neurotheologie oft kurzschlussige und naive Argumentationen auftauchen. In zahlreichen Veröffentlichungen der populärsten Vertreter herrscht bisweilen eine krude Mischung von Wissenschaftsgläubigkeit und unreflektiert konstatierte Frömmigkeit. Solche Tendenzen, empirische Wissenschaft als Ersatzreligion und Religion als alternative Wissenschaft zu verstehen, bekommen sicherlich weder der Wissenschaft noch der Religion. Daher scheint eine Zeit des Abwartens angezeigt, bis sich der durch so manchen Bestseller und plakative Thesen aufgewirbelte Staub gesetzt hat und sowohl seriöse empirische Forschung als auch begründete Theoriebildung im Feld der Neurobiologie des religiösen Bewusstseins etabliert sind. Erst dann

werden sich auch Theologie und Religionsphilosophie sinnvoll auf dieses neue Forschungsgebiet beziehen können, um Fragen der Wahrheit und Begründbarkeit der Religion zu erörtern.

Der Nachweis einer biologischen Verankerung der Notwendigkeit, Gott zu denken, (VERB) folgenlos erscheinen, wenn es um die Frage nach der Wahrheit der Religion geht. Allerdings sind solche neurobiologischen Untersuchungen für eine Theorie des religiösen Bewusstseins nicht belanglos. Die eigentliche Frage lautet daher, ob eine Theorie des religiösen Bewusstseins mindestens einen indirekten Beitrag zur Klärung des Geltungsanspruches religiöser Überzeugungen leisten kann.

Zerreißprobe: Zwischen szientistischem Faktenwissen und gefhlsgesttzter existentieller Wertorientierung

Dass die empirische Erforschung und die philosophische Reflexion des religiösen Bewusstseins sinnvoll aufeinander bezogen werden können, zeigt die Religionsphilosophie des amerikanischen Pragmatisten William James (1842-1910). Wie kein Zweiter hat er eindringlich dafür geworben, empirische Forschung und philosophische Reflexion zu verbinden, gerade angesichts des Gegenstandes Religion. Nur so könne der Riss zwischen szientistischem Faktenwissen und gefühls-gestützter existentieller Wertorientierung, der die moderne Kultur zu zerreißen droht, auf intellektuell verantwortliche Weise überwunden werden. James hat darauf aufmerksam gemacht, dass die Wahrheit der Religion nicht vollständig losgelöst von der Frage nach der Lebendig-



keit religiöser Erfahrung diskutiert werden kann.^{10/} Dies schließt die Erkenntnis der neurologischen Voraussetzungen dieser Erfahrung ein. James' Interesse an Religion war psychologisch motiviert.

Die Vielfalt religiöser Erfahrung war für James Gegenstand einer primär neurologischen, also empirisch gestützten Psychologie und nicht der philosophisch-metaphysischen oder theologischen Spekulation. Er betrachtete das Gefühl als die tiefere Quelle der Religion. Philosophisch und theologisch formulierte Inhalte hielt James dagegen für sekundäre Produkte, »Übersetzungen eines Textes in eine andere Sprache vergleichbar«.^{11/} Die »logische Vernunft«, so James, »erweitert und definiert unseren Glauben, sie verleiht ihm Würde, Worte, Plausibilität. Aber sie ist kaum in der Lage, ihn hervorzubringen, ja, sie kann ihn nicht einmal schtzen«.^{12/} James zufolge ist die Wahrheit des Gottesgedankens daher nicht unabhängig von der Analyse der Lebendigkeit religiöser Er-

fahrung zu klären. Die Vitalität des religiösen Bewusstseins lässt sich wiederum nicht in vollständiger Abstraktion von Fragen nach den biologischen Grundlagen des Bewusstseins bestimmen.

Die Frage nach der Wahrheit religiöser Überzeugungen kann also nicht entschieden werden, wenn sie nicht zugleich eine überzeugende Erklärung anbietet, was religiöses Bewusstsein ist und wie es zustande kommt. Wer sich auf diese Fragen einlässt, kommt an den Diskussionen der Neurobiologie nicht vorbei. Der religionsphilosophische Diskurs über Wahrheit und Geltung religiöser Überzeugungen kann sich nicht auf neurowissenschaftliche Befunde über das menschliche Bewusstsein stützen, er kann diese aber auch nicht ignorieren. ◆

Der Autor

Prof. Thomas M. Schmidt, 45, studierte Philosophie und Theologie an der Philosophisch-Theologischen Hochschule St. Georgen und an der Johann Wolfgang Goethe-Universität; er promovierte und habilitierte sich im Fach Philosophie. Von 1995 bis 2001 war Schmidt als wissenschaftlicher Assistent am Institut für Philosophie der Universität Frankfurt tätig, danach Assistant Professor am Department of Philosophy der California State University in Long Beach, USA. Seit Anfang 2003 ist er Professor für Religionsphilosophie am Fachbereich Katholische Theologie und geschäftsführender Direktor des Instituts für Religionsphilosophische Forschung (IRF) der Universität Frankfurt. Das Institut für Religionsphilosophische Forschung arbeitet vornehmlich zu zwei Forschungsschwerpunkten, die den universitären Gesamtschwerpunkt »Religion im Dialog« akzentuieren: der interkulturelle Dialog zwischen den Religionen und das Gespräch zwischen Naturwissenschaften, Religion und Philosophie. Besonders hervorzuheben ist innerhalb dieses IRF-Forschungsschwerpunktes die erfolgreiche Einwerbung der Templeton Reserach Lectures zur Förderung des Dialoges zwischen Religion und Naturwissenschaften. Unter dem Titel »The Human Person« sind Vorlesungen international renommierter Fellows, begleitende Tagungen und kontinuierliche Forschungsarbeit in interdisziplinären Arbeitsgruppen vorgesehen.

Anmerkungen:

^{1/1} Andrew Newberg, Eugene D'Aquili, Vincent Rause, *Der gedachte Gott. Wie Glaube im Gehirn entsteht*, Mnchen/Zürich 2004, 9.

^{1/2} So der Untertitel der amerikanischen Originalausgabe des Buches von Newberg und D'Aquili: »Why God Won't Go

Away. *Brain Science and the Biology of Belief*«, New York 2001.

^{1/3} A. Newberg, *Der gedachte Gott*, a.a.O., 10.

^{1/4} A.a.O., 12.

^{1/5} Vilaynur S. Ramachandran, Sandra Blakeslee, *Die*

blinde Frau, die sehen kann, Reinbek bei Hamburg 2004.

^{1/6} A.a.O., 196.

^{1/7} Ebd.

^{1/8} Vgl. Jürgen Habermas, »Freiheit und Determinismus«, in: ders., *Zwischen Naturalismus und Religion*, Frankfurt a. M. 2005, 155–186.

^{1/9} Dean Hammer, *The God Gene*, New York 2004.

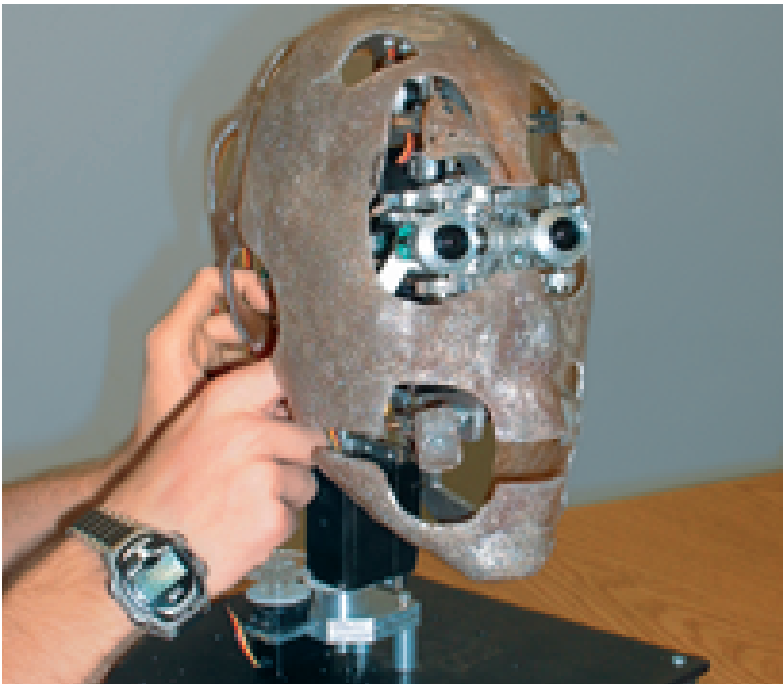
^{1/10} William James, *Die Vielfalt religiöser Erfahrung*, Frankfurt a. M./Leipzig 1997.

^{1/11} W. James, a.a.O., 426.

^{1/12} W. James, a.a.O., 431.

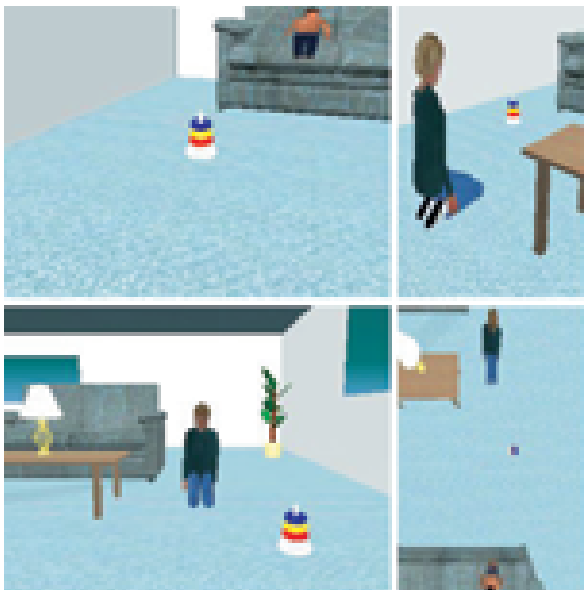
Der simulierte Säugling

Neuroinformatiker erforschen, wie Babys lernen, Blicke zu verfolgen



1 Werkzeuge der Neuroinformatik und Robotik. Heutige Ansätze zur Modellierung der Entwicklung kognitiver Fähigkeiten benutzen aufwändige Computersimulationen (unten: »Virtual Living Room«) oder antropomorphe Roboter (oben) wie die hier dargestellten Systeme aus unserem Labor an der Universität von Kalifornien in San Diego.

wicklung kognitiver Fähigkeiten im Säuglingsalter. Entwicklungspsychologen versuchen seit langem herauszufinden, wie sich kognitive Fähigkeiten nach und nach entwickeln und aufeinander aufbauen. Während wichtige Meilensteine des kognitiven Entwicklungsprozesses recht gut charakterisiert sind, so ist es doch in der Regel unklar, welche physiologischen Mechanismen die Entwicklung letztlich hervorrufen – die Verbindung zur Neurobiologie ist nur wenig entwickelt. Auch auf theoretischer Seite ist unser Verständnis der kognitiven Entwicklung spärlich. Die Entwicklungspsychologie arbeitet in erster Linie deskriptiv, und es fehlen theoretische Modelle, die quantitative Vorhersagen machen können. In den letzten Jahren sind jedoch einige neuronale Netzwerk-Modelle von Lernvorgängen im Säuglings- und Kleinkindalter entwickelt worden, die neue, plausible Erklärungsansätze für klassische Fragen zum Beispiel der Sprachentwicklung geliefert haben.¹¹ Ein aufregender neuer Trend ist der Einsatz von aufwändigen Simulationsumgebungen oder Robotern zum Studium der frühen kognitiven Entwicklung 1. Diese Roboter haben Namen wie »Babybot« oder »Infanoid«, und ihre Vorbilder sind nicht C3PO, der Terminator oder RoboCop, sondern unsere Säuglinge und Kleinkinder. Neuroinformatiker hoffen, auf diese Weise den Grundprinzipien von Lernen und Entwicklung in autonomen Systemen auf die Spur zu kommen.



Im Vergleich zu den kognitiven Leistungen des menschlichen Gehirns sind die Fähigkeiten gegenwärtig existierender »Rechen-knechte« – selbst wenn man die schnellsten Supercomputer einsetzt – äußerst begrenzt: Zum Beispiel sind Computer schon bei so alltäglichen Aufgaben wie Gesichtererkennung unter realistischen Bedingungen überfordert. Dagegen kann jedes fünfjährige Kind problemlos eine komplexe visuelle Szene ana-

lyisieren und sämtliche bekannten Personen sowie Objekte darin korrekt benennen, gesprochene Sprache verstehen und zudem überraschend kreative Lösungen für allherhand Probleme finden. Wie aber funktioniert dies?

Die theoretische Neurowissenschaft oder Neuroinformatik ist eine relativ junge Disziplin, in der Modelle der Informationsverarbeitung in biologischen Nervensystemen entworfen und studiert werden, um einerseits die Arbeitsweise von Gehirnen besser zu verstehen und andererseits schwierige technische Probleme zu lösen, an denen die klassische Künstliche-Intelligenz-Forschung gescheitert ist. Im derzeitigen Stadium ist es sinnvoll, bei der Annäherung an hochkomplexe menschliche Fähigkeiten wie Wahrnehmen, Denken, Planen und Bewusstsein zunächst kognitive Teilfunktionen zu modellieren, die in wohldefinierten und »simpl gehaltenen« Umgebungen erprobt werden können.

Modelle der kognitiven Entwicklung

Ein besonders spannender Ansatz in der gegenwärtigen Neuroinformatik beschäftigt sich mit der Ent-

Die autonome mentale Entwicklung verstehen

Die Tatsache, dass menschliche Säuglinge es schaffen, in nur wenigen Monaten aus den vielfältigen Reizen ihrer Umgebung eine hochgeordnete und sinnvolle Welt zu machen und kompetent mit ihr zu interagieren, ist zutiefst beeindruckend – und die Mechanismen sind weitgehend unverstanden. Moderne Simulationsansätze in der Neuroinformatik könnten hier auch zu einem tieferen Verständnis des

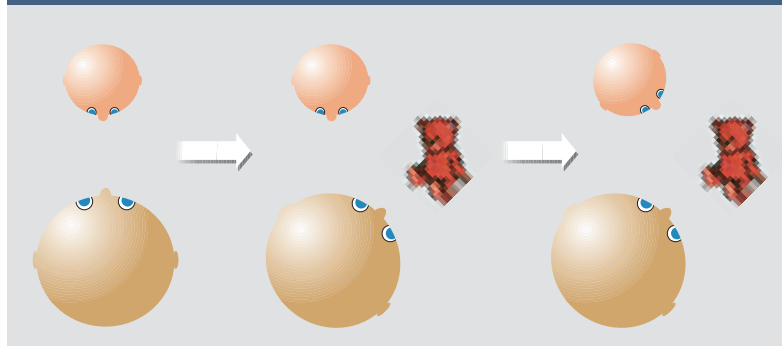
»Nature/Nurture-Problems« (Verhältnis von Vererbtem und Erlerntem) führen: Inwiefern sind kognitive Fähigkeiten vererbt und/oder erlernt? Wie interagieren die durch genetische Anlagen des Organismus produzierten Strukturen und Funktionen (wie Gehirn, Wahrnehmungs- und motorischer Apparat, Lernmechanismen) mit den gegebenen Eigenschaften der Umwelt, um den kognitiven Apparat »in Form« zu bringen? Die enge Zusammenarbeit von Wissenschaftlern aus den Bereichen Neurowissenschaft, Informatik, Robotik und Entwicklungspsychologie lässt auf große Fortschritte im Verständnis der autonomen mentalen Entwicklung hoffen.^{12/}

In unserem Labor am Frankfurt Institute of Advanced Studies (FIAS) [siehe auch Anne Hardy »Disziplinen unter einem Dach: Das Frankfurter Institute for Advanced Studies (FIAS)«, Seite 95] studieren wir unter anderem die Entwicklung des Blickverfolgens – der Fähigkeit, seine (visuelle) Aufmerksamkeit auf ein Objekt zu richten, weil es von einem anderen Agenten betrachtet wird. Diese Fertigkeit scheint von fundamentaler Bedeutung für die soziale Entwicklung des Kindes zu sein und spielt beispielsweise eine wichtige Rolle beim Spracherwerb. Sie stellt einen ersten Schritt in einem langen Prozess dar, an dessen Ende der Säugling sich selbst und andere als bewusst wahrnehmende Agenten versteht – der Säugling entwickelt eine »Theorie des Geistes«. Die Fähigkeit, Blicke zu verfolgen, entsteht erst allmählich während der ersten zwei Lebensjahre, doch es ist unklar, was diese Entwicklung verursacht.

Eine neue Theorie zur Entwicklung des Blickverfolgens

Während früher angenommen wurde, dass ein kognitives Modul für das Blickverfolgen durch genetische Anlagen schon weitgehend festgelegt ist und mehr oder weniger »von allein« zur Funktionstüchtigkeit reift, haben wir kürzlich eine neue Theorie entwickelt, mit der wir versuchen zu erklären, wie die Fähigkeit, Blicke zu folgen, entsteht. Aufbauend auf Arbeiten von Chris Moore^{13/} postuliert sie, dass Säuglinge diese Fertigkeit nach und nach durch Lernprozesse er-

Prinzip des Blickverfolgens

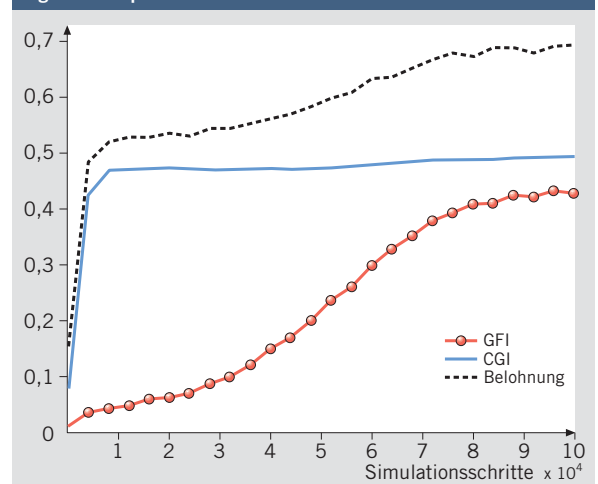


2 Der im Computermodell simulierte Säugling lernt, dass die Änderung seiner Blickrichtung, weg von der Bezugsperson und hin zum Objekt, mit einer »Belohnung« verbunden ist: dem Anblick des attraktiven Teddys.

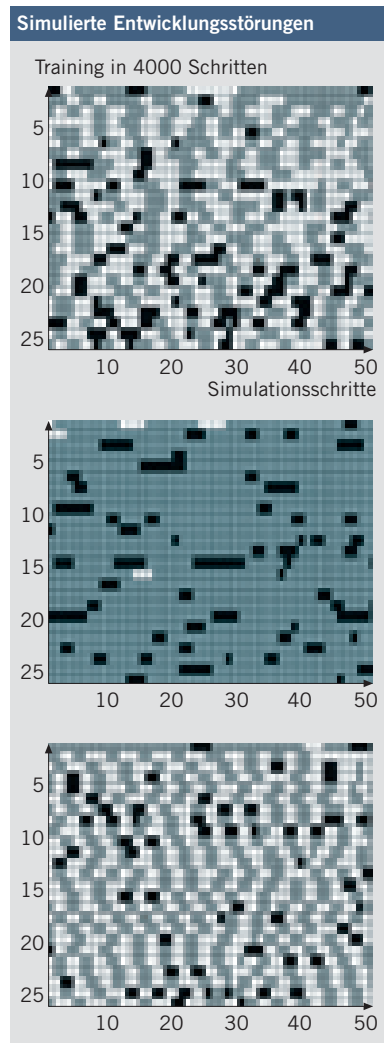
werben, während sie mit ihren Bezugspersonen interagieren. Wir vermuten, dass nur eine kleine Gruppe von Mechanismen – das so genannte »Basic Set« – hinreichend ist, um das Blickverfolgen zu erlernen^{14/ 15/}. Ein wichtiges Element dieses Basic Sets ist die Eigenschaft von Säuglingen, bevorzugt »interessante« Dinge anzuschauen: Besonders attraktiv sind etwa bewegte Objekte mit hohem Kontrast oder gesättigten Farben oder auch die Gesichter von Personen. Darüber hinaus ist der Säugling schon sehr früh in der Lage, verschiedene räumliche Orientierungen des Kopfes der Bezugsperson zu unterscheiden. Zweitens verfügt der Säugling über Gewöhnungsmechanismen, die ihn das Interesse an Objekten nach einiger Zeit vorübergehend wieder verlieren lassen, so dass es zu einem Umherschauen zwischen verschiedenen Objekten kommen kann. Drittens spielen hedonistische Lernmechanismen beim Säugling eine Rolle: Er strukturiert sein Verhalten so, dass verstärkt Handlungen mit nachfolgenden positiven Erfahrungen ausgeführt werden; während Handlungen, die negative Erfahrungen nach sich ziehen, künftig vermieden werden. Schließlich vermuten wir eine starke Korrelation zwischen den Dingen, die die Bezugsperson häufig anschaut, und den Objekten, die der Säugling »interessant« findet. Beispielsweise sind häufige Blicke der Bezugsperson auf andere Personen wahrscheinlich, und diese stellen einen interessanten Reiz für Säuglinge dar. Wie aber können all diese Mechanismen des Basic Sets so zusammenwirken, dass der Säugling letztlich das Blickverfolgen lernt? Und was bedeutet dies für seine beginnende Erkenntnis, dass seine Bezugsperson ein intelligentes Wesen ist?

In unserem Modell stellen der Säugling und seine Bezugsperson zunächst häufig Blickkontakt her: Dieses Gesicht ist für den Säugling attraktiv 2. Wenn nun die Bezugsperson ihren Blick auf ein anderes Objekt lenkt, dann kann es passieren, dass eine Blickbewegung des Säuglings folgt. Wenn das Baby dabei in die gleiche Richtung schaut wie seine Bezugsperson, dann besteht eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass es dort etwas Interessantes zu sehen gibt, und diese Wahrscheinlichkeit ist höher, als wenn der Säugling in eine andere Richtung als die Bezugsperson schaut. Der hedonistische Lernmechanismus sorgt nun dafür, dass Blickbewegungen des Säuglings in die Blickrichtung der Bezugsperson immer wahrscheinlicher werden,

Ergebnisbeispiel einer Modellsimulation



3 Die Häufigkeit des Blickverfolgens (englisch: gaze following), gemessen durch den Gaze Following Index (GFI; rote Kurve), die Häufigkeit von Blicke zur Bezugsperson (der Caregiver Index, CGI; blaue Kurve), als Funktion der Zeit. Der Säugling lernt sehr schnell, häufig seine Bezugsperson anzuschauen; das Blickverfolgen entwickelt sich dagegen erst langsam. Die monoton ansteigende Kurve der Belohnung (gestrichelte Linie) bedeutet, dass das Lernen des Blickverfolgens für den Säugling nützlich ist und beschreibt die »Güte« seines Verhaltens.



4 Die Computermodelle simulieren Autismus (Mitte) und Williams-Syndrom (unten), zum Vergleich ist eine normale Entwicklung dargestellt (oben); die Blickbewegungen des Modells werden durch verschiedene Grautöne dargestellt. Weiß: Blick zur Bezugsperson; schwarz: Blick auf interessantes Objekt im Raum; grau: sonstige Blicke. Blickverfolgen tritt auf, wenn einem Blick zur Bezugsperson (weiß) ein Blick auf ein interessantes Objekt (schwarz) folgt. Bei den Modellen, die Autismus und Williams-Syndrom simulieren, tritt dieses Verhalten gar nicht oder nur vermindert auf.

weil sie öfter den Blick zu einem interessanten Objekt führen. Am Ende dieses Prozesses wird der Säugling häufig den Blickbewegungen seiner Bezugsperson folgen.

Um die Plausibilität dieser neuen Theorie zu testen, haben wir umfangreiche Simulationen mit einem Computermodell dieser Prozesse durchgeführt 3. Wir konnten dabei demonstrieren, dass die wenigen vorgeschlagenen Mechanismen des Basic Sets tatsächlich hinreichend sind, um die Fähigkeit des Blickverfolgens zu erlernen. Dies wider-

spricht dem gängigen Postulat eines angeborenen »Moduls für Blickverfolgung«.

Besseres Verständnis von Entwicklungsstörungen

Der Lernprozess, der schließlich zum Blickverfolgen befähigt, scheint somit auf sparsamen Mechanismen aufzubauen. Dies eröffnet eine interessante Perspektive auf bestimmte Entwicklungsstörungen, die durch Defizite beim Blickverfolgen gekennzeichnet sind. Da unsere Modelle nachgewiesen haben, dass die Mechanismen des Basic Sets hinreichend für den Lernerfolg sind, kann aus Defiziten beim Blickverfolgen geschlossen werden, dass einer der Mechanismen oder auch deren Interaktion fehlerhaft ist. Ausgehend von dieser Überlegung haben wir Manipulationen an unserem Modell vorgenommen, mit denen wir gewisse Aspekte von Entwicklungsstörungen wie etwa Autismus oder Williams-Syndrom simulieren können. Wenn dem simulierten Säugling ein vermindertes Interesse an Gesichtern (Autismus) oder ein übersteigertes Interesse (Williams-Syndrom) einprogrammiert wird, verändert sich auch das Verhalten des Modells nachhaltig 4. Diese Manipulationen (und einige andere) können das Entstehen des Blickverfolgens im Modell tatsächlich stark erschweren oder sogar ganz verhindern. Das Modell vermag also zu erklären, wie Unterschiede bei der Gesichterwahrnehmung in gewissen Entwicklungsstörungen dazu führen,

dass sich die Fähigkeit zum Blickverfolgen nicht normal entwickelt.

Die von uns entwickelten mathematischen Modelle bieten eine einfache und plausible Erklärung für die Entwicklung des Blickverfolgens. Dabei lernt der Säugling allmählich, die Kopforientierung seiner Bezugspersonen mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für interessante Objekte an gewissen Orten zu assoziieren. Um diese Assoziationen zu lernen, bedarf es nur minimaler Voraussetzungen. Wahrscheinlich haben Säuglinge zunächst nur ein sehr geringes Verständnis von ihrer Bezugsperson als ein kognitives Wesen. Wir müssen nicht von einer gut ausgebildeten »Theorie des Geistes« im kognitiven System des Säuglings ausgehen, um das Entstehen des Blickverfolgens zu erklären. Vielmehr ist diese gelernte Fähigkeit ein erster Baustein einer sich ständig erweiternden »Theorie des Geistes«.

Langfristig können solche Modelle der Neuroinformatik hoffentlich zu einem tieferen Verständnis von Entwicklungsstörungen wie Autismus und Williams-Syndrom und deren Konsequenzen beitragen oder sogar Ansatzpunkte für neue Therapieformen liefern. Zugleich können uns die Fortschritte beim Verständnis der kognitiven Kindesentwicklung auch helfen, eine neue Generation intelligenter Roboter zu entwickeln, die ihre kognitiven Fähigkeiten in einem ähnlichen Entwicklungsprozess erlangen werden. Doch der intelligente, sich seiner selbst bewusste Roboter ist derzeit noch pure Vision. ◆

Literatur:

^{1/} Elman, J. L.; Bates, E. A.; Johnson, M. H.; Karmiloff-Smith, A.; Parisi, D. & Plunkett, K. (1996): Rethinking Innateness: A connectionist Perspective on Deve-

lopment; Cambridge (MA), MIT Press

^{2/} Weng J.; McClelland, J.; Pentland, A.; Sporns, O.; Stockman, I.; Sur, M. & Thelen, E. (2001): Autonomous mental development by robots and animals,

Science, 291(5504): Seiten 599–600

^{3/} Moore, C. & Corkum, V. (1994): Social understanding at the end of the first year of life. *Developmental*

view, 14: Seiten 349–372

^{4/} Carlson, E. & Triesch, J. (2003): A computational model of the emergence of gaze following. In: Bowman, H. & Labiouse, C. (Hrsg.), *Progress in Neural Processing*;

Hackensack (NJ), World Scientific

^{5/} Triesch, J.; Teuscher, C.; Deák, G. & Carlson, E.: Gaze Following: Why (not) learn it? *Developmental Science*. (erscheint 2006)

Der Autor

Prof. Dr. Jochen Triesch, 35, ist Fellow am Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS). Dort forscht der Physiker auf dem Gebiet der Neuroinformatik. Gleichzeitig ist er Assistant Professor am Department of Cognitive Science der University of California San Diego. Sein besonderes Interesse gilt den Lernprozessen in kognitiven Systemen sowie der Entwicklung des menschlichen Sehsystems. Er entwickelt Computermodelle und führt Wahrnehmungsexperimente durch, um diese Prozesse besser zu verstehen.

»Wo bin ich – wer bin ich?«

Wie sich Selbstbewusstsein im Säuglings- und Kindesalter entwickelt

Wenn ein Säugling seinen Blick dorthin richtet, wo er eine Stimme hört oder sich einer vertrauten Person zuwendet, die ihn anlächelt, dann geben diese Reaktionen einen Hinweis auf sein Orientierungsbewusstsein: Er ist wach, orientiert in Zeit und Raum und reagiert auf die aktuellen Umgebungseinflüsse, was sich an seiner Mimik, seinem Kopfdrehen oder an anderen Körpermerkmalen erkennen lässt. Ältere Kinder können durch Zeichen, meist durch Laute und später durch Sprache, mitteilen, dass sie wach sind, wissen, wo sie sind, welche Tageszeit es ist oder wie sie heißen. Wer seinen Namen mitteilen kann, dem unterstellen wir, dass er weiß, wer er ist, und setzen dies mit Selbstbewusstsein gleich. Denn wir gehen davon aus, dass

jemand sich mit diesem Namen eindeutig identifizieren kann, sich also nicht selbst mit jemand anderem verwechselt. Damit kommt die zweite Art von Selbstbewusstsein zum Ausdruck: das Wissen darüber, wer man ist. Das Kind kann Auskunft geben über sich selber, kann sich selbst beschreiben und bringt damit das Selbst- und Personkonzept zum Ausdruck.

Anfänge des Selbstkonzepts im Säuglingsalter: Die soziale Konstruktion des Selbst

Weiß denn schon der Säugling, der sich nicht verbal artikulieren kann, wer er ist? Das Selbstbewusstsein des gesunden Säuglings beschränkt sich noch auf das Orientierungsbewusstsein. Das stellt er gelegentlich lautstark unter Beweis, wenn er Zuwendung will oder sich nicht im Gleichgewicht mit der Welt fühlt. Die entwicklungspsychologische Forschung zeigt, dass die physische Verfassung es erst langsam erlaubt, ein Selbstkonzept zu entwickeln.

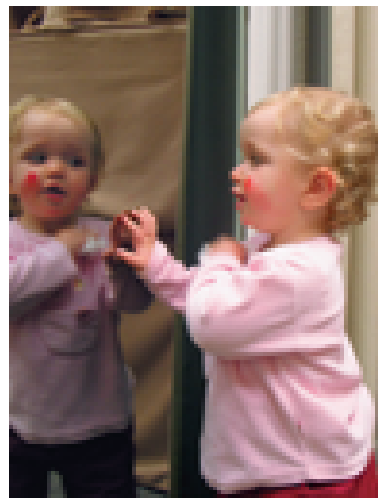
Auch intakte Gehirnfunktionen, körperliche Pflege und Ernährung sind nur notwendige, aber keine hinreichenden Voraussetzungen dafür, ein solches Selbstbewusstsein auszuformen. Darüber hinaus braucht das Kind eine stabile emotionale Bindung, ohne die seine emotionalen, kognitiven und sozialen Fähigkeiten unzureichend bleiben, um ein adäquates Leben in menschlicher Gemeinschaft selbstständig führen zu können.

Der Säugling ist von Anfang an ein stark sozial geprägtes Wesen,



und als solches wird er in der Regel auch von den anderen sozialen Wesen in seinem Umfeld anerkannt. Die Pflegeperson, meist Mutter und/oder Vater, beobachten den Säugling sorgfältig und bauen so eine intensive Beziehung auf. Die Pflegeperson wählt bestimmte Verhaltensweisen des Säuglings aus, imitiert und wiederholt diese, wie umgekehrt der Säugling bestimmte Verhaltensweisen seiner nächsten Bezugspersonen auswählt und dies manchmal durch Schreien signalisiert. Dadurch baut sich früh eine sozial vermittelte Handlungskausa-

Unmittelbares Selbstbewusstsein oder objektiviertes Ich? Der Rouge-Test soll es beweisen: Das Kind bekommt Rouge auf die Wange aufgetragen und wird dann vor den Spiegel gestellt. Wo versucht es, die Farbe abzuwischen – am Spiegel oder an seiner eigenen Backe? Erst Kinder ab dem 18. Monat wischen spontan an ihrer Wange. Das heißt: Sie beginnen, sich als »objektiviertes Ich« wahrzunehmen und zu verstehen, wie sie anderen erscheinen.





Schon vier Monate alte Säuglinge können zwischen sich und ihre Umgebung unterscheiden – dies wird so getestet: Sie werden in einen Stuhl gesetzt und können ihre Beinchen nur auf Monitoren sehen: auf dem ersten aus der normalen Perspektive, der »Selbst-Ansicht«, auf dem zweiten Monitor aus der Beobachter-Position. Dann wird die Blickdauer und die Beinbewegung im Zusammenhang mit der Blickpräferenz gemessen.

lität auf: Beide lernen voneinander, wie man den Anderen dazu bringt, etwas Bestimmtes zu tun. Abstrakt gesprochen, findet eine wechselseitige signalorientierte Handlungsregulation auf emotionaler, motivationaler und kognitiver Ebene statt. Von Beginn an ist der Säugling also integraler Teil einer sozialen Einheit, aus deren Begrenztheit er sich allmählich herauslöst.

Beständig wiederkehrende Muster der physikalischen und sozialen Umgebung liefern wichtige Informationen über das Selbst. Wenn man schreit, kommt meistens die Pflegeperson, aber nicht die begehrte Milch, an die man nicht herankommt. Man muss die Rassel anstoßen, damit sie klappert, aber Schreien führt nicht immer dazu,

Literatur

Knopf, M., Mack, W. & Kressley-Mba, R. (2005). Über das episodische Gedächtnis bei Säuglingen und präverbalen Kindern. Psychologische Rundschau, 56, Seiten 113–122.

Welzer, H. (2005). Das kommunikative Gedächtnis. Eine Theorie der Erinnerung (vollständig überarbeitete Neuauflage). München. Beck.

dass man herumgetragen wird. So lernen Säuglinge schon früh Zusammenhänge zwischen physischer und Handlungskausalität und damit, wie der Zusammenhang zwischen eigenen Aktionen und Veränderungen in der Umgebung ist.

Dabei erweisen sich die Verhaltensweisen der Umgebung, geprägt von sozialer und physikalischer Widerständigkeit, als eine Quelle von Informationen über das eigene Selbst. Besonders aufschlussreich für den Säugling ist der Unterschied zwischen physikalischer und sozialer Kausalität.

Aspekte der Selbstentwicklung in Wahrnehmung und Gedächtnis

Die Wahrnehmung des eigenen Körpers ist grundlegend für die Unterscheidung in Selbst und Nicht-Selbst. In einem Versuch von Philippe Rochat und Rachel Morgan (1995) wurden zirka vier Monate alte Säuglinge so in einen Stuhl gesetzt, dass sie nur über einen gegenüber befindlichen Monitor ihre eigenen Beine sahen, und zwar so, als ob sie auf sich herunter sehen würden. Diese normale Perspektive, die »Selbst-Ansicht«, wurde nun vertauscht: Auf einem benachbarten Monitor sahen die Säuglinge eine »Beobachter-Ansicht«, die sich ergibt, wenn jemand vor dem Säugling stehend auf dessen Beinchen herabsieht. Gemessen wurde die Blickdauer und die Beinbewegungen im Zusammenhang mit der Blickpräferenz. Es ergab sich, dass die Säuglinge länger auf die »Beobachter-Ansicht« sahen und dabei häufiger ihre eigenen Beinchen bewegten. Sie bemerkten also nicht nur den Unterschied zwischen »Selbst-Ansicht« und »Beobachter-Ansicht«, sondern prüften auch, ob es tatsächlich ihre eigenen Beinchen sind, die in so ungewöhnlicher Perspektive erscheinen. Daraus lässt sich schließen, dass schon junge Säuglinge sich und ihre Umgebung unterscheiden können. Der amerikanische Psychologe Ulric Neisser nennt dieses Selbst »ökologisches Selbst«.

Säuglinge lernen also von Geburt an, dass mit ihren Körperbewegungen stets bestimmte Umgebungsveränderungen einher gehen. Das Öffnen und Schließen der Augen geht mit Veränderungen der Eindrücke von Hell und Dunkel

einher; das Bewegungsmuster beim Schütteln der Rassel erzeugt ein passendes Geräuschmuster; wenn man schreit, taucht jemand auf, mit dem zusammen man wieder bestimmte Veränderungen in Gang setzen kann, beispielsweise, getragen zu werden.

Der bekannte Schweizer Entwicklungspsychologe Jean Piaget (1896–1980) hat den Begriff »zirkuläre Kreisreaktionen« geprägt und exemplarisch beschrieben, wie Wahrnehmen und Handeln in einem Kreislauf verbunden sind. Zirkulär bezeichnet er diese Reaktionen, weil ein Baby einen Effekt, den es zufällig hergestellt hat, wieder und wieder erzeugt und dabei eine große Variationsbreite von Effekten herstellt, die zu neuen Effekten und damit zu neuen Kreisreaktionen führen können. Eine primäre Kreisreaktion kann in der Wiederholung eines zufällig erzeugten Schmatzgeräuschs entstehen, so dass das Baby in Folge verschiedenster Varianten solcher Schmatzgeräusche kreierte. Zu den sekundären Kreisreaktionen gehören dann Effekte, die Säuglinge selbst in ihrer Umgebung auslösen können – beispielsweise etwas anstoßen, das dann rasselt. Aus diesen sekundären Kreisreaktionen können sich dann höherstufige Aktionen entwickeln, beispielsweise eine Intentionsbewegung verstehen: Jemand greift nach dem Objekt, das er auch ansieht und nicht danach, was außerhalb seines Blickwinkels ist. Ein zweites Beispiel: Der Säugling imitiert Aktionen unmittelbar oder verzögert an einem Objekt und sucht nach Objekten, die kurzzeitig verdeckt sind. Diese Suche deutet darauf hin, dass sich Wissen im Gedächtnis aufbaut, also »innere Bilder« des Abwesenden existieren. All das zusammen ermöglicht es dem Säugling am Ende des ersten Lebensjahrs, dass er mit seinen Aktionen in vorhersagbarer Weise Effekte bei physikalischen Dingen, aber auch bei Menschen hervorbringen kann. Babys lernen aber auch, dass sich Reaktionen anderer Menschen nicht in der gleichen Weise vorhersagen lassen wie Flugbahnen von Bällen. Nicht immer trägt einen die Pflegeperson herum, wenn man schreit, nicht immer bekommt man sofort etwas zu essen.

Wenn die Kinder sich selbst fortbewegen, dann nimmt damit auch

das Lerntempo schnell zu. Nun können sie immer besser mit anderen zusammen etwas tun. Die Kleinkinder lernen, dass andere in bestimmter Weise auf sie reagieren, sie ansprechen, auf sie deuten. Schon als Säuglinge haben sie gelernt, den Blicken und Zeigegesten anderer zu folgen. Nun bemerken sie, dass andere ihren Blicken und Gesten folgen, dass sie selbst auch in die Handlungen anderer einbezogen werden und diese beeinflussen können. Sie lernen zu verstehen, dass sie von anderen angesehen werden, was sich beispielsweise in der Entwicklung der Körperscham zeigt.

Um dieses wachsende Verständnis zu belegen, eignen sich besonders Spiegeltests, wie sie unter anderem auch in der Frankfurter Längsschnittstudie zur Ontogenese des Erinnerens bei Kindern gemacht werden. In diesem von der Entwicklungspsychologin Prof. Dr. Monika Knopf geleiteten Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft werden Kinder zwischen zwölf Monaten und drei Jahren untersucht. Bei den Tests am Institut für Psychologie, in der Arbeitsgruppe Entwicklungspsychologie, werden die Kinder vor einen Spiegel gestellt und beobachtet, wie sie mit ihrem Spiegelbild verfahren. Es werden bestimmte Körperansichten des Kindes so verändert, dass die Kinder dies erst vor dem Spiegel bemerken können. Interessant ist nun, ob sie das wahrnehmen und vor allem, wie sie darauf reagieren. Wo werden sie versuchen, diese Veränderungen zu beseitigen – am Spiegel oder an sich selber?

Verwendet wird der »Rouge-Test«: Ohne dass das Kind es merkt, wird auf seiner Wange ein roter Fleck aufgebracht, und dann wird das Kind vor den Spiegel gestellt. Erst Kinder ab 18 Monaten wischen spontan an ihrer Wange. Dies deutet darauf hin, dass das Kleinkind nicht nur ein unmittelbares Selbstbewusstsein hat, das auf die aktuelle Situation beschränkt ist, sondern ein objektiviertes Ich. Statt Spiegel lassen sich zeitlich versetzt auch Videoaufnahmen heranziehen, um zu prüfen, ob Kinder an sich oder am Bildschirm Marken am Körper erkennen. Es spielt nun auch »Als-ob-Spiele«, beispielsweise verwendet das Kind eine Banane als Telefonhörer und kann erkennen, wie

ein Objekt aus der Perspektive eines anders platzierten Betrachters aussieht.

Diese Übernahme von Perspektiven ist bedeutsam für die Selbstwerdung; denn nun wird dem Kind klar, dass andere zwar auch etwas so sehen wie ich, aber dass es eben auf den Standpunkt ankommt. Es ist kein Zufall, dass in dieser Phase immer häufiger das Personalpronomen »ich« verwendet wird. Das andere »Ich« wird als »Du« angesprochen und verdeutlicht, dass sich das Selbst nur in der Unterscheidung zu anderen konstruiert, was auch als interpersonales Selbst bezeichnet wird.

Das Gedächtnis als »erweitertes Selbst«

Aspekte der Genese des Selbst im Kontakt der Ontogenese des Gedächtnisses werden in dem erwähnten FRAMES-Projekt (FRANKfurt Memory Studies) untersucht und sollen auch im Rahmen des Forschungskollegs »Wissenskultur und gesellschaftlicher Wandel« in einem Teilprojekt mit Prof. Dr. Johannes Fried [siehe auch Johannes Fried, »Tücke des Gedächtnisses – Über die Kooperation mit Neurowissenschaften«, Seite 32] weitergeführt werden. Im Zentrum steht das Gedächtnis, das uns erst die Deutung als die Selben über die Zeit ermöglicht. Neisser nannte dies »erweitertes Selbst«, dafür ist ein räumliches und zeitliches Bezugssystem eine bindende Voraussetzung.

Das Gedächtnis, so zeigen Experimente, legt nicht ein kontinuierliches kalendarisches Logbuch an, so dass man jede Erfahrung genau im Lebenskalender nachschlagen könnte. Die Annahme, es gebe eine automatische kalenderartige Datierung der gemachten Erfahrungen, wird als »chronologische Illusion« bezeichnet. Stattdessen muss jedes

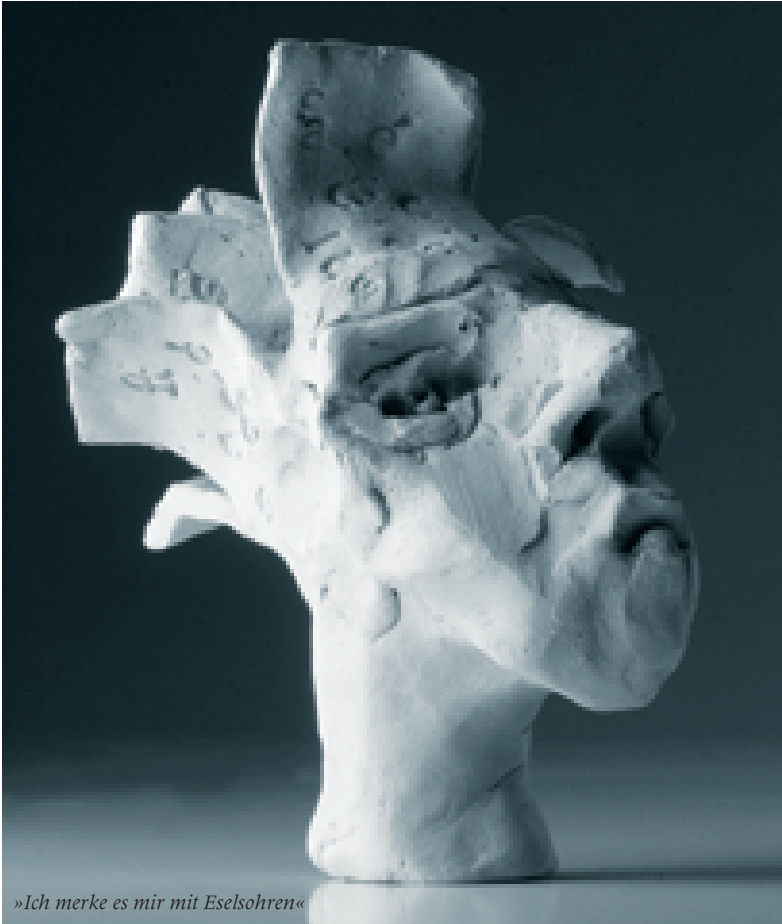
Individuum mit Hilfe zeitlicher Begriffe die eigene Erfahrung zeitlich ordnen. In der frühen Kindheit ist die Wahrnehmung der Zeit noch wenig begrifflich fundiert, und der Erwerb von Zeitbegriffen erfolgt um das dritte Lebensjahr. Offensichtlich erlauben erst sprachliche Zeitbegriffe den Aufbau eines raum-zeitlichen Bezugssystems. Zudem wird das Erinnern erheblich dadurch begünstigt, dass die Erfahrungen verbalisiert werden können. Natürlich spielen bei der Konstruktion unserer Autobiografie die anderen und der kulturelle Code eine zentrale Rolle, in Erzählungen vergewissern wir uns unserer Geschichte, wir sind in Geschichten verstrickt, so der deutsche Phänomenologe Wilhelm Schapp (1884–1965). Damit ist unsere Zeit erzählte Zeit, nicht nur uhrengezählte, Sternen- oder Hirnzeit.

Dabei ist es sehr schwierig, genau anzugeben, was die Quelle des Erinnerens ist. Erinnern im engen Sinn bedeutet, dass man selbst die Erfahrung gemacht hat und weiß, dass man sich auf die Vergangenheit bezieht. Alles andere ist kein autobiografisches Erinnern, sondern Wissen. Der größte Teil unseres Wissens ist nicht auf selbstgemachte Erfahrungen zurückzuführen, sondern auf Mitteilungen, Berichte, Medien und Erzählungen. Wie der Historiker oftmals große Mühe hat, die Quellen auf diese Genese hin zu durchleuchten, berichtet da jemand eigene Erfahrungen oder bloß Mitgeteiltes, so haben auch wir als »Historiker unserer Biografie« ähnliche Schwierigkeiten. Die Quellen unseres Selbst können wir in unserem Selbstbewusstsein oftmals nicht mehr genau identifizieren. Das spielt aber für unsere Personwerdung keine große Rolle, solange wir das Gefühl haben, der Autor einer runden, spannenden Geschichte zu sein. ♦

Der Autor

Privatdozent Dr. Wolfgang Mack, 43, ist wissenschaftlicher Angestellter im Forschungskolleg »Wissenskultur und gesellschaftlicher Wandel« – Projekt »Gedächtnis – Kognition – Wissenstransfer. Mittelalterliche Fallstudien« gemeinsam mit den Historikern Prof. Dr. Johannes Fried [siehe auch Johannes Fried »Tücke des Gedächtnisses – Über die Kooperation mit Neurowissenschaften«, Seite 32] und Carola Garten (M. A.). Aktuelle Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der Gedächtnisentwicklung bei Kleinkindern, insbesondere, welche Zusammenhänge zwischen Persongenese und dem Erinnern empirisch zu sichern sind. Ein weiterer Aspekt dieser Fragen ist, ob es kulturelle Konstanten der kognitiv-emotionalen Entwicklung des Kindes gibt und inwieweit sich solche Erkenntnisse im diachronen Kulturvergleich anwenden lassen, beispielsweise bei der Interpretation von Quellen zur Kindheit im Mittelalter.

Wie formt sich die Sprache im Kopf?



»Ich merke es mir mit Eselsohren«

Kognitive Linguistik:
Sprache, Grammatik und
die Wissenswelten

Kommunikation – das verbindet wohl die meisten Menschen zunächst mit Sprache. Ohne sie könnten wir uns nicht über »Gott und die Welt« austauschen. Sprache kann aber viel mehr: Sie ermöglicht es uns, Wissen zu repräsentieren und soziale Systeme zu bilden. Ein Teil unseres Denkens ist sprachgebunden, und auch für unser Selbstverständnis ist Sprache unverzichtbar. Alle diese Leistungen dürfen aber nicht verwechselt werden mit dem zugrunde liegenden System, das sie erst möglich macht. Es ist dieses Werkzeug, dem Linguisten, also Sprachwissenschaftler, auf der Spur sind. Ein Werkzeug, das uns auch dazu befähigt, die Welt im Kopf abzubilden und das dennoch nach eigenen, von ihr unabhängigen Gesetzen zu funktionieren scheint.

Wie lässt sich dieses System, das es uns ermöglicht, unendlich viele Äußerungen zu produzieren und zu verstehen, beschreiben? Wie wird es von den Kindern dieser Welt in so kurzer Zeit und ohne spezielles Training erworben? Wie-

so braucht es nur 200 Millisekunden, um ein gesprochenes Wort zu erkennen – bei bis zu 150 000 gespeicherten Wörtern im Kopf? Und welche Hirnstrukturen sind an diesen Leistungen beteiligt? Kognitive Linguistik nennt sich die noch relativ junge Disziplin, die versucht, auch mit naturwissenschaftlichen Methoden Antworten auf solche Fragen zu finden. Als Teilwissenschaft der Kognitions- und Neurowissenschaften konzipiert, werden dabei nicht nur die Leistungen und Fehlleistungen Gesunder analysiert, sondern auch die Folgen von Hirnschädigungen auf die Sprache untersucht.

Der Geist als modulare Struktur

Es ist eine sehr alte Beobachtung, dass Schädigungen des Gehirns oft zu selektiven Ausfällen führen. Eine Störung der Sprache, eine Aphasie, bedeutet also nicht automatisch auch einen Verlust von Weltwissen oder der generellen Kommunikationsfähigkeit. Dieser Beobachtung trägt die Modularitätskonzeption

Rechnung. Danach ist unser Geist nicht als ein unteilbares Ganzes zu verstehen. Er ist vielmehr ein komplexes System, zusammengesetzt aus verschiedenen Subsystemen, den Modulen. Diese Idee ist nicht neu, es ist aber ein Verdienst des amerikanischen Philosophen Jerry Fodor, sie wiederbelebt zu haben. Nach Fodor sind Module hochspezialisierte computationale Mechanismen. Sie können also nur eine bestimmte Art von Information verarbeiten, im Fall der Sprache beispielsweise überprüfen, ob ein grammatisches Merkmal korrekt realisiert wurde. Diese Spezialisierung macht die Verarbeitung schnell und robust. Sie hat aber auch ihren Preis: Die Verarbeitungstiefe ist eher gering, denn Module haben keinen Zugriff auf die Informationen von höher liegenden Prozessen.

Optische Täuschungen sind eine einfache und beliebte Möglichkeit, diese Art der Verarbeitung zu illustrieren. Ein kleiner Test: Betrachten Sie bitte zunächst die hier abgebildete Müller-Lyer-Illusion **1**. Holen Sie dann ein Lineal, und messen Sie

einmal die Länge der Linien nach. Merken Sie sich das Ergebnis Ihrer Messung. Jetzt schauen Sie bitte noch einmal ganz genau hin! Sehen Sie die Linien jetzt anders? Ihr Sehsystem verarbeitet diese visuelle Information auf eine festgelegte Art und Weise. Zu wissen, dass die Linien gleich lang sind, weil man es eben gerade nachgemessen hat, beeinflusst die Verarbeitung in diesem optischen Modul offensichtlich nicht. Dieses Wissen kann die Illusion nicht aufheben. Es ist in Fodors Ansatz in einem zentralen System gespeichert. Zentrale Systeme dürfen nicht wie Module informationell abgeschlossen sein, denn sie bilden unsere Ansichten über die Welt. Wären sie modular aufgebaut, könnten sie gerade nicht die Informationen aus verschiedenen Bereichen bewerten und integrieren. Fodors Ansatz ist in manchen Punkten kritisiert worden: Module seien kleiner, zentrale Systeme modularer als von ihm angenommen. Die Annahme einer modularen Struktur von Geist und Gehirn wird aber von vielen Forschern grundsätzlich geteilt.

Sprache als modulare Verarbeitung

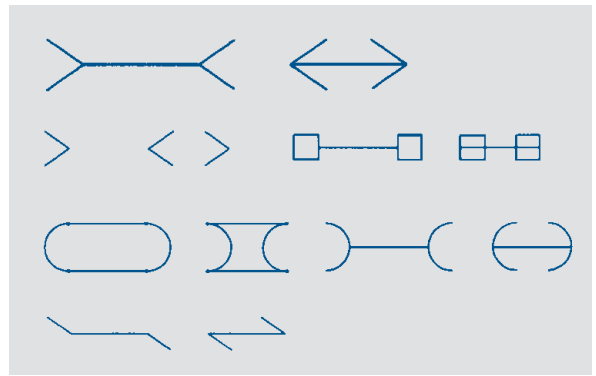
Haben Sie schon einmal versucht, sprachliche Äußerungen als bedeutungslose Geräusche wahrzunehmen? Es wird Ihnen nicht gelingen, auch wenn Sie sich noch so sehr bemühen. Auch die Sprache ist ein guter Kandidat für eine modulare, quasi reflexartige Verarbeitung. Diesen Schluss lassen auch Daten aus Wahrnehmungsexperimenten, dem Spracherwerb und Sprachstörungen zu. Was gehört aber wirklich zum Sprachmodul, was zu den zentralen Prozessen? Werden Ressourcen mit anderen kognitiven Systemen geteilt? Und welche Rolle spielen Umweltdaten für den Erwerb und die Struktur? Darüber streiten Sprachwissenschaftler mit Vertretern anderer Disziplinen, aber auch untereinander zurzeit heftig. Die wohl radikalste Theorie wird von dem amerikanischen Linguisten Noam Chomsky vertreten. Seine Universalgrammatik enthält als Kern eine Art Modul, einen komputationalen Apparat. Diese *narrow syntax* verknüpft über Schnittstellen einen Laut mit einer Bedeutung. Die Grammatik ist rekursiv, das heißt: Der Apparat erzeugt Einhei-

ten, die Exemplare von sich selbst enthalten, die wiederum Exemplare von sich selbst enthalten und so weiter – wie eine russische Matroschka-Puppe. Diese Rekursivität hält Chomsky für das einzige Merkmal unseres angeborenen Sprachvermögens, das uns von den Tieren, die auch Kommunikationssysteme entwickelt haben, unterscheidet.

Kognitive Linguisten erforschen aber nicht nur diese abstrakte grammatische Kenntnis. Sie beschäftigen sich notwendigerweise auch mit der Sprachverarbeitung in Echtzeit, also mit dem Sprechen und Schreiben und der Kommunikation. Auch Fehlleistungen wie Versprecher oder Störungen nach organischer Hirnschädigung lassen Rückschlüsse auf die Struktur unseres Sprachsystems zu.

Demenzen – ein neues Forschungsfeld für die Kognitive Linguistik

Bis jetzt haben Linguisten vor allem die Auswirkungen von herdförmigen (fokalen) Störungen, beispielsweise Schlaganfällen, auf die Sprachverarbeitung analysiert. Der modulare Forschungsansatz der Kognitiven Linguistik lässt sich aber auch sehr gewinnbringend in der Demenzforschung einsetzen. Man schätzt, dass weltweit zirka 40 Millionen Menschen an einer Alzheimer-Demenz leiden. Gedächtnisstörungen sind ein frühes und prominentes Symptom dieser bis jetzt unheilbaren Erkrankung. Aber auch viele andere Bereiche sind betroffen: die Alltagsbewältigung, kognitive Funktionen wie Orientierung, Wahrnehmung und Aufmerksamkeit – und eben auch die Sprache. Bereits Alois Alzheimer hatte 1906 auf die auffällige Sprache seiner später berühmten Patientin Auguste D. hingewiesen. Fast 100 Jahre später ist noch nicht abschließend geklärt, ob diese sprachlichen Defizite Ausdruck einer wirklichen Sprachstörung sind. Sie könnten auch eine Folge der verminderten kognitiven Ressourcen sein. Kann ein Patient beispielsweise einen Gegenstand nicht mehr benennen, kommen dafür viele Ursachen infrage. Vielleicht erkennt er ihn nicht oder hat vergessen, um was es sich dabei handelt. Möglicherweise ist dieses Wissen aber auch intakt, aber der dazugehörige

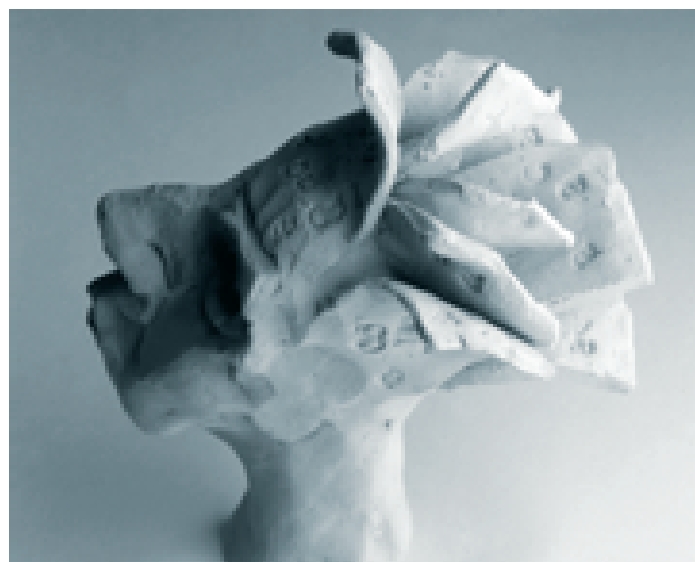


Die Müller-Lyersche Figur mit einigen ihrer unzähligen Varianten. Die wohl bekannteste geometrisch-optische Täuschung hat Müller-Lyer vor etwa 100 Jahren entdeckt: Ein Doppelpfeil – eine Linie zwischen zwei spitzen Winkel – erscheint deutlich kürzer als eine gleich lange Linie, bei der die Pfeilspitzen umgekehrt sind.

Begriff kann nicht mehr abgerufen werden oder ist sogar gelöscht. Eine Reihe von Experimenten mit 60 Probanden – vor allem Alzheimer-Demente und gesunde ältere Erwachsene – sollte in meiner Studie zur Klärung der Frage beitragen, um welche Art von Störung es sich handelt.

Satzverarbeitung: Grammatische Kenntnis und Weltwissen

Schauen wir uns eines der Experimente genauer an. Es überprüft auf der Satzebene, wie interpretative Relationen verarbeitet werden. Dazu gehören Reflexiv- und Personalpronomina, aber auch das mitverstandene Subjekt in Infinitivsätzen. Zunächst ein kurzer Ausflug in die fantastische Welt der Grammatik: An Infinitivsätzen wie [1] und [2] ist auffällig, dass sie kein phonetisch sichtbares Subjekt haben:



Wunderwerk Sprache – Höchstleistungen im Millisekundenbereich

Gesunde Kinder erwerben scheinbar mühelos eine oder mehrere der über 6000 Sprachen dieser Welt. Zweijährige Knirpse lernen durchschnittlich alle zwei Stunden ein neues Wort. Ist alles gut gegangen, kommt ein Studienanfänger mit etwa 60 000 Wörtern im Kopf an unsere Universität. Einem gebildeten Leser von »Forschung Frankfurt« stehen sogar bis zu 150 000 Einträge in seinem mentalen Lexikon zur Verfügung. Nur 200 Millisekunden benötigt aber unser Gehirn, um ein gesprochenes Wort zu erkennen.

Die Bedeutung eines geschriebenen Worts wird in einer Achtelsekunde erkannt. Innerhalb von 500 Millisekunden können ein Objekt benannt und das passende Wort ausgesprochen werden.

Drei bis sechs Wörter pro Sekunde – und alles in Übereinstimmung mit abertausenden grammatischen Regeln, die die Kombinatorik der Wörter beschränken! Und trotzdem: Nur bei etwa jeder tausendsten Regelanwendung passiert ein Fehler.

- [1] KF verspricht Alex,
[Infinitiv Janosch einzuladen].
[2] KF bittet Alex,
[Infinitiv Janosch einzuladen].

Sie lesen oder hören nur »Janosch einzuladen«, aber Sie verstehen viel mehr. Irgendjemand soll eine Einladung an Janosch aussprechen: in Satz [1] ist es KF, im zweiten Beispielsatz Alex. Auch der Infinitivsatz hat also ein Subjekt. Man hört es nicht, man sieht es nicht, aber Sie haben Kenntnis darüber! Dieses mitverstandene, aber phonetisch leere Subjekt wird in der Grammatiktheorie als PRO bezeichnet.

KF verspricht Alex, [PRO Janosch einzuladen]
KF bittet Alex, [PRO Janosch einzuladen].

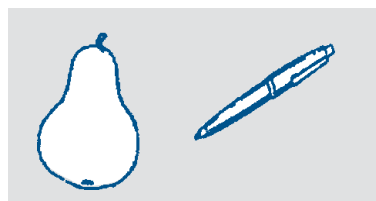


Die Schülerin ermahnt den Lehrer, den Aufsatz zu schreiben.

2 Wer soll den Aufsatz schreiben? Wahrscheinlich alle Schulkinder dieser Welt träumen einmal davon, mit dem Lehrer die Rolle zu tauschen. Die Fähigkeit, einen solchen Testsatz korrekt verarbeiten zu können, entwickelt sich aber in Abhängigkeit von der Struktur der jeweiligen Muttersprache zu unterschiedlichen Zeitpunkten.

Ihre Grammatik im Kopf kann aber nicht nur unsichtbare Subjekte entdecken. Sie legt auch fest, wer die Bezugspunkte für das PRO-Subjekt sind (»Alex« oder »KF«) und wie Pronomina interpretiert werden. Die mächtigen Theorien der grammatikalischen Kenntnis erlauben es, präzise Hypothesen in einem Expe-

riment zu formulieren. Ein letzter Test: Lesen Sie zunächst die beiden Sätze, und entscheiden Sie dann bitte jeweils, welches Bild zu dem darunter stehenden Satz passt. Muttersprachlern bereitet diese Aufgabe keine Schwierigkeiten. Im ersten Fall 2 muss das handelnde (also das mitverstandene) Subjekt bestimmt werden (»der Lehrer«), im zweiten Fall 3 der Gebrauchsgegenstand, mit dem man die im Satz thematisierte Handlung ausführen kann (also »der Kuli«). Die Testsätze, die im Experiment natürlich nicht direkt nacheinander präsentiert wurden, sind in beiden Bedingungen identisch. Auch der Aufgabentyp ist gleich (Satz-Bild-Zuordnung). Wenn also vor allem kognitive Ressourcen wie Gedächtnis und Aufmerksamkeit entscheidend sind, sollte sich kein Unterschied in der Verarbeitung zeigen. Es ist aber der komputationale Apparat, die Grammatik, die auf eine festgelegte Art und Weise »berechnet«, dass es hier »der Lehrer« ist, der den Aufsatz schreiben soll. Unser Weltwissen erwartet etwas anderes, aber es kann wie bei der optischen Täuschung nur das Ergebnis bewerten. Auf den unbewusst ablaufenden grammatischen Verarbeitungsprozess kann es offensichtlich keinen Einfluss nehmen. »Anders rum!« – so wird dann häufig ein solcher Testsatz von den Teilnehmern unaufgefordert kommentiert. Die Aus-



3 Womit kann man den Aufsatz schreiben? Auch für jüngere Kinder kein Problem. Ihre Wissenswelten sind in der Regel schon weit genug entwickelt.

wahl des passenden Gebrauchsgegenstands wird dagegen vom Weltwissen bestimmt. Eine vollständige grammatische Analyse des Satzes ist dazu nicht notwendig. Es genügt, die Verbbedeutung von »schreiben« zu kennen, um das Objekt zuzuordnen zu können. Auch sehr kleine Kinder können diesen Testteil schon erfolgreich bewältigen. Sie scheitern aber an der ersten Aufgabe, weil ihre grammatische Kenntnis noch nicht vollständig entwickelt ist. Schlaganfall-Patienten mit einer Aphasie, aber auch viele Alzheimer-Patienten haben sich in diesem Experiment ähnlich verhalten. Vor allen den Alzheimer-Patienten mit einer testpsychologisch nachgewiesenen Aphasie fiel die Auswahl des Gegenstands leichter. Es gab aber auch einige, als bereits mittelschwer-dement eingestufte Patienten, die das Leistungsniveau Gesunder erreichten.

Was passiert, wenn man die Anzahl der zu verarbeitenden Elemente erhöht? Sind dann kognitive Faktoren wie Gedächtnis und Aufmerksamkeit entscheidend für die Sprachverarbeitung? Die beiden folgenden Sätze enthalten zusätzlich entweder noch ein Personal- oder ein Reflexivpronomen (also »ihn« und »sich«). Auch sie wurden wieder mit jeweils zwei Bildern zur Auswahl vorgelegt.

Der Dieb droht dem Polizisten, ihn zu verhaften.

Der Junge droht der Mutter, sich zu waschen.

Es zeigt sich: Nicht primär die Anzahl, sondern eher der Typ des hinzugefügten Elements scheint hier für die Verarbeitung von Bedeutung zu sein, eine strukturelle Eigenschaft also. Wie von der Grammatiktheorie vorhergesagt, werden die Sätze mit einem Reflexivprono-

men von den Probanden (auch den Alzheimer-Patienten) in der Regel besser verarbeitet.

Anwendung in der klinischen Praxis

Kognitive Linguistik darf aber nicht nur Grundlagenforschung betreiben. Sie muss auch etwas zur Diagnostik und Therapie von Sprachstörungen beitragen. In der klinischen Praxis ersetzt aus Zeitgründen oft ein Gespräch mit dem Demenz-Pa-



tienten eine umfangreiche testpsychologische Untersuchung. Deshalb ist es wichtig, auch die Spontansprache zu analysieren. Spiegelt ihre Struktur den kognitiven Abbau wider? Um vergleichbares sprachliches Material zu gewinnen, wurde mit jedem Teilnehmer der Studie ein Interview geführt, das verschriftet und ausgewertet wurde. Das auf den ersten Blick chaotisch anmutende Phänomen Spontansprache entpuppt sich bei genauem Hinsehen als eine Ordnung fein abgestimmter Prozesse. Pausen sind zwar zu einem Großteil Atempausen. Wir benötigen Pausen aber auch für unsere eigene Sprachplanung und nutzen sie, um die Aufmerksamkeit unserer Gesprächspartner auf bestimmte Inhalte zu lenken. Auch Füllelemente – dazu gehören die berühmten Stoiberschen »Ähs« – haben eine kognitive Funktion. Sie verlangsamen den Redefluss, damit der Zeitverlauf der Artikulation der Sprachplanung angepasst werden kann. Beim Vorlesen kommen sie deshalb praktisch nicht vor, achten Sie einmal darauf. Bei Formulierungsschwierigkeiten und lexikalischen Suchprozessen werden häufig Kommentierungen (Ich will mal sagen), Verzögerungswiederholungen (die die die (äh)

Frau) und bedeutungsleere Elemente (Dings) produziert. Unser Sprachsystem verfügt außerdem über eigene Überwachungs- und Reparaturmechanismen. Bei Bedarf können Teile einer Äußerung ersetzt, umgestellt oder erweitert werden. Solche Reparaturen wurden von den Alzheimer-Patienten seltener durchgeführt. Alle anderen Kategorien haben sich aufgrund der Variabilität bei den gesunden Älteren als nicht trennscharf erwiesen. Sie korrelieren auch nicht mit der neuropsychologischen Diagnostik. In den frühen und mittleren Stadien der Erkrankung können viele Alzheimer-Demente gerade in Gesprächen ihre Defizite gut kompensieren. Den Patienten mit einer testpsychologisch nachgewiesenen Aphasie gelingt auch dies schlechter.

Grenzen der Erkenntnis

Selektive Beeinträchtigungen lassen sich aber auch auf der Wortebene nachweisen. Können Sie anhand der Antworten der Patienten erahnen, welche abgebildeten Objekte hier benannt werden mussten? »Da schlägt man den Nagel mit rein«, »das is so, also für, da könne se einsteigen und mit fahren, aber vorne dran gehören Pferde« oder auch »Geschoss ins All«? Die Begriffe »Hammer«, »Kutsche« und »Rakete« können aus dem mentalen Sprachlexikon nicht abgerufen werden. Das Wissen über diese Gegenstände ist aber offensichtlich vorhanden.

Alle diese Daten zeigen: Selbst bei einer Alzheimer-Demenz lassen sich die Wissens- und Kenntnissysteme unseres Geistes voneinander abgrenzen. Hat Fodor Recht, definieren die Grenzen von Modulen auch unser mögliches Wissen über unseren Geist – und zwar prinzipiell, nicht abhängig vom derzeitigen Forschungsstand. Je globaler ein kognitiver Prozess ist, desto weniger

Studiengang Kognitive Linguistik:

Seit dem Wintersemester 2004/05 ist es möglich, Kognitive Linguistik als eigenen BA-/MA-Studiengang zu studieren. Die Aufnahme ist beschränkt und erfolgt jeweils nur zum Wintersemester. Informationen zum Studiengang und die Studien- und Prüfungsordnung finden Sie auf der Homepage des Instituts für Kognitive Linguistik:

http://www.uni-frankfurt.de/fb/fb_10/Kogli/

sollen wir ihn untersuchen und verstehen können. Weitere Studien sollen zeigen, wo genau die Schnittstellen des Sprachmoduls liegen und wie man die Erkenntnisse und Theorien der Kognitiven Linguistik in effiziente diagnostische Verfahren und Therapien umsetzen kann. ♦

Die Autorin

Dr. Claudia Meindl lehrt und forscht am Institut für Kognitive Linguistik und ist Lehrbeauftragte an der Universität Bonn. Als Psycho- und Neurolinguistin interessiert sie sich besonders dafür, wie das Gehirn gesunder Menschen Sprache verarbeitet und welche Sprachstörungen bei unterschiedlichen Hirnschädigungen (beispielsweise bei Schlaganfall und Demenz) auftreten können. Zur Zeit arbeitet sie an ihrer Habilitation.

Anzeige

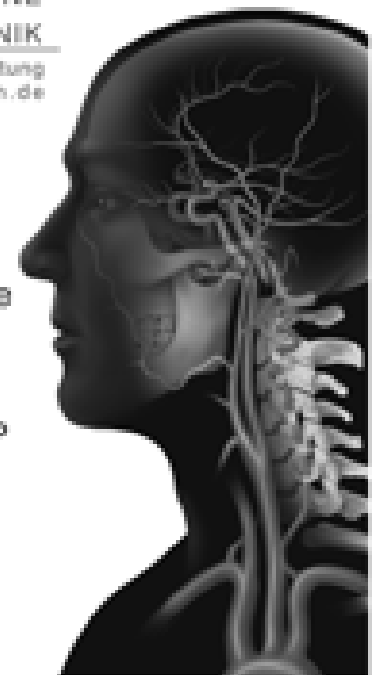


Messsysteme für
Dopplersonografie
Somnologie
Neurophysiologie
EEG, EMG und EP

Autorisierter Fachhändler



Holzstrasse 5 D - 64283 Darmstadt
Telefon: 0 61 51 - 99 71 05 Fax: 0 61 51 - 17 75 64



Herausforderungen der Neurochirurgie

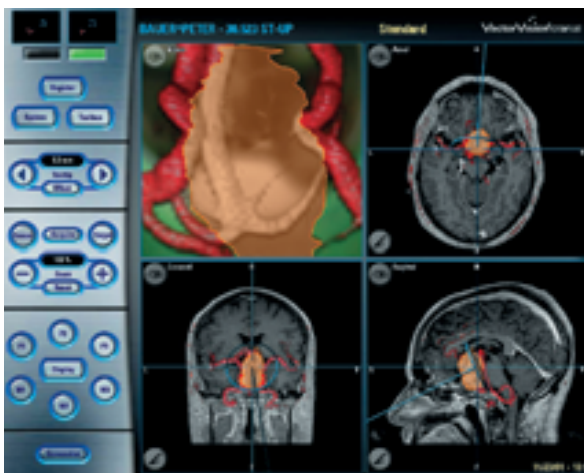
Moderne Neuronavigation und intraoperative Bildgebung in Frankfurt



1 Moderne Neuronavigationseinheit bestehend aus Infrarotkamera, Neuronavigationsbildschirm und entsprechender Software.

(A) Die digitalisierte Kopfposition des Patienten wird in das Neuronavigationssystem referenziert; jeder Punkt im Gehirn kann mittels der Neuronavigationssoftware millimetergenau aufgesucht werden.

(B) Neuronavigationsgesteuerter mikrochirurgischer Zugang bei einem großen Tumor der Hirnanhangsdrüse (Hypophyse). Der Tumor selbst, die unmittelbar benachbarten Hirngefäße sowie der operative Zugang werden dargestellt und dem Operateur in das Gesichtsfeld des Mikroskops eingeblendet.



wichtiger funktioneller und vaskulärer Strukturen, also ohne Funktionsverlust für den Patienten, im Rahmen eines therapeutischen Gesamtkonzeptes zu entfernen.

Entwicklung der Medizingerätetechnik

Diese Besonderheiten haben die Entwicklung minimal invasiver Operationstechniken motiviert: In den 1960er Jahren wurde das Mikroskop in den neurochirurgischen Operationssaal eingeführt; es folgten immer feinere mikroneurochirurgische Operationstechniken.

Heute sind die eingesetzten Operationsmikroskope multifunktionale Instrumente, die eine Vielzahl von Daten zur Neuronavigation im Okular überlagert darstellen können – was die Morbidität und Mortalität neurochirurgischer Operationen enorm gesenkt hat.

Parallel dazu haben sich in der bildgebenden Diagnostik in den späten 1970er Jahren die Computertomografie und in den 1980er Jahren die Magnetresonanztomografie etabliert. Sie bilden heute die Grundlage für den nicht-invasiven Nachweis von krankhaften Veränderungen im Gehirn. Dank moderner Computersysteme wurden in den späten 1980er und frühen 1990er Jahren die älteren rahmenbasierten stereotaktischen Systeme weiterentwickelt hin zu den rahmenlosen Navigationssystemen, die dem Neurochirurgen an den Kon-

solen moderner Bildgebungseinheiten die Operationsplanung und -durchführung erleichtern. Neben der dreidimensionalen Darstellung der individuellen Patientendaten ist eine Markierung der Zielregion, etwa eines Tumors, und wichtiger umgebender Strukturen wie zum Beispiel der Blutgefäße möglich. Diese Strukturen werden in das Operationsmikroskop eingespielt und erleichtern die Orientierung während einer Operation. 1

Moderne tomografische Methoden

Mit der Computertomografie (CT) und der Magnetresonanztomografie (MRT) verfügen wir heute über Abbildungstechnologien, die eine dreidimensionale Darstellung der individuellen anatomischen Strukturen ermöglichen. Die dabei gewonnenen Bildinformationen stellen die Grundlage für die Diagnostik, die Operationsplanung und Folgeuntersuchungen zur Verlaufsbeurteilung dar. In enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Neuroradiologie (Leiter Prof. Dr. Friedhelm Zanella) und dem Brain Imaging Center Frankfurt (Sprecher: Prof. Dr. Helmuth Steinmetz) [siehe auch Interview mit Steinmetz, Seite 80], in dem zwei hochmoderne Magnetresonanztomografen für Untersuchungen mit hoher Magnetfeldstärke bis zu 3 Tesla zur Verfügung stehen, erreichen wir an der Klinik für Neurochirurgie des Universitätsklinikums

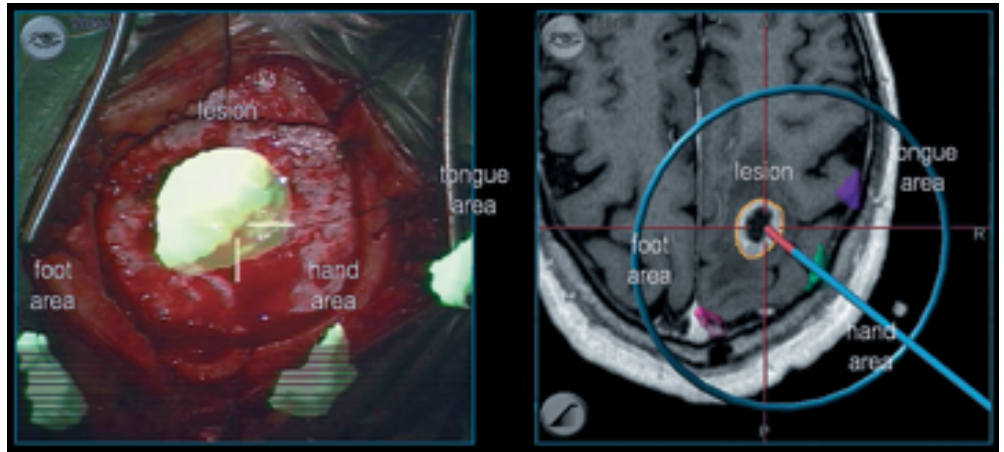
Neurochirurgische Eingriffe am Gehirn, unserem komplexesten Organ, unterscheiden sich erheblich von chirurgischen Eingriffen anderer Disziplinen: Als einziges Organ ist es vollständig von einer knöchernen Hülle umgeben. Der operative Zugang macht exakt platzierte Schädelöffnungen notwendig; trotzdem kann aber der direkte Zugangsweg zu einem tief gelegenen Tumor durch wichtige kortikale Areale oder Bahnenverbindungen versperrt sein. Eine Unterversorgung mit Sauerstoff wird vom Hirngewebe schlechter vertragen als von anderen Geweben des Körpers, weshalb Hirngefäße besonders geschont werden müssen. Zugleich besteht ein berechtigter Anspruch des Patienten an den Neurochirurgen, beispielsweise einen Tumor möglichst komplett unter Erhaltung

Frankfurt somit die bestmögliche Darstellung, um die anatomischen und pathologischen Verhältnisse bei jedem einzelnen Patienten präzise beurteilen zu können.

Auch die funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT) [siehe »Ausgewählte Methoden der Hirnforschung im Überblick«, Seite 78] ist von großem Nutzen: Aufgabenspezifisch aktivierte Gehirnareale können bestimmt werden, weil mit der Aktivierung der Nervenzellen auch die lokale Durchblutung ansteigt und damit der relative Anteil von deoxygeniertem Sauerstoff sinkt. Dies registriert die fMRT, so dass aus der Analyse der Daten direkte Rückschlüsse auf die Aktivität eines Hirnareals bei der Ausführung einer Aufgabe möglich sind. In die tägliche Routine unserer Klinik integriert ist die Darstellung von motorisch aktiven Arealen der Hirnrinde bei Tumoren und Läsionen, die nahe an die für die Bewegung zuständigen (eloquenten) Hirnareale heranreichen. Diese Daten werden in die Operationsplanung integriert und stehen dem Operateur auch während der Operation zur Verfügung. **2**

Die Information über die kortikalen Generatoren motorischer Aktivität allein ist als Abbildung des motorischen Systems allerdings nicht ausreichend. Ebenso wichtig ist es, die Lage der Faserbahnverbindungen zu kennen, die die Informationen von der Gehirnrinde über die Stammganglien zum Rückenmark leiten und von dort zu den Erfolgsorganen, den Muskeln. Das bildgebende Prinzip beim Diffusion-Tensor-Imaging (DTI), einem »Ableger« der MRT, beruht darauf, dass die Bewegung von Wassermolekülen in mehreren Raumrichtungen gemessen werden kann. In Richtung einer Faserbahn ist diese Molekularbewegung besser möglich als senkrecht dazu. Diese bessere Beweglichkeit wird in einem Vektor ausgedrückt, dessen Richtung den Verlauf einer Faserbahn anzeigt. Auch diese Informationen werden bei Patienten mit Tumoren in der Nähe der großen Bahnensysteme präoperativ erhoben und stehen während der Operation dem Neurochirurgen zur Verfügung. **3**

Weitere spezielle MRT-Verfahren messen die chemische Zusammensetzung eines Gehirnbereiches (CSI: Chemical Shift Imaging) oder die



2 Neuronavigationsgesteuerter mikrochirurgischer Zugang zu einer tief liegenden Hirnmetastase in unmittelbarer Nachbarschaft wichtiger Steuerungszentren für Bewegung und Sprache. Mittels präoperativer funktioneller Magnetresonanztomografie wurden die Bewegungszentren für Hand, Fuß und Zunge identifiziert, digital segmentiert und in die Neuronavigationssoftware integriert (rechts). Die so gewonnenen Daten werden dann inklusive der Tumorkontur in das Sichtfeld des Operationsmikroskopes eingeblendet (links), wodurch der Neurochirurg zu jedem Zeitpunkt der Operation über die genaue Lage des Tumors sowie benachbarter und unbedingt zu schonender Bewegungszentren informiert ist.

spektrale Verteilung dieser Substanzen in einem bestimmten Volumen (SVS: Single Voxel Spectroscopy). Die vergleichende Messung in einem Tumor und in der gesunden Gehirnschubstanz erlaubt Aussagen über die Art des Tumors:

Bei einer stereotaktischen Punktion zur histologischen Diagnose-sicherung sollte der Teil des Tumors getroffen werden, der den höher malignen Anteil hat; dieser bestimmt auch maßgeblich die Prognose und die weitere Therapie. Die Integration gewonnener Verteilungsdaten von Indikatormetaboliten hilft, die stereotaktische Probenentnahme an der Stelle durchzuführen, an der die höchste Konzentration – der »Hot Spot« – des Indikatormetaboliten vorliegt.

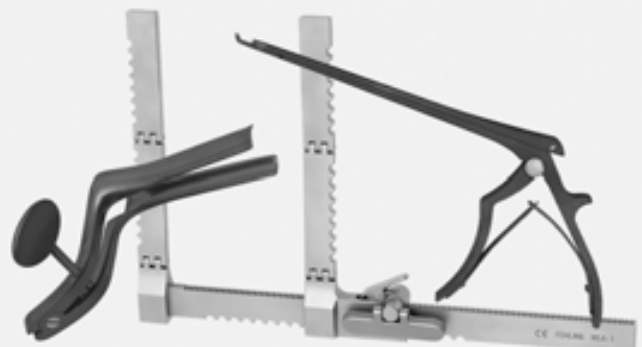
Eine Hirnoperation ist ein dynamischer Prozess, in dem kontinuierlich Entscheidungen getroffen werden müssen. Die Herausforderung in der Neurochirurgie besteht heute darin, für diese Entscheidungen alle relevanten Informationen samt der von den Neuroradiologen bereitgestellten differenzierten

Bilddaten auch während einer Operation zur Verfügung zu haben. Hoch entwickelte Bildfusionsalgorithmen erlauben die Integration verschiedener Bilddatenmodalitäten. Dies ist zum Beispiel wichtig

Anzeige

OFFENE MRI-OP? NEURONAVIGATION?

wir haben was für Sie



TITANINSTRUMENTE FÜR
KOPF- UND WIRBELSÄULENCHIRURGIE

FEHLING
INSTRUMENTS GMBH

Hanauer Landstr. 7 · D-63791 Karlstein · www.fehling-instruments.de
tel: +49 (0) 61 88 - 95 74.0 · fax: +49 (0) 61 88 - 95 74.44 · info@fehling-instruments.de

für den Einsatz der rahmenlosen stereotaktischen Verfahren, bei denen die Bilddaten erst mit der Kopfposition des Patienten in Übereinstimmung gebracht werden müssen. Dafür wurden früher Marker auf dem Kopf des Patienten befestigt, die in den anatomischen 3D-Datensätzen mit erfasst werden mussten. Für die Referenzierung wurden die Bilddatensätze der Marker durch eine Punkt-zu-Punkt-Transformation mit jenen der Lage des Kopfes im Operationsaal in Übereinstimmung gebracht. Da die Klebmarker nach einiger Zeit verrutschen konnten, musste die Messung des Bilddatensatzes möglichst am Tag der Operation oder am Vortag stattfinden. Um diesen Nachteil auszugleichen, setzten wir an der Klinik für Neurochirurgie im Jahre 2003 erstmals weltweit einen Laser-Oberflächen-Scanner für die intraoperative Registrierung des Patienten ein. Damit war die Anfertigung eines Bilddatensatzes mit aufgeklebten externen

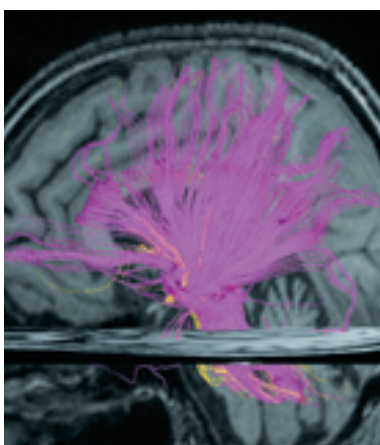
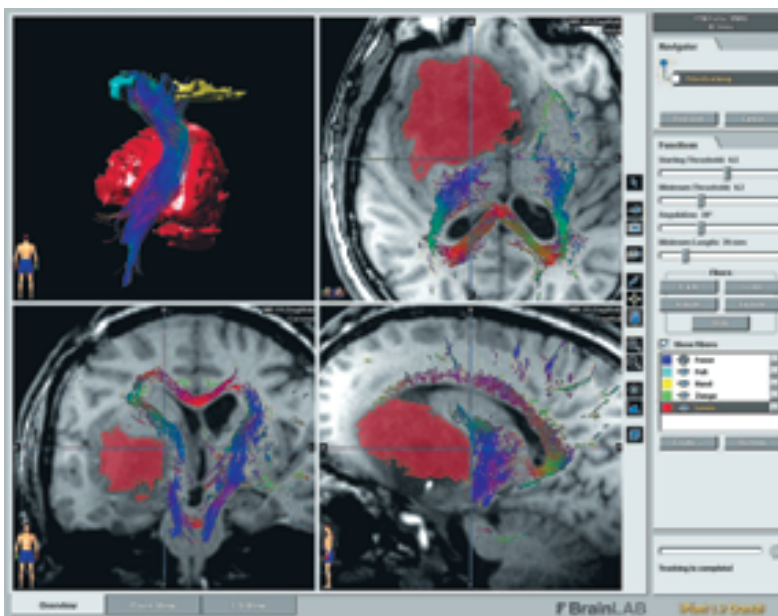
Landmarken in enger zeitlicher Nähe zur Operation nicht mehr notwendig. Stattdessen wird der 3D-Datensatz während des stationären Aufenthaltes zur Operationsvorbereitung oder prästationär angefertigt. Zum Zeitpunkt der Operation ist der Navigationsdatensatz für den Patienten vorbereitet – dies bedeutet für unsere Patienten eine noch größere Flexibilität.

Viele Studien belegen den Nutzen dieser Neuronavigation für eine schonende und genaue Entfernung von Hirnläsionen. Doch ein Problem bei der Verwendung präoperativ gewonnener Bilddatensätze bleibt bestehen: Während einer Operation ändern sich räumliche Verhältnisse im Gehirn. Es kommt zu Verschiebungen der Hirnsubstanz (Brain Shift) durch Entfernung des Tumors und/oder Abfluss von Hirnwasser (Liquor) nach Eröffnung der harten Hirnhaut (Dura mater). Ab einem gewissen Punkt im Operationsablauf ist die Genau-

bung (Ultraschall, CT, MRT) haben wir uns an der Neurochirurgischen Klinik des Universitätsklinikums Frankfurt für die intraoperative Magnetresonanztomografie entschieden: Diese Technologie ermöglicht als einzige eine reproduzierbare dreidimensionale Bilddatenerhebung in drei Ebenen ohne Strahlenbelastung. Zudem lässt die Magnetresonanztomografie auf eine Verbesserung der Bildqualität in naher Zukunft hoffen, da verschiedene MRT-Komponenten derzeit eine Weiterentwicklung erfahren. Seit 1996 sind unterschiedliche intraoperative MRT-Systeme entwickelt worden, die sich – abhängig von ihrer magnetischen Feldstärke – in Hochfeld-, Mittelfeld- und Niederfeldsysteme unterscheiden lassen. In unserer Klinik setzen wir einen Niederfeld-Magnetresonanztomografen mit einer Magnetfeldstärke von 0,15 Tesla ein, das einzige Gerät dieser Art in Deutschland. Es ist während der Operation unter dem OP-Tisch verborgen und wird bei Bedarf zur sequenziellen Bildgebung in das Operationsgebiet gefahren; ein Patiententransport ist nicht notwendig. Wegen der geringen Feldstärke kann die Vielzahl spezieller neurochirurgischer Instrumente ohne Beeinträchtigung des Arbeitsablaufes eingesetzt werden. ⁴

Das »Vermuten« wird aus dem Operationssaal verbannt: Intraoperativ kann zu bestimmten Zeitpunkten eine Bildgebung durchgeführt werden. Damit kann auch – nach vermeintlich kompletter Tumorresektion – intraoperativ geprüft werden, ob ein Resttumor vorliegt; der verbliebene Tumoranteil kann navigiert aufgesucht und entfernt werden. Der MRT-Blick unter die dem OP-Mikroskop sichtbare Oberfläche vermeidet Komplikationen. Eine abschließende Resektionskontrolle kann das Erreichen des Operationszieles bestätigen und direkt intraoperativ aufgetretene Komplikationen ausschließen. Falls doch eine Komplikation aufgetreten ist, etwa eine Blutung, kann sofort in der gleichen Narkose gehandelt werden. Indikationen für den Einsatz der intraoperativen Bildgebung sehen wir vor allem bei der Behandlung niedergradiger hirneigener Tumore, bei Tumoren der Hirnanhangsdrüse (Hypophyse) und Tumoren, bei denen eine komplette

3 Lage und Verlauf von Faserverbindungen können mittels Diffusions-Tensor-Imaging (DTI) dargestellt werden (unten). Der Datensatz wurde im 3-Tesla-Magnetresonanztomografen am Brain Imaging Center gewonnen. Beispiel der Integration von DTI-generierten Faserverbindungen in die Neuronavigation (oben). Es zeigt sich eine deutliche Verlagerung der Pyramidenbahn durch einen ausgedehnten Tumor der Stammganglien. Die so gewonnenen Daten gehen unmittelbar in die Operationsplanung ein.



igkeit des Navigationssystems unzuverlässig. Die Hirnverschiebung ist nicht exakt vorhersagbar und ist während der unterschiedlichen Phasen einer Operation verschieden stark ausgeprägt. Um die Genauigkeit der Navigation auch während der Operation zu gewährleisten, ist eine Bestimmung der aktuellen Situation notwendig.

Intraoperative MRT-Systeme in Frankfurt

Von den verschiedenen Strategien der intraoperativen Bilddatenerhe-

Im Fokus der Frankfurter Hirnforschung: Das Brain Imaging Center

Modernste funktionelle Bildgebung in den Neurowissenschaften



Unter Kontrolle. In der fMRT-Messwarte am BIC wird ein laufendes Experiment überwacht. Im Raum hinter dem Sichtfenster befindet sich der Hochfeld-Magnetresonanztomograf »Trio«.

Das hätte ich gern für die Kabinettsitzung«, scherzte Roland Koch im Mai 2004, als ihm »Live-Aufnahmen« aus dem Gehirn eines Probanden vorgeführt wurden, während dieser mit der Wahrnehmung und Verarbeitung von Gesichtern beschäftigt war. Der Hessi-



Das Zentrum für Bildgebung in den Neurowissenschaften gehört zum Campus Niederrad.

sche Ministerpräsident war damals bei der Eröffnung des »Herzstücks« am Frankfurter Brain Imaging Center dabei – ein Neubau auf dem Campus Niederrad, ausgestattet mit zwei hochmodernen Magnetresonanztomografen – und beobachtete fasziniert die Demonstration eines neurokognitionswissenschaftlichen Experiments. Zusammen mit dem Versuchsleiter konnte er auf dem Monitor in der nagelneuen Messwarte Aktivitätsänderungen im Gehirn der Versuchsperson, die hinter einer Glasscheibe im Messraum in der »Tomografen-Röhre« lag, »in Echtzeit« verfolgen.

Was damals den prominenten Besucher und seither viele Gäste und Versuchspersonen [siehe auch Stefanie Reinberger »So sieht also mein Gehirn aus... – Eine Expedition ins eigene Oberstübchen«, Seite 81] neugierig machte – der Blick ins Innere des Gehirns und auf Korrelate der neuronalen Verarbeitung – ist für die Neurowissenschaftler die-

ser Forschungseinrichtung Routine: Sie nutzen modernste Technologie, um ohne Eingriff und schädliche Nebenwirkungen den neuronalen Grundlagen von Wahrnehmung und Gedächtnis, motorischen Handlungen, Aufmerksamkeit und Bewusstsein auf die Spur zu kommen. Das neue »Zentrum für Bildgebung in den Neurowissenschaften/Brain Imaging Center (BIC)«, so die vollständige Bezeichnung, widmet sich vor allem der Grundlagenforschung, aber auch der technologischen Weiterentwicklung bildgebender Verfahren, was über verbesserte Diagnosemethoden schließlich auch den Patienten zugute kommt. »Das BIC stellt für das Frankfurter Universitätsklinikum, das in den Neurowissenschaften einen der vorrangigen Schwerpunkte gesetzt hat, einen bedeutenden Schritt vorwärts dar«, so Prof. Dr. Helmuth Steinmetz, der Koordinator des Zentrums [siehe Interview auf Seite 80].

»Gemeinsam sind wir noch stärker«

Vor fünf Jahren riefen sowohl die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) als auch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit je einem Ausschreibungsverfahren zu einer Schwerpunktbildung der deutschen Hirnforschung in der funktionellen Bildgebung mit Magnetresonanztomografie auf. Ein Verbund neurowissenschaftlicher Forschungsinstitute in Frankfurt nahm an der Ausschreibung teil – und war bei beiden international begutachteten Verfahren erfolgreich. Der Antrag des Frankfurter Neuroverbundes, interdisziplinär ausgerichtet und gemeinsam eingereicht von drei Einrichtungen des Universitätsklinikums – der psychiatrischen, der neurologischen und der neuroradiologischen Klinik – sowie dem Max-Planck-Institut für Hirnforschung, überzeugte die Gutachter auch deswegen, weil am Hirnforschungsstandort Frankfurt »die hervorragende fachliche Expertise aller beteiligten Frankfurter Institute gebündelt werden konnte«, erläutert Steinmetz und verweist auf das hier bereits etablierte, breite Methodenspektrum der Hirnforschung.

Genauer Blick ins Innere

Der Neubau am Campus Niederrad wurde nicht nur durch finanzielle Mittel des Landes Hessen, des Fachbereichs Medizin und des Universitätsklinikums, sondern zusätzlich auch durch eine Public-Private-Partnership mit der Siemens AG ermöglicht, dem Hersteller der beiden Hochfeld-Magnetresonanztomografen. Das neue Forschungsgebäude stellt die »Kernstruktur« des Brain Imaging Centers dar, wo neben den Tomografen auch Büros, Einrichtungen für Tierstudien und weitere technische Ausstattung für funktionelle Aktivierungsstudien untergebracht sind. Die Mitarbeiter dieser Kernstruktur – Physiker und Informatiker, die Bildgebungs- und Analysemethoden entwickeln und verbessern – ermöglichen den Zugriff verschiedenster Nutzergruppen auf die Hochfeld-Magnetresonanztomografen. Beide Geräte, ein Kopf-Scanner und ein Ganzkörper-Scanner, bieten mit einer Feldstärke von 3 Tesla – dem zwei- bis sechsfachen



Wert der üblichen klinischen Geräte – eine räumliche Auflösung von Aktivierungsprozessen im Gehirn im Millimeter-Bereich. Diese Genauigkeit bei der Abbildung funktioneller Hirnzustände bietet nicht nur der Grundlagenforschung, sondern auch der klinischen Diagnostik neue Möglichkeiten.

Mehrere Dutzend Wissenschaftler aus verschiedensten Arbeitsgruppen der beteiligten Institute nutzen diese Infrastruktur für ihre wissenschaftliche Forschung. Zum interdisziplinären Nutzerverbund gehören von universitärer Seite vor allem das Institut für Neuroradiologie (Prof. Dr. Friedhelm Zanella), die Klinik für Neurologie (Prof. Dr. Helmut Steinmetz), die Klinik für

Psychiatrie (Prof. Dr. Konrad Maurer) und das Institut für Medizinische Psychologie (Prof. Dr. Jochen Kaiser); vom Max-Planck-Institut für Hirnforschung ist die neurophysiologische Abteilung (Prof. Dr. Wolf Singer) beteiligt. Auch Neurochirurgen und Neurophysiologen des Universitätsklinikums sowie Psychologen der Universität nutzen das BIC. Die einzigartige Situation, in der die gesamte Palette der Fachdisziplinen inklusive MR-Physik und Softwareentwicklung vertreten ist, so der Koordinator Steinmetz, ermögliche es, ähnliche neurowissenschaftliche Fragestellungen mit nicht-invasiven Methoden an Tieren, gesunden Menschen und Patienten zu untersuchen. ♦

Der Hochfeld-Magnetresonanztomograf »Allegra« ist ein reiner Kopf-Scanner. Bedingt durch die hohe Feldstärke dürfen keine magnetischen Gegenstände oder elektronische Speicherkarten in die Nähe des Geräts gelangen.

Mit der Magnetresonanztomografie am Brain Imaging Center (BIC) können anatomische und funktionelle Messungen durchgeführt werden. Nach der Analyse am Computer werden die funktionellen Daten auf die rekonstruierte Großhirnoberfläche projiziert (rechts). Diese »aufgeblasene« linke Hemisphäre zeigt eine besonders starke Aktivierung von Arealen des visuellen Systems.



Der Autor

Stefan Kieß, 41, studierte Biologie und nutzte für seine Diplomarbeit am Max-Planck-Institut für Hirnforschung die funktionelle Magnetresonanztomografie, bevor er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an das Institut für Biochemie II des Universitätsklinikums Frankfurt wechselte. Er hat als freier Wissenschaftsjournalist die vorliegende Ausgabe von »Forschung Frankfurt« maßgeblich mitgestaltet.

Ausgewählte Methoden der Hirnforschung im Überblick

Verfahren der funktionellen Bildgebung

Zu den bildgebenden Verfahren, die nicht nur anatomische, sondern auch funktionelle Zustände im Gehirn abbilden können, zählen Methoden wie **PET** (Positron-Emission-Tomography) und **SPECT** (Single-Photon-Emission-Computed-Tomography), die beide als nuklearmedizinische Verfahren radioaktiv markierte Substanzen (Tracer) verwenden, um Stoffwechsel- und Blutflussprozesse zu registrieren. Das Muster der aktivitätsabhängigen Tracer-Verteilung wird gemessen und erlaubt indirekt Rückschlüsse auf die neuronalen Verarbeitungsprozesse.

Dagegen ist die **funktionelle Magnetresonanztomografie** (fMRT; synonym: funktionelle Kernspintomografie) ein echtes nicht-invasives Verfahren, das mit der Induzierung starker, aber ungefährlicher Magnetfelder arbeitet. Dabei wird die Eigenrotation von Wasserstoffkernen – der Kernspin – ausgenutzt: Durch geeignete Manipulation der Spinachsenausrichtung mit Hilfe eines Dauermagnetfeldes sowie zusätzlicher elektromagnetischer Hochfrequenzsignale und der computergestützten Analyse der registrierten Daten gelingen – in getrennten Messreihen – sowohl die anatomische Rekonstruktion des individuellen Gehirns als auch die funktionelle Messung von Aktivitätsänderungen. Dabei wird allerdings die neuronale Aktivität nicht direkt gemessen, sondern indirekt über Änderungen von Einstrom, Volumen und Sauerstoffgehalt des Blutes in den umgebenden Versorgungsgefäßen registriert: Nach dem Prinzip der »neurovaskulären Koppelung« erhöht sich bei aktivierten Nervenzellen der Sauerstoff- und Glukosebedarf, der über vermehrten Bluteinstrom ausgeglichen wird. Grundlage der funktionellen MRT-Messung ist das BOLD-Signal (Blood Oxygen Level Dependent): Da sauerstoffreiches Blut andere magnetische Eigenschaften als sauerstoffarmes Blut hat, kann die resultierende Signaländerung re-

gistriert und auf die experimentelle Situation bezogen werden. Durch aufwändige statistische Analyseverfahren können Aussagen zur neurokognitiven Verarbeitung gemacht werden. Die Kartierung der Aktivitätsänderungen gelingt mit einer hohen räumlichen Auflösung im Millimeter-Bereich. Nachteile der fMRT-Methode ergeben sich aus dem hohen apparativen Aufwand sowie aus der Trägheit hämodynamischer Prozesse: Die zeitliche Auflösung der Signale liegt im Sekunden-Bereich. Seit ihrer Entwicklung Anfang der 1990er Jahre hat sich die fMRT kontinuierlich zu einem leistungsstarken Verfahren entwickelt, dessen konsequenter Einsatz in der Neurokognitionsforschung zu wertvollen neuen Einblicken in die Verarbeitungsprozesse des menschlichen Gehirns geführt hat.

Elektrophysiologische Verfahren

Im Gegensatz zu den bildgebenden Verfahren registrieren elektrophysiologische Methoden die Aktivität der Nervenzellen direkt, indem sie die elektrische oder magnetische Komponente neuronaler Signalquellen messen. Die Vorteile liegen in der hohen zeitlichen Auflösung im Millisekunden-Bereich. Nachteilig ist, dass die neuronalen Quellen nur mit einer niedrigen räumlichen Auflösung geortet werden können.

Die **Elektroenzephalografie** (EEG) ist ein klinisches Routineverfahren, bei dem die Summenpotenziale der elektrischen Aktivität von Nervenzellen registriert und für die neurologische Diagnose ausgewertet werden. Über direkt auf der Kopfhaut platzierte und regelmäßig angeordnete Elektroden können charakteristische Wellenmuster von Spannungsänderungen gemessen werden, die auf neuronale Normal- oder Fehlfunktionen schließen lassen. In der neurokognitionswissenschaftlichen Grundlagenforschung hat die EEG-Methode durch leistungsstarke computerbasierte Analysemethoden in den letzten Jahren einen starken Aufschwung erlebt.

Auch die **Magnetenzephalografie** (MEG) registriert die Aktivität von

Nervengewebe, aber sie misst die magnetische Komponente der neuronalen Ionenströme. Dabei liegen die Sensoren ebenfalls auf der Kopfhaut. Die räumliche Auflösung der MEG ist besser als die der EEG. Insbesondere in Kombination mit EEG und dem bildgebenden Verfahren der fMRT stellt die MEG eine leistungsstarke Methode in der Neurokognitionsforschung dar. Nachteile ergeben sich aus dem hohen apparativen Aufwand, so sind eine starke Abschirmung gegen Störsignale sowie Kühlung notwendig.

Weitere moderne Verfahren

Bei der **Transkraniellen Magnetstimulation** (TMS) werden starke pulsierende Magnetfelder über eine geeignet platzierte Magnetspule durch den Schädel hindurch (»transkraniell«) auf Regionen des Gehirns gerichtet. Sie beeinflussen kurzzeitig die neuronale Verarbeitung, weil nach dem elektromagnetischen Prinzip ein Stromfluss in der Zielregion induziert wird. Als Auswirkungen können sensorische oder motorische Ereignisse auftreten (etwa Lichtblitze oder muskuläres Zucken). Neben der Grundlagenforschung (Stimulierung beziehungsweise Störung einzelner Hirnfunktionen und kognitiver Prozesse) gibt es für die TMS auch Verwendungsansätze in der psychiatrischen Therapie (Depression, Schizophrenie).

Die **Diffusions-Tensor-Bildgebung** (diffusion tensor imaging, DTI) beruht auf magnetresonanztomografischen Prinzipien und misst die Freiheitsgrade der Bewegung von Wassermolekülen, die durch zelluläre Membranstrukturen eingeschränkt, aber entlang der Nervenfasern größer sind. DTI wird für die nicht-invasive Darstellung von Lage und Verlauf neuronaler Faserzüge verwendet. Die Rekonstruktion gesunder oder geschädigter Verbindungsbahnen im Gehirn ist zum Beispiel für die neurologische Diagnose und die Vorbereitung neurochirurgischer Operationen wichtig. ◆

»Durch Methodenkombination ein Neuro-Forschungszentrum erster Güte«

Stefan Kieß im Gespräch mit Prof. Dr. Helmuth Steinmetz

? Was bedeutet die Errichtung des Brain Imaging Centers für die beteiligten Institute und die Hirnforschung in Frankfurt insgesamt?

Steinmetz: Das Brain Imaging Center ist eine Institution, die auch aus der Geschichte der Frankfurter Neurowissenschaften gewachsen ist: Hier haben wir Forschergruppen aus verschiedenen Kliniken und Instituten, die mit funktionell-bildgebenden Verfahren arbeiten, apparativ, personell und räumlich zusammengeführt. Unsere Stärke liegt in der Dichte der Kompetenz und im interdisziplinären Austausch: Das hat auch unsere Drittmittelgeber überzeugt. Das BIC hat seit seinen

Hauptthema ist für den Hirnforschungsstandort Frankfurt sicher die Perzeption, also die Sinneswahrnehmungen. Gruppen des Max-Planck-Instituts und des Universitätsklinikums beschäftigen sich mit der Verarbeitung von Sinnesindrücken, schwerpunktmäßig dem visuellen System, aber auch mit der cross-modalen Assoziation von Gehörtem mit Gefühltem oder Gehörtem mit Gesehenem. Es gibt Gruppen, und da darf ich für die Neurologie sprechen, die andere kognitive Themen wie etwa Mechanismen der Aufmerksamkeitssteuerung des Gehirns studieren. Weitere Themen gehen mehr in die Krankheitsforschung, so beschäftigen sich die Kolleginnen und Kollegen der Psychiatrie mit Alzheimer und Schizophrenie, die Neuroradiologen mit Hirntumoren und der Kartierung von Nervenfaserbahnen, die Neurochirurgen mit intraoperativer Navigation, und die Neurologen forschen an der Epilepsie.

den Nachteilen dieses Bildgebungsverfahrens, das ja als langsame Methode gilt?

Steinmetz: Es ist keinesfalls so, dass wir uns am Brain Imaging Center auf reines »Bilder machen« beschränken. Natürlich kommt eine elektrophysiologische »Methodenbatterie« um das EEG hinzu: Das heißt: Wir kombinieren das fMRT-Bildmaterial, das auf blutflussabhängigen Aktivierungsbildern basiert, mit elektrophysiologischen, zeitlich deutlich besser aufgelösten Daten. Erfreulicherweise werden wir ab 2006 den Methodenpark des Brain Imaging Centers um ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanziertes Magnetenzephalografie-System (MEG) vergrößern können. Damit gehen wir im BIC über reines Imaging weit hinaus: Durch Methodenkombination von fMRT, EEG und MEG bekommen wir ein neurowissenschaftliches Forschungszentrum erster Güte!

Prof. Dr. Helmuth Steinmetz, 50, ist Verbundkoordinator des Zentrums für funktionelle Bildgebung in den Neurowissenschaften (Brain Imaging Center Frankfurt, BIC). Der Direktor der Neurologischen Klinik und Prodekan des Fachbereichs Medizin war zusammen mit seinen Kollegen aus Neuroradiologie, Psychiatrie und dem Max-Planck-Institut für Hirnforschung an der Konzeption und Realisierung des Brain Imaging Center maßgebend beteiligt.



Anfängen zirka zehn Millionen Euro Forschungsgelder eingeworben, wobei ich vor allem die Deutsche Forschungsgemeinschaft, das Bundesministerium für Bildung und Forschung, die Volkswagenstiftung, aber auch die Siemens AG dankend erwähnen möchte. Die Entwicklung des BIC wird durch die derzeit laufende Ausschreibung einer W3-Professur für Experimentelle Magnetresonanztomografie in den Neurowissenschaften unseres Fachbereichs konsequent fortgesetzt.

? Wo liegen denn die thematischen Schwerpunkte der Forschung am BIC?

Steinmetz: Zwar gibt es ein breites Spektrum an Themen, aber das

? Wie stellt sich das Verhältnis zwischen Grundlagenforschung und eher angewandter Forschung sowie klinischen Aspekten am BIC dar?

Steinmetz: Wir bearbeiten drei Felder: Neben der methodischen Grundlagenforschung zur Entwicklung und Verbesserung bildgebender Verfahren einerseits und der Forschung an Mechanismen von Hirnfunktionen an gesunden Probanden zum anderen kommt die Erforschung von Fehlfunktionen und krankhaften Entwicklungen des Gehirns hinzu. Und hier sehen wir auch unser »Markenzeichen«: In der Vereinigung aller drei Felder der Forschung unter einem Dach. Dagegen spielt die reine Diagnostik für den klinischen Alltag – jedenfalls im BIC – keine Rolle.

? Die beiden neuen Hochfeld-Magnetresonanztomografen erlauben eine außerordentlich hohe räumliche Auflösung der Hirnbilder. Wie begegnen Sie

? Wie wird sich das BIC nach Ihrer Einschätzung in Zukunft entwickeln?

Steinmetz: Das BIC sollte sich in den nächsten Jahren zu einem Fachbereichs-übergreifenden universitären Zentrum entwickeln. Damit sollte eine Technologie-Plattform entstehen, an der auch andere Fachbereiche teilhaben könnten. Bisher ist es überwiegend ein Zentrum der Medizin, in enger Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Hirnforschung. Unser Zentrum sollte stärker ins Blickfeld der Universität rücken: Zum Beispiel sollten Disziplinen wie die Psychologie, die bisher nur am Rande teilnimmt, aber auch die Biophysik stärker als bisher ihre Kompetenz im BIC mit einbringen. Wir erhoffen uns hier auch Einflüsse bis in Berufungsentscheidungen anderer Fachbereiche hinein. Bisher gibt es eine solche inter fakultative Zusammenarbeit leider zuwenig, so dass an dieser Stelle ein Appell zur Kooperation sicher gut platziert ist! ◆

»So sieht also mein Gehirn aus...«

Eine Expedition ins eigene »Oberstübchen«

Ich lege meinen Schmuck ab. Auch Schlüsselbund und Kleingeld landen zur Aufbewahrung in einer Schale. Schließlich darf ich nichts Metallisches bei mir tragen – weder am noch im Körper. Implantate, lose Zahnprothesen oder auch die Spirale sind tabu. Nicht einmal Make-up ist erlaubt, könnte es doch feinste Metallpartikelchen enthalten. Gewissenhaft fülle ich den Fragebogen aus, den man mir in die Hand gedrückt hat. Bevor ich meine Unterschrift darunter setze, zögere ich noch einen Augenblick. »Und wenn ich mir doch damals bei meinem Ferienjob in der Metallfabrik irgendwo einen Splitter zugezogen habe?«, schießt es mir durch den Kopf. Nein, daran könnte ich mich wohl erinnern. Gut, dann bin ich also bereit – bereit, in die Röhre geschoben zu werden und mein Gehirn eine Stunde lang der Wissenschaft zur Verfügung zu stellen.

Ich bin Probandin einer Hirnforschungsstudie, die sich um die Verarbeitung auditorischer und visueller Reize im menschlichen Denkorgan dreht. Die Psychologen Dr. Grit Hein von der Arbeitsgruppe Kognitive Neurologie der Neurologischen Klinik und Marcus Naumer [siehe auch Marcus Naumer et al. »Audiovisuelle Objekterkennung in der Großhirnrinde«, Seite 21] vom Institut für Medizinische Psychologie am Frankfurter Universitätsklinikum wollen herausfinden, welche Regionen im Gehirn aktiv sind, wenn es gilt, Informationen von Bildern und Geräuschen zu verarbeiten – und ob man einen Unterschied sieht, wenn Bild und Ton zusammenpassen oder eben nicht. Dazu machen sich die Wissenschaftler die funktionelle Magnet-



sonanztomografie (fMRT) zunutze. Im Magnetfeld lassen sich die unterschiedlichen Eigenschaften von sauerstoffreichem und sauerstoffärmerem Blut nachweisen – und so Zentren erhöhter Aktivität ausmachen. Denn wo die Hirnmasse intensiv arbeitet, benötigt sie auch mehr sauerstoffbeladenes Blut [siehe Informationskasten »Ausgewählte Methoden der Hirnforschung im Überblick«, Seite 78].

Nicht spürbar, aber mächtig: Kein Sinn für Magnetismus

Drei Teslar habe das Gerät, erklärt Naumer. »Das heißt, das Magnetfeld des Tomografen ist rund 60 000 mal stärker als das der Erde.« Der Wissenschaftler schaut mich an und lacht. Ich muss ihn gerade ziemlich verständnislos angestarrt haben. Tatsächlich finde ich zwar die Zahlen beeindruckend, kann mir aber – wenn ich ehrlich bin – unter Naumers Erklärungen rein gar nichts vorstellen. Kein Wunder eigentlich, denn wir Menschen verfügen nun

mal über keinen Sinn für Magnetismus. Wie aber lässt sich eine Kraft erfassen, die man weder fühlen noch sehen kann?

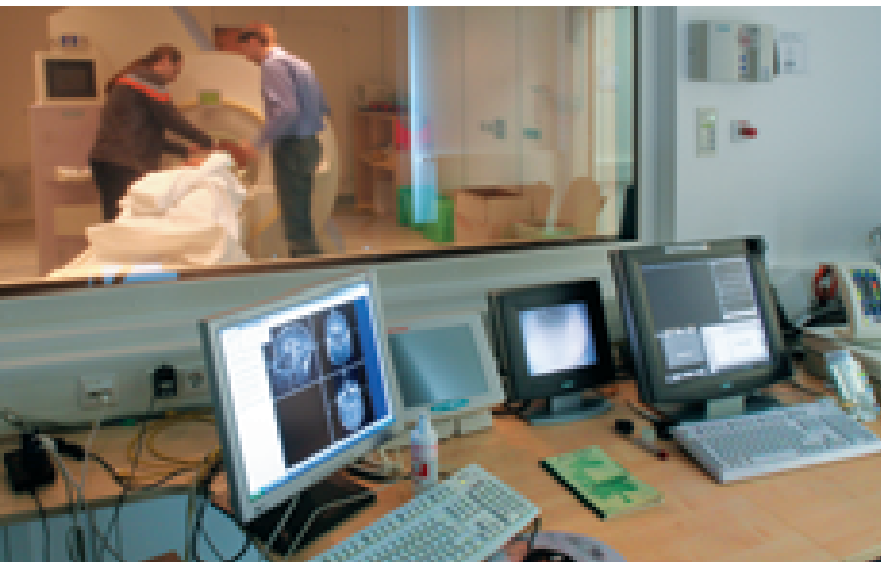
Hilfsmittel müssen her. Ich erinnere mich, wie mir ein Heidelberger MRT-Spezialist vor ein paar Jahren »seinen« Tomografen vorgestellt hat. Dazu drückte er mir einen Metallgegenstand in die Hand, bat mich, diesen gut festzuhalten und mich damit vorsichtig dem monströsen Gerät zu nähern. Kaum tat ich wie geheißenen, spürte ich, wie ein Ruck durch meinen Arm ging, und schon zog eine gewaltige unsichtbare Kraft meine Hand unweigerlich ins Röhreninnere.

»Sehen Sie«, erklärt Naumer, »das ist auch der Grund dafür, dass kein Metall in die Nähe des Tomografen gelangen darf – dort verwandelt es sich nämlich regelrecht in ein Projektil.« Durch die ungeheure Kraft des Magneten angezogen würden Kugelschreiber, Scheren, aber auch größere Gegenstände wie etwa Sauerstoffflaschen unaufhaltsam auf die Röhre zufliegen und nicht nur das Gerät beschädigen, sondern – schlimmer noch – auch Probanden, die gerade darin liegen, schwer verletzen. »Daher haben wir hier im Raum kein Metall und auch nur ganz spezielle Feuerlöscher, die kein ferromagnetisches Material enthalten«, schildert Naumer die Sicherheitsvorkehrungen im MRT-Raum. Und genau das ist auch der Grund dafür, dass bei den

Der Countdown läuft: Noch fehlen Kopfhörer, Kopfspule und Spiegel – dann kann die Forschungsreise beginnen.



Fadenkreuz fixieren: Marcus Naumer schildert, was er von seinen Probanden während der Messung erwartet.



Heil gelandet: Nach einer Stunde in der Röhre wird Stefanie Reinberger von Tim Wallenhorst und Marcus Naume ans Tageslicht zurückgeholt.

Versuchspersonen so peinlich genau darauf geachtet wird, dass sie keinerlei Metall im oder am Körper tragen.

Startklar zur Forschungsreise!

Doch genug des einführenden Geplänkels, jetzt wird es ernst, und ich werde für die Messung vorbereitet. Ein letzter Check, ob ich mir beim Quatschen nicht doch gedankenverloren wieder einen Kugelschreiber in die Hosentasche gesteckt habe, und dann darf ich auf der Liege Platz nehmen. Tim Wallenhorst, Medizinisch-Technischer Radiologieassistent am Frankfurter Brain Imaging Center, bereitet mich gemeinsam mit Grit Hein für meine »Forschungsreise« vor. Ich erhalte einen Kopfhörer, der mich zum einen vor dem Lärm des Tomografen schützt und zum anderen dazu dient, die Geräusche einzuspielen. Anschließend wird mein Kopf fixiert, und ich bekomme die Kopfspule, eine Art Helm, aufgesetzt, oder – aus meiner Perspektive gesehen – eher Gitterstäbe vors Gesicht geschnallt. »Muss das sein?«, frage ich mich. »Kann ich das wirklich ertragen?« Irgendwie fühle ich mich sehr eingeeengt, doch ich rede mir selbst gut zu. Schließlich habe ich als ehemalige Motorradfahrerin schon oft und über viele Stunden unter einem Helm gesteckt – wieso sollte das jetzt ein Problem sein? Eine Stunde werde ich das schon aushalten. Ich habe auch gar nicht viel Zeit, darüber nachzudenken, wie ich mich fühle, denn schon montieren Hein und Wallenhorst mit geübten Griffen einen Spiegel in meinen

Helm, damit ich später einen Blick auf die Projektionsfläche habe. Zu guter Letzt bekomme ich noch eine Hupe in die Hand gedrückt, mit der ich mich im Notfall bemerkbar machen kann. Dann geht es los.

Noch einmal wiederholt Naumer meine Aufgabe: Nicht bewegen (wie denn auch, mein Kopf ist doch festge-

zurrt?!) und immer schön auf die Bilder und Geräusche konzentrieren und dabei das Kreuz in der Mitte des Monitors fixieren. Das sollte machbar sein. Ein kleiner Ruck, und die Liege setzt sich in Bewegung und transportiert mich sanft in das Röhreninnere. Es ist dunkel da drin, eng und kühl. Reicht der Sauerstoff? Ich bin nicht klaustrophobisch veranlagt, aber ich müsste lügen, wollte ich behaupten, dass mir nicht doch irgendwie unheimlich ist. Meine einzige Aussicht ist der Blick auf den Computermonitor, auf dem sich der Mauszeiger wie von Geisterhand bewegt. Ich fühle mich, als laute meine Mission, ferne Galaxien zu erkunden, und ich würde dafür in eine Überlebenskapsel gesteckt. Ich muss über mich selbst schmunzeln: Vielleicht hätte ich in meiner Jugend ein bisschen weniger Zeit mit Sciencefictionsserien à la Star Trek verbringen sollen. Aber ganz so abwegig ist die Idee vielleicht gar nicht – schließlich gilt es hier, mein Gehirn und seine Arbeitsweise zu erforschen – tief in meinem Kopf, wo noch nie zuvor ein Mensch hineingeschaut hat.

»Alles klar da drin?« Die Stimme des Radiologieassistenten holt mich in die Realität zurück. »Dann testen wir jetzt die Lautstärke und stellen dann den Tomografen ein.« Ein bisschen »Computergedudel« über den Kopfhörer, und dann geht es los. Der Tomograf brummt und dröhnt – aha, man kann also immerhin hören, dass sich hier etwas tut. Nervosität macht sich breit. Jetzt werden die Wissenschaftler also gleich mein Innerstes nach außen kehren, um in mein privatestes

Organ zu spähen. Mein Gehirn, in dem all meine positiven und negativen Gedanken entstehen, meine kreativen Ideen sprudeln und meine Erinnerungen gespeichert sind. Eigentlich ist es fast ein bisschen zu intim, um Fremden einen Blick hinein zu erlauben. Aber andererseits bin ich selbst schrecklich neugierig und möchte zu gerne wissen, wie die Masse in meinem Oberstübchen so arbeitet.

Der Hund kräht,
die Kuh brüllt!

Erste Bilder tauchen auf: Abstrakte Formen, begleitet von Computertönen. Ich grinse innerlich, denn schon wieder fühle ich mich an Raumfahren und Reisen durchs Weltall erinnert. Ob es einen Einfluss auf die Ergebnisse hat, dass die eigentlich abstrakten Figuren und Geräusche für mein Empfinden hervorragend zusammenpassen? Kurze Pause, in der nur das Kreuz zu sehen ist, und weiter geht's mit Tierbildern und den passenden Lauten dazu: ein bellender Hund, ein krähernder Hahn, ein brüllender Löwe, eine Kuh... Wieder eine Pause, dann kräht der Hund, brüllt die Kuh und bellt der Bär. Zwischendurch tauchen wieder die abstrakten Formen auf oder auch mal nur Geräusche oder Bilder ohne Ton.

Jede einzelne Messrunde dauert nur zirka neun Minuten, doch mir kommt es vor wie eine Ewigkeit. Zwar habe ich mich längst an die beengte Situation in der Röhre gewöhnt und bin mittlerweile ganz entspannt. Aber einfach passiv dazuliegen und auf unbewegte Bilder zu schauen, das ist nicht mein Ding. Dazu kommt das gleichmäßige Brummen des Tomografen, das mich – ganz ähnlich wie Motorengeräusche bei einer langen Autofahrt auf dem Beifahrersitz – ein bisschen schläfrig macht. Schon nach der zweiten Messreihe merke ich, dass es mir zusehends schwerer fällt, mich auf die Bilder und Geräusche zu konzentrieren. Immer wieder fallen mir kurz die Augen zu. Wenn sich das mal nicht negativ auf die Messergebnisse auswirkt. Zu allem Überfluss lenkt mich jetzt auch noch ein Kribbeln im rechten Arm von meiner Aufgabe ab. Vom bewegungslosen Liegen ist er »eingeschlafen«. Aber um ihn zu »wecken«, werde ich wohl bis zur nächsten Pause warten müssen.

Die Autorin

Dr. Stefanie Reinberger, 35, ist promovierte Biologin. Sie ist fasziniert von der Möglichkeit, dem Gehirn bei der Arbeit zuzuschauen und ist gleichzeitig beruhigt, dass es noch nicht möglich ist, aus den Aktivierungsmustern auch Gedanken abzulesen. Denn diese sind frei und absolut intim – und sollten es auch bleiben.

»...und ich bin doch Herrin über mein Gehirn...«

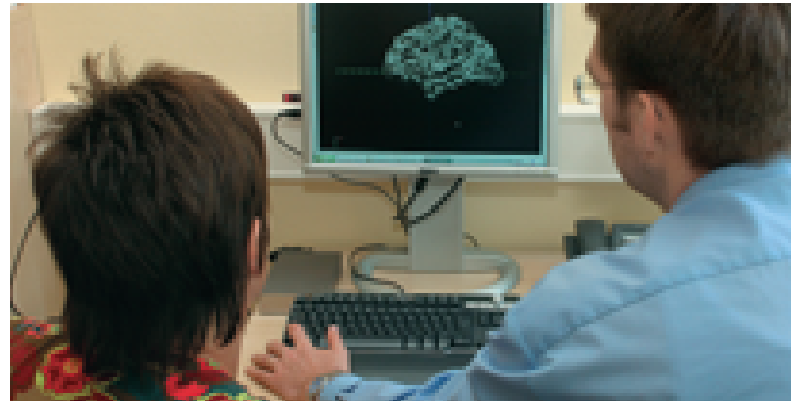
Nach etlichen »Ufos« tauchen jetzt erneut Kuh und Co. auf – diesmal wieder mit den passenden Geräuschen. Ich frage mich, was mein Gehirn wohl gerade macht, wie es die eingespielten Bilder und Töne verarbeitet. Ob es wohl brav in genau den Bereichen aktiv wird, in denen es die Wissenschaftler erwarten? Wenn das so wirklich sein sollte, komme ich mir doch ein bisschen »ferngesteuert« vor. Die schon seit Jahren anhaltende Debatte um den freien Willen kommt mir in den Sinn. Eigentlich ist mir die ganze Diskussion ja viel zu abstrakt. Aber jetzt, in der Röhre, drängt sie sich regelrecht auf. Sind es nicht laut der Hirnforscher, die den freien Willen in Frage stellen, genau diese dem Bewusstsein verborgenen Vorgänge im Gehirn, die letztlich unsere Entscheidungen und unser Handeln prägen? Und wenn mein Denkorgan tatsächlich ganz ohne mein gezieltes Zutun einfach nach einem bestimmten Schema arbeitet, bedeutet das dann, dass ich eben nicht Herrin über mein Gehirn bin? Kann ich gar nicht beeinflussen, wie es worauf reagiert? »Kannst du doch«, wispert mir ein kleines Teufelchen ins Ohr. »Konzentrier' dich doch einfach auf etwas völlig anderes, statt dir immer wieder dieselben Bilder anzuschauen.« Das könnte vielleicht klappen. Wenn ich mich in Gedanken intensiv mit einem ganz anderen Thema beschäftige und mich so von den eingespielten Reizen ablenke, dann müsste ich doch die Aktion meines Denkorgans auf andere Regionen umlenken oder zumindest anders verteilen können. Aber letztlich würden wahrscheinlich doch nur wieder nach »Schema F« Areale aktiviert – ohne dass ich tatsächlich steuern könnte, welche. Und die Tiere, Formen und Geräusche kann ich schließlich auch nicht ganz ausblenden. Außerdem werde ich durch Sabotage der Untersuchung wohl kaum das Rätsel um den freien Willen lösen. Wer weiß, möglicherweise habe ich mit meinem gedanklichen Ausflug soeben schon abweichende Aktivitätsmuster produziert. Nur gut, dass die Forschung noch nicht so weit ist, dass sich anhand der fMRT-Daten auch noch ablesen lässt, worüber ich gerade

nachgedacht habe. Ab sofort will ich mich wieder brav auf die Kühe, Löwen, Bären und Hunde konzentrieren – schließlich liege ich hier im Dienste der Wissenschaft. Wenn ich bloß nicht so müde wäre...

»Gleich kommt eine anatomische Messung, da können Sie sich



So also sieht's im »Oberstübchen« aus! Tim Wallenhorst erklärt, was auf den soeben angefertigten anatomischen Aufnahmen zu sehen ist.

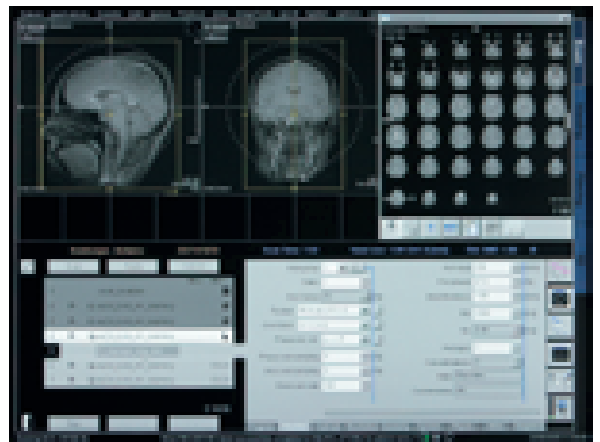


Blick in die Zukunft: Anhand früherer Ergebnisse erläutert Marcus Naumer, wie sich aus den gewonnenen Daten 3D-Bilder des Gehirns rekonstruieren lassen, in denen dann die Aktivität einzelner Areale angezeigt wird.

ein bisschen ausruhen«, muntert mich Wallenhorst in der nächsten Pause auf und fügt hinzu »Danach sind es nur noch zwei funktionelle, und dann sind Sie erlöst.« Also gut, das werde ich schaffen. Ich reiße mich am Riemen, sperre die Augen auf und konzentriere mich mit aller Kraft auf Bilder und Geräusche. »Noch zwei Runden«, zähle ich leise für mich, »noch eine, und geschafft!« »Jetzt holen wir Sie da raus«, tönt die frohe Botschaft durch meinen Kopfhörer. Und schon setzt sich die Liege wieder in Bewegung und bringt mich nach rund einer Stunde in der Röhre wieder zurück ans Licht, wo mich Naumer erwartungsvoll anstrahlt: »Wie war's? Alles in Ordnung?« »Klar, alles bestens« – beeeile ich mich zu sagen, froh, dass die beiden meinen Kopf aus dem Helm befreien und ich mich wieder frei bewegen kann.

Noch nicht über alles im Bilde

Nun möchte ich aber auch das Ergebnis sehen. Bilder von meinem Denkorgan und wie es arbeitet und dabei in den Aufnahmen leuchtet. Werden verräterische Aktivitätsspuren davon zeugen, dass ich zwischendurch in Gedanken abgeschweift bin und mich doch nicht die ganze Zeit völlig auf das Experiment konzentriert habe? Oder stellen die eingespielten Bilder und Töne so starke Reize dar, dass ich gar nicht dagegen ansteuern konnte



und meine Hirnmassse immer brav reagiert hat, wie es aufgrund des experimentellen Aufbaus zu erwarten war? Doch Naumer muss mich enttäuschen. Zwar ist er auch schon sehr gespannt darauf, die Arbeitsweise meines Gehirns kennen zu lernen, doch bis dahin gibt es noch viel zu tun. Heute wurden zunächst nur Rohdaten gesammelt. Dafür haben die Wissenschaftler anatomische Aufnahmen angefertigt und die verschiedenen magnetischen Eigenschaften meines Bluts bei den einzelnen Aufgaben aufgezeichnet. Aus diesen Informationen erstellen sie später die bekannten eindrucksvollen Leuchtbilder, die zeigen, wann und in welchen Hirnarealen meine Gehirnmassse während meiner Reise in die Magnet-röhre besonders eifrig gearbeitet hat. »Aber die anatomischen Aufnahmen können wir uns schon anschauen, wenn Sie möchten,« bie-

Vermessen und zerlegt: Nach der MRT-Messung lässt sich das Gehirn auf dem Computermonitor scheibchenweise bewundern.

tet er als kleines Trostpflaster an. Klar will ich, sein eigenes Denkor- gan bekommt man ja nicht alle Ta- ge zu sehen.

Noch ein bisschen benommen von der Stunde Abgeschlossenheit im Tomografen tapse ich hinter Naumer und Wallenhorst her in den Kontrollraum, wo die beiden Männer die Aufnahmen der letz- ten Stunde auf den Computerbild- schirm zaubern. »So sieht also mein Gehirn aus«, denke ich und schaue ehrfürchtig auf den Monitor. Zwar kenne ich ähnliche Aufnahmen aus Büchern und Zeitschriften, aber das eigene Denkor- gan vor sich zu ha- ben, ist doch etwas Besonderes. Ei-

gentlich kann ich gar nicht richtig fassen, dass es wirklich meines ist. »Ist alles dran«, witzelt Wallen- horst, als er meinen andächtigen Gesichtsausdruck sieht. Klar, für ihn ist das natürlich Routine. Wer weiß, wie viele Gehirne er bei sei- ner Arbeit schon betrachtet hat. Entsprechend gut kennt er sich auch aus. »Hier ist die Großhirnrin- de« erklärt er, »dort der Balken, und hier hinten das Kleinhirn.« Wie bei einer Landkarte fährt er mit dem Finger über die einzelnen Re- gionen meines Denkor- gans und be- nennt sie. Reine Anatomie. Durch die nüchterne Betrachtung verliert die Aufnahme schon fast wieder ein

wenig von ihrem Zauber, und mein Gehirn scheint nur eines von vielen zu sein – ohne irgendwelche Be- sonderheiten, die zeigen, dass es zu mir gehört. Andererseits bin ich doch ein bisschen beruhigt, dass in meinem Oberstübchen alles am rechten Platz sitzt. Und ein wenig fühle ich mich auch wie eine Hel- din, die soeben von einer wichtigen Forschungsmission zurückgekehrt ist – und ich freue mich schon auf die nächste, denn Naumer hat mich eingeladen, auch an der Folgestudie teilzunehmen. Dann werden in der Röhre auch ein paar Aufgaben zur Zuordnung von Bild und Ton auf mich warten. ◆

Die Welt jenseits der Oszillografen

Ein Streitgespräch zwischen dem Hirnforscher Wolf Singer und dem Philosophen Marcus Willaschek



Neurowissenschaftler fordern einen illusionslosen Umgang mit Begriffen wie Willensfrei- heit und Bewusstsein. Philosophen kritisieren offen die Thesen von Hirnforschern. Stehen sich diese Positionen unversöhnlich gegenüber? Wo gibt es Möglichkeiten einer Annähe- rung, gar einer Kooperation? Der Religionsphilosoph Prof. Dr. Thomas M. Schmidt und der Biologe Stefan Kieß loten die Situation in Frankfurt aus; ihre Gesprächspartner sind der Hirnforscher Prof. Dr. Wolf Singer (links), Direktor am Max-Planck-Institut für Hirnfor- schung, und Prof. Dr. Marcus Willaschek (rechts), Philosoph an der Universität Frankfurt.

? Herr Singer, als sich Ihr Gehirn trotz Termindrucks für das Streit- gespräch mit Herrn Willaschek entschieden hat, konnten Sie zwingend nur dies tun, weil Ihr Gehirn so konfiguriert war? Oder ließ Ihr neuronales Netz auch Alternativen zu? Wer oder was hat da entschieden?

Singer: Die Gesamtheit aller Varia- blen, die für diesen Entscheidungs- prozess relevant waren! Dazu zäh- len sämtliche Argumente – natürlich auch Ihre Überzeugungskraft am Telefon – die ich in neuronale Akti-

vitäten umgesetzt habe. Dieser neu- ronale Code wirkte als weiterer At- traktor. Und dann ist ein kompetiti- ver Prozess in Gang gekommen, bei dem eine Reihe bewusster Fakto- ren, aber auch unbewusste Vorgän- ge mitgespielt haben; als Ergebnis kam diese Entscheidung zustande.

? Die Hirnforschung erklärt kogni- tive Fähigkeiten des Menschen wie Planen, Erinnern und Vor- stellen mit der Aktivität evolutio- när junger Areale der Großhirn- rinde, die als stark vernetzte »Konstruktionsmaschinen«

funktionieren. Ist das, was wir als unseren freien Willen empfinden, ebenso eine men- tale Konstruktion, die das Er- gebnis vorausgehender neuro- naler Aktivität ist und eben nicht diese neuronalen Pro- zesse auslöst?

»Ein Entscheidungs- prozess muss zwangs- läufig aus der Gesamt- heit der neuronalen Wechselwirkungen ent- stehen«

tet er als kleines Trostpflaster an. Klar will ich, sein eigenes Denkor- gan bekommt man ja nicht alle Ta- ge zu sehen.

Noch ein bisschen benommen von der Stunde Abgeschlossenheit im Tomografen tapse ich hinter Naumer und Wallenhorst her in den Kontrollraum, wo die beiden Männer die Aufnahmen der letz- ten Stunde auf den Computerbild- schirm zaubern. »So sieht also mein Gehirn aus«, denke ich und schaue ehrfürchtig auf den Monitor. Zwar kenne ich ähnliche Aufnahmen aus Büchern und Zeitschriften, aber das eigene Denkor- gan vor sich zu ha- ben, ist doch etwas Besonderes. Ei-

gentlich kann ich gar nicht richtig fassen, dass es wirklich meines ist. »Ist alles dran«, witzelt Wallen- horst, als er meinen andächtigen Gesichtsausdruck sieht. Klar, für ihn ist das natürlich Routine. Wer weiß, wie viele Gehirne er bei sei- ner Arbeit schon betrachtet hat. Entsprechend gut kennt er sich auch aus. »Hier ist die Großhirnrin- de« erklärt er, »dort der Balken, und hier hinten das Kleinhirn.« Wie bei einer Landkarte fährt er mit dem Finger über die einzelnen Re- gionen meines Denkor- gans und be- nennt sie. Reine Anatomie. Durch die nüchterne Betrachtung verliert die Aufnahme schon fast wieder ein

wenig von ihrem Zauber, und mein Gehirn scheint nur eines von vielen zu sein – ohne irgendwelche Be- sonderheiten, die zeigen, dass es zu mir gehört. Andererseits bin ich doch ein bisschen beruhigt, dass in meinem Oberstübchen alles am rechten Platz sitzt. Und ein wenig fühle ich mich auch wie eine Hel- din, die soeben von einer wichtigen Forschungsmission zurückgekehrt ist – und ich freue mich schon auf die nächste, denn Naumer hat mich eingeladen, auch an der Folgestudie teilzunehmen. Dann werden in der Röhre auch ein paar Aufgaben zur Zuordnung von Bild und Ton auf mich warten. ◆

Die Welt jenseits der Oszillografen

Ein Streitgespräch zwischen dem Hirnforscher Wolf Singer und dem Philosophen Marcus Willaschek



Neurowissenschaftler fordern einen illusionslosen Umgang mit Begriffen wie Willensfrei- heit und Bewusstsein. Philosophen kritisieren offen die Thesen von Hirnforschern. Stehen sich diese Positionen unversöhnlich gegenüber? Wo gibt es Möglichkeiten einer Annähe- rung, gar einer Kooperation? Der Religionsphilosoph Prof. Dr. Thomas M. Schmidt und der Biologe Stefan Kieß loten die Situation in Frankfurt aus; ihre Gesprächspartner sind der Hirnforscher Prof. Dr. Wolf Singer (links), Direktor am Max-Planck-Institut für Hirnfor- schung, und Prof. Dr. Marcus Willaschek (rechts), Philosoph an der Universität Frankfurt.

? Herr Singer, als sich Ihr Gehirn trotz Termindrucks für das Streit- gespräch mit Herrn Willaschek entschieden hat, konnten Sie zwingend nur dies tun, weil Ihr Gehirn so konfiguriert war? Oder ließ Ihr neuronales Netz auch Alternativen zu? Wer oder was hat da entschieden?

Singer: Die Gesamtheit aller Varia- blen, die für diesen Entscheidungs- prozess relevant waren! Dazu zäh- len sämtliche Argumente – natürlich auch Ihre Überzeugungskraft am Telefon – die ich in neuronale Akti-

vitäten umgesetzt habe. Dieser neu- ronale Code wirkte als weiterer At- traktor. Und dann ist ein kompetiti- ver Prozess in Gang gekommen, bei dem eine Reihe bewusster Fakto- ren, aber auch unbewusste Vorgän- ge mitgespielt haben; als Ergebnis kam diese Entscheidung zustande.

? Die Hirnforschung erklärt kogni- tive Fähigkeiten des Menschen wie Planen, Erinnern und Vor- stellen mit der Aktivität evolutio- när junger Areale der Großhirn- rinde, die als stark vernetzte »Konstruktionsmaschinen«

funktionieren. Ist das, was wir als unseren freien Willen empfinden, ebenso eine men- tale Konstruktion, die das Er- gebnis vorausgehender neuro- naler Aktivität ist und eben nicht diese neuronalen Pro- zesse auslöst?

»Ein Entscheidungs- prozess muss zwangs- läufig aus der Gesamt- heit der neuronalen Wechselwirkungen ent- stehen«

Singer: Allen Vorgängen, ob motorischen oder mentalen, ob Gedanken, Gefühlen oder Entscheidungen, gehen neuronale Prozesse voraus; sie bringen diese Phänomene hervor. Ein Großteil davon wird uns nicht bewusst, weil im Bewusstsein immer nur ein ganz kleiner Teil dessen abgebildet wird, was das Gehirn gerade an Operationen vollbringt. Bewusst werden kann nur, worauf die Aufmerksamkeit liegt, und aufmerksamkeitslenkende Mechanismen sind in ihrer Kapazität außerordentlich begrenzt. Ein Entscheidungsprozess muss zwangsläufig aus der Gesamtheit der neuronalen Wechselwirkungen entstehen. Nur die wenigen bewussten Anteile sind hinterher als Begründung ausdrückbar, daraus folgt, dass die Begründungen, die wir für Entscheidungen angeben, notwendig unvollständig sein müssen.

? Ihre aus neurowissenschaftlichen Ergebnissen abgeleiteten Thesen, dargelegt im interdisziplinären Diskurs auf Kongressen und ausbreitet im Feuilleton großer Zeitungen, haben eine zum Teil hitzig geführte Debatte angestoßen.

Singer: Die mediale Inszenierung und Vereinfachung hat in der Frage der Willensfreiheit zu einer sehr polemischen Diskussion geführt. Angefangen hat es ganz unschuldig bei einem Philosophenkongress in Essen 2002: Es waren auch einige Naturwissenschaftler eingeladen, und ich habe versucht zu erklären, wie Wahrnehmung zustande kommt, wie distributiv ein Gehirn organisiert ist und dass alle psychischen Phänomene natürlich emergente Qualitäten dieser neuronalen Prozesse sein müssen. Meine schlichten Argumente waren: Wir können das Verhalten von einfachen Organismen lückenlos auf der Basis bekannter neurobiologischer Mechanismen erklären. Die evolutionäre Differenzierung hin zu komplexeren Gehirnen hat keine neuen Mechanismen in die Welt gebracht, keine neuen Strukturen, sondern beruht im Wesentlichen auf einer enormen Komplexitätszunahme vor allem der Großhirnrinde. Daraus folgt, dass wir versuchen müssen, auch die sehr hohen kognitiven Leistungen – und das umfasst

alle psychischen Phänomene – durch Substrat-Wechselwirkungen zu erklären. Mehr habe ich dort nicht getan. Das hat allerdings zu großem Aufruhr geführt: Einige Philosophen haben das als einen Frontalangriff auf unser Selbstverständnis verstanden, was ich nicht recht nachvollziehen konnte.

? Herr Willaschek, welche Position nimmt denn die Philosophie ein? Ist es sinnvoll, die Auseinandersetzung mit den Neurowissenschaften auf das Thema »Willensfreiheit« zu konzentrieren oder verengt dies die Debatte?

»Davon, ob ich einen Menschen für frei halte oder nicht, hängt ab, wie ich mit ihm umgehe.«

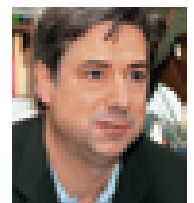
Willaschek: Es ist eine Zuspitzung, die nachvollziehbar ist, weil dieses Thema – anders als die vielen anderen interessanten Fragen im Verhältnis von Philosophie des Geistes und Neurowissenschaften – unmittelbar auf unser menschliches Zusammenleben einwirkt. Davon, ob ich einen Menschen für frei halte oder nicht, hängt ab, wie ich mit ihm umgehe. Insofern ist völlig klar, dass diese Frage die Aufmerksamkeit auf sich zieht, anders als eher abstrakte Fragen wie das Leib-Seele-Problem oder das Bindungsproblem. Es ist aber wichtig, zunächst zu klären, was wir überhaupt unter Willensfreiheit verstehen. Und das ist keine Frage, die im Labor beantwortet werden kann, sondern eine, die mit Blick auf die Praxis des menschlichen Umgangs miteinander beantwortet werden muss! Unter welchen Umständen machen wir andere Menschen eigentlich verantwortlich für das, was sie tun, und wo machen wir Ausnahmen? Bei der Frage, ob Menschen überhaupt frei sein können, beruht die Debatte meines Erachtens auf Missverständnissen sowohl auf philosophischer als auch auf neurobiologischer Seite. Es ist eben nicht so, dass ein dualistischer Begriff von Willensfreiheit – Willensfreiheit als absolute kausale Unabhängigkeit – heute noch in der Philosophie vorherrschend wäre; insofern rennen viele Argumente aus der Hirnforschung offene Türen

ein. Um jemanden verantwortlich zu machen, erwarten wir gar nicht, dass er in diesem absoluten spontanen Sinn über Freiheit verfügt. Was in der Praxis eine Rolle spielt, ist die Fähigkeit, im Lichte von Gründen und Gegengründen Entscheidungen zu treffen. Den Verdacht der Hirnforscher, dass das, was wir für eine rationale Entscheidung halten, durch ganz andere, für uns nicht durchschaubare Faktoren und Prozesse determiniert ist, müssen wir als Philosophen ernstnehmen. Mir scheint daraus aber nicht zu folgen, dass Menschen normalerweise nicht frei in ihren Entscheidungen sind.

Singer: Dualistische Konzepte sind in der Neurobiologie genauso wenig wie in der Philosophie derzeit noch diskussionsfähig. Allerdings habe ich in vielen öffentlichen Diskussionen immer wieder gemerkt, dass ein heimlicher Dualismus doch sehr weit verbreitet ist; oder auch die Ansicht, wir seien frei, weil wir Argumenten zugänglich seien. Dabei wird klammheimlich suggeriert, ein Argument sei etwas Immaterielles, etwas, das den kausalen Prozessen im Gehirn nicht unterworfen, sondern ihnen vorgängig ist.

Willaschek: Ich bin nicht sicher, ob dieses dualistische Bild tatsächlich das des Alltags ist! Es ergibt eine falsche Frontstellung, wenn man sagt, im Alltag sind wir Dualisten, aber die aufgeklärten Wissenschaftler und Philosophen wissen, dass das nicht stimmt. Wir sind im Alltag viel weniger Dualisten, als dies häufig unterstellt wird; und es gibt eine philosophische Tradition, die genau das zu zeigen versucht.

Singer: Ich möchte gerne mal definieren, was landläufig unter freier Entscheidung verstanden wird und was ich aus den Diskussionen darüber gelernt habe: Mir scheint, dass es sich dabei um Entscheidungen handelt, die auf der Plattform des Bewusstseins mit bewusstseinsfähigen Argumenten und Gründen durch rationale Überlegung herbeigeführt werden. Es ist interessant, dass wir das so verstehen: Inhalte, die ins Bewusstsein kommen können, sind vorwiegend solche, die wir relativ spät in unserer Lebensgeschichte – nach dem dritten, vierten Lebensjahr – abgespeichert ha-



Die Moderatoren
Der Religionsphilosoph
Prof. Dr. Thomas M. Schmidt [siehe auch Seite 58]
und der Biologe
Stefan Kieß [siehe auch Seite 76]

ben. Nur solche Inhalte können ins deklarative Gedächtnis kommen. Sie werden unter der Kontrolle von Aufmerksamkeit bewusst erfahren, dann in einen Speicher gelegt, um später wieder ins Bewusstsein gehoben zu werden. Und solche späten Inhalte sind nun einmal unsere sozialen Verhaltensregeln, das sind unsere moralischen Kategorien. Also: Wer Zugang zu diesem Wissen hat, wer die Zeit hat, dieses Wissen nach Regeln der Sprachkonventionen und der Sprachlogik sowie nach gewissen Wertehierarchien zu verhandeln, wer also auf diese Weise zu einer Entscheidung kommt, nimmt für sich in Anspruch, frei entschieden zu haben.

Willaschek: Ich finde diesen Begriff von freier Entscheidung noch zu stark. Er gibt zwar das wieder, was die meisten Menschen auf Nachfrage hin erläutern können, aber man muss sich eben klarmachen, dass es sehr schwer ist, diese abstrakten Begriffe adäquat zu erläutern. In der Praxis, wenn wir Menschen tatsächlich verantwortlich machen, erhalten wir einen noch schwächeren Begriff von freier Entscheidung. Das Moment der bewussten Entscheidung und das der expliziten rationalen Überlegung sind gar nicht notwendig. Was notwendig ist, ist alleine die rationale Revidierbarkeit. Wenn ich mir zum Beispiel morgens wie immer einen Kaffee mache, geht das ganz automatisch; ich denke darüber gar nicht nach.



Kaffee mag ich eben lieber als Tee. Wenn aber kein Kaffeepulver mehr da wäre, hätte ich nicht sinnloserweise dieselben Handbewegungen ausgeführt, sondern mein Verhalten im

Lichte der Tatsachen revidieren können; ich hätte anders handeln können. Ich glaube, dass dies im Kern unser Verständnis von Verantwortung und Willensfreiheit trifft. Der relativ starke Anspruch, den Sie unterstellen und der mit guten Argumenten kritisierbar ist, dass wir uns nämlich der Entscheidungsprozesse bewusst sein müssen, ist nicht notwendig für eine freie Entscheidung!

Singer: Ja, aber auf forensischer Ebene stellt es sich dann doch anders dar: Eine Entscheidung gilt als frei, und der Handelnde wird für diese voll verantwortlich gemacht, wenn sie frei von äußeren und inneren Zwängen erfolgen konnte. Das heißt also: Kein Befehlsnotstand, kein unbilliger Zeitdruck als äußerer Zwang, kein innerer Zwang im Sinne einer überschießenden Triebstruktur, auch kein getrübttes Bewusstsein. Wir legen offenbar doch großen Wert auf ungehindertes Überlegen auf der Plattform des Bewusstseins. Wer stark alkoholisiert ist oder unter Drogen steht, ist in seiner Bewusstheit auch eingeschränkt und deshalb weniger frei.

? Wenn individuelles Entscheiden und Handeln negative Folgen für die Gemeinschaft haben, dann stellt sich die Frage nach der Verantwortung und der Schuldfähigkeit des Einzelnen.

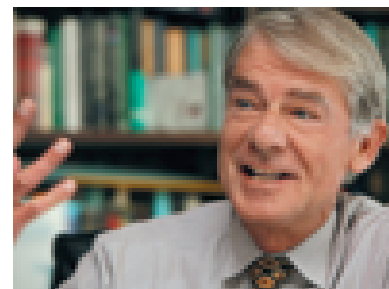
»Natürlich ist jemand, der etwas tut, verantwortlich für das, was er tut! Wer denn sonst?«

Singer: Im Strafrecht wird ja behauptet, dass sich das Strafmaß an der subjektiven Schuld orientiert, was häufig durch Gutachten von Sachverständigen geklärt werden soll. Nach meiner Auffassung sind aber die forensischen Psychiater mit der Bestimmung der Schuldfähigkeit hoffnungslos überfordert. Sie gestehen verminderte Schuldfähigkeit zu, wenn sie zum Beispiel einen Gehirntumor entdecken, weil der die »normalen« Hirnfunktionen einschränkt. Als Neurobiologen wissen wir aber, dass genetisch bedingte Fehlverschaltungen, frühe Prägungsprozesse oder degenerative Erkrankungen zu den gleichen Beeinträchtigungen oder Veränderungen von Entscheidungsprozessen führen können wie ein sichtbarer Tumor. Wir können sie nur nicht erfassen, zumindest zurzeit nicht. Und darin sehe ich eine schreckliche Inkohärenz. Wenn wir hier nicht wirklich messend objektivieren können, dann gilt es, ein anderes Konzept zu finden. Wir sollten dann die Kausalketten »subjektive Schuld bestimmt Strafmaß« und »subjektive Schuld bemisst sich an Freiheit« nicht zugrunde legen,

sondern sagen: Natürlich ist jemand, der etwas tut, verantwortlich für das, was er tut! Wer denn sonst? Und er muss zur Rechenschaft gezogen werden.

? Sie gestehen zu, dass die Gesellschaft weiterhin durch Erziehung, Belohnung und Sanktionen auf Menschen einwirken und Straftäter auch wegsperrten soll. Ergeben sich somit durch einen neuen, auf neurobiologischen Grundlagen beruhenden Begriff von Willensfreiheit und Schuldfähigkeit doch keine dramatischen Konsequenzen für das Strafrecht?

Singer: Nein, die ergeben sich nicht! Aber wir werden zunächst davon ausgehen müssen, dass einer das



getan hat, was er getan hat, weil er in der Lage war, dies zu tun. Ein anderer hätte es nicht getan. Die Gründe, warum er es getan hat, sind vielfältiger Natur, von denen nur ein Bruchteil wirklich eruiert ist. Denn auch die nachträgliche Begründbarkeit dessen, was man getan hat, muss man aus neurobiologischer Sicht natürlich relativieren: Wir wissen sehr genau, wie wir Versuchspersonen im Experiment durch geschickte Darbietung von Instruktionen zu Handlungen veranlassen können, ohne dass sie sich dieser Instruktionen dabei bewusst werden. Und die manipulierten Personen geben hinterher eine perfekte Erklärung im intentionalen Format: »Ich habe das getan, weil ich jenes erreichen wollte!« Ich als Versuchsleiter weiß aber, dass das Motiv ein gänzlich anderes war. Und das muss einen natürlich nachdenklich stimmen.

? Wie hängt nach Ihrer Auffassung, Herr Singer, denn Verantwortung mit Absichten, mit Bewusstsein und dem bewussten Denken zusammen?

Singer: Bewusst wird einem ja nur das, was jeweils im Fokus der Aufmerksamkeit steht. Die Entscheidung darüber, was mir gerade ins Bewusstsein gerät, wird natürlich von einer Fülle – ihrerseits wieder unbewusster – Motive bedingt. Wenn ich großen Hunger habe und durch die Schweizer Straße laufe, dann werden mir von den vielen umgebenden Reizen natürlich die Geruchsreize ins Bewusstsein kommen, die Essen versprechen. Wenn ich aber auf dem Weg bin, ein Weihnachtsgeschenk zu suchen, dann werden das Bilder von Verpackungspapier oder ähnliches sein. Also: Wir haben meist nicht einmal eine bewusste Kontrolle darüber, was wir jeweils ins Bewusstsein heben, sondern schon dies wird durch vorgängige Prozesse festgelegt.

»Die rationale Kontrolle ist eben etwas wesentlich Komplexeres, als man zunächst annehmen würde.«

Willaschek: Ja aber stimmt das denn? Mir scheint, dass die Beispiele, die Sie anführen, ebenso die wissenschaftlichen Forschungsergebnisse, auch nur belegen, dass wir nicht überall da, wo wir meinen, über rationale Kontrolle zu verfügen, auch tatsächlich über sie verfügen. Man ist sich vielleicht der Motive, aus denen man etwas tut, in dem Moment, wo man es tut, nicht bewusst. Aber



das ist ja hinterher durch eine Form von kritischer Selbsthinterfragung durchaus dem Bewusstsein zugänglich zu machen. Und deswegen scheint es mir eine Überinterpretation zu sein, aus diesen Beispielen zu folgern, dass hier das Verhalten unserer rationalen Kontrolle entzogen ist. Die rationale Kontrolle ist eben etwas wesentlich Komplexeres, als man zunächst annehmen würde. Sie ist abhängig von Lernvorgängen, auch von vielen Dingen, die selbst nicht alle wieder kontrollierbar sind,

das ist völlig richtig; aber es folgt daraus keinesfalls, dass wir unsere Aufmerksamkeit nicht rational steuern können. Natürlich können wir das! Ich kann mit dem größten Hunger durch die »Fressgass« gehen und mich nur darauf konzentrieren, was ich jetzt meiner Frau zu Weihnachten schenke.

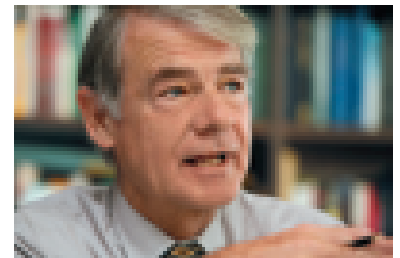
Singer: Weil dieser Attraktor noch stärker ist!

Willaschek: Natürlich! Aber: Dass der Attraktor stärker ist, ist ja selbst das Ergebnis eines langen Lernprozesses. Wir können bestimmte Attraktoren verstärken. Beispielsweise weiß ich, wie peinlich es ist, wenn ich Weihnachten unterm Weihnachtsbaum stehe und kein Weihnachtsgeschenk habe. Um das zu vermeiden, nehme ich auch in Kauf, dass ich jetzt hungrig bleibe! Ich bin in der Lage, aufgrund einer Tatsache, die weit in der Zukunft liegt, jetzt mein Verhalten zu ändern: Das ist es, was ich als Rationalität bezeichnen würde. Und man sieht an kleinen Kindern, wie schwer es ist, so etwas zu lernen. Es ist völlig vereinbar, zu untersuchen und festzustellen, welches die neuronalen Mechanismen sind, die uns zu diesem Verhalten in die Lage versetzen, und gleichzeitig darauf zu bestehen, dass es sich hierbei um eine Form von Rationalität handelt, die im Lichte von Gründen reversibel ist. Und wenn Rationalität der Kern von freien Entscheidungen ist, dann sehe ich auch nicht, dass das Beispiel gegen freie Entscheidung spricht.

»Solange eine Entscheidung nicht gefallen ist, hätte sie auch völlig anders ausfallen können.«

Singer: Also, dies ist ja offensichtlich ein sich in die Zukunft hinein entwickelnder Spiralprozess: Das Gehirn bereitet etwas vor, es gibt einen Satz von Attraktoren, und plötzlich hat sich eine Lösung herauskristallisiert, und es wird einem bewusst, dass es wirklich wichtig ist, etwas für Weihnachten zu finden: In dem Moment, in dem das bewusst wird, ist eine Prioritätenentscheidung gefallen, die ihrerseits sofort abgespeichert und für den nächsten Prozess, der sich vorberei-

tet, wirksam wird. Das, was als Entscheidungsergebnis plötzlich im Bewusstsein aufblitzt, wird sofort zur Vergangenheit und determiniert den nächsten Prozess wieder mit. Wir gehen also ständig von vorbeireitenden Prozessen zu kurzen Bewusstseinsblitzen, die ihrerseits dann wieder zur Vergangenheit werden und die die nächste Zukunft vorbereiten. Hierbei scheinen immer nur die Ergebnisse ins Bewusstsein zu kommen und nicht die Verarbeitungsprozesse, die noch nicht das nötige Maß an Kohärenz und Klarheit gewonnen haben. Da es sich dabei um neuronale Prozesse handelt, ist jeder kleine Prozessschritt von den jeweils vorherigen Schritten fast vollständig determiniert. Da diese Prozesse aber eine hoch nicht-lineare Dynamik aufweisen, sind die Bewegungstrajektorien des Gesamtsystems in seinem vieldimensionalen Zustandsraum nicht festgelegt. Das System ist in die Zukunft hinein völlig offen: Solange eine Entscheidung nicht gefallen ist, hätte sie auch völlig anders ausfallen können. Das nehmen wir an uns wahr und schreiben uns somit freies Entscheidenkönnen zu.



? Herr Willaschek, es scheint, als seien Sie ganz entspannt und empfinden die Äußerungen der Neurowissenschaftler gar nicht so sehr als ernsthaften Angriff auf das Menschenbild. Gibt es also – nach den Kränkungen des Menschen durch Kopernikus, durch Darwin, durch Freud – gar keine neurowissenschaftlich begründete Kränkung?

Willaschek: Da muss man unterscheiden zwischen den medienwirksamen Kurzstatements und den Ergebnissen neurowissenschaftlicher Forschung. Natürlich sind viele dieser Kurzstatements Provokationen, die auch nicht unkommentiert so stehen bleiben können und die meines Erachtens irreführend und falsch sind.

Singer: Die auch nicht von Neurowissenschaftlern formuliert worden sind! Die ganzen Schlagzeilen, die

verkürzten Botschaften, die kommen von den Journalisten!

Willaschek: Eine Provokation, aber eben eine unbegründete, ist eine Aussage wie: Der freie Wille ist eine Illusion. Das halte ich für unzulässig, es folgt aus keiner empirischen Forschung und scheint mir einfach falsch zu sein! Das allermeiste jedoch, was die Hirnforschung untersucht, betrifft das normale Funktionieren des menschlichen Gehirnes, und da kann man als Philosoph viel lernen. Aber es gibt schon einen Punkt, der so etwas wie eine Kränkung, jedenfalls eine Infragestellung von tradierten Selbstbildern, bedeutet: Dass unser Bewusstsein tatsächlich in einem Maße selektiv ist, das wir uns normalerweise nicht träumen lassen! Nun ist diese Kränkung – nach dem, was wir durch Nietzsche und Freud und andere schon gelernt haben – heute nicht mehr schockierend, damit haben wir zu leben gelernt. Wichtig ist, dass wir uns einerseits für diese Ergebnisse öffnen, sie aber auch nicht überinterpretieren und daraus den Schluss ziehen, dass Rationalität nur ein vorgeschobener Mechanismus ist, dass es sozusagen nur Rationalisierung und nicht rationale Entscheidungen gibt: Das ist eine Überinterpretation und die erscheint mir einfach nicht richtig!

Prof. Dr. Marcus Willaschek ist überzeugt, dass die Hirnforschung die Willensfreiheit nicht in Frage stellen kann [siehe auch seinen Beitrag auf Seite 51].

Singer: Das hat aber auch niemand behauptet! Entscheidungen laufen ja auf unterschiedlichen Ebenen ab: Die im Unterbewusstsein ablaufenden Abwägungsprozesse laufen wahrscheinlich nach relativ einfachen kompetitiven Gesetzen ab:



Der stärkste Attraktor gewinnt. Dagegen sind die bewussten Prozesse enorm reguliert durch Sprachkonventionen, durch Sprachlogik, durch Vereinbarungen, wie man zu

denken hat. Solche Erkenntnisse sollten dazu führen, uns toleranter zu machen! Diese Überbewertung der nur rationalen Prozesse in der Philosophie! Ich verstehe ja, dass die Philosophie, die sich allein auf Sprache stützen muss, das höchste Primat in einem sauber formulierten, logisch konsistenten Aussagesatz sehen muss. Das ist das Werkzeug, mit dem Sie umgehen! Für uns sieht das eben vielschichtiger aus, weil wir den Aufwand sehen, den ein Gehirn treibt, um Sprache zu ermöglichen: Was bei Ihnen Hauptthema ist, nämlich das sprachlich Formulierbare, ist nur das »Sahnehäubchen« auf einem riesigen Untergrund von komplexen Prozessen, die unser Handeln steuern.

? Ungeachtet der sachlichen Differenzen begegnen Sie beide sich mit großer Offenheit und beträchtlichem Wohlwollen, und das ist gut für die Forschung an gemeinsamen Phänomenen in verschiedenen Disziplinen an unserer Universität. Im transdisziplinären Dialog scheinen Vorwürfe wie »unzulässige Reduktion des Menschen auf materialistische Faktoren« einerseits und »philosophische Gedankenpolizei« andererseits passé zu sein.

Singer (scherzt): Die werfen uns Kategorienfehler vor, und dann ist der Fall erledigt!

? Herr Willaschek, ist dieses Entgegenkommen, diese neue Offenheit nicht auch der Entscheidung für ein bestimmtes philosophisches Konzept geschuldet, das Willensfreiheit ausschließlich als »Anders-Handeln-Können« betrachtet? Müssen wir nicht unter Willensfreiheit etwas Stärkeres verstehen, so etwas wie radikale Autonomie, also die Fähigkeit, sich ein Lebensziel, einen Plan aus reiner vernünftiger Selbstbestimmung geben zu können?

»Es gibt einfach gute Gründe für dieses gemäßigte Konzept von Willensfreiheit.«

Willaschek: Es ist natürlich richtig: Wer wie die Libertarianer einen sehr starken Begriff von Willensfreiheit für den philosophisch über-

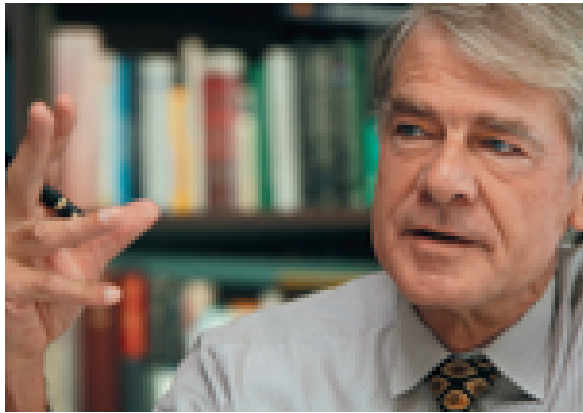
zeugenden hält, der hat es schwer, sich auf die Ergebnisse der neurobiologischen Forschung einzulassen. Die empirischen Wissenschaften setzen aber gar keinen allgemeinen Determinismus voraus, sondern erfordern nicht mehr als lokale deterministische Systeme – und nach allem, was wir wissen, ist das Gehirn ein solches System. Insofern gibt es im Lichte des gegenwärtigen Kenntnisstandes, aber auch aus internen philosophischen Gründen, die ich hier jetzt nicht alle nennen kann, einfach gute Gründe für dieses gemäßigte Konzept von Willensfreiheit, von dem ich glaube, dass es zugleich ein maximales Konzept von Willensfreiheit ist. Allerdings sollten nicht nur diejenigen, die wie ich einen kompatibilistischen Begriff der Willensfreiheit vertreten, sondern auch diejenigen, die einem inkompatibilistischen, libertarianischen Begriff anhängen, in eine Diskussion eingebunden werden, die über diese gegenseitigen Verdächtigungen und schlagwortartigen Thesen hinausgeht. Auch solche Positionen – so problematisch sie ansonsten sein mögen – verdienen Beachtung, da sie tief sitzende Intuitionen philosophisch artikulieren, die wir ebenfalls ernst nehmen müssen.

? Wie lässt sich denn der Dialog der beiden Kulturen verbessern?

Singer: Was uns in Zukunft helfen könnte: Wir Hirnforscher müssen natürlich mehr begreifen, dass die Gehirne so, wie sie in einem erwachsenen Menschen vorliegen, in ihren Leistungen nachhaltig durch ihr Ausreifen in einem kulturellen Umfeld mitbestimmt sind. Das ist sehr wichtig und auch für die Definition des Selbst essentiell. Ein Neurobiologe würde das Selbst, das Ich, niemals in einem Gehirn verorten können, weil das ein Phänomen ist, das nur aus der sozialen Interaktion heraus entstehen kann. Wir Neurobiologen fangen erst ganz zaghaft an, die soziale Einbettung dieses Organs zu sehen, etwa durch »social neurobiology«, Empathieforschung und Interaktionsforschung.

Willaschek: Ich habe den Eindruck, dass Sie das Phänomen des Selbst unterbestimmen: Natürlich gibt es keine soziale Interaktion ohne neu-

Prof. Dr. Wolf Singer untersucht die neuronalen Grundlagen von Wahrnehmungsprozessen und lauscht den synchronisierten Antworten aus der Großhirnrinde [siehe auch seinen Beitrag auf Seite 45].



ronale Aktivität, aber gerade durch die Dimension des Sozialen kommen Faktoren ins Spiel, die sich nicht ohne weiteres neuronal reduzieren lassen. Und dasselbe gilt eben auch für Entscheidungsprozesse, für Rationalität: Ich halte auch den Begriff der Rationalität für einen sozialen Begriff. Sie hatten vorhin schon einmal auf den Restdualismus der Philosophen hingewiesen: Rationale Argumente gehören zwar nicht in einen »platonischen Himmel«, sind aber doch von grundsätzlich anderer Art als neuronale Prozesse. Und zwar deshalb, weil Argumente gute oder schlechte, richtige oder falsche, logisch stimmige oder logisch unstimmige Argumente sein können, und das sind Unterscheidungen, die sich auf Gehirnvorgänge nicht in derselben Weise anwenden lassen. Beide Seiten, beide Kulturen müssen hier versuchen, eine gemeinsame Sprache zu finden.

»Wir werden nicht einmal eine gemeinsame Sprache finden, sondern wir werden uns darauf einigen müssen, welche Phänomene in welcher Sprache angesprochen werden müssen.«

Singer: Wir werden nicht einmal eine gemeinsame Sprache finden, sondern wir werden uns darauf einigen müssen, welche Phänomene in welcher Sprache angesprochen werden müssen. Wir wissen sehr gut, dass komplexe Systeme völlig neue Phänomene hervorbringen können. Insbesondere wenn sie anfangen, miteinander zu interagieren, können neue Realitäten entstehen, die verschiedenen ontologischen Schichten angehören. Diese müssen dann auf andere Weise be-

schrieben werden als die Prozesse, die sie hervorgebracht haben. Wenn Sie von einem Argument sprechen, dann ist das natürlich ein Phänomen, das nur in einem sozialen Umfeld existieren kann. Um aber dann auf Entscheidungsprozesse wirken zu können, müssen Argumente übersetzt werden in neuronale Erregungsmuster, in Erinnerungen, in Gespeichertes. Und dann wird auch dieses Argument herunter transformiert auf neuronale Aktivitätsmuster, die dann ihrerseits eine Entscheidung vorbereiten. Man muss halt immer wissen, auf welcher Ebene man sich gerade bewegt, wenn man spricht, und da sind wir alle viel zu wenig vorsichtig. Wir tendieren leider zum intentionalen Aufladen: Wir sprechen von Neuronen, die etwas »sehen« und von dem neuronalen Netzwerk, das etwas »will«, einfach, weil es uns den Umgang mit dem Substrat leichter macht.

? Herr Singer, in der Hirnforschung macht die »Kartierung des Geistes«, ermöglicht durch moderne bildgebende Verfahren, enorme Fortschritte. Für wie relevant halten Sie denn Experimente, bei denen nicht nur höhere kognitive Funktionen wie Erinnern oder Vorstellen untersucht werden, sondern ganz gezielt nach neuronalen Korrelaten für ethisches Verhalten und spirituelle Werte gesucht wird? Und überspitzt gesagt: Wird die Suche nach dem »Gottesmodul« erfolgreich sein?

Singer: Anlässlich einer Tagungsvorbereitung befasse ich mich derzeit auch mit buddhistischen Mönchen, die ja professionelle Praktiker der Meditation sind. Mit ihren Mentaltechniken können sie Hirn-

zustände nachhaltig verändern. Inzwischen gibt es wirklich gute Untersuchungen elektroenzephalografischer Korrelate von meditativen Zuständen. Als ich diese Daten zum ersten Mal gesehen habe, habe ich an Artefakte gedacht: Das sieht phantastisch aus! Die Mönche können offenbar, weil sie soviel geübt haben, diese Zustände willentlich ein- und ausschalten. Dann sieht man hochsynchronisierte Phasen von Hirnaktivität, in diesem Fall synchronisierte Gamma-Oszillationen über zentralen Hirnrindengebieten! Wenn wir Ungeübte unsere Aufmerksamkeit auf etwas richten, synchronisieren wir unsere sensorischen Areale. Den Mönchen gelingt das mit ihren zentralen Verarbeitungsstrukturen. Sie können offenbar interne Repräsentationen in den Fokus ihrer Aufmerksamkeit nehmen und festhalten! Auf dieser Tagung werden wir hierzu weitere Forschungsprojekte initiieren.

? Wie bewerten Sie denn die Auswirkung solcher Unternehmen? Ist das so etwas wie eine naturwissenschaftliche Rechtfertigung der Theologie ... ?

Singer (dazwischen): Nein!

? ... oder umgekehrt eine Rechtfertigung der Religionskritik? Kann man sagen, wir haben hier ein natürliches Substrat religiöser Überzeugungen, deren biologische Verankerung wir nun nachweisen können?

Singer: Es geht hier erstmal nur um eine Technik des mentalen Trainings, des Sichkonzentrierens auf sich selbst; und die wird von allen Weltreligionen ausgenutzt, ob als Schweigewochen in katholischen Exerzitien oder als meditative Sitzungen in ZEN-Klöstern. Es geht jetzt nur darum, mit naturwissenschaftlichen Methoden nach robusten, kognitiven Leistungen zu suchen und zu prüfen, ob diese sich unter dieser Praxis verändern. Es gibt feste Messvorschriften dafür, wie man aufmerksamkeitslenkende Mechanismen untersucht. Damit kann keinesfalls ein »Gottesbeweis« begründet werden. Aber letztlich wüssten wir – viel basaler angesetzt – schon gerne, was das Kennzeichen jener neuronalen Erregungszustände ist, die das Gehirn als ein

Ergebnis betrachtet, als: »That's it!« (schnippt mit dem Finger). Das Gehirn muss ein internes Maß dafür haben – aber keiner kennt die neuronale Signatur dafür!

? Herr Willaschek, könnte diese Forschung einen Beitrag leisten zum Wahrheitsanspruch bestimmter Überzeugungen oder für die Begründung eines Werturteils?

Willaschek: Man kann diese neurowissenschaftlichen Ergebnisse in beide Richtungen interpretieren, insofern sind sie einfach nicht aussagekräftig für den Wahrheitsanspruch religiöser Aussagen oder die Berechtigung moralischer Urteile. Ich denke, diese verhalten sich dazu völlig neutral. Es sind zwar interessante Untersuchungen, aber ich halte es für ausgeschlossen, dass man damit etwas Wichtiges beweisen kann, das bisher strittig gewesen ist.

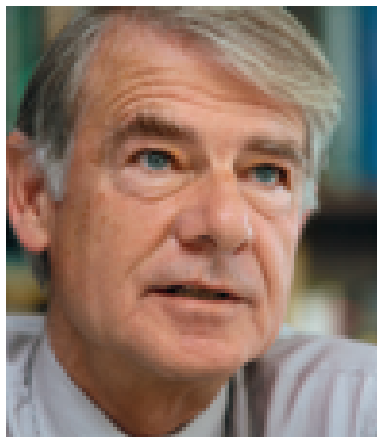
? Würde Sie das reizen: in einem Kernspintomografen zu liegen, um Ihre eigenen geistigen Prozesse einmal aus der Sicht des Neurowissenschaftlers zu beobachten?

Willaschek: Es reizt mich eigentlich nur wenig: Da meine neuronalen Prozesse sich nicht wesentlich von denen anderer Leute unterscheiden, kommt es gar nicht darauf an, ob ich darin liege oder jemand anderes. Das heißt, ich erfahre nichts Spezifisches über mich, sondern etwas, was eben den meisten Menschen gemeinsam ist. Da ich aber als Philosoph an diesen Themen interessiert bin und Methodenkenntnis wichtig ist, möchte ich schon wissen, wie das funktioniert. Gemeinsam mit Prof. Henrik Walter, der am Brain Imaging Center tätig ist, haben wir schon überlegt, ob wir künftig auch unsere Doktoranden von der einen zur anderen Seite schicken, um den Erkenntnis Austausch zu fördern.

? Der Dalai Lama, sozusagen ein Spezialist für spirituelle Erfahrungen, hat kürzlich in einem Interview empfohlen, dass naturwissenschaftlich arbeitende Bewusstseinsforscher auch Meditationstechniken intensiv einüben sollten, um so einen anderen Zugang zu ihrem For-

schungsobjekt zu bekommen; dies wäre ein Gewinn für die naturwissenschaftliche Beschreibung von Bewusstseinsprozessen. Herr Singer, empfehlen Sie dies auch Ihren Doktoranden am Max-Planck-Institut für Hirnforschung?

Singer: Ich bin letztes Jahr einmal zehn Tage in so ein ganz strenges ZEN-Regime gegangen: also acht Stunden am Tag vor der weißen Wand meditieren, nicht sprechen, kein Blickkontakt. Das macht etwas Nachhaltiges mit einem, gar keine



Frage! Ich glaube aber nicht, dass wir das jetzt als Lehrprogramm zur besseren Verständigung mit den Philosophen einführen sollten. Um den Diskurs mit den Geisteswissenschaften zu verbessern, ist in der Tat ein Austausch von Doktoranden und das Abhalten von gemeinsamen Seminaren die einzig mögliche Strategie. Wir müssen mehr voneinander wissen und zwar im persönlichen Kontakt!

Deshalb holen wir an das Frankfurt Institute for Advanced Studies auch »philosophers in residence«, wie jetzt den Bewusstseinsphilosophen Thomas Metzinger, die den Naturwissenschaftlern philosophische Hintergründe vermitteln sollen, damit sie schon relativ früh sehen, dass es da jenseits der Oszillografen und Differentialgleichungen noch eine ganze Welt gibt, in der sich Menschen bewegen und in der es auch Wichtiges zu entdecken gibt.

? Frankfurt stellt in Bezug auf Neurowissenschaften einen starken Forschungsstandort dar und hat einen bedeutenden Schwerpunkt in der Philosophie: Da könnte es doch auch gemeinsa-

me Forschungsprojekte geben. Verspüren Sie hier eine Aufbruchstimmung?

Singer: Mein Gefühl ist schon, dass wir jetzt in einer Aufbruchphase sind und dass wir ernst machen müssen mit dem Versuch, die Welt aus unterschiedlichen Beschreibungsperspektiven zu betrachten. Ich bin ein starker Anhänger der Hypothese, dass sich die kulturelle Evolution aus der biologischen kohärent fortgesetzt hat und dass die Welt doch irgendwie kohärent sein muss und nur aufgrund der unterschiedlichen Erkenntnisquellen in unterschiedlichen Beschreibungssystemen abgebildet wird! Die Philosophie, die Soziologie und die Naturwissenschaften schauen also auf die gleiche Welt, aber sie tun das mit anderen Werkzeugen. Ich glaube, wir können mit den Kollegen, die bei Herrn Willaschek Erkenntnistheorie betreiben, einen sehr fruchtbaren Dialog führen.

? Gibt es da auch die Möglichkeit einer »neuen Frankfurter Schule«, einer »neurophilosophischen Frankfurter Schule«? Für die alte Frankfurter Schule waren ja philosophische Reflexion und Erkenntnistheorie verbunden mit empirischer Sozialforschung. Könnten da die Neurowissenschaften als empirische Basis auftreten?

Singer: Wir brauchen die Sozialwissenschaften schon auch! Wir brauchen ein Trio! Wenn man, wie ich es vor kurzem auf einer Studienstiftung-Sommerakademie erlebt habe, Phänomene wie Bewusstsein, freier Wille, Traum aus drei verschiedenen Perspektiven – der neurobiologischen, der psychoanalytischen und der soziologischen – anschaut, ist das faszinierend. Man erkennt Brücken, man muss es nur probieren!

? Also spielt die soziale Dimension des Denkens eine wichtige Rolle?

Singer: Natürlich! Wir sind, was wir sind, weil wir zwar mit Hirnen geboren wurden, die mit denen von Steinzeitmenschen genetisch identisch sind, aber dann sozialisiert worden sind in einer völlig anderen Welt. Alles, was ein Gehirn weiß,

das Programm, nach dem es arbeitet, wird festgelegt durch die Art, wie Nervenzellen miteinander verbunden sind und wie effektiv diese Verbindungen sind. Mehr ist es nicht! Aber wer mit wem verbunden ist und wie stark, bestimmen nicht nur die Gene. Entscheidend sind auch die Einflüsse von Erziehung, von Umwelt, von Erfahrung, die 20 Jahre lang die Entwicklung dieses Organs prägen. Umfassende Forschung am Menschenhirn muss diesen Entwicklungsprozess und die ganzen Wechselwirkungen miteinander beiziehen.

»Es gibt eine Art von Aufbruch, und ich sehe viele Möglichkeiten der Zusammenarbeit.«

Willaschek: Ich freue mich sehr, dass Sie die Kooperationsmöglichkeiten so positiv beurteilen. Ich glaube auch, dass es eine Art von Aufbruch gibt und sehe viele Möglichkeiten der Zusammenarbeit: in

der Erkenntnistheorie, in der Philosophie des Geistes oder in Fragen der Willensfreiheit. Auf Seiten der Philosophie gibt es für die empirische Forschung eine größere Offenheit als noch vor zehn oder 20 Jahren. Allerdings wird es weiterhin spezifisch philosophische Fragen geben: Fragen der Begriffsexplikation oder normative Fragen mit ethischen Dimensionen. Und da haben Philosophen eine Kompetenz, die sich nicht ersetzen lässt, weder durch sozialwissenschaftliche noch durch naturwissenschaftliche Forschung.

Singer: Ersetzbar ist, glaube ich, überhaupt nichts! Keine der Disziplinen ersetzt eine andere. Es wäre absurd, Hirnforschung betreiben zu wollen und zu sagen, wir werden in Zukunft dann die Verhaltensforschung ersetzt haben, oder die Psychologie. Nein! Wir Neurowissenschaftler wüssten gar nicht, was wir tun sollten, wenn wir nicht die Taxonomie der Phänomene hätten, die die Psychologie isoliert hat.

Willaschek: In der Tat. Und auch die Philosophie liefert eine spezifische Form der Fragestellung, die in diesem Konzert von Wissenschaften wichtig ist. Die Philosophie muss nicht einfach nur zur Kenntnis nehmen, was in den Naturwissenschaften geforscht wird, sondern sie verfügt über die notwendigen Ressourcen, um zum Beispiel bei Fragen nach der Möglichkeit eines freien Willens oder der Rolle des Bewusstseins für das menschliche Selbstverständnis unsere vortheoretischen Intuitionen zu artikulieren und aufzuklären. ♦



»Eng ist die Welt, und das Gehirn ist weit«

Vom Unfug des gefesselten Willens – Ansichten eines Arztes

Seit mehr als hundert Jahren wird über die Beziehungen zwischen Körper und Geist, über psycho-physische Kausalität versus psycho-physischen Parallelismus debattiert. Damals wurde zwischen Naturwissenschaftlern und Philosophen bereits heftig über die Frage der Beziehung psychischer Funktionen und Nervensystem gestritten. Besonders eindrucksvoll kommt dies in der Rektoratsrede des berühmten Leipziger Arztes und Hirnforschers Paul Flechsig 1894 zum Ausdruck: »Die Ärzte werden sich in ihren Überzeugungen nicht berirren lassen dürfen, wenn auch gegenwärtig zahlreiche philosophische Psychologen die innere Begründung, den logischen Aufbau der medicinischen Hirn- und Seelenlehre zweifelnd bemängeln, wenn der Dialektiker von heute mitleidig herablickt auf den Forscher, welcher der ›Seele‹ einen besonderen Sitz im Körper zuzuweisen trachtet.« Es ist gerade diese In-

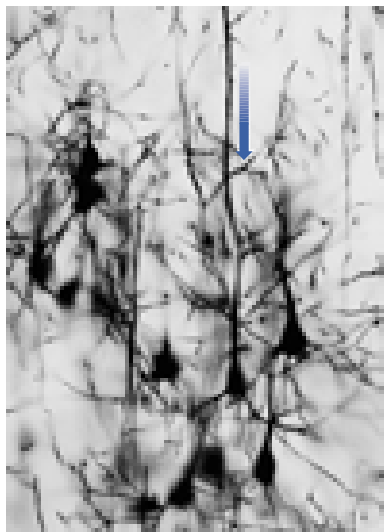
attention der Forscher, die sich in den folgenden Jahrzehnten bis heute als weiterführend und erfolgreich erwiesen hat.

Es geht um das Selbstverständnis der Hirnforschung. Die neuen bildgebenden Methoden der neurologischen Forschung und die mit diesen Methoden bei gesunden Probanden und in krankhaft veränderten Gehirnen erzielten Ergebnisse haben einige Hirnforscher zu der übermütigen These verleitet, man könne aus den Bilddaten psychische Phänomene ablesen. Von beispielloser Hybris zeugt das weitergehende Ansinnen, die moderne Hirnforschung könne ein neues Menschenbild etablieren. Wolfgang Prinz, Direktor am Max-Planck-Institut für Kognition- und Neurowissenschaften in München, ist diesem Anspruch der aktuellen Hirnforschung 2004 entschieden und mit guten Gründen entgegengetreten. Die Hirnforschung fördert zwar eine überwältigende, kaum mehr zu erfassende

Fülle von Details, von der Bildgebung und ihrer funktionellen Korrespondenz über die Biochemie der Transmitter, die Prozesse an den Synapsen und die auf neuronaler Ebene wirksamen genetischen Aktivitäten zutage, aber von einem Gesamtbild der Arbeitsweise des Gehirns ist sie weit entfernt. Ein neues Menschenbild zu entwerfen, wäre Sache der Anthropologie, der Philosophie, der Psychologie. Die Hirnforschung ist hierzu weder kompetent noch reif.

Sprache der Neuronen nur beschreiben, aber noch nicht entschlüsseln

Wo steht die Barriere, an der die Neurobiologie in ihrem Anspruchdenken die Waffen strecken muss? Die Kenntnis noch so genauer Bilddaten und noch so fein differenzierter Netzwerke und ihrer Aktivität gibt keine Auskunft darüber, was die elektrophysiologisch registrierten Erregungs- oder Hemmungs-



1 2 Neuronale Netzwerke in der Großhirnrinde des Menschen, dargestellt durch Silberimprägnation nach Golgi-Cox. Die Golgi-Methode wurde 1873 von Camillo Golgi erfunden. Sie stellt die Nervenzellkörper und die von ihnen ausgehenden Zellfortsätze (Axone und Dendriten) dar. Je nach Variation der Methodik werden entweder besonders die Nervenzellkörper 1 oder das Flechtwerk der Zellfortsätze 2 angefärbt. Die Synapsen sind in Form der Dornfortsätze stellenweise sichtbar (Pfeil). Dabei entspricht jedem »Dorn« eine Synapse. Eine einzige große Nervenzelle kann bis zu 10 000 Synapsen an ihrem Dendritenbaum tragen. Dies ist 320fache Vergrößerung.



prozesse oder die im funktionellen Kernspintomogramm sichtbare hohe oder niedrige Aktivität für den dazugehörigen Menschen im gegebenen Zeitpunkt bedeuten. Wir können die Sprache der Neuronen und neuronaler Netzwerke heute zwar beschreiben, hören und sehen, aber wir haben keinen Schlüssel zu ihrer Semantik, zu ihrem Code.

Alle neuronalen Aktivitäten in der Großhirnrinde (Cortex cerebri), dem Ort kognitiver und sprachlicher Leistungen, spielen sich in Form neuronaler Impulse ab. Heute können Impulsbildung, Impulsfrequenz, Impulsweitergabe und Impulsverarbeitung nicht nur in neuronalen Netzwerken, sondern auf Einzelzellniveau genauestens analysiert und aufgezeichnet werden. Diese Vorgänge lassen uns die »Sprache der Neuronen« verbindlich erkennen, sie enthalten keine Information über die *Bedeutung* der ablaufenden und aufgezeichneten Vorgänge für das Individuum. Diese Tatsache bleibt bestehen, auch wenn das Auflösungsvermögen der bildgebenden Verfahren in der Hirnforschung um den Faktor 10

oder 100 erhöht werden könnte. Es ist zwar ein Fortschritt, zu wissen, an welchen Stellen der riesigen »Benutzeroberfläche« der Großhirnrinde neuronale Netzwerke gerade aktiviert sind und welche und wie viele Nervenzellen hieran beteiligt sind, aber wir können daraus nicht mit Sicherheit ableiten, was diese Aktivitäten für das Individuum *bedeuten*. So kann eine einzige, beispielsweise inhibitorisch wirkende neuronale Impulsserie in einem lokalen neuronalen Netzwerk den psychischen Zustand eines Menschen und damit auch sein Verhalten in den nächsten Sekunden, Minuten oder Tagen modifizieren oder sogar umkehren, ohne dass sich der *Aktivitätsgrad* des Netzwerks erkennbar ändert. Dies gilt für sprachliche und motorische Aktivitäten gleichermaßen.

»Eng ist die Welt, und das Gehirn ist weit«, sagt Friedrich Schiller (Wallensteins Tod, 2. Aufzug, 2. Auftritt). Früher habe ich diesen Satz nicht richtig verstanden, jetzt verstehe ich ihn: Das funktionelle Potenzial des Gehirns, seine Wahrnehmungen, seine Erkenntnisse, seine schöpferischen Leistungen, seine gedanklichen Bewegungen, sein angepasstes oder antizyklisches Verhalten, sein In-Frage-Stellen umfassen und bedeuten viel mehr als die dingliche Welt mit ihren engen physikalischen, chemischen und biologischen Gesetzmäßigkeiten. Die kognitiven Leistungen setzen sich über sie hinweg – auch kontraproduktiv und »gegen alle Vernunft« – sie folgen ihren eigenen Intentionen, ihren eigenen Bewegungen und Zielen. Fast habe ich den Eindruck, dass sich Max Planck (1858–1947) in seinem großartigen Vortrag »Determinismus oder Indeterminismus« auf diese Erkenntnis Schillers bezieht, wenn er, als Naturwissenschaftler und Physiker, nachdem er den Determinismus verteidigt hat, sagt: »Gedanken sind feiner als Atome und Elektronen, in Gedanken vermögen wir ebenso leicht einen Atomkern zu spalten wie eine kos-

mische Distanz von Millionen Lichtjahren zu überspringen... In dem unermesslichen Reich der Gedankenwelt nimmt die Natur nur einen ganz schmalen Bezirk ein.«

Als Arzt ist es für mich selbstverständlich, davon auszugehen, dass das Gehirn als Teil dieses unseres Universums in seiner Entstehung und in seiner Funktion kausalen Gesetzen unterworfen ist, dass es sowohl in seiner Entwicklung als auch in seiner Arbeitsweise an diese Gesetze gebunden, also determiniert ist. Ich wäre sowohl im Studium als auch in meiner Tätigkeit als Arzt an der Welt irre geworden, wenn ich nicht Diagnose und Therapie auf dieser Prämisse aufgebaut hätte. Aber ebenso wäre ich irre an der Welt um mich geworden, wenn ich an der Existenz meines freien Willens gezweifelt hätte.

Wenn sich ein Arzt und Naturwissenschaftler mit dem Problem des freien Willens befasst, muss er sich zur Wirksamkeit von Kausalketten bekennen, wie sie in allen Naturbereichen erkennbar sind. Dazu gehört das Bekenntnis zur Determiniertheit aller Vorgänge in der Natur, natürlich auch im Gehirn als Teil dieser Natur. Wer viele Jahre lang wie ich aus diagnostischen Gründen die Nervenzellen, ihre Verbindungen und Schaltstellen und ihre Netzstruktur im menschlichen Gehirn untersucht hat, auch elektronenmikroskopisch, ja berufsbedingt untersuchen musste, um krankhafte Veränderungen nachzuweisen oder auszuschließen, weiß, wovon er spricht. Die ungeheure Differenziertheit der Verbindungen, Verzweigungen und Vernetzungen neuronaler Zellen und ihrer Fortsätze schon im Bereich eines tausendstel Millimeters und die Extrapolation dieser Struktur auf die gesamte Großhirnrinde (Neocortex), also den Ort der Entstehung kognitiver Vorstellungen und Leistungen, übersteigt jedes Vorstellungsvermögen. Sie ist durchaus vergleichbar mit astronomischen Dimensionen, wie man sie bei der Betrachtung des nächtlichen Sternenhimmels erlebt.

In einem Würfel des cerebralen Cortex von 1 Millimeter Kantenlänge befinden sich etwa 150 000 Nervenzellen mit 450 Meter Dendriten, 3000 Meter axonalen Zellfortsätzen und etwa 10 Milliarden Synapsen. Wenn die hier ablaufenden Vorgänge nicht kausalen Regeln folgen würden, wäre der Beliebigkeit aller neuronalen Aktionen Tür und Tor geöffnet, die Folge wäre ein neuronales und damit funktionelles Chaos.

Wie verhalten sich neuronale und psychische Phänomene zueinander?

Ist es heute noch möglich, die Gleichzeitigkeit somatischer und psychischer Vorgänge anzuzweifeln, ist es also möglich, zu behaupten, Aktivitäten in Neuronen, neuronalen Ketten oder Netzwerken produzierten psychische Phänomene, brächten sie hervor – wie die Niere den Urin, haben Spötter dieser Auffassung schon Anfang des letzten Jahrhunderts gesagt? Nein, neuronale und psychische Phänomene sind gleichzeitig, sie sind identisch, sie verhalten sich zueinander wie die konvexe und konkave Oberfläche einer Kugelhalbschale. Sie erweisen sich nur in Abhängigkeit von der angewandten Untersuchungsmethode als verschieden. Wäre dies nicht so, wäre eine psycho-physische (und physiko-psychische) Aufeinanderfolge von Ereignissen gültig, dann gäbe es kurzzeitig, wenn auch nur für Sekundenbruchteile, vom neurobiologischen Substrat losgelöste psychische Phänomene. Nein, der von René Descartes begründete Dualismus, nach dem sich Natur und Geist als zwei eigenständige Entitäten gegenüber stehen, ist tot,

er lässt sich auch nicht wiederbeleben.

Damit ist noch nichts über die Bedingtheiten und Ursachen dieser Vorgänge gesagt. Aus naturwissenschaftlicher Sicht kann aber die Überzeugung vertreten werden, dass sie kausal verbunden, also determiniert sein müssen. Ich respektiere das nicht nur im Bereich der regulären Funktion des Gehirns, sondern ebenso auf dem Gebiet krankhafter Störungen. Wie könnte ich als Arzt tätig sein, wenn ich nicht versuchen würde, bei einem Patienten mit lebensgefährlichem Bluthochdruck die mir bekannten Ursachen und Risikofaktoren zu überprüfen und eine medikamentöse Therapie einzuleiten, von der erwiesen ist, dass sie die Blutdruckwerte senkt, und diese Therapie zu überprüfen, notfalls zu ändern? Würde ich dem Patienten gut zurechnen, seine Störungen auf das Erdmagnetfeld zurückzuführen und Salbeitee verordnen, hätte ich meinen Beruf verfehlt.

»Zonen des Schweigens« oder die Grenzen der bildgebenden Verfahren

Die aktuelle Hirnforschung ist durch ihre methodischen Fortschritte, besonders durch die elektrophysiologischen Methoden mit Einzelzellableitung von Neuronen und durch die bildgebenden Verfahren [siehe »Ausgewählte Methoden der Hirnforschung im Überblick«, Seite 78], die Wahrnehmungen kognitiver und sprachlicher Leistungen des Gehirns ohne Eingriffe sichtbar machen, einige ganz große Schritte vorwärts gegangen, man könnte sogar sagen: gesprungen. Einigen Wissenschaftlern sind offensichtlich diese neuen Errungenschaften der

Hirnforschung zu Kopf gestiegen und haben sie zu der Feststellung veranlasst, die Brücke zwischen hirnhypophysologischen und psychischen Vorgängen sei nun geschlagen, und man könne nun aus den Untersuchungsergebnissen am Gehirn psychische Phänomene ablesen. Das geht so weit, dass in rechtsmedizinischen Fragen die forensische Psychiatrie aufgrund der Ergebnisse bildgebender Untersuchungen am Gehirn angeblich in die Lage versetzt sein sollte, zur Schuldfähigkeit eines Angeklagten Stellung zu nehmen. Dies ist ein Zeichen der Unkenntnis der gegenwärtigen Leistungsfähigkeit bildgebender Verfahren, die längst noch nicht in der Lage sind, neuronale Netzwerke, die Träger kognitiver Prozesse, darzustellen. Die erreichbare Schichtdicke liegt bei 1 bis 2 Millimeter, die Auflösung in der



3 Das neuronale Netzwerk wird im Elektronenmikroskop in Form dicht gepackter »Anschnittprofile« sichtbar. Die neuronalen Zellfortsätze sind in verschiedenen Richtungen angeschnitten. Das Bild zeigt eine 22 500fache Vergrößerung.

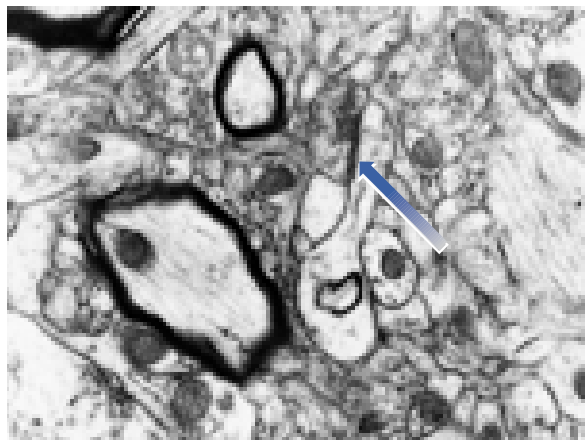
Fläche bei 1 Millimeter, höchstens 0,7 Millimeter, während die funktionstragenden neuronalen Netzwerke eine Ausdehnung von 0,1 bis 0,2 Millimeter haben, also nicht erkennbar sind.

Die Elektronenmikroskopie in der Hirnforschung

Neuronales Netzwerk der Großhirnrinde des Menschen im elektronenmikroskopischen Bild: Die Technik der elektronenmikroskopischen Untersuchung wurde 1952 in die Neurobiologie und Neuropathologie eingeführt. Sie setzt eine Imprägnation des Gewebes mit Plastik (hier: Epoxidharz) voraus, das nach der Imprägnation aushärtet. Von diesen Plastikblöcken werden im Ultramikrotom 300 bis 500 nm (Nanometer) dünne Schnitte, Ultradünnschnitte, hergestellt. Sie werden im Elektronenmikroskop mit den auf 60 bis 80 kV (Kilovolt) beschleunigten Elektronen durchsetzt, von elektromagnetischen Feldern, die als Linsen wirken, vergrößert und auf Leuchtschirmen

oder durch Digitalkameras aufgefangen. Die aufgelösten Strukturen können 1000fach bis 200 000fach vergrößert werden.

Das Elektronenmikroskop hat eine neue Welt der Ultrastruktur normaler und pathologisch veränderter Strukturen erschlossen und wird mit großem Erfolg in der anatomischen und pathologischen Forschung eingesetzt. Im Gehirn hat es mit der Abbildung der Synapsen (Kontaktstellen) den letzten Beweis für die Richtigkeit der Neuronentheorie geliefert: Die Fortsätze von Nervenzellen sind nicht kontinuierlich miteinander verbunden, sondern durch den synaptischen Spalt getrennt.



4 Das elektronenmikroskopische Bild des neuronalen Netzwerks lässt bei stärkerer Vergrößerung die Struktur einer Synapse erkennen. Sie besteht aus dem präsynaptischen (axonalen) Anteil mit den Synapsenbläschen und dem hellen postsynaptischen (dendritischen) Anteil. Die beiden Abschnitte sind durch den synaptischen Spalt (Pfeil) zugleich getrennt und verbunden. Das Bild zeigt eine 45 000fache Vergrößerung.

Zudem lassen die bildgebenden Methoden nur Bereiche hoher funktioneller Aktivität erkennen. Bereiche geringer oder fehlender Aktivität, die »Zonen des Schweigens«, werden nicht dargestellt, obwohl sich gerade dort durchaus entscheidende neuronale Aktivitäten abspielen können, die die aktuelle psychische Situation maßgebend mitbestimmen. Sie bleiben aber unter der Sichtbarkeitsgrenze bei Darstellung des Sauerstoff- oder Glukoseverbrauchs oder der Durchblutung, auf denen diese Methoden beruhen. Dies gilt vor allem für das limbische System, das den emotionalen Hintergrund der psychischen Befindlichkeit bestimmt sowie für das ausgedehnte System der *Formatio reticularis* im Hirnstamm, das den Grad der Zuwendung, der Aufmerksamkeit und der Motivation bestimmt und damit die im *Cortex cerebri* sich abspielenden kognitiven

Vorgänge verstärken oder auch mindern oder bedeutungslos werden lassen kann.

Der Gerichtspsychiater ist weiterhin auf den Erfahrungsschatz seines Fachs und auf sein Wissen angewiesen, wenn er nach seinen eingehenden Untersuchungen und der Kenntnis der Vorgeschichte, der frühkindlichen Ereignisse und des psychosozialen Hintergrunds ein Urteil über die Schuldfähigkeit eines Angeklagten abgibt. Niemand kann ihm diese schwierige, auf Erfahrung und minutiösen Beobachtungen beruhende Tätigkeit abnehmen. Dabei die Resultate bildgebender Untersuchungen entscheidungsbildend zu nutzen, würde von einem unzulässigen, simplifizierenden und unwissenschaftlichen Verständnis der Hirntätigkeit zeugen.

Bei der Frage nach Determinismus oder Indeterminismus muss noch ein anderer Aspekt einbezogen werden. Wie bereits dargelegt, ist jede neuronale Aktivität das Ergebnis vorangegangener Aktivitäten, sie sind kausal verknüpft. Nimmt man hinzu, was die moderne Hirnforschung über die Vorgänge an den Verknüpfungsorten, den Synapsen gefunden hat – die unterschiedlichen Überträgerstoffe, die Beeinflussung der präsynaptischen

Boutons und die Veränderungen an den postsynaptischen Rezeptoren –, dann wird das Bild des Netzwerks noch um mehrere Dimensionen komplizierter. Wir wissen außerdem heute, dass die Synapsen nicht so stabil sind, wie sie aussehen, sondern modifizierbar, Grundlage der so genannten Plastizität des menschlichen Gehirns; dieses kann sich im physiologischen Bereich bei Lernvorgängen wie auch nach Schädigungen auf neue Situationen einstellen, neue Wege eröffnen, neue Schaltungen etablieren. Angesichts dieser Situation erscheint es utopisch, ei-

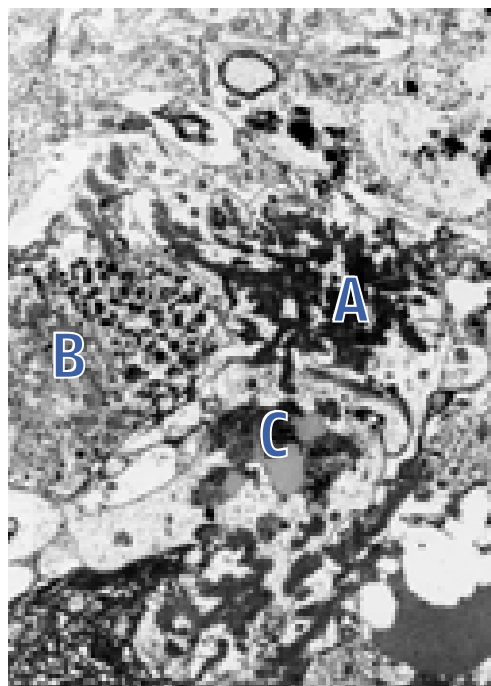
ne Willensentscheidung neurobiologisch nachzuvollziehen. Was wir wissen, spricht dafür, dass es kausale Verknüpfungen gibt, die seit Tagen oder Jahren bestehen, dass aber bei Entscheidungen die letzte EntschlieÙung, die in Minuten oder in Sekundenbruchteilen erfolgt, durch aktuelle Impulsübertragungen ausgelöst wird.

Das Bewusstsein meines freien Willens ist wirklicher und auch wichtiger als die Kenntnis neuronaler Vorgänge, die eben diesem Willen und Willen zugrunde liegt. Selbst Benjamin Libet [siehe auch Buchtipp »Benjamin Libet erklärt, wie das Gehirn Bewusstsein erzeugt«, Seite 99], dessen Experimente oft als Beweise für den vorprogrammierten Willen interpretiert werden, bekundet: »It is foolish to give up our view of ourselves as having some freedom of action and of not being predetermined robots in the basis of an unproven theory of determinism.«

Die Forderung Wolf Singers, Direktor am Max-Planck-Institut für Hirnforschung Frankfurt, wir sollten aufhören, über Freiheit zu reden, denn die Verschaltungen in unseren neuronalen Netzen legen uns fest, ist daher nur ein Teil der Wahrheit. Im Gegenteil, wir sollten viel mehr über Freiheit reden, denn sie ist unsere Wirklichkeit. Dies hatte schon Max Planck erkannt, der in seinem Vortrag »Vom Wesen der Willensfreiheit« bereits 1936 als Naturwissenschaftler zu diesem Thema Stellung bezog. Er legte dar, dass Determinismus und Freiheit des eigenen Willens keine unvereinbaren Gegensätze, sondern verschiedene Kategorien sind. Auf dem Bewusstsein von Freiheit und Verantwortung beruht unser Selbstverständnis als menschliche Wesen, es wird durch Erkenntnisse der Hirnforschung nicht außer Kraft gesetzt.

Schließlich sei noch bemerkt, dass auch in einem neuronalen Netzwerk als Träger kognitiver Prozesse und Entscheidungen die Gesetze der Quantenphysik gelten. Die Quantentheorie legt keine Fakten fest, sondern mögliche von unend-

5 Pathologische Veränderungen in der Grosshirnrinde bei Alzheimer-Krankheit im Elektronenmikroskop. Das neuronale Netzwerk ist schwer gestört durch die Einlagerung von Amyloid in Form seniler Plaques (A). Auftreibung von Zellfortsätzen der Nervenzellen mit Anhäufung von Lysosomen und Mitochondrien (B), die so genannten neuritischen Komponente der Alzheimer-Plaques. Lipofuszin (C). 10 000fache Vergrößerung.



lich vielen, miteinander interagierenden Zuständen. Erst mit dem irreversiblen Akt der Messung werden Fakten produziert, wird aus dem Spektrum der Möglichkeiten eine Wirklichkeit festgelegt. Welchen Einfluss die vorangegangenen neuronalen Impulse und Impulsmuster in einem lokalen neuronalen Netzwerk haben, muss offen bleiben, kann nicht entschieden werden. Die Quantentheorie lässt ausdrücklich dem Zufall einen Stellenwert, wie Thomas und Brigitte Görnitz in ihrem Buch »Der kreative Kosmos – Geist und Materie aus Information« dargelegt haben. Die

Quantentheorie summiert nicht einfach einzelne Vorgänge auf. Sie stellt eine Theorie der Beziehungen dar, nach der neue Informationen entstehen, ohne dass sie vorprogrammiert, voraussehbar, aus dem vorangehenden Ablauf vorausbestimmt sind. Dies gilt auch für die Funktion des Gehirns und eröffnet nach Ansicht dieser Autoren einen tatsächlichen Bewegungsspielraum, einen Bereich tatsächlicher Freiheit in der ungeheuren Menge der Möglichkeiten, die unsere kognitiven Fähigkeiten und die neurobiologische Arena, auf denen sie beruht, uns offerieren. ♦

Der Autor

Prof. Dr. Wolfgang Schlote, 73, promovierte am Institut für Hirnforschung der Universität Leipzig, erhielt seine Ausbildung als Neuropathologe am Max-Planck-Institut für Psychiatrie in München, die klinische Weiterbildung an der Universitäts-Nervenklinik in Marburg und habilitierte sich am Institut für Hirnforschung der Universität Tübingen. 1984 nahm er einen Ruf auf die Professur für Neuropathologie der Johann Wolfgang Goethe-Universität und damit die Leitung des Neurologischen Instituts (Edinger Institut) an. Er ist seit Oktober 2000 emeritiertes Mitglied des Neurologischen Instituts. Er ist Mitglied des interdisziplinären Arbeitskreises »Sprache und Sprachstörungen« der Universität. Schlote ist Ehrenmitglied der Deutschen Gesellschaft für Neuropathologie und Neuroanatomie. Er ist Editor-in-Chief der Zeitschrift »Clinical Neuro-pathology – An international Journal«.

Literatur:

Braitenberg, Valentin (1973): <i>Gehirngespinnste. Neuroanatomie für kybernetisch Interessierte.</i> Berlin, Heidelberg: Springer.	Ross. Cambridge University Press.	ve Kosmos – Geist und Materie aus Information. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.	versity Press.	Planck, Max (1948): <i>Determinismus und Indeterminismus.</i> Zweite unveränderte Auflage Leipzig: Johann Ambrosius Barth.	trum der Wissenschaft, Heidelberg, Nr. 6, Seite 34–35.	tungen legen uns fest: Wir sollten aufhören, von Freiheit zu sprechen. In: Geyer, Christian (Hrsg.): <i>Hirnforschung und Willensfreiheit.</i> Frankfurt am Main: Edition Suhrkamp 2387. [Siehe auch Buchtipp, Seite 98]
Decartes, René (1931): <i>Philosophical works, translated by E. S. Haldane and G. R. T.</i>	Flechsich, Paul (1896): <i>Gehirn und Seele.</i> Rede, gehalten am 31. Oktober 1894 in Leipzig. Veit & Company Leipzig.	Libet, Benjamin (2004): <i>Mind Time. The temporal factor in consciousness.</i> Cambridge, Mass. and London, England: Harvard Uni-	Planck, Max (1990): <i>Vom Wesen der Willensfreiheit.</i> Vortrag, gehalten in Leipzig 1936. Fischer Taschenbuch Verlag. Frankfurt am Main.	Prinz, Wolfgang (2004): <i>Neue Ideen tun Not.</i> In: <i>Das Manifest. Gehirn und Geist, Spek-</i>	Schiller, Friedrich (o.J.): <i>Wallensteins Tod.</i> 2. Aufzug, 2. Auftritt. Grossherzog Wilhelm Ernst Ausgabe. Leipzig: Insel.	
	Görnitz, Thomas und Brigitte (2002): <i>Der kreati-</i>	Cambridge Uni-		Singer, Wolf (2004): <i>Verschäl-</i>		

Wissen vernetzen

Disziplinen unter einem Dach: Das Frankfurter Institute for Advanced Studies (FIAS)

Das Frankfurter Institute for Advanced Studies (FIAS) sieht den interdisziplinären Austausch als eine Grundvoraussetzung für die Erforschung komplexer Systeme, für die das Gehirn nur eines unter vielen Beispielen ist. Zu den derzeit 14 fest angestellten Fellows des FIAS kommen neun Adjunct Fellows, die ihren Lehrstuhl an auswärtigen Universitäten haben und zusätzliche Forschungsaufgaben am FIAS übernehmen. Im Rahmen der Frankfurt Graduate School for Science sollen sie auch in die Lehre an der Johann Wolfgang Goethe-Universität eingebunden werden. Auf dem Gebiet der Hirnforschung konnte Prof. Dr. Wolf Singer, zusammen mit dem Physiker Prof. Dr. Walter Greiner einer der Gründungsdirektoren des FIAS, zwei Adjunct Fellows gewinnen, mit denen er seit vielen Jahren einen fruchtbaren gedanklichen Austausch



pflegt: den Bochumer Physiker und Neuro-Informatiker Prof. Dr. Christoph von der Malsburg und den Mainzer Bewusstseins-Philosophen und Neuro-Ethiker Prof. Dr. Thomas Metzinger.



Neuro-Informatiker **Christoph von der Malsburg** testet Modelle für die Funktionsweise des Gehirns auf dem Computer.

Grenzgänger zwischen Physik, Informatik und Neurobiologie

Bereits als 16-Jähriger wollte Christoph von der Malsburg wissen, wie das Gehirn funktioniert. Seit diesen Tagen, als er seine erste, von seinen Studienfreunden belächelte »Lämpchen-Theorie« der Gehirnfunktion schuf, haben die Vorstellungen des inzwischen mehrfach ausgezeichneten Wissenschaftlers seine Kollegen zum Widerspruch gereizt. So etwa die Anfang der 1980er Jahre postulierte »Korrelationstheorie der Gehirnfunktion«. Ausgehend von der Frage, wie das Gehirn die Außenwelt repräsentiert, formulierte der Physiker und Hirnforscher das »Bindungsproblem«: Wie konnten Sinneseindrücke, die in unterschiedlichen Regionen des Gehirns registriert wurden, zu einem komplexen Modell der Realität zusammengesetzt werden? Von der Malsburg argumentierte, dies geschehe, indem die Neuronenfeuer aus den beteiligten Hirnregionen sich kurzfristig synchronisieren. Lange Zeit waren seine Fachkollegen skeptisch, bis der Frankfurter Hirnforscher Wolf Singer [siehe auch Wolf Singer, »Synchronisierte Antworten aus der Großhirnrinde – Ein Lösungsvorschlag für das Bindungsproblem«, Seite 45] Ende der 1980er Jahre die Theorie durch neurophysiologische Messungen bestätigte. Gemeinsam kämpfen sie seitdem mit wachsendem Erfolg für die weltweite Anerkennung der Theorie.

Von der Malsburgs Forschungsgegenstand ist nicht das lebende

Gehirn, sondern die Nachbildung seiner Funktionsweise im Computer. Dieser Ansatz machte ihn von Anfang an zum Grenzgänger zwischen den Disziplinen. Er studierte zunächst Physik in Göttingen, München und Heidelberg und promovierte an der Universität Heidelberg über Elementarteilchenphysik. Danach folgte er seinem Interesse am Gehirn in Otto Creutzfeldts Neurobiologischer Abteilung des Max-Planck-Instituts für biophysikalische Chemie in Göttingen. 1988 folgte er einem Ruf an die University of Southern California in Los Angeles als Professor für Computer Science und Neurobiologie. Ab 1990 baute er mit seinem Kollegen Werner von Seelen das Institut für Neuroinformatik an der Ruhr-Universität Bochum auf, und begann in einem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanzierten Projekt eine neue Theorie über die Bildverarbeitung im Gehirn zu testen. Er entwickelte ein aus Computer und Videokamera bestehendes System, das Gesichter erkennt und mittlerweile weltweit als Überwachungs- und Erkennungssystem in Kernkraftwerken, Banken, Firmen und Flughäfen den Zugang zu Hochsicherheitsbereichen kontrolliert. Vertrieben wird es von der Firma ZN Vision Technologies, die von der Malsburg und von Seelen Anfang der 1990er Jahre gründeten und die mittlerweile 70 Mitarbeiter beschäftigt. ZN Vision Technologies fusionierte kürzlich mit der amerikanischen Firma Visage. 1996 wurde das Erkennungssystem »ZN Face« mit dem Innovationspreis der deutschen Wirtschaft ausgezeichnet.

Den Computer das Sehen lehren

Die modellhafte Nachbildung des Sehens auf dem Computer ist bis heute der Arbeitsschwerpunkt von der Malsburgs. So interessiert ihn die Frage, wie unser »inneres Auge« ein stabiles, von den Augenbewegungen unabhängiges Bild unserer Umwelt erzeugt. Seine Vermutung: Es vergleicht die aktuellen Bilddaten aus einer »Bilddomäne« mit den in einer Modelldomäne gespeicherten Daten – und zwar mit Hilfe schneller Organisationsprozesse, die Punkt zu Punkt Verbindungen zwischen den beiden Domänen herstellen (»Dynamic links«). So kann das Bild ständig den situati-

onsabhängigen Eindrücken angepasst und gleichzeitig stabil gehalten werden.

Zwar widerspricht diese Vorstellung dem gegenwärtigen Standardmodell der Hirnforscher, die von starren Verbindungen zwischen den Nervenzellen ausgehen, aber das stört den Visionär von der Malsburg wenig. Es wäre nicht das erste Mal, dass sich seine Ideen im Nachhinein als richtig erwiesen hätten. Nicht zuletzt deshalb hat der Hirnforscher Singer ihn als Adjunct Fellow an das Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS) geholt. Von der Malsburg sieht in der neuen interdisziplinären Forschungseinrichtung die Chance, einen Paradigmenwechsel im Verständnis komplexer Systeme zu bewirken: »Bisher ist man in der Informatik, den Neurowissenschaften und der Molekularbiologie stets davon ausgegangen, dass komplexe Strukturen aufgrund vorher festgelegter Baupläne entstehen. Meines Erachtens müssen wir sie aber als das Ergebnis einer Abfolge von Selbstorganisationsprozessen begreifen«, meint der Bochumer Neuro-Informatiker.

Von der Malsburg möchte auf zweifache Weise zum Forschungsprogramm des FIAS beitragen: Auf der einen Seite kann er Modelle für das komplexe Zusammenspiel von Nervenzellen oder Genen auf dem Computer nachbilden und testen. Andererseits erhofft er sich dadurch neue Erkenntnisse für die Software-Entwicklung: »Inzwischen verdoppelt sich die Speicherdichte der Chips alle 18 Monate. Mit diesem Tempo können wir auf der Software-Seite kaum noch Schritt halten«, klagt er. Seine Vision sind selbstorganisierende Computerprogramme, denen die Programmierer nur noch übergeordnete Ziele vorgeben, während die Programme die Details selbstständig erarbeiten. Zur Erforschung dieser intelligenten Systeme hat von der Malsburg ein EU-Projekt eingeworben, mit dem sich bereits drei Mitarbeiter des FIAS beschäftigen.

Von der Bewusstseins-Philosophie zur Hirnforschung

Thomas Metzinger gilt als einer der wenigen Philosophen in Deutschland, die sich intensiv mit den Ergebnissen der Neuro-, Informatik- und Kognitionswissenschaften

auseinandersetzen. Bereits während seiner Doktorarbeit zum Leib-Seele-Problem wurde ihm bewusst, »dass die Philosophie des Geistes heute seriöserweise eigentlich nur noch interdisziplinär betrieben werden kann«. Dies war der Beginn einer inzwischen 25 Jahre währenden Arbeit, aus der die kontrovers diskutierte Selbstmodell-Theorie der Subjektivität hervorging. Diese publizierte Metzinger 2003 unter dem bezeichnenden Titel »Being No One«. Er behauptet, dass das, was wir im Alltag gerne als »unser Selbst« bezeichnen, nur der Inhalt eines Modells ist, eben des »Selbstmodells«. Es beruht auf einer einheitlichen Repräsentation unseres Körpers, unserer Empfindungen und Gedanken sowie unserer Beziehungen zur Umwelt. Letztlich handelt es sich dabei um Prozesse, die direkt an neuronale Informationsverarbeitung gebunden sind. Eine Seele gibt es nicht – zumindest muss man diese Annahme nicht mehr machen, wenn man das menschliche Bewusstsein wissenschaftlich erklären will.

Solche Ansichten sind unbequem: Sie erschüttern die Vorstellung eines autonomen, nach freiem Willen handelnden Menschen, rütteln an religiösen Weltbildern und brechen mit Jahrhunderte alten philosophischen Traditionen. Auf Interesse stoßen sie aber bei all jenen, die sich um eine theoretische Deutung der Neuro-, Kognitions- und Informationswissenschaften bemühen. So diskutiert Metzinger schon seit vielen Jahren mit dem Frankfurter Hirnforscher Wolf Singer über Fragen des Bewusstseins und des freien Willens. Philosophen haben seit Jahrhunderten eine Vielzahl von Repräsentationstheorien durchdacht, die jetzt auch von der Hirnforschung herangezogen werden. »An dieser Stelle können philosophische Kenntnisse davor bewahren, das Rad neu zu erfinden«, sagt Metzinger.

Ein Brückenkopf in die Geisteswissenschaften

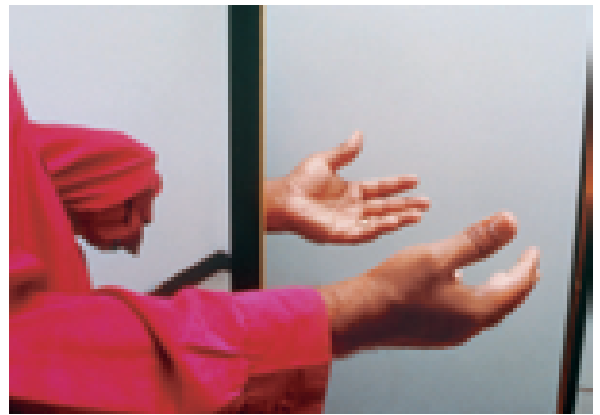
Für einen intensiven Dialog der Philosophie mit den Neuro-, Informations- und Kognitionswissenschaften setzt sich Thomas Metzinger seit 1995 in der von ihm mitgegründeten *Association for the Scientific Study of Consciousness*, in Deutschland in der Gesellschaft für

Kognitionswissenschaft ein. Als Präsident der Gesellschaft plädiert er dafür, dass der philosophische Nachwuchs sich wieder kritisch in die Fachdiskussion einschaltet und positive eigene Theorievorschläge entwickelt, sich international stärker vernetzt und vor allem auf Englisch publiziert. Mit seiner interdisziplinären Nachwuchsgruppe »Philosophie des Geistes« setzt er dies um. Seit April 2005, als Metzinger zum Adjunct Fellow an das Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS) berufen wurde, finden die Treffen seiner Nachwuchsgruppe in Frankfurt statt. Für das FIAS stellen sie den ersten Brückenkopf in die Geisteswissenschaften dar.

1958 in Frankfurt geboren, studierte Metzinger in Frankfurt Philosophie und promovierte dort 1985. 1992 wurde er in Gießen habilitiert. Es folgten Lehr- und Wanderjahre als Dozent in Osnabrück, Saarbrücken, am Hanse-Wissenschaftskolleg in Bremen-Delmenhorst, der University of San Diego in Kalifornien und der Universität Essen. Im Frühjahr 2000 wurde Metzinger dann auf eine Professur für Philosophie der Kognitionswissenschaften nach Osnabrück berufen, und schon ein halbes Jahr später erhielt er einen eigenen Lehrstuhl für Theoretische Philosophie an der Universität Mainz. Sein Forschungsschwerpunkt ist in erster Linie die Philosophie des Geistes, aber 20 Prozent seiner Zeit widmet er auch Fragen der Neuro-Ethik und Anthropologie. »Das ist ein Thema, das auch in der Öffentlichkeit zunehmend auf Interesse stößt, weil seine Bedeutung stark zugenommen hat«, weiß Metzinger.

Wir brauchen eine »Neuro-Ethik«

Ein aktuelles Beispiel sind »Cognitive Enhancers« – Drogen, die sowohl die Denkfähigkeit als auch die allgemeine Intelligenz zu erhöhen versprechen. Als »geistige Dopingmittel« werfen sie die Frage auf, ob beispielsweise Studenten künftig vor einer Prüfung ebenso wie Sportler vor Wettkämpfen kontrolliert werden müssen. Eine andere Stoffklasse, die nach Metzingers Einschätzung zunehmend an Bedeutung gewinnen wird, sind »Lifestyle-Drogen«, die für gute Laune und Top-Form sorgen. »Ich gehe davon aus, dass die Grenze zwi-

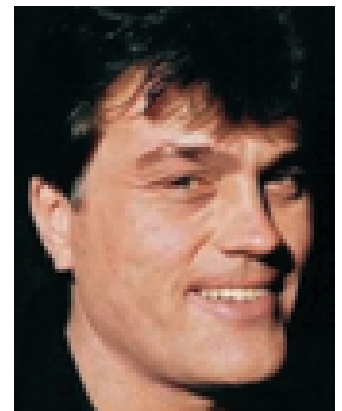


Neurophysiologische Experimente von Vilayanur Ramachandran belegen, dass sogar die Repräsentation halluzinierter körperlicher Empfindungen durch visuelle Eindrücke verändert werden kann. So kann man bei Versuchspersonen, die ein unbewegliches Phantomglied erleben, nachdem ihnen eine Hand amputiert wurde, das Gefühl erzeugen, ihre fehlende Gliedmaße sei »wieder angeschlossen« und unter willentlicher Kontrolle. Dies geschieht, wenn das sich bewegende Spiegelbild der vorhandenen Hand den Armstumpf »ergänzt«.

schen legalem und illegalem Drogenkonsum zunehmend unwichtiger wird, weil die Pharmaindustrie sie schon jetzt elegant zu umgehen versucht«, prognostiziert der Neuro-Ethiker. Mittlerweile setzten amerikanische Patienten ihre Ärzte unter Druck, leistungssteigernde und stimmungsaufhellende Medikamente zu verschreiben, ohne dass dafür eine medizinische Indikation bestünde.

Kritisch hinterfragt Metzinger, ob Leistungssteigerung eine geeignete Reaktion

auf die ständig wachsenden Informationsflut sei. Meditation und autogenes Training in Schule und Studium zu vermitteln hält er für wesentlich geeigneter, um das Bewusstsein zu erweitern – denn diese Techniken machen nicht süchtig. In anderen Kulturen habe die Suche nach Grenzerfahrungen eine lange Tradition und werde meistens in einem rituellen Kontext vollzogen. Der Philosoph empfiehlt die Entwicklung einer neuen und kritischen »Bewusstseinskultur«, die eine kulturelle Einbettung des rasanten Erkenntnisfortschritts in der Hirnforschung leistet und Menschen dazu ermutigt, auch im Umgang mit dem eigenen Gehirn die Verantwortung für ihr Leben zu übernehmen. ♦



Der Philosoph **Thomas Metzinger** entwickelte seine Selbstmodell-Theorie der Subjektivität aufgrund neurowissenschaftlicher Erkenntnisse.

Der Autor

Dr. Anne Hardy, 40, Physikerin und Wissenschaftshistorikerin, ist Referentin für Wissenschaftskommunikation an der Universität Frankfurt.

»Versuch, die zerebrale Utopie zu vermessen«

Kontroverse Beiträge zu Hirnforschung und Willensfreiheit

Wer sich für Geist und Gehirn interessiert, für ihr Verhältnis zueinander und für die Frage, wie aus materiellen, naturwissenschaftlich beschreibbaren Prozessen immaterielle, subjektiv erlebbare Phänomene wie Gefühle, Gedanken und Gewissen entstehen können, der wird bepflichtet: Wir leben in spannenden Zeiten! Beflügelt von der Entwicklung feinsinniger neurophysiologischer Methoden, funktionell bildgebender Verfahren und ultraschneller Computer schreitet das Projekt der Objektivierung des Geistes munter voran. Neurowissenschaftler sehen sich heute in der Lage, Korrelate von Wahrnehmung und Kognition zu untersuchen, »Landkarten des Geistes« bei Gesunden und Kranken zu erstellen und die Grundlagen für das menschliche Bewusstsein zu erforschen. Mit ihren Fragestellungen, Experimenten und Ergebnissen befeuern sie öffentlichkeitswirksam

tet mit einem eigenen Willen, den wir im Normalfall als frei empfinden und der uns in Alltagssituationen als Urheber der eigenen Handlungen gilt. Aus der Perspektive vieler Hirnforscher – berufsmäßige Deterministen mit der Gewißheit, dass mentale Phänomene auf neuronalen Prozessen beruhen – ist dieser Alltagsbegriff des freien Willens problematisch: Er sollte neu bestimmt werden und dabei müssen die neurowissenschaftlichen Ergebnisse berücksichtigt werden, die zeigen, dass die Empfindung des eigenen Willens neuronalen Ereignissen um einige hundert Millisekunden hinterher hinkt.

Eine lesenswerte Dokumentation kontroverser Beiträge zu diesem Thema hat Christian Geyer, Redakteur der »Frankfurter Allgemeinen Zeitung«, herausgegeben: Unter dem Titel »Hirnforschung und Willensfreiheit. Zur Deutung der neuesten Experimente« kommen Vertreter aller relevanten Disziplinen zu Wort: Hirnforscher und Neurowissenschaftler, Philosophen und Psychologen, Juristen und Soziologen, Historiker, Theologen und Psychiater. Mit 30 Beiträgen renommierter Wissenschaftler, die allermeist Ende 2003 bis Mitte 2004 in der FAZ erschienen, will der Herausgeber – selbst alles andere als unparteiisch, vielmehr ausgesprochen misstrauisch gegenüber den Thesen der Neurowissenschaft – den Stand einer Provokation dokumentieren. Im Vorwort nennt er sein Buch einen »Versuch, die zerebrale Utopie zu vermessen« und müht sich in eigenen Beiträgen, den Thesen der Neurowissenschaftler ihre Relevanz für eine drohende Korrektur des Menschenbildes zu nehmen.

Die zentrale Frage, um die alle Artikel kreisen, lautet: Darf im Lichte neurowissenschaftlicher Ergebnisse als Illusion bezeichnet werden, was wir alltäglich als unseren freien Willen empfinden? Ja, sagen – mit unterschiedlicher Argumentation – der Psychologe Wolfgang Prinz sowie die Neurowissen-

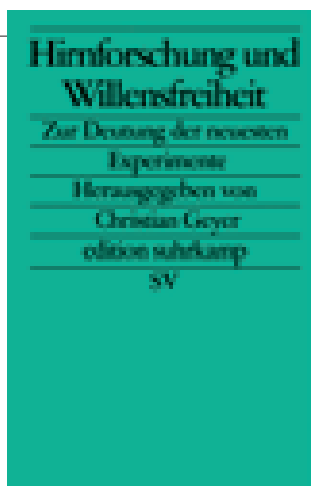
schaftler Wolf Singer und Gerhard Roth; letztere mit umfangreicheren, in der Folgezeit oft zitierten Beiträgen im Buch vertreten. Nein, sagen insbesondere die Geisteswissenschaftler und Rechtsgelehrten und versuchen, mit Hinweisen auf unzulässige Kategoriensprünge das angekränkelte Menschenbild zu schützen. Im Anhang des Buchs kommt auch Benjamin Libet selbst zu Wort, jener Neurophysiologe, dessen Jahrzehnte zurückliegenden Forschungsergebnisse sich so reger Aufmerksamkeit erfreuen und den ganzen Wirbel mit verursacht haben. Pikanterweise weigert sich dieser Urheber aber, mit seinen Ergebnissen zugleich der Neurowissenschaft die Begründung für eine völlige Illusionshaftigkeit der menschlichen Willensfreiheit geliefert zu haben: Seine Schlussfolgerung ist, dass »die Existenz eines freien Willens zumindest eine genauso gute, wenn nicht bessere wissenschaftliche Option ist als ihre Leugnung durch die deterministische Theorie«.

Fazit: Das Buch von Christian Geyer kommt ganz unschuldig daher – im schlichten grünen Cover, einfach gestaltet, als Taschenbuch bequem einzustecken – und birgt doch eine Fülle brisanter und höchst anregender Beiträge. Insbesondere mit der Zusammenstellung kontroverser Positionen trägt es zum Verständnis der laufenden Neuro-Debatte bei. Die Kürze der meisten Artikel ermöglicht es dem Leser, sich »häppchenweise« mit der Problematik der Willensfreiheit vertraut zu machen. Man kann dieses Buch allen empfehlen, die über ein breites Spektrum der Disziplinen hinweg von ausgewiesenen Fachleuten informiert werden möchten. ◆

Der Autor

Stefan Kieß, Diplom-Biologe, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Biochemie II des Universitätsklinikums Frankfurt und hat die vorliegende Ausgabe von »Forschung Frankfurt« mitgestaltet.

Christian Geyer
(Hrsg.)
Hirnforschung und Willensfreiheit. Zur Deutung der neuesten Experimente.
Suhrkamp Verlag,
Edition Suhrkamp
2387,
Frankfurt, 2004,
ISBN
3-518-12387-4,
294 Seiten,
10 Euro.



eine Debatte, in der die alten Fragen im Spannungsfeld zwischen Gehirn und Geist, zwischen Leib und Seele, neue Brisanz gewinnen – und in der Philosophen und klassische Psychologen als »traditionell Zuständige« für Geistiges und Seelisches sich herausgefordert sehen. Seit einiger Zeit nun dreht sich die spannende Neurodebatte um die Willensfreiheit: Wir Menschen erfahren uns als Subjekte, ausgestat-

Schattierungen der Freiheit

Henrik Walters Komponententheorie der Willensfreiheit

Henrik Walter nähert sich dem Problem der Freiheit als nüchternen Analytiker des Gehirns und des Gedankens, denn er ist beides: Hirnforscher und Philosoph. In seiner »Neurophilosophie der Willensfreiheit« geht der Frankfurter Psychiatrieprofessor [siehe auch Henrik Walter »Funktionelle Bildgebung in der psychiatrischen Grundlagenforschung«, Seite 48] von zwei Prämissen aus. Erstens einer naturwissenschaftlichen: Eine Theorie der Willensfreiheit darf sich nicht im Widerspruch zu physikalischen oder neurophysiologischen Erkenntnissen befinden. Zweitens einer philosophischen: Freiheit hat Komponenten, Schattierungen, die dialektische Verkürzung »frei« versus »unfrei« trifft den Kern der Sache nicht. In seinem Buch entwickelt er eine »Komponententheorie«: Wenn wir handeln, so schreibt er, kommen drei Komponenten zusammen – Anderskönnen, Urheberschaft und Intelligibilität –, und je nachdem, wieviel von der einen oder anderen dabei ist, handeln wir mehr oder weniger frei.

Intelligibilität – ein echt Kantisches Wortungeheuer – stellt sich bei Walter zunächst recht harmlos als »Handeln aus verständlichen Gründen« dar. Er ist – zusammen mit Kant – der Ansicht, dass eine freie Handlung auch eine vernünftige, wenigstens aber aus nachvollziehbaren Gründen erfolgende Tat sein sollte. Der Teufel aber steckt im Detail: Kann ich eigentlich »frei« und zugleich »aus Gründen« handeln? Eigentlich nicht, denn dann wäre meine Handlung ja durch die Gründe determiniert, also nicht frei. Und sind nicht Handlungsgründe Absichten, Intentionen, Ziele, Zwecke, die hinter meinen Taten stehen? Aber sind Ziele nicht Ursachen, die aus der Zukunft wirken? Befindet sich der Intelligibilitätsanspruch nicht im Widerspruch zur ersten Prämisse, die keine Verursachung aus noch nicht eingetretenen Ereignissen heraus zulässt? Nein, sagt Walter und präsentiert die »superdupervenient theory of proper functions (TOPF)«. Doch, sie heißt so! Und meint: Handlungsabsichten

sind Epiphänomene neuronaler Zustände, die sich im Laufe der Hirnevolution und des individuellen Lernens als selektiv vorteilhafte Repräsentationen der Welt erwiesen haben – das ist ihre »proper function«. Kausal wirksam werden sie nicht durch ihren epiphänomenalen Gehalt – ihre Bedeutung –, sondern durch ihr faktisches Vorhandensein als neuronales Erregungsmuster. Intelligibles Handeln ist also Handeln in Übereinstimmung mit dem, was man persönlich oder im Laufe seiner Stammesgeschichte über die Welt gelernt hat.

Können wir auch anders? Ist überhaupt Raum für Freiheit? Ist der Kosmos determiniert? Mit verständlichen Exkursen in die Welt der Quanten und Tachyonen zeigt Walter, dass er auch indeterminiert sein könnte. Beste Voraussetzungen für die totale Freiheit, wäre da nicht wieder das Intelligibilitätsargument. Selbst wenn es einen quantenmechanischen zufälligen Prozess gäbe, auf dem unser »in der gegebenen Situation so, aber auch anders Können« beruhte, so wäre es uns doch unverständlich, warum wir so handelten. Das, was im Hirn geschieht, geschieht nicht zufällig. Aber auch nie unter völlig gleichen Bedingungen. Die Entscheidung, die ich JETZT treffe, mag vollständig determiniert sein, aber die, die ich MORGEN treffen werde, und sei sie auch zwischen denselben Alternativen, wird die Erinnerung an die heutige Entscheidung als Randbedingung haben. Es gibt also unter bestimmten Bedingungen nur eine Handlungsmöglichkeit, aber es gibt keine Wiederholung identischer Bedingungen. Hier kommt das deterministische Chaos ins Spiel: Marginale Änderungen der Randbedingungen eines komplexen Systems – und das Hirn ist eines – können zu gänzlich unterschiedlichen Reaktionen führen. Unverursacht, absolut zufällig aber geschieht nichts.

Hier kommt die dritte Komponente ins Spiel: Wäre es der Zufall, der unser Handeln bestimmte – wie könnten wir uns dann als Täter unserer Taten fühlen? Wir tun das aber. Kann man daraus ableiten,

dass wir Urheber unserer Handlungen sind? Sind wir in diesem Sinne total frei? Erneut nein, schon wegen der ersten Prämisse nicht. Walter zeigt mit Exkursen in die Welt der Neurologen, dass das Gefühl von Urheberschaft nicht im Metaphysischen, sondern Materiellen verankert ist – es kann verloren gehen, wenn limbische Areale des Gehirns geschädigt werden. Das Wollen wird dann noch empfunden – aber unter Umständen als fremdes. Urheberschaft ist Handeln in Übereinstimmung mit den eigenen Affekten, deren Wesen wiederum die TOPF-Theorie erklärt.

Sind wir also frei? Jein. Nein im Sinne der libertarischen Position totaler Freiheit; ja im Sinne der völlig deterministischen Gegenposition, die behauptet, dass unser Handeln, wie das eines Automaten, vollständig vorausberechenbar sei. Wir sind zwar in jedem Moment durch dessen Bedingungen determiniert, aber zwei identische Momente wiederholen sich nie. Walter nennt das ein »Konzept der natürlichen Autonomie«. Autonom zu sein heißt, in



Henrik Walter
Neurophilosophie der Willensfreiheit.
Von libertarischen Illusionen zum Konzept natürlicher Autonomie
Mentis Verlag,
Paderborn, 1999,
ISBN
3-89785-052-4,
405 Seiten,
44,10 Euro.

Übereinstimmung mit dem, aber eben auch verursacht durch das, was man über die Welt weiß und was man von ihr will, zu handeln. Die totale Freiheit des unbewegten Bewegers ist uns nicht gegeben. ♦

Der Autor

Der Biologe **Dr. Helmut Wicht** ist Privatdozent und Prosektor an der Dr. Senckenbergischen Anatomie der Universität Frankfurt.

Willensfreiheit als Selbstbestimmung

Michael Pauens kompatibilistische Theorie der Freiheit

Ein gegebener Ausgangszustand legt alle Folgezustände fest, so lautet die These des Determinismus. Ob der menschliche Wille unter deterministischen Bedingungen frei sein kann, ist eine der ältesten Fragen der Philosophie. Grob gesehen lassen sich zwei gegensätzliche Antworten unterscheiden: Während Inkompatibilisten die Meinung vertreten, dass Willensfreiheit nur unter indeterministischen Bedingungen möglich ist, sind Kompati-

Grundlage der Willensfreiheit in der richtigen Art der Determination liegt, nämlich in der Selbstbestimmung eines Akteurs.

Diesen kompatibilistischen Begriff der Willensfreiheit versucht Pauen aus zwei Minimalbedingungen für personale Selbstbestimmung zu entwickeln, Autonomie und Urheberschaft: Das »Autonomieprinzip« besagt, dass freie Handlungen sich nicht ausschließlich auf externe Umstände zurückführen lassen dürfen und ermöglicht damit die Abgrenzung freier Handlungen von solchen, die vollständig unter Zwang oder aufgrund externer Faktoren zustande gekommen sind. Das »Urheberprinzip« hingegen fordert die Zuschreibbarkeit der Handlung: Die Handlung einer Person ist nur dann selbstbestimmt, wenn sich die Handlung nicht ohne Bezug auf die Person selbst erklären und verständlich machen lässt.

Doch welche Voraussetzungen müssen gegeben sein, damit ein Akteur diesen Minimalbedingungen gerecht werden kann? Pauen nennt zwei Kriterien, die hinreichend für die »Selbstbestimmungsfähigkeit« einer Person sein sollen: Zum einen müssen solche Akteure über ein Minimum an Rationalität verfügen, um in der Lage zu sein, sowohl die Folgen ihrer Handlung abzuschätzen als auch konkurrierende Wünsche gegeneinander abzuwägen. Zum anderen muss eine Person bestimmte Merkmale besitzen, die konstitutiv für den spezifischen Charakter dieser Person selbst sind. Durch diese Merkmale, die Pauen als »personale Präferenzen« bezeichnet, lässt sich verständlich machen, wieso sich eine Person für eine bestimmte Handlung entschieden hat und ihr diese zurechenbar ist. Eine Entscheidung ist letztendlich also genau dann frei, wenn sie sich auf die personalen Präferenzen einer rationalen Person zurückführen lässt.

Während die allgemeine Charakterisierung personaler Präferenzen plausibel und problemlos zu sein scheint, ergeben sich einige

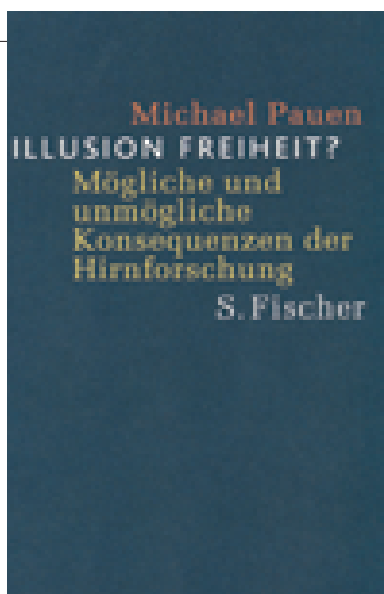
Schwierigkeiten, wenn nach einer genaueren systematischen Bestimmung derselben gefragt wird: Laut der von Pauen bevorzugten Erklärung sind nur solche Einstellungen personale Präferenzen, die mögliche Gegenstände selbstbestimmter Entscheidungen sind. Das heißt unter anderem, dass eine Person die Möglichkeit haben muss, sich willentlich gegen eine solche Präferenz zu entscheiden. Doch wie ist eine solche Entscheidung unter Bedingungen des Determinismus möglich? Da Pauen keine befriedigende Antwort auf diese Frage gibt, lässt sich der Eindruck von Zirkularität schwer vermeiden: Wenn Freiheit gerade in der Selbstbestimmung eines Akteurs besteht, Selbstbestimmung aber Freiheit voraussetzt, dann hat Pauen damit zwar die Bedingungen für Willensfreiheit genauer expliziert, als Argument für die Vereinbarkeit von Determinismus und Willensfreiheit greift diese Erklärung jedoch zu kurz.

Insgesamt ist Pauens kenntnisreiches Buch eine lohnende und empfehlenswerte Lektüre für alle, die sich für die neuere Diskussion um die Willensfreiheit interessieren. Alle für das Thema relevanten Fragen werden in verständlicher Weise behandelt und die zum Teil überaus komplexen Zusammenhänge anhand zahlreicher Beispiele auch für Neulinge nachvollziehbar dargestellt. Den Abschluss des Buchs bildet eine ausführliche Auseinandersetzung mit neueren Erkenntnissen aus Neurologie, Psychologie, Kultur- und Rechtswissenschaften, in der Pauen zeigt, dass auch die empirischen Wissenschaften aktuell keinen Anlass für eine Änderung unseres Selbstverständnisses als freie Akteure bieten. ◆

Der Autor

Andreas Maier studiert Philosophie an der Johann Wolfgang Goethe-Universität und schreibt derzeit an seiner Masterarbeit zum Thema Willensfreiheit.

Michael Pauen
**Illusion Freiheit?
Mögliche und unmögliche Konsequenzen der Hirnforschung**
S. Fischer Verlag,
Frankfurt, 2004,
ISBN
3-10-061910-2,
276 Seiten,
19,90 Euro.



bilisten der Auffassung, dass die Wahrheit des Determinismus keine Gefahr für unser Selbstverständnis als freie Akteure darstellt.

Mit seinem Buch »Illusion Freiheit? Mögliche und unmögliche Konsequenzen der Hirnforschung« erweist sich Michael Pauen, Professor für Philosophie an der Universität Magdeburg, als Vertreter der letzteren Position: Entgegen der populären Interpretation neurowissenschaftlicher Experimente, derzufolge die Bestimmung des menschlichen Willens durch Gehirnprozesse keinen Raum für freie Entscheidungen mehr lässt, versucht Pauen zu zeigen, dass ein wohlverstandener Begriff von Willensfreiheit von derlei empirischen Erkenntnissen nicht tangiert wird. Pauen vertritt die These, dass die

Ist das Bewusstsein »Herr im eigenen Haus«?

Benjamin Libet erklärt, wie das Gehirn Bewusstsein erzeugt

Zurzeit ist es Mode bei Diskussionen über das menschliche Denken unsere Willensfreiheit in Frage zu stellen. Wir werden als willenlose Bündel dargestellt, die im großen Räderwerk der Natur ein genetisch vorherbestimmtes Programm abspulen müssen. Als Kronzeuge einer naturwissenschaftlichen Begründung für die letztere, sehr provokante Sichtweise wird meist Benjamin Libet angeführt. Der amerikanische Neurophysiologe – ein Pionier auf dem Gebiet der Bewusstseinsforschung – hat mit seinen berühmten »Libet-Experimenten« aus den 1970er Jahren überraschende, empirisch solide Erkenntnisse über die Beziehung zwischen objektiv messbarer Gehirnaktivität und subjektiven Bewusstseinsberichten vorgelegt. Sein wichtigster Befund: Zwischen einem Reiz – bei Libet ein einfacher Hautreiz – und dem bewussten Benennen dieses Reizes verstreichen etwa 500 Millisekunden, während die körperliche Reaktion auf diesen Reiz viel schneller erfolgen kann. Ein ähnlich langes Zeitfenster entsteht bei der Entscheidung zur Ausführung einer Tätigkeit, und zwar zwischen der objektiven Registrierung von elektrischer Aktivität in den adäquaten Hirnarealen und dem subjektiven Bericht über diese Entscheidung, tätig zu werden.

Libet stellt im – leider schlecht übersetzten – Buch »Mind Time« seine Experimente ausgiebig und gut verständlich dar. Er zeigt auf, dass die notwendigerweise stets subjektiven Berichte der Versuchspersonen über das Bewusstsein durch statistische Beobachtung durchaus zu naturwissenschaftlich haltbaren Ergebnissen führen können. Wer allerdings hofft, hier eine neurowissenschaftliche Widerlegung der Existenz von Willensfreiheit vorzufinden, wird von Libet selbst in die Schranken gewiesen. Er stellt unmissverständlich klar: »Es ist töricht, auf der Grundlage einer unbewiesenen Theorie des Determinismus unser Selbstverständnis aufzugeben, dass wir eine

gewisse Handlungsfreiheit haben und keine vorherbestimmten Roboter sind.«

Libet fand heraus, dass der »gefühlte« freie Wille nicht als Initiator eines Willküraktes angesehen werden kann. Die Vorbereitung, die in einer freien Willkürbewegung kulminieren soll, entsteht unbewusst und geht dem Bewusstsein, »jetzt zu handeln«, um etwa 400 Millisekunden voraus. Allerdings konnte er auch die Existenz der Veto-Möglichkeit nach etwa 200 Millisekunden zweifelsfrei beweisen. Daraus folgert Libet, dass der freie Wille selbst zwar keinen Willensprozess initiiert, jedoch das Resultat steuern kann, indem er den Willensprozess aktiv unterdrückt.

Sehr anschaulich zeigt Libet auf, dass die zeitliche Verzögerung des Bewusstseins ein grundlegendes und durchaus triviales Prinzip unserer Hirnfunktionen ist. Wir wissen, dass wir bei den meisten motorischen Reaktionen gar nicht die Zeit haben, das Bewusstsein zu berücksichtigen. Libet erklärt dies beispielhaft an der Reaktionszeit eines Baseballspielers. Er stellt sich aber auch der Frage der ethischen Implikationen. Wir können die Initiative zu einer Willenshandlung als ein unbewusstes »Hochsprudeln« im Gehirn verstehen. Der bewusste Wille entscheidet dann, welche dieser Initiativen sich in einer Handlung niederschlagen soll oder welche verhindert oder abgebrochen werden soll. Hier bejaht Libet unsere Schuldfähigkeit: »Da es der Vollzug einer Handlung ist, der bewusst gesteuert werden kann, sollte es legitim sein, dass man Personen aufgrund ihrer Handlungen für schuldig und verantwortlich hält.«

Die Frage nach der Willensfreiheit ist eines der tiefestgreifenden Probleme der Philosophie und Psychologie. Libet stellt sich zwischen die Extreme des deterministischen Materialismus einerseits und der dualistischen Überzeugung andererseits, dass der Geist vom Gehirn getrennt werden kann. Als erfahrener Neurowissenschaftler stellt er fest,

dass subjektive Phänomene des Geistes nicht aufgrund einer Kenntnis der neuronalen Funktion vorhersagbar sind. Nur der Bericht der Person, die solche Phänomene erlebt, kann Aufklärung geben. Hin-



Benjamin Libet
**Mind Time –
Wie das Gehirn
Bewusstsein
produziert**
Suhrkamp Verlag,
Frankfurt, 2005,
ISBN
3-518-58427-8,
308 Seiten,
19,80 Euro.

gegen belässt Libet der religiösen Version des Dualismus mit ihrem »Glauben an die Existenz einer Seele« ihre Berechtigung: »Keiner der wissenschaftlichen Befunde widerspricht unmittelbar solchen Überzeugungen. In der Tat fallen sie nicht in den Geltungsbereich wissenschaftlicher Erkenntnis.«

Nach Libet scheint die »Willenserfahrung« eine größere Schwierigkeit für eine deterministische als für eine indeterministische Deutung darzustellen. Phänomenal betrachtet, haben die meisten von uns das Gefühl, dass wir eine Art von freiem Willen haben. Libet rät, angeblich wissenschaftliche Schlussfolgerungen über dieses Gefühl gründlich zu prüfen. »Eine Theorie, die das Phänomen der Willensfreiheit bloß als Illusion deutet und die Gültigkeit dieser phänomenalen Tatsache leugnet, ist weniger attraktiv als eine Theorie, die diese phänomenale Tatsache akzeptiert und sich ihr anpasst.«

Der Autor

Dr. Stephan Schwarzacher ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Dr. Senckenbergischen Anatomie der Universität Frankfurt. Er arbeitet an der Erforschung Zentralen Atemregulation im Hirnstamm, sowie an Fragen der Neuroplastizität und Regeneration im Hippokampus.

Mut zur Lücke

John Searles Essay über Freiheit und Neurobiologie

Als Kant vor nunmehr über 200 Jahren die definitive Krise der traditionellen Metaphysik ausrief, zielte er damit unter anderem auch auf das Problem der Willensfreiheit. Wie konnte es sein, dass die Naturwissenschaften so erfolgreich in der

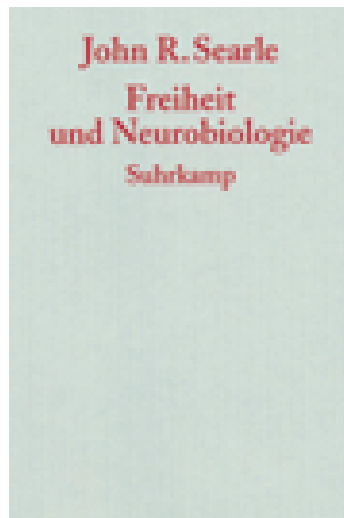
gibt. Er schlägt hierbei zwar zunächst einen deterministischen Ton an, wenn er davon spricht, dass diese höheren Systemeigenschaften durch das Gehirn verursacht würden. Der weitere Verlauf des Buchs macht jedoch klar, dass er den De-

nen die Ebene der Phänomenologie der ersten Person, in der wir nach Searle eine Lücke erleben, die zwischen unseren rationalen Überlegungen (Gründen) und den durch sie verursachten Entscheidungen liegt. In dieser Lücke sieht der gemeine Alltagsverstand, so Searle, die Freiheit des Willens verortet. Zum anderen muss diese Lücke für Searle nun ex hypothesi neurologisch verankert sein, denn er hat sich bereits auf die These festgelegt, dass der Wille ein neurologisches Ereignis ist. Auf neurophysiologischer Ebene muss es also ein indeterminiertes Ereignis geben. Und weil »... der Indeterminismus auf der Quantenebene die einzige Form von Indeterminismus ist, die unbestreitbar als Tatsache der Natur gelten kann«, schließt er: »Bewusstsein weist einen Quanten-Indeterminismus auf.« Mit dem Begriff »Quanten-Indeterminismus« ist gemeint, dass Quanten-Zustände nicht determiniert sind, sondern nur bestimmten probabilistischen Gesetzmäßigkeiten folgen. Die Erklärung dafür, wie der freie Wille als eine Eigenschaft des Bewusstseins auf der Basis eines solchen Indeterminismus entsteht, müssen nach Searle die empirischen Wissenschaften – und hier vor allem die Neurowissenschaften – liefern.

Searles Essay »Freiheit und Neurobiologie« ist wie jedes seiner Bücher von bestechender Klarheit. Er dürfte einerseits sicher all diejenigen in seinen Bann ziehen, die von der gleichen Voraussetzung wie Searle ausgehen – der These, dass der Wille ein neurologisches Ereignis ist. Auf der anderen Seite wird er aber wahrscheinlich niemanden überzeugen, der diese Voraussetzung nicht teilt. ◆

Der Autor

Alexander Bagattini, M. A., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Philosophie der Johann Wolfgang Goethe-Universität und arbeitet derzeit an seiner Dissertation zum Thema »Wissen, Wahrnehmung und Begründung«.



John R. Searle
Freiheit und Neurobiologie
 Suhrkamp Verlag, Frankfurt, 2004,
 ISBN 3-518-58398-0,
 96 Seiten,
 14,80 Euro.

Beschreibung der uns umgebenden physischen Welt sind, während philosophische Aussagen über ein uns so nahe gehendes Problem wie dem der Willensfreiheit unmöglich schienen? Wenn der amerikanische Philosoph John Searle in seinem Essay »Freiheit und Neurobiologie« schreibt, dass die Kontinuität des Problems der Willensfreiheit in der Philosophie »in gewisser Weise ein Skandal« ist, dann kann man dies sicher analog zu Kants Krisis-Feststellung verstehen.

Was kann man angesichts einer so verfahrenen Situation tun? Searle schlägt vor, die Dinge einmal aus einer ganz anderen Perspektive zu sehen: Da es schwer vorstellbar scheint, wie ein immaterieller Geist den Körper bewegen kann, sollte man doch zunächst zu begreifen versuchen, wie die mentalen Zustände – respektive der Wille – durch neuronale Prozesse im Gehirn verursacht werden. Bezogen auf das Problem der Willensfreiheit stellt sich laut Searle daher die Frage, wie der Wille als höhere Systemeigenschaft der neuronalen Prozesse entsteht – eine Frage, auf die Searle allerdings keine Antwort

terminismus als Globalthese ablehnt. Denn, so Searle, der Determinismus impliziere, dass jedes Ereignis kausal hinreichend bedingt ist, was der Begriff des freien Willens für ihn ausschließt. Als somit ausgewiesener Inkompatibilist – er hält Freiheit und Determinismus für unvereinbar – vertritt er zugleich eine libertarianische Position: Er verteidigt den Begriff des freien Willens unter den Bedingungen des Indeterminismus gegen die Skeptiker, die ihn zum bloßen Epiphänomen (mithin zur Illusion) erklären. Auf die Annahme eines freien Willens können wir, so Searle, nicht verzichten, wenn wir unseren Erfahrungsverlauf konsistent deuten wollen.

Somit kommt Searle fast argumentfrei zum gewünschten Ergebnis, dass es erstens einen freien Willen gibt und dass dieser zweitens (als höhere Systemeigenschaft) durch neuronale Prozesse verursacht wird. Auf dieser Basis widmet er sich schließlich seiner Hauptfrage: »Wie können wir das Problem der Willensfreiheit als neurobiologisches Problem auffassen?«. Seine Antwort hat zwei Ebenen: Zum ei-

Spurensuche nach den Korrelaten des Bewusstseins

Christof Koch betrachtet das Bewusstsein aus neurobiologischer Sicht

Wo ist der Sitz des Bewusstseins? Dies ist seit Jahrtausenden eine zentrale Frage in der Diskussion um die Struktur und die Funktion des menschlichen Geistes. Der enorme Fortschritt der letzten Jahrzehnte im Bereich der elektrophysiologischen und bildgebenden Verfahren zur Messung neuronaler Aktivität erweitert nun die Diskussion über das Bewusstsein um moderne neurobiologische Erkenntnisse. Der Neurowissenschaftler Christof Koch ist Professor am California Institute of Technology und kann auf einen langjährigen regen Ideenaustausch mit dem Nobelpreisträger Francis Crick zurückblicken, was 1990 in einer ersten gemeinsamen Publikation über eine neurobiologische Theorie des Bewusstseins mündete. Nun hat er ein eigenes Buch zum Thema vorgelegt.

In der Vergangenheit wurden zahlreiche Spekulationen über die Funktionen des Bewusstseins aufgestellt. Diese umfassen beispielsweise die Entscheidungsfindung, Planung und Steuerung des Handelns, bewusste Kategorisierung, Schaffung langfristiger Ziele, Gebrauch von Sprache oder Kreativität. Der Autor verwendet jedoch eine sehr pragmatische, operationalisierte Definition: »Bewusstsein ist für Nicht-Routineaufgaben erforderlich, die einen Informationsrückhalt über Sekunden hinaus verlangen.« Im Gegensatz dazu stehen psychomotorische Routineaufgaben, so genannte »Zombieaktivitäten«, wie etwa automatisierte Bewegungsabläufe oder Bewegungen beim Schlafwandeln, die kein Bewusstsein erfordern. Im weiteren Verlauf konzentriert sich Koch weitgehend auf die Prozesse bewusster visueller Wahrnehmung: Es folgt eine spannende Suche nach den neuronalen Korrelaten für bewusste Wahrnehmung, den so genannten »NCC« (Neuronal Correlates of Consciousness). Die NCC sind die minimalen neuronalen Ereignisse, die gemeinsam für einen bestimmten bewussten Wahrnehmungseindruck hinreichend sind. Doch wo im Gehirn

finden diese neuronalen Ereignisse statt? Da das Vorausplanen eine Schlüsselfunktion des Bewusstseins ist – so postuliert Koch – müssen die NCC auch anatomische Verbindungen zu Planungs- und Ausführungszentren im Gehirn haben, und die liegen im präfrontalen Kortex. Eine weitere Voraussetzung, die eine Hirnregion erfüllen muss, um ein NCC darzustellen, ist ein Zusammenhang zwischen Wahrnehmung und neuronaler Aktivität. Dabei sollte die Stärke der neuronalen Aktivität mit dem »Sich-Bewusst-Sein« des Merkmals korreliert sein.

Das Arbeitsgedächtnis, also die Fähigkeit, Informationen und Eindrücke über mehrere Sekunden hinweg »präsent« zu halten, scheint eine enge Beziehung zum Bewusstsein zu haben. Das Arbeitsgedächtnis ist entscheidend für Alltagsaufgaben, bei denen die Daten kurz festgehalten und bearbeitet werden müssen. Koch geht sogar so weit zu behaupten, dass jeder Organismus mit Arbeitsgedächtnisfähigkeit wahrscheinlich auch über Bewusstsein verfügt, weshalb »die Präsenz eines Arbeitsgedächtnisses zum Lackmestest für Bewusstsein bei Tieren, Babys oder Patienten« wird, die nicht sprechen können.

Bei der spannenden Suche nach dem Sitz des Bewusstseins im Gehirn werden ein passant nicht nur wertvolle neuroanatomische Informationen wie zum Beispiel die Architektur des Neokortex vermittelt, sondern auch eine Reihe von grundlegenden neurophysiologischen Konzepten. So lernt der Leser beispielsweise das Bottom-up- vom Top-down-Aufmerksamkeitssystem zu unterscheiden, er lernt das Winner-takes-all-Prinzip, den Neglect, die Folgen einer Cingulotomie und viele andere neurowissenschaftlich relevante Begriffe kennen. Christof Koch beschreitet hin und wieder einige längere »Umwege«, um die Grundlage für das Verständnis der weiteren Gedankenführung zu schaffen (etwa ein ganzes Kapitel über die Architektur des zerebralen

Kortex). Dabei lässt er jedoch nie den roten Faden des Buches aus den Augen: die Frage nach der Relevanz der beschriebenen Befunde für die Suche nach dem Sitz des Bewusstseins.

Eine große Fülle an neurobiologischen Inhalten wird leicht verständlich, aber nie ungenau oder verwässert dargestellt. Das Buch ist didaktisch sehr gut strukturiert und hat nach jedem Kapitel eine kurze Zusammenfassung. Hinzu kommen ein hilfreiches Glossar und eine ausführliche Literaturliste mit zitierten Originalarbeiten. Zahlreiche Spannungsbögen sorgen dafür, dass man das Buch nach dem ersten



Christof Koch
Bewusstsein - ein neurobiologisches Rätsel
 Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag, 2005, ISBN 3-8274-1578-0, 504 Seiten, 48 Euro.

Kapitel kaum noch aus der Hand legen möchte. Alles in allem ist es ein sehr nutzbringendes Lesevergnügen und kann allen neurowissenschaftlich Interessierten, insbesondere Studenten (und Absolventen) der Medizin, Biologie und Psychologie nur wärmstens empfohlen werden. ♦

Der Autor

Dr. David Prvulovic ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Labor für Klinische Neurophysiologie und Neuroimaging an der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Universität Frankfurt.

Mühsame Detektivarbeit

Die Memorik als Herausforderung für die Geschichtswissenschaft

Frieds Buch »Der Schleier der Erinnerung« ist ein wichtiger Beitrag zu der Frage, was Geschichte kann und was Geschichte soll. Als theoretisches Werk ist es nicht einfach amüsante, unterhaltsame Lektüre, obwohl die verschiedenen Fallstudien zum Teil aus mittelalterlicher, zum Teil aus jüngerer Zeit, durchaus ihre unterhaltsamen Seiten haben. Fried geht als Historiker auf das Problem ein, dass unser Ge-

Unsere Zeit ist geradezu verliebt in Tatsachenwissen. Unzählige Bücher und Presseartikel versprechen für dieses oder jenes sensationelle Ereignis die Wahrheit, »wie es wirklich war«. Allein die Erwartung, dies sei möglich und sinnvoll, bringt ein grundsätzliches Missverständnis unserer Zeit im Verhältnis zur Natur von Lernen und Gedächtnis zum Ausdruck. Die Neurowissenschaften sind hier in keiner starken Position, da sie selbst noch mit den Fragen ringen, wie Informationen in unserem Hirn aufgenommen, abgelegt und wiedergegeben wird. Das Problem beginnt damit, dass die auf uns einströmende sensorische Information erstens um viele Größenordnungen zu umfangreich ist, um gespeichert zu werden, und zweitens ohne einen Selektions- und Interpretationsprozess unverdaulich und wertlos wäre. Es ist heute technisch möglich, mit Mikrophon und am Kopf befestigter Kamera alles aufzuzeichnen, was einem den lieben langen Tag begegnet. Wäre das nicht das perfekte Gedächtnis? Wie das Beispiel der Londoner Videoaufzeichnungen zeigt, könnten Totalaufnahmen gelegentlich für »historische« Verwendung nützlich sein (wobei unter sehr erheblichem Aufwand das Selektionsproblem nachträglich gelöst werden muss), aber für persönliche Zwecke, etwa den des Selbsterhalts, wäre die entstehende Datenmasse nichts als ein Müllberg.

Unser Gedächtnis leistet für uns die Aufgabe, in einer gegebenen Situation relevante Information aus der Vergangenheit unverzüglich verfügbar zu machen, uns etwa die Konsequenzen möglicher Handlungen vor Augen zu führen. Wie jeder kamerabewehrte Urlauber weiß, beginnt ein informativer Reisebericht mit zielstrebigem Auswahl beim Filmen und endet mit intensiver Editier- und Notationsarbeit. Ebenso setzen Lernen und Erinnern zielstrebige Selektion bei der Aufnahme und sinnvolles Einpassen des Aufgenommenen in eine wohlorganisierte Gedächtnisstruktur voraus. Sinn und Zweck unseres Gedächtnisses ist nicht auf Historie –

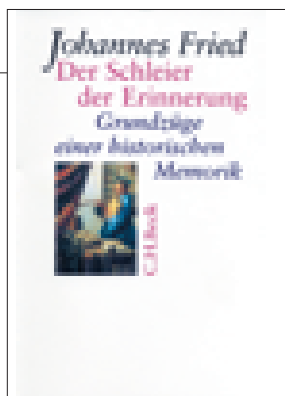
auf Vergangenheit – gerichtet, sondern auf das Fortkommen im Hier und Jetzt. Es ist so bewundernswert wie unverstanden, dass unser Hirn diese Aufgabe bewältigt und nicht nur einfach gespeichertes Wissen aufruft, sondern es dabei situationsgerecht aufarbeitet! Der Prozess der Aufnahme, Aufbereitung und Wiedergabe von Gedächtnis ist in allen seinen Stadien tiefgreifend beeinflusst von unseren jeweils gegenwärtigen Interpretationen und Zielen.

Entsprechend dürfen wir unserem Gedächtnis nicht gram sein, wenn es in der Tat Vergangenes selektiert, interpretiert, umformuliert, anpasst. Wie aber soll sich Historie angesichts dieser Verhältnisse verstehen? Will sie Annalen schreiben, muss sie sich der mühsamen Detektivarbeit stellen, durch den Schleier der Erinnerung zu sehen. Es bieten sich ihr aber noch mindestens zwei andere Rollen, wie Frieds Buch andeutet. Sie kann gerade die Verfälschungen und Umdeutungen – den Schleier – zu ihrem Gegenstand machen, um die Denkweise der Vergangenheit zu erschließen, und sie kann sich, aus der Geschichte für die Gegenwart lernend, ganz in Analogie zur Arbeitsweise des Gehirns zur Aufgabe machen, die Vergangenheit für die Zwecke der Gegenwart aufzuarbeiten (und folglich die Geschichte für jede Generation neu zu schreiben). Allen drei Aufgaben stellen sich die historischen Wissenschaften in der Tat, und Frieds Buch kann einen entscheidenden Beitrag dazu leisten, sie klarer als bisher zu formulieren und voneinander zu trennen. Gilt es doch, unsere Haltung zur Vergangenheit tiefgreifend zu verändern!

Der Autor

Prof. Dr. Christoph von der Malsburg ist Neurowissenschaftler und ist seit 1990 Direktor am Institut für Neuroinformatik der Ruhr-Universität Bochum. Als Adjunct Fellow ist er seit 2004 am Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS) tätig [siehe auch Anne Hardy »Disziplinen unter einem Dach: Das Frankfurter Institute for Advanced Studies (FIAS)«, Seite 95].

Johannes Fried
Der Schleier der Erinnerung. Grundzüge einer historischen Memorik,
C. H. Beck Verlag,
München 2004,
ISBN
3406522114,
512 Seiten,
39,90 Euro.



dächtnis für Ereignisse und Tatsachen unzuverlässig ist [siehe auch Johannes Fried, Die Geschichtswissenschaft und die Tücke des Gedächtnis, Seite 32] In jahrzehntelanger Arbeit hat er die relevante neurowissenschaftliche Literatur zusammengetragen, die dieses Faktum belegt und untersucht. Kein Übersichtsartikel eines professionellen Hirn- oder Kognitionswissenschaftlers könnte zum Thema gründlicher und autoritativer sein.

Da wir noch immer in der Illusion leben, unser Gedächtnis könne persönlich erlebte Ereignisse aufzeichnen wie ein Bandgerät oder eine Kamera, wirkt es wie ein Schock, wenn Fried uns vorführt, dass sich etwa noch nicht einmal Heisenberg und Bohr, höchstausgewiesene Wissenschaftler, zuverlässig an selbst wichtigste Details einer Begegnung erinnern können, die sie beide tief bewegt hat. Und dieses Problem ist nicht die Ausnahme, sondern – wie der Frankfurter Historiker Beispiel für Beispiel belegt – die Regel. Ein Großteil des Buches ist gefüllt mit der Darlegung verschiedener Gedächtnis-verfälschender Faktoren.

»Es rechnet, also bin ich?«

Sammelband mit kritisch philosophischen Reflexionen

Ob man den Fortschritt der Wissenschaft mit ihrer Mathematisierbarkeit gleichsetzen kann, ist eine vieldiskutierte Frage. Fakt ist, dass die Mathematisierbarkeit immer neue Bereiche der Naturwissenschaft wie die Bioinformatik erobert. Neuerdings wird der Versuch unternommen, auch den menschlichen Geist zu mathematisieren und damit restlos zu naturalisieren. Ist dieser Versuch methodisch gerechtfertigt, oder gibt es prinzipielle und faktische Grenzen des Berechenbaren? Um diese Frage von verschiedenen Seiten zu beleuchten, haben die Herausgeber Hans-Dieter Mutschler und Wolfgang R. Köhler neun Autoren in dem Sammelband »Ist der Geist berechenbar?« vereinigt.

Matthias Scheutz weist auf die Ursprünge der Berechnungshypothese (»Denkmaschinen« von Leibniz) im 17. Jahrhundert hin. Die These, dass kognitive Prozesse nichts anderes seien als Berechnungen, verhalf der Kognitionswissenschaft zu ihrem Aufstieg. Scheutz stellt die neuesten Einwände gegen die Berechnungsthese dar, wobei viele, aber nicht alle aus den Lagern der Kognitionswissenschaftler selbst kommen. Ihnen ist gemeinsam, dass sie Berechnung als Erklärungsmuster für nicht geeignet halten, weil sie die Bedingungen der realen Welt vernachlässigen. Scheutz plädiert aber dafür, einen neuen Berechnungsbegriff zu entwickeln, der die Kritik mit aufnimmt.

Klaus Fischer zeigt die drei Grundrüttler der Maschinentheorie des Bewusstseins auf. Jede Theorie der Künstlichen Intelligenz beruht auf drei Grundannahmen: 1. Der Funktionalismus behauptet, dass es für die Software (in diesem Fall also »Geist«) gleich sei, auf welcher Hardware sie laufe. 2. Nach der syntaktischen Theorie des Geistes ist Denken regelkonforme Manipulation von Symbolen und 3. Behaviorismus: Es gibt nur solche mentalen Phänomene, die einem äußeren Beobachter zugänglich sind. Alle drei Grundannahmen übersehen, dass in der Syntax die Semantik nicht enthalten ist. Fischer zeigt am Ende seines Aufsatzes

die ethischen Konsequenzen der Maschinentheorie auf und gibt so zu bedenken, ob es für das Leib-Seele-Problem nicht eine bessere Lösung gäbe.

Godehard Brüntrup zeigt die Grenzen eines Funktionalismus auf. Alle Spielarten des Funktionalismus verwickeln sich als metaphysische Theorien in Widersprüche. Ein schwach-reduktiver Funktionalismus erscheint als Forschungsheuristik, indem er das Mentale auf das Funktionale reduziert, als einzige mögliche naturwissenschaftliche Weise, den Geist zu untersuchen. Auch ein stark-reduktiver Funktionalismus kann in den Naturwissenschaften verwendet werden, wobei hierbei aber beachtet werden muss, dass er das Phänomen des Mentalen nicht mehr einholen kann.

Geert Keil kritisiert den Homunkulus-Fehlschluss in den Kognitionswissenschaften. Dieser tritt dann auf, wenn das Vermögen eines geistbegabten Wesens einem seiner Subsysteme zugeschrieben wird. Ein Homunkulus wird meistens dann eingeführt, wenn man intentionale in kausale Erklärungen überführen will. Keil kritisiert den Homunkulismus in drei Theorien, denen allensamt entgeht, dass ein Übergang von einer intentionalen zu einer mechanischen Erklärung deshalb nicht funktioniert, weil Homunkuli Adressaten von Anweisungen sind, für die notwendig intentionale Fähigkeiten postuliert werden müssen. Holm Tetens vertritt zwar die Auffassung, dass menschliches Verhalten nichts anderes ist als hirngesteuerte Bewegungen des menschlichen Organismus und der gehirngesteuerten Tätigkeit seiner Drüsen. Trotzdem ist es de facto nicht berechenbar, obwohl wir über richtige Theorien verfügen, da sich diese meist aus der eingeschränkten Komplexität der Laborversuche ergeben. Die Wirklichkeit des menschlichen Verhaltens ist aber viel zu komplex, um konkret berechnet werden zu können.

Hans-Dieter Mutschler macht darauf aufmerksam, dass die Computermetapher, nach der der Geist die Software, das Gehirn die Hard-

ware ist, voraussetzt, dass Materie rechnen kann. Mutschler zeigt, dass dies deshalb eine gewagte Behauptung ist, weil die Naturwissenschaft über keinen Materiebegriff verfügt und darüber hinaus die Computermetapher Zwecke in der Natur postulieren müsste. Louise Röska-Hardy beschäftigt sich mit der Frage, inwiefern geistige Prozesse mit physischen Prozessen identifiziert werden können. Die drei Hauptansätze, die dieses Anliegen verfolgen, der informationstheoretische An-



Wolfgang R. Köhler/
Hans-Dieter Mutschler (Hrsg.)
Ist der Geist berechenbar?
Philosophische Reflexionen
Wissenschaftliche
Buchgesellschaft,
Darmstadt 2003,
ISBN
3-534-17210-8,
206 Seiten,
34,90 Euro.

satz (Dretske), die Kausaltheorie (Fodor) und die teleosemantische Theorie (Millikan), können aber diese Behauptung (noch) nicht stringent einlösen, da alle drei Ansätze unter anderem dem Problem der Spezifität von intentionalen Gehalten nicht gerecht werden können. Wolfgang R. Köhler stellt die Berechenbarkeitsthese des menschlichen Geistes in Frage, wobei er einerseits Einwände aus der Neurobiologie, andererseits aus der Philosophie anführt. Köhler versucht darüber hinaus zu zeigen, welche Freiheitsbereiche dem menschlichen Geist zur Verfügung stehen.

Insgesamt bietet der Sammelband eine Reihe erstklassiger Beiträge zu einem aktuellen Problemfeld, wobei die Probleme und Voraussetzungen der Berechenbarkeitsthese stringent dargestellt werden. ◆

Der Autor

Tobias Müller ist als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur Religionsphilosophie, Fachbereich Katholische Theologie, tätig.

»Ich fühl' mich heute so ... bin ich«

Eine Ordnung der Gefühle

Rainer Maria
Kiesow/
Martin Korte
(Hrsg.)
**EGB –
Emotionales
Gesetzbuch.
Dekalog der
Gefühle**
Böhlau Verlag,
Köln/ Weimar/
Wien, 2005,
ISBN
3-412-17604-4,
320 Seiten,
26,90 Euro.



Juristen urteilen gerne. Und sie urteilen über fast alles. In das bestürzende Chaos einer Nebenkostenabrechnung bringen sie in aller Seelenruhe Übersicht. Aus den vernichtenden Verletzungen eines Arbeitszeugnisses machen sie unsinnlich-sinnlose Schmeicheleien. Sie entscheiden kaltblütig, welches Kind zu welcher Mutter gehört. Und ob K. den A. gerechtfertigt erschlagen hat, auch das interessiert sie noch, scheinbar ohne sie zu berühren. Wir trauen den Juristen einiges zu, aber eins kaum: ein Gefühl. Ein Rechtsgefühl mögen sie noch haben, aber ob und bei wem das rauscht, das wagt man heute kaum zu sagen. Zu tief sitzt die Erinnerung an jene furchtbar leidenschaftlichen Juristen wie Philipp Heck, die im Interesse des großen und geführten Gefühls die Bindung der Richter ans Gesetz bestritten. Und zu tief sitzt die Erinnerung an Pallas Athene, die in der Orestie des Aischylos all ihre Überredungskünste aufwendet, um die wutgetriebenen Erinnyen in stille Wächter des Rechts, in Eumeniden, zu wandeln.

Und nun ein EGB, ein emotionales Gesetzbuch. Geschrieben haben es Fachfrauen und -männer aus beinahe allen Gebieten, in denen die Emotion zum Forschungsgegenstand wurde – Medizinerinnen, Literatur- und Neurowissenschaftler, Philosophinnen, Historikerinnen und Psychologen und eben auch Juristen. Und alle haben sich einem juristischen Regime gebeugt und einen Dekalog

der Gefühle, einen Kommentar der Emotionen geschrieben. Die juristische Form mag den überraschen, der den modernen Bruch zwischen einer Regulierung der Affekte und der Rationalität des Rechts für erfolgreich vollzogen hält. Aber gerade das wird heute umkämpft und bestritten. Rationalisten und Emotionalisten streiten: »Cogito ergo sum« versus »Sentio ergo sum«. Und damit gibt es einen Streit um Willensfreiheit und Selbstbestimmung und um autonome Künste, Wissenschaften und Rechte.

Wieso spricht man vom Chaos der Gefühle, da sie doch alles schöner und fester ordnen, als der immer weiter klärungsbedürftige Begriff? Daran haben sich auch die Autoren gehalten und den Dekalog durch zehn ausgewählte Emotionen ordnen lassen: Aggression, Angst, Ärger, Ekel, Ich, Lust, Peinlichkeit, Rache, Schmerz und Schuld. Jedem der Gefühle ordnen sie Gebote (»Hasse deine Feinde; Genieße; Quäl dich, du, Sau«), und Kommentare zu. Es ist vielleicht nicht ganz nachzuvollziehen, warum die Autoren über das Ganze noch die Ordnung des Alphabets gestülpt haben, aber die Willkür des Alphabets schafft für die Lektüre des Buches einen Widerstand, vor dessen Hintergrund die Eigenordnung der Gefühle umso stärker hervortritt. Denn die hatte schon immer einen bestechenden Effekt. Sie brachte uns die Poetik abgestufter Affekte zwischen Tragödie und Komödie, die Bildgattungen zwischen Historie und Boudoirbild, den Pathos des Öffentlichen und den Ethos des Intimen. Die Ordnung der Gefühle schafft die großen Choreografien im Theater der Welt und auch noch die Choreografie randalierender Hooligans in tristen Pariser Vororten. Kultur wie Subkultur ordnen sich im Strom jenes Sublimen oder Subtilen, das wir in Emotionen erfassen und in Hass oder Liebe, Angst oder Lust teilen oder abwehren.

Seinen Reiz entfaltet das Buch mit einem eigensinnigen Lockmotiv, einem Layout, das den Leser aus der Ruhe des Umblätterns in

die Unruhe des Quer- und Weiterlesens und zum Nachvollzug der Emotionen bringt. Auf analytische Vereinheitlichung wird verzichtet: Brüchiges Nebeneinander statt fließenden Miteinander; sperriges Aneinandervorbeireden statt verständnisvoll interdisziplinären Diskurses. Der Diskurs der Gefühle tritt dabei mal klarer, mal kontroverser, mal gezügelter und mal zugespitzter hervor. Das Buch ist so, wie Wissenschaft oft behauptet zu sein, nie aber sein kann: Es findet sich alles Mögliche von allen möglichen Seiten betrachtet. Rainer Maria Kiesow erzählt zum Beispiel eine Geschichte des Rechtsgefühls, Susanne Erk erläutert die Neurowissenschaft der Schuld. Björn Falkenburger klärt über die Wirkung von Dopamin und Kokain auf, und Wolf Singer erklärt sich und sein Gehirn. Robert André verknüpft den Rachetrieb von Orest, Hamlet und Michael Kohlhaas. Sein Text wird konträrpunktisch verzahnt mit musikerischen Ausführungen zur Klangrede der Rache (Cordula Neis). Und die, die einst ihrem Gefühl folgten und glaubten, nicht richtig zu hören, können auch noch den nervtötenden Text von Stefan Raabs »Maschendrahtzaun« nachlesen. Die Autoren signalisieren, dass zum Gefühl die ganze Bandbreite möglicher emotionsauslösender Faktoren vom hohen Ton der Messe in h-Moll über den sachlichen Ton der Wissenschaft bis zu niedrigen Empathieformen der Spaßkneipen gehört. Und sie muten uns in rasender Supervision die ganze Bandbreite zu. In weiterführenden Literaturhinweisen findet man die Heroen der Emotionsforschung, von Seneca über Shaftesbury bis hin zu Damasio und Ciompi. Verbucht und gewitzt vermittelt von der Jungen Akademie der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina. ◆

Der Autor

Dr. Fabian Steinhauer ist Mitarbeiter am Institut für Öffentliches Recht, seine Schwerpunkte sind die Rechtstheorie und das Medienrecht.

Brückenschlag zwischen Hirnforschung und Psychologie

Exemplarisch verknüpft Gerald Krefl Geschichte der Neurowissenschaften mit deutsch-jüdischer Historiographie

Unter den aktuellen Publikationen, die von der modernen Hirnforschung aufgeworfene Fragen diskutieren, nimmt das vorliegende Buch eine Sonderstellung ein. Wie Gehirn und Bewusstsein, wie Hirnforschung und Psychologie sich zueinander verhalten, bewegte bereits vor über 100 Jahren die Gemüter. Während damals die Psychologie als akademische Disziplin entstand, scheinen wir nunmehr eine ähnliche Etablierung der Neurowissenschaften mitzuerleben. Insofern eröffnet die erstmalige Rekonstruktion der Geschichte des ältesten Hirnforschungsinstituts in Deutschland nicht nur einen historischen Rückblick auf die Formationsperiode dieses Wissenschaftsreichs, sondern auch Einsichten in Konstitutionsprobleme, die diese Perspektive auf unser Selbstverständnis als Menschen mit sich bringt. Innovativ verknüpft der Frankfurter Soziologe und Medizinhistoriker Gerald Krefl dabei den neurowissenschaftlichen mit einem anderen internationalen Diskurs, der Historiographie der deutschen Juden.

Das Buch besteht aus neun Kapiteln, die inhaltlich eigenständig sind, aber in ihren wechselseitigen Bezügen den übergreifenden Argumentationszusammenhang entfalten. Zunächst rekapituliert Krefl die bisherige Rezeption Ludwig Edingers (1855–1918) sowie der Geschichte seines Neurologischen Instituts an der Universität Frankfurt und führt dabei vor Augen, wie beide durch den Nationalsozialismus beziehungsweise den in den 1950er Jahren konstruierten »Gründungsmythos« rückwirkend verzerrt wurden. Insbesondere legt Krefls Neuanfang genuine Zusammenhänge zwischen Edinger und seinem Nachfolger Kurt Goldstein (1878–1965) frei, der 1933 aus Deutschland vertrieben wurde.

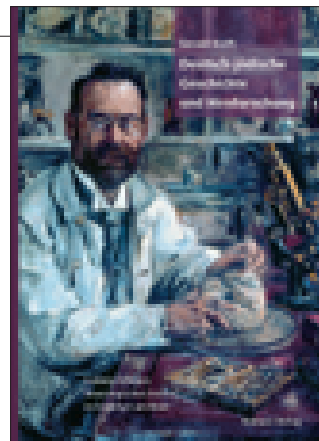
Zunächst wird das überkommene Edinger-Bild um Dimensionen deutsch-jüdischer Akkulturation erweitert. Diese vollzog sich im Geiste

der humanistischen Bildungsidee und verhielt in der Identifikation mit Goethe die »gesellschaftliche Integration als Deutscher und Jude«. Anschließend verdeutlichen vielfältige Bezüge zu Sigmund Freud (1856–1939) Edingers Bedeutung als Nervenarzt, der Bertha Pappenheim (Freuds »Anna O.«) nach deren Übersiedelung aus Wien behandelte. Freud wie Edinger leiteten die »Eigenständigkeit einer rein psychologischen Therapie« aus der – bis auf weiteres – unaufhebbaren »Lücke« zwischen dem Bewusstsein und seinen zerebralen Entstehungsbedingungen ab, entwickelten jedoch zwei gegenläufige und »methodologisch eigenständige Forschungsprogramme innerhalb eines übergreifenden Diskursuniversums biopsychischer Vorläufigkeit«.

Als vergleichender Neuroanatom wollte Edinger an seinem Neurologischen Institut verschiedene Wege der Hirnforschung interdisziplinär organisieren, um so eine Brücke zur Psychologie zu schlagen. Krefl diskutiert dieses Projekt – inzwischen nennt man es »Neuroscience« – im zeitgenössischen Kontext von Evolutionstheorie und Neukantianismus. Nach wie vor gilt, dass alle Versuche, Bewusstsein neurobiologisch zu erfassen, Bewusstsein immer schon voraussetzen. Die Aufhebung dieser zirkulären Bewegung vollzogen Edinger und Goldstein mit Goethes ästhetischer Anschauung einer qualitativ geformten, immanent-zweckmäßigen und kreativ-schöpferischen Natur, in der sie die biologische Basis menschlicher Freiheit sahen. »Vor diesem Horizont«, resümiert Krefl, »imponiert das Projekt des Brückenschlages zwischen Hirnforschung und Psychologie selbst als eine Art unabschließbarer Transformationsprozess von Metaphern und Gestalten, in denen sich die kulturhistorische Vermittlung von Natur und Gesellschaft ausdrückt«.

Von der Passhöhe dieses systematischen Gedankens aus lässt sich die zweite Hälfte des Buches überblicken. Dargestellt werden Gold-

steins Begründung der Neuropsychologie, seine Beziehungen zu Gestaltpsychologie, Psychoanalyse, Existenzphilosophie und Kritischer Theorie sowie seine Ambivalenzen zur Rassenfrage, die bis in seine »zweite Karriere« im US-amerikanischen Exil reichen. Sichtbar wird eine von Edinger ausgehende deutsch-jüdische Traditionslinie der Hirnforschung, die sich durch mehrschichtige Bezüge auf Goethe auszeichnet. Ihr kontrastiert das Bild des »arischen Goethe« beim nationalsozialistischen Rassentheoretiker Victor Franz (1883–1950).



Gerald Krefl
Deutsch-jüdische Geschichte und Hirnforschung. Ludwig Edingers Neurologisches Institut in Frankfurt am Main
Mabuse-Verlag, Frankfurt am Main 2005, ISBN 3-935964-72-2, 469 Seiten, 44 Euro.

In einem Kapitel seiner in den 1930er Jahren entstandenen Autobiografie, das Krefl zusammen mit dem Jenaer Wissenschaftshistoriker Uwe Hoßfeld erstmals veröffentlicht und analysiert, erklärte Franz über seine Assistenzzeit bei Edinger: »seitdem bin ich Antisemit«.

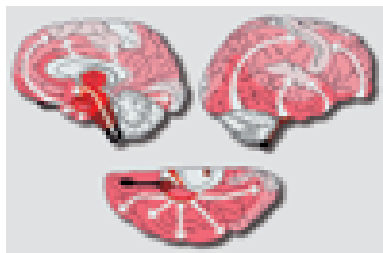
Krefls gedankenreiches und anschaulich illustriertes Buch ist allen zu empfehlen, die sich für deutsch-jüdische Geschichte und die kulturelle Einbettung vermeintlich objektiver Hirnforschung interessieren. ♦

Der Autor

Ulrich Lilienthal, Religionsphilosoph (M. A.), ist stellvertretender Leiter der Fortbildungsakademie der Wirtschaft gGmbH in Hanau sowie Lehrbeauftragter der Universität des 3. Lebensalters an der Universität Frankfurt.

Die nächste Ausgabe von »Forschung Frankfurt« erscheint Ende April 2006.

Könnte ein auf Nervenzellen des Magen-Darmtraktes wirkendes Pathogen den sporadischen Morbus Parkinson verursachen?



Dem sporadischen Morbus Parkinson liegt ein eigenartiger pathologischer Prozess zugrunde, dessen Ursache bis heute nicht geklärt ist. Für das Krankheitsbild kennzeichnend ist die Entwicklung bestimmter Einschlusskörper in empfindlichen Nervenzelltypen des gesamten Nervensystems. Frühe Fälle,

die zu Lebzeiten noch keine Parkinson-typischen Symptome entwickelt hatten, können bereits Schäden im enterischen Nervensystem zeigen, also in den Nervengeflechten, die in der Wand des Magen-Darmtraktes verborgen liegen. Innerhalb des Gehirns beginnt der Prozess im dorsalen motorischen Kern des *Nervus vagus*, dem Hauptnerv des parasympathischen Systems, und breitet sich von dort über weitere Gebiete des zentralen Nervensystems in vorhersagbarer Weise aus. Alle zeitlich nacheinander erkrankenden Gebiete sind durch

anatomische Bahnen miteinander verbunden. Es erhebt sich also die Frage, ob ein zur Zeit noch nicht identifizierter und auf Nervenzellen gerichteter krankmachender Faktor (ein Pathogen) vom Magen-Darmtrakt aus die Erkrankung verursacht. Wie Prof. Dr. Heiko Braak und Kelly Del Tredici in der nächsten Ausgabe von »Forschung Frankfurt« erklären, sollte dieses Pathogen so beschaffen sein, dass es – nach Überwindung der Epithelschicht – von Zellfortsätzen empfindlicher enterischer Nervenzellarten aufgenommen und nachfolgend über Axone des *Nervus vagus* in das zentrale Nervensystem verlagert werden könnte. Über weitere Passagen sollte das Pathogen in der Lage sein, alle vulnerablen Kerngebiete und Rindenfelder im Gehirn zu erreichen. Der vorgeschlagene Mechanismus würde erklären, weshalb der aufsteigende pathologische Prozess im Verlauf des sporadischen Morbus Parkinson umschriebene und miteinander verbundene Bereiche des Gehirns in geordneter Reihenfolge und Richtung ergreift. ♦

Wissenschaftsmagazin der Johann Wolfgang Goethe-Universität

Impressum

Herausgeber

Der Präsident der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main

Redaktion

Ulrike Jaspers, Diplom-Journalistin
Referentin für Wissenschaftskommunikation,
Senckenberganlage 31, Raum 1053, 60054 Frankfurt am Main
Telefon (069)798-23266, Telefax (069) 798-28530
E-Mail: jaspers@tg.uni-frankfurt.de

Redaktionelle und konzeptionelle Mitarbeit

Stefan Kieß, Diplom-Biologe, Telefon (069) 6301-5450
E-Mail: kiess@em.uni-frankfurt.de

Konzeptionelle Beratung

Prof. Dr. Thomas M. Schmidt, Geschäftsführender Direktor des Instituts für Religionsphilosophische Forschung (IRF), Fachbereich Katholische Theologie, Telefon (069) 798-33270, E-Mail: t.schmidt@em.uni-frankfurt.de

Vertrieb

Ingrid Steier, Senckenberganlage 31, 60054 Frankfurt am Main,
Raum 1052, Telefon (069)798-22472, E-Mail: I.Steier@vdv.uni-frankfurt.de

Anzeigen und Verlag

VMK Verlag für Marketing und Kommunikation GmbH&Co.KG, Faberstraße 17,
67590 Monsheim, Telefon: 06243/909-0, Telefax: 06243/909-400
E-Mail: info@vmk-verlag.de, Internet: www.vmk-verlag.de

Druck

VMK-Druckerei GmbH, Faberstraße 17, 67590 Monsheim,
Telefon: 06243/909-110, Telefax: 06243/909-100
E-Mail: info@vmk-druckerei.de, Internet: www.vmk-verlag.de

Illustrationen, Layout und Herstellung

schreiberVIS, Joachim Schreiber, Villastraße 9A, 64342 Seeheim,
Tel. (06257) 962131, Fax (06257) 962132, ISDN-Leo (06257) 962133,
E-Mail: joachim@schreibervis.de, Internet: www.schreibervis.de

Grafisches Konzept

Elmar Lixenfeld, Büro für Redaktion und Gestaltung,
Werrastraße 2, 60486 Frankfurt am Main
Telefon (069) 7075828, Telefax (069) 7075829, E-Mail: e.lixenfeld@t-online.de

Bezugsbedingungen

»Forschung Frankfurt« kann gegen eine jährliche Gebühr von 14 Euro abonniert werden. Das Einzelheft kostet 3,50 Euro. Einzelverkauf u.a. im Buch- und Zeitschriftenhandel in Uni-Nähe und beim Vertrieb.

Für Mitglieder der Vereinigung von Freunden und Förderern der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main e.V. sind die Abonnementgebühren für »Forschung Frankfurt« im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Hinweis für Bezieher von »Forschung Frankfurt« (gem. Hess. Datenschutzgesetz): Für Vertrieb und Abonnementverwaltung von »Forschung Frankfurt« werden die erforderlichen Daten der Bezieher in einer automatisierten Datei gespeichert, die folgende Angaben enthält: Name, Vorname, Anschrift, Bezugszeitraum und – bei Teilnahme am Abbuchungsverfahren – die Bankverbindung. Die Daten werden nach Beendigung des Bezugs gelöscht.

Die Beiträge geben die Meinung der Autoren wieder. Der Nachdruck von Beiträgen ist nach Absprache möglich.

Titelbild: Plastische Illustrationen von Elmar Lixenfeld, fotografiert von Uwe Dettmar, Frankfurt (Näheres zu Künstler und Kunstwerken siehe Seite 31).

Editorial: Foto von Dettmar.

Inhalt: Hinweise bei den jeweiligen Beiträgen.

Nachrichten: Grafiken Seite 5 von Katrin Neumann, Frankfurt; Foto Seite 6 von Tobias Heinrich Duncker, Aachen; Foto Seite 7 von Dettmar.

Forschung intensiv – Kunstgeschichte: Gemälde Seite 8, Musée du Louvre, Paris; Illustrationen, Seite 9 oben Christopher Tyler und Leonid Kontsevich, *What makes Mona Lisa smile?*, in: *Vision Research*, Bd. 44, 2004, S. 1496; Zeichnung Seite 9 unten Windsor, Royal Library, inv. 19073/19074r; Zeichnung Seite 10 oben Windsor, Royal Library, 19007v; Zeichnung Seite 9 unten Windsor, Royal Library, 19058r; Zeichnung Seite 11 Windsor, Royal Library, 19070v; Gemälde Seite 11 unten Vatikanische Museen, Rom, Reproduktion aus Archiv für Kunst und Geschichte (AKG), Berlin; Gemälde Seite 12 Refektorium von Santa Maria delle Grazie, Mailand; Autorenfoto Seite 12 von Dettmar.

Forschung intensiv – Kognitive Hirnforschung: Foto Seite 14 von Dettmar; Illustration Seite 14 unten Akiyoshi Kitaoka, Ritsumeikan Universität (Japan); alle Abbildungen Seite 15 bis 20 von Lars Muckli und Axel Kohler, Frankfurt; Foto Seite 18 aus dem Archiv der Universität Frankfurt; Autorenfoto Seite 20 von Dettmar.

Forschung intensiv – Neurokognition: Abbildung Seite 21 von Metropolitan Transportation Authority New York City Subway; Foto Seite 23 von Christoph Bledowski, Frankfurt; alle Abbildungen Seite 22 bis 25 aus dem Institut für Medizinische Psychologie, Frankfurt; Autorenfoto Seite 25 von Dettmar.

Forschung intensiv – Rechtsphilosophie: Plastische Illustrationen Seite 26 bis 28 von Lixenfeld, fotografiert von Dettmar; Autorenfotos Seite 30 und 31 von Dettmar.

Forschung intensiv – Gesichtswissenschaft: Plastische Illustrationen Seite 32 bis 36 von Lixenfeld, fotografiert von Dettmar; Autorenfoto Seite 36 von Dettmar.

Forschung aktuell: alle Abbildungen Seite 38 bis 40 von Notger Müller, Frankfurt; plastische Illustrationen Seite 41 bis 44 von Lixenfeld, fotografiert von Dettmar; Abbildung Seite 45 vom Max-Planck-Institut für Hirnforschung, Frankfurt; Abbildung Seite 46 aus M.P. Young, *Proc. R. Soc. Lond. B* (1993) 252, S.13–18; Abbildung Seite 47 aus R. Rodriguez et al., *J. Neuroscience* (2004) 24, S. 10369–78; Abbildung Seite 48 oben von Rainer Goebel, Brain Innovation, Maastricht; Abbildungen Seite 48 unten sowie Seite 49 von Henrik Walter, Frankfurt; plastische Illustrationen Seite 51 bis 61 von Lixenfeld, fotografiert von Dettmar; alle Abbildung Seite 62 bis 64 von Jochen Triesch, Frankfurt; Fotos Seite 64 von Stefanie Frahsek, Frankfurt; Grafik Seite 66 aus *Development Psychology*, 1995, Vol. 31, No. 4, S. 628 und S. 629; plastische Illustrationen Seite 68 bis 71 von Lixenfeld; Illustrationen Seite 70 von Claudia Meindl, Frankfurt; Abbildung S. 74 unten vom Brain Imaging Center Frankfurt; Fotos und Abbildungen Seite 72 bis 75 aus der Neurochirurgischen Klinik Frankfurt.

Perspektiven: Fotos Seite 76 von Dettmar; Fotos Seite 77 oben von Christian Lienert, Frankfurt; Fotos Seite 77 unten von Uwe Dettmar, Rainer Goebel, Brain Innovation, Maastricht, Marcus Naumer, Frankfurt; Abbildung Seite 79 von Stefan Kieß, Frankfurt, und Joachim Schreiber, Seeheim-Jugendheim; Fotos Seite 80 bis 91 von Dettmar; alle Abbildungen Seite 92 bis 94 von Wolfgang Schlote, Frankfurt; Fotos Seite 95 von Agentur Focus, SPL-Motiv, Hamburg; Foto Seite 96 von Christoph von der Malsburg, Bochum; Foto Seite 97 oben von Vilayanur Ramachandran, San Diego; Foto Seite 97 unten von Thomas Metzinger, Mainz.

Vorschau: Abbildungen Seite 108 von Heiko Braak, Frankfurt.