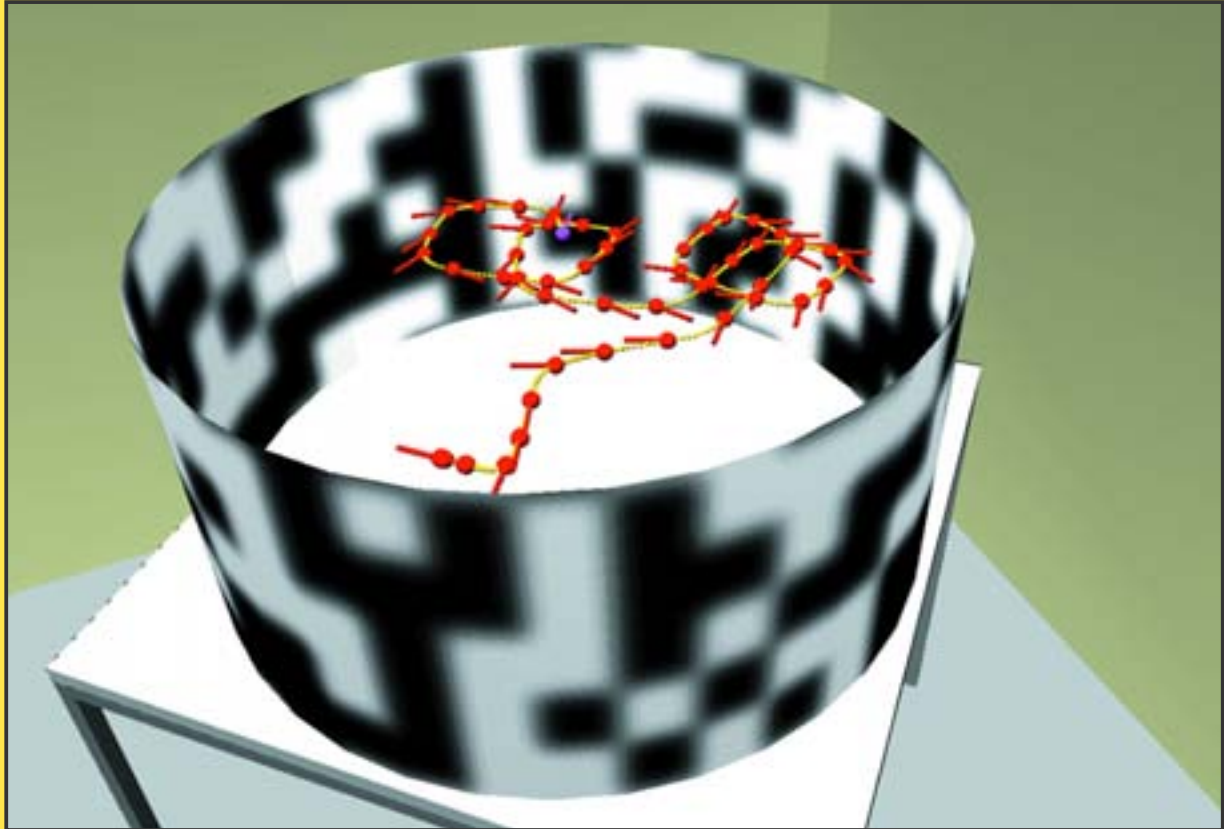


Forschung

an der Universität Bielefeld



Von der Nervenzelle zum Bewusstsein

Neurowissenschaften
an der Universität Bielefeld

- Tödlicher Verkehrsstau in der Nervenzelle
- Aus den Augen in den Sinn:
Wohin blickt ein Vogel?
- Aktives Sehen: Strategien und neuronale
Mechanismen der Raumorientierung
- Komplexes Verhalten erfordert kein
komplexes Gehirn
- Neuronale Netze: von Daten zu Bedeutung
- Epileptische Anfälle und Epilepsien
- Die Hirnaktivität auf dem Prüfstand
- Gehirn, Gedächtnis und Bewusstsein
- Anna, Anmut, Anker:
Die Struktur der Wörter im Gehirn
- Willensfreiheit – nichts als eine Illusion?
- Glaube und Gehirnwäsche

Universität Bielefeld

28/2005

Abbildungen S. 5 und 6: Autorenabbildung, auch in: Nature Genetics 37 (2005) ■ Abildung S. 39: Michael Deppe, Funktionelle transkranielle Doppler-Sonographie - Methodik zur Erfassung ereignisbezogener Gehirnaktivitätsänderungen, Diss. Münster 2000, Abb. 2.1 ■ Abbildung S. 46 unten: nach Markowitsch, NeuroImage 20 (2003), S. 132–138 ■ Abbildung S. 48 oben: nach Siebert et. al., Brain 126 (2000), S. 2627–2637 ■ Abbildung S. 48 unten: nach Markowitsch et. al., Behavioural Neurology 12 (2000), S. 181-190 ■ Abbildung S. 49: nach Markowitsch et al., Neuropsychiatry, Neuropsychology and Behavioral Neurology 13 (2000), S. 60–66 ■ Abbildung S. 50: nach Markowitsch, Anästhesiologie & Intensivmedizin 39 (1998) , S. 627–633 ■ Abbildung S. 51: nach Thiel et al., NeuroImage 25 (2005), S. 815–823 ■ Abbildung S.55: Horst M. Müller (Hg.), Arbeitsbuch Linguistik, Paderborn 2002, S. 27 ■ Abbildung S. 58 links: Norma Langohr, Mitte: Hansekolleg Delmenhorst mit freundlicher Genehmigung, rechts: Max-Planck-Institut für Hirnforschung Frankfurt/M. mit freundlicher Genehmigung ■ Abbildung S. 60: dpa Picture-Alliance ■ Abbildungen S. 62–65: epd-Bilddatenbank ■ Weitere Abbildungen wurden von den Autoren zur Verfügung gestellt ■ Autorenporträts, soweit nicht von den Autoren selbst zur Verfügung gestellt: Norma Langohr

Herausgeber: Universität Bielefeld, Informations- und Pressestelle ■ Redaktion: Dr. Hans-Martin Kruckis (verantwortlich), Maria Tzankow ■ Übersetzungen: Günter Seib ■ Satz und Gestaltung: Thomas P. Kiper, Hunteweg 28, 33689 Bielefeld ■ Anzeigen: Marlies Läge-Knuth ■ Gesamtherstellung: Druck und Medienhaus Hans Gieselmann GmbH & Co. KG, Ackerstr. 54, 33649 Bielefeld, Tel. 0521/94609-0, Fax 0521/94609-99, E-Mail: gieselmanndruck@gieselmanndruck.de, Internet: www.gieselmanndruck.de ■ Auflage: 4000 ■ Anschrift von Redaktion und Vertrieb: Informations- und Pressestelle der Universität Bielefeld, Postfach 100131, 33501 Bielefeld, Tel. 0521/106-4146, Fax 0521/106-2964 ■ Internet: www.uni-bielefeld.de/Presse/fomag/

Der ungekürzte Nachdruck von Beiträgen ist unter Nennung des Autors und der Quelle und unter Beachtung des Copyrights für die Abbildungen frei ■ Wir bitten um Belegexemplare.

Flugbahn einer Virtuellen Fliege in einer texturierten Flugarena, wie sie von Bielefelder Neurobiologen im Zusammenhang mit ihren Forschungen zum Flugverhalten der Fliege eingesetzt wird. Mehr dazu lesen Sie in dem Artikel „Aktives Sehen: Strategien und neuronale Mechanismen der Raumorientierung“ ab Seite 15.

■ Abbildungen

■ Impressum

■ ISSN 0937-2873

■ Titelbild



WDR 5

Roboter – die besseren Forscher?
Großstädte – das Paradies für
Singvögel? Intelligenz – eine Frage
der Gene? Bachelor & Master – das
neue Bildungswunder?

Gut zuhören

WDR 5
Leonardo
Wissenschaft
und mehr

Es gibt unendlich viele Fragen, *WDR 5 Leonardo – Wissenschaft und mehr* beantwortet sie – verständlich, kompetent und unterhaltsam.

Leonardo im Radio:

Montag bis Freitag 16.05 bis 17.00 Uhr,
Wiederholung 22.05 bis 23.00 Uhr

Leonardo im Internet:

Aktuelle Hintergrundinfos, ausführliche
Dossiers und Manuskriptdownload
www.wdr5.de

Hören erleben WDR 5

In den letzten Jahren haben sich die Neurowissenschaften zu einem der auch für die außerwissenschaftliche Öffentlichkeit faszinierendsten interdisziplinären Forschungsbereiche entwickelt. Einerseits haben sich die Analysemethoden – etwa durch die Entwicklung hochdifferenzierter bildgebender Verfahren – extrem verfeinert und Einblicke in die Funktionsweise von Gehirn und Nervensystem ermöglicht, die vor nicht allzu langer Zeit undenkbar waren und nicht zuletzt Aussicht auf große medizinische und psychiatrische Fortschritte eröffnen. Andererseits verknüpfen sich mit diesen neuen Erkenntnissen auch Diskussionen von allgemeiner gesellschaftlicher Relevanz: Dazu gehören nach immer wieder erneuernden Erkenntnissen über die Leistungsfähigkeit unseres Bildungssystems nicht zuletzt moderne Theorien des Lernens, aber auch so basale Fragen wie die nach der Willensfreiheit oder der Stellenwert des Bewusstseins im Kontext der Sterbehilfediskussion.

Auch an der Universität Bielefeld arbeiten zahlreiche Wissenschaftler unterschiedlichster Disziplinen an neurowissenschaftlichen Themenstellungen. Die vorliegende Ausgabe des Forschungsmagazins will ohne Anspruch auf Vollständigkeit einen Eindruck von dieser Vielfalt vermitteln und zwar „in aufsteigender Linie“: vom Zentralnervensystem bis zum menschlichen Bewusstsein. Naturgemäß findet ein großer Teil neurowissenschaftlicher Forschung auch in Bielefeld in der Biologie statt. Zu Beginn stellen Experten für Molekulare Pathologie um Harald Jockusch und Thomas Schmitt-John neueste Ergebnisse ihrer Forschungen zur Nervenkrankheit Amyotrophe Lateralsklerose (ALS) vor. Die Verhaltensforscher Hans-Joachim Bischof und Joe Voss stellen dar, wie Vögel mit der Tatsache umgehen, durch die Stellung ihrer Augen zwei nahezu vollständig getrennte Bilder im Gehirn verarbeiten zu müssen. Die erstaunlichen Flugleistungen der Fliege und ihre Verarbeitung visueller Reize beschreiben der Neurobiologe Martin Egelhaaf und seine Arbeitsgruppe. Holk Cruse und seine Mitarbeiter aus der Biologischen Kybernetik analysieren den Laufapparat der Stabheuschrecke und kommen zu dem Ergebnis, dass komplexes Verhalten nicht zwingend ein komplexes Gehirn voraussetzt.

Auch auf eher metaphorischer Ebene ist das „Neuro-Thema“ in Bielefeld produktiv: Die Informtiker Helge Ritter und Jörg Ontrup beschreiben, wie „Neuronale Netze“ in der Computertechnik aufgebaut und zu welchen erstaunlichen Leistungen sie fähig sind. In dem das Heft abschließenden Beitrag geht Barbara Keller (Forschungsstelle Biographische Religionsforschung) im Zusammenhang mit religiösen Sekten der Frage nach, ob es so etwas wie „Gehirnwäsche“ gibt. In beiden Artikeln wird deutlich, dass es nicht nur um einen metaphorischen Bezug geht, sondern tatsächlich enge Bezüge zur „realen“ Hirnforschung bestehen (können). Eine Übersicht zur Epilepsie-Forschung in den von Bodelschwingschen Anstalten Bethel bietet Bernd Pohlmann-Eden, der als deren Leiter zugleich Professor an der Fakultät für Gesundheitswissenschaften der Universität Bielefeld ist. Die enge Zusammenarbeit von Neurowissenschaftlern der Universität mit Bethel klingt auch in anderen Beiträgen des Magazins an – genauso wie die intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit auf diesem Gebiet innerhalb der Universität.

Dem Mediziner folgen die Psychologen: Hans J. Markowitsch führt in seine Forschungen zu Gedächtnis und Bewusstsein ein, die auch außerwissenschaftlich große Aufmerksamkeit erregt haben. Eine Darstellung der Arbeit im Bereich „Klinische Neuropsychologie“ (Leitung Wolfgang Hartje) schließt sich an, in der es um faszinierende Fragen der Hirnaktivität und ihres Nachweises geht. Nicht weit von diesen Fragestellungen entfernt liegt die Abhandlung des Neurolinguisten Horst M. Müller, in der gezeigt wird, wie gut sich die schon aus der Antike bekannte Wortarteneinteilung auf neueste Erkenntnisse der Hirnforschung beziehen lässt. Sehr prononciert setzt sich schließlich der Philosoph Ansgar Beckermann mit dem oben schon erwähnten Thema „Willensfreiheit“ auseinander und kommt dabei zu entschieden anderen Ergebnissen als prominente Neurowissenschaftler.

Das Thema zu dieser Ausgabe des Forschungsmagazins geht auf den langjährigen inzwischen in den Ruhestand getretenen Leiter der Pressestelle der Universität Bielefeld, Gerhard Trott, zurück, dem dieses Heft gewidmet sein soll.



S. 5

Tödlicher Verkehrsstau in der Nervenzelle

An einem Mausmodell für Amyotrophe Lateralsklerose (ALS) wurde ein neuer Mechanismus für neurodegenerative Erbkrankheiten entdeckt

Thomas Schmitt-John,
Carsten Drepper,
Peter Heimann,
Harald Jockusch



S. 10

Aus den Augen in den Sinn: Wohin blickt ein Vogel?

Hans-Joachim Bischof,
Joe Voss



S. 15

Aktives Sehen: Strategien und neuronale Mechanismen der Raumorientierung

Martin Egelhaaf,
Roland Kern,
Jens P. Lindemann,
Holger Weiss

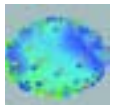


S. 21

Komplexes Verhalten erfordert kein komplexes Gehirn

Wie die Stabheuschrecke ihren Bewegungsapparat koordiniert

Bettina Bläsing,
Holk Cruse,
Volker Dürr,
Josef Schmitz



S. 26

Neuronale Netze: von Daten zu Bedeutung

Helge Ritter,
Jörg Ontrup



S. 33

Epileptische Anfälle und Epilepsien – Eine häufige menschlich-medizinische und wissenschaftliche Herausforderung

Bernd
Pohlmann-Eden



S. 39

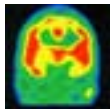
Die Hirnaktivität auf dem Prüfstand

Neurowissenschaftliche Forschung in der Arbeitsgruppe
„Klinische Psychologie – Neuropsychologie“

Wolfgang Hartje,
Michael Bulla-Hellwig,
Cornelia Macek, Anke
Menzel-Begemann,
Sören Krach,
Wolfhard Skreczek

S. 44

Forschungspreise an Wissenschaftler der Universität Bielefeld im Jahr 2004/05



S. 45

Gehirn, Gedächtnis und Bewusstsein

Die neurale Basis von Gedächtnis und Gedächtnisstörungen

Hans-J. Markowitsch



S. 52

Anna, Anmut, Anker: die Struktur der Wörter im Gehirn

Horst H. Müller

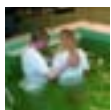


S. 57

Willensfreiheit – nichts als eine Illusion?

Philosophische Überlegungen zu neurowissenschaftlichen
Behauptungen

Ansgar Beckermann

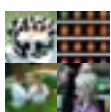


S. 62

Glaube und Gehirnwäsche

Zur Freiwilligkeit der Zugehörigkeit zu neuereigiös-
fundamentalistischen Glaubensgemeinschaften

Barbara Keller



S. 67

Abstracts

Westfälisch-Lippische Universitätsgesellschaft

– Verein der Freunde und Förderer e.V. –

Werden Sie Mitglied !

Eine Universität braucht Freunde. Sie braucht Kontakt zur Öffentlichkeit. Sie braucht das Engagement aller Bürger und aller privaten oder öffentlichen Körperschaften und Firmen der Region. Sie braucht auch die Verbundenheit ihrer Studenten über die Studienzeit hinaus. Sie braucht die Unterstützung aller Kreise zur Erfüllung ihrer Aufgaben. Dies gilt erst recht für eine junge und expandierende Universität.

Wir laden Sie zum Beitritt ein!

Was wir tun:

Förderung von Forschung und Lehre der Universität: Unterstützung von Fakultäten, Einrichtungen und Forschungsvorhaben.

Pflege der Beziehungen zwischen Universität und Bevölkerung: Durchführung und Unterstützung von Vorträgen, Konzerten, Kunstausstellungen, Sportveranstaltungen usw.

Hilfe bei Problemen der Studentenschaft: Förderung von Studentenwohnheimen, Vergabe von Auslandsstipendien, praxisorientierte Betreuung (Gesprächskreise, Firmenbesichtigungen) und andere Aktivitäten.

Förderung wissenschaftlicher Arbeiten: Jährliche Verleihung von Preisen für hervorragende Habilitations- und Dissertationsarbeiten. Unterstützung von förderungswürdigen wissenschaftlichen Arbeiten im Allgemeinen.

Vertiefung der Beziehungen zwischen Universitätsgesellschaft und Lehrkörper: Veranstaltungsreihe „Fakultäten stellen sich vor“.

Wir brauchen den gut ausgebildeten Nachwuchs. Deshalb tun wir etwas dafür.

Die Westfälisch-Lippische Universitätsgesellschaft – Verein der Freunde und Förderer e.V. – wurde 1966 durch Persönlichkeiten aus Politik, Kultur, Wirtschaft und Wissenschaft gegründet. Zu ihren Mitgliedern gehören heute Bürger aus allen Schichten der Bevölkerung, Personen aus Handel und Industrie sowie öffentliche Körperschaften und Firmen.

Vorsitzender des Kuratoriums: Dr. Werner Efing, Bielefeld, **stellvertretender Vorsitzender:** Prof. Dr. Dieter Timmermann, Bielefeld, **weitere Mitglieder:** Detlef Adler, Bielefeld, Dr. Bernhard-Christian Balz, Bielefeld, Dr. Dietmar Baumeister, Bielefeld, Peter Ebertz, Bielefeld, Dr. Peter Jünger, Bielefeld, Margrit Harting-Kohlhase, Espelkamp, Wolfgang Kaeller, Bielefeld, Wilhelm Krömer, Minden, Helmut Kruse, Detmold, Karen Leffers, Werther-Isingdorf, Friedrich Lohmann, Bielefeld, Dr. Peter von Möller, Bielefeld, Günther Remmel, Bielefeld, Dr. Christian Schäferbarthold, Minden, Joachim Schultz-Tornau, Bielefeld, Herbert Sommer, Bielefeld, Dr. Peter G. Ulrich, Bielefeld, Reinhold Trinius MdL, Porta Westfalica, Dr. Dr. Jürgen Weitkamp, Lübbecke, Dr. Reinhard Christian Zinkann, Gütersloh, **Vertreter der Universität:** Hans-Jürgen Simm, Prof. Dr. Michael Röckner, Dr. Lothar van Laak, Stefan Bienefeld

Vorsitzender des Vorstandes: Ortwin Goldbeck, Bielefeld, **stellvertretender Vorsitzender:** Oberbürgermeister Eberhard David, Bielefeld, **Geschäftsführer und Schatzmeister:** Prof. Dr. h.c. Helmut Steiner, Bielefeld, **weitere Mitglieder:** Dr. Siegfried Luther, Gütersloh, Walter Maaß, Bielefeld, Wolf-Dieter Meier-Scheuven, Bielefeld, Hans-Georg Vogt, Bielefeld, Dr. Rainer Wend, Bielefeld, Bürgermeister Bruno Wollbrink, Herford, **Ehrenmitglieder:** Rudolf August Oetker, Ernst Graumann †, Prof. Dr. Karl Peter Grottemeyer, Dr. Kurt Schober †, Gerd Seidensticker, Walter Stich.

Die Mitglieder werden durch die Herausgabe von Mitteilungen und Mitgliederversammlungen auf dem Laufenden gehalten. Außerdem erhalten sie kostenlos die Bielefelder Universitätszeitung.

Alle Mitglieder der Universitätsgesellschaft erhalten auch das Forschungsmagazin der Universität Bielefeld kostenlos!

Die Universitätsgesellschaft ist steuerlich als gemeinnützige Institution anerkannt.

Mitgliedschaft

Wenn Sie Mitglied werden wollen, wenden Sie sich bitte an:
Westfälisch-Lippische Universitätsgesellschaft,
Prof. Dr. h.c. Helmut Steiner, Wilhelmstr. 3a, 33602 Bielefeld,
Tel. (05 21) 12 43 47, Fax. (05 21) 5 21 33 33
email Anschrift: HelmutSteiner@t-online.de

Ich/Wir wünsche(n)

eine **Firmenmitgliedschaft**

zu einem Jahresbeitrag von 260,- EUR

Die zuständige Kontaktperson in der Firma ist

eine **Einzelmitgliedschaft**

zu einem Jahresbeitrag von 30,- EUR

Bitte senden Sie die Beitrittsbestätigung an:

Name

Firma

Straße

PLZ/Ort

Datum

Unterschrift

Die Überweisung erfolgt auf das Konto-Nr. 0 669 499 (BLZ 480 700 20) der Deutschen Bank AG in Bielefeld.



Tödlicher Verkehrsstau in der Nervenzelle

An einem Mausmodell für Amyotrophe Lateralsklerose (ALS) wurde ein neuer Mechanismus für neurodegenerative Erbkrankheiten entdeckt

Thomas Schmitt-John, Carsten Drepper, Peter Heimann und Harald Jockusch

Fakultät für Biologie

Im Inneren unserer Körperzellen spielt sich ein reger Containertransport ab: Die Container sind mikroskopisch kleine Membranbläschen, „Vesikel“ von wenigen tausendstel Millimeter Durchmesser. Der wichtigste Container-Umschlaghafen in der Zelle ist der nach einem italienischen Pathologen benannte Golgi-Apparat in der Nähe des Zellkerns. Bei der Vielzahl verschiedener Transportgüter mit Funktionen an verschiedenen Orten innerhalb der Zelle müssen Art der Ladung, Transportrichtung und Zieladresse genau abgestimmt sein. Die Zielfindung des richtigen Container-Terminals wird hierbei durch passgenaue Erkennungs- oder Adaptormoleküle vermittelt, die meist aus mehreren Eiweißketten (Proteinen) aufgebaut sind. Die wichtigsten Transportgüter dieses Systems sind selbst Proteine. Einige davon werden durch „Vesikuläre Protein-Sortierungsfaktoren“ (VPS) zu den äußeren Bereichen des Golgi-Apparates geleitet. Diese Mechanismen wurden mit den Methoden der Molekulargenetik an der Bäckerhefe aufgeklärt. Über die Funktion der VPS in Säugerzellen weiß man bisher noch sehr wenig. Jetzt haben Arbeitsgruppen der Universität Bielefeld, der Universität von Michigan, Ann Arbor und der Gesellschaft für Biologische Forschung (GBF) in Braunschweig an einem Mausmodell für ALS einen unerwarteten Zusammenhang zwischen einem VPS und einer neurodegenerativen Erbkrankheit entdeckt und in einem gerade erschienenen Artikel in Nature Genetics dargestellt.

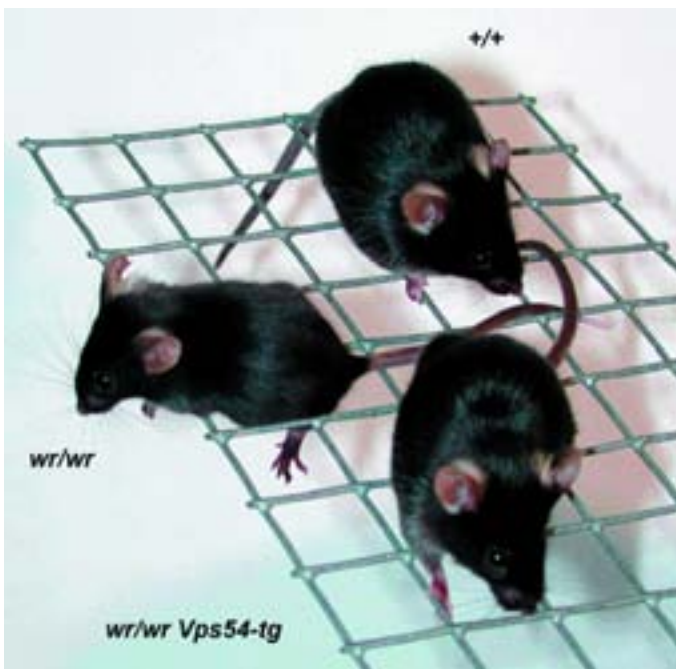


Abb.1: Die wobbler-Krankheit der Maus und ihre Heilung durch Gentherapie. Drei Mäuse auf einem Gitter zeigen, ob sie gut klettern können: Die linke Maus hat die neurodegenerative Erbkrankheit „wobbler“ (wr/wr) und kann die Gitterstäbe nicht mehr greifen wie die normale Kontrollmaus ($+/+$) hinten rechts. Die ebenfalls normal greifende Maus vorne rechts trägt die Erbanlagen zur wobbler-Krankheit, (wr/wr), wurde aber durch ein künstlich eingebrachtes normales Gen („Transgen“, $VPS54-tg$) geheilt. Dieser Versuch beweist die Identität des wobbler-Gens mit dem $VPS54$ -Gen. Aus: Nature Genetics 37 (2005)

Wie so oft in der modernen Biomedizin war der Ausgangspunkt der Forschung eine Mutante der Labormaus¹, in diesem Fall die „wobbler-Maus“. Der Name „wobbler“, „Wackler“, wurde dieser vor 50 Jahren zufällig entstandenen Mutante wegen einer fortschreitenden, von Zittern begleiteten Muskellähmung gegeben. Davon betroffen sind Individuen, bei denen beide der paarweise auftretenden Erbfaktoren mutiert sind (Abb. 1). Ursache für die tödlich verlaufende Krankheit ist das Absterben der großen motorischen Nervenzellen im Rückenmark, die die Muskeln des Bewegungsapparats kontrollie-

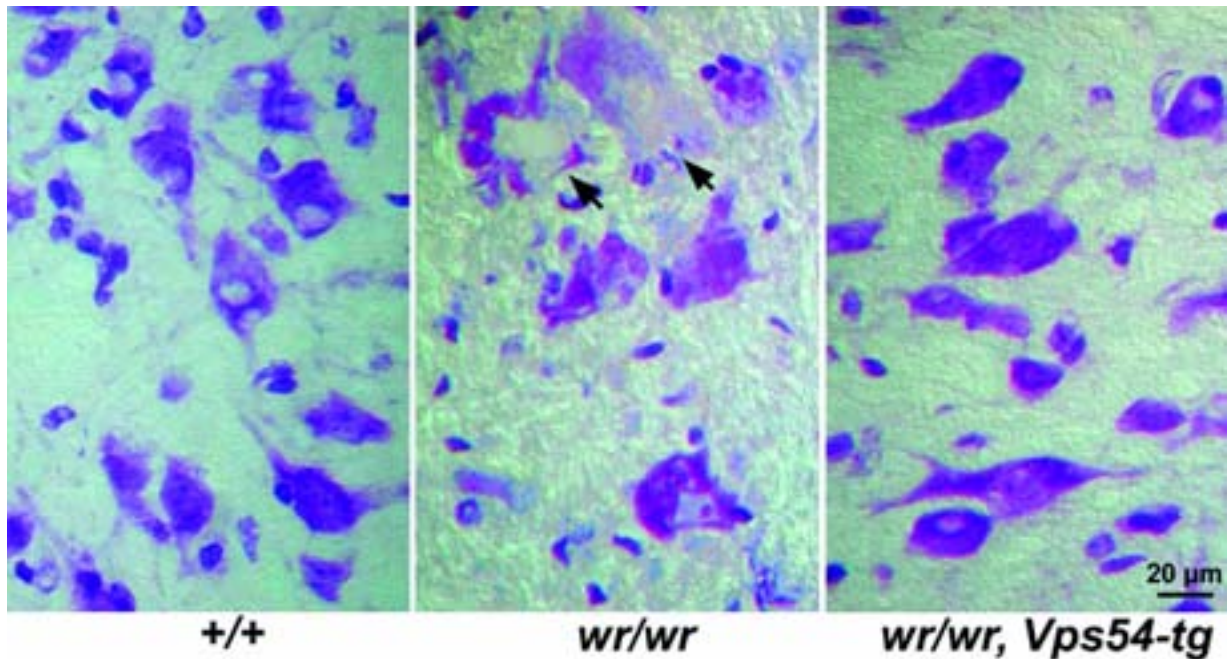


Abb.2: „Gesundes“ Ersatzgen rettet erbkrankte Nervenzellen.
 In Gewebeschnitten des Rückenmarks von Mäusen mit verschiedenem Genbestand (wie in der Abb.1 gezeigt), sind die Nervenzellen, die die Muskeln versorgen, violett angefärbt worden. Gesunde Nervenzellen erscheinen dunkelviolett mit hellem Zellkern; die vom Zellkörper abgehenden Zipfel sind die Ansätze der Nervenfasern (linkes Bild, gesunde Maus +/+). Absterbende Nervenzellen sind unregelmäßig aufgedunsen und nur blass gefärbt (Pfeile im mittleren Bild, kranke „wobbler“-Maus, wr/wr). Das künstlich in die Maus gebrachte, „gesunde“ VPS54-Zusatzgen (Transgen, VPS54-tg) bewahrt die Nervenzellen einer genetisch kranken Maus (wr/wr) vor dem Absterben (rechtes Bild). Aus: Nature Genetics 37 (2005)

ren (Abb. 2). Deshalb hat die wobbler-Maus in den vergangenen Jahrzehnten als Tiermodell für die menschlichen neurodegenerativen Krankheiten Spinale Muskelatrophie und Amyotrophe Lateralsklerose (ALS) gedient. Außerdem wurde sie zur Aufklärung biochemischer Mechanismen bei der Neurodegeneration² und zum Testen von Therapien gegen das Absterben von Nervenzellen eingesetzt. Der betroffene Erbfaktor, das mutierte Gen, blieb jedoch unbekannt.

■ **Änderung einer Aminosäure von fast tausend mit gravierenden Folgen**

Nach jahrelangen Vorarbeiten und unter Einsatz klassischer und moderner Methoden der Genetik und Bioinformatik wurde jetzt von der Bielefelder Arbeitsgruppe („Entwicklungsbiologie und Molekulare Pathologie“/Thomas Schmitt-John, Harald Jockusch und Mitarbeiter) in der wobbler-DNA eine Punktmutation, ein Austausch einer einzigen Base im Gen

für den Vesikulären Protein-Sortierungsfaktor VPS54, entdeckt. Dieser Basenaustausch bewirkt im VPS54-Protein mit einer Kettenlänge von fast tausend Aminosäuren die recht unspektakuläre Veränderung einer einzigen Aminosäure: Leuzin zu Glutamin (am Aufbau von Proteinen sind 21 verschiedene Aminosäuren beteiligt). Solche Aminosäure-Unterschiede kommen durchaus als „Spielarten“ zwischen verschiedenen Arten vor und müssen keinerlei Folgen für die Funktion eines Proteins haben. Das von der wobbler-Mutation betroffene Leuzin war aber bei ganz verschiedenen Wirbeltierarten vom Zebrafisch bis zum Menschen unverändert. Dies war ein starker Hinweis auf die Wichtigkeit des Leuzins an dieser bestimmten Stelle des VPS54-Proteins und damit auf seine Veränderung als Ursache der wobbler-Krankheit.

Aber ein Hinweis ist nicht genug. Nun ging es darum zu beweisen, dass man mit dieser Mutation tatsächlich die Krankheitsursache gefunden hatte. Hier kamen die Arbeitsgruppen in Ann Arbor, Michigan und Braunschweig mit gentechnischen

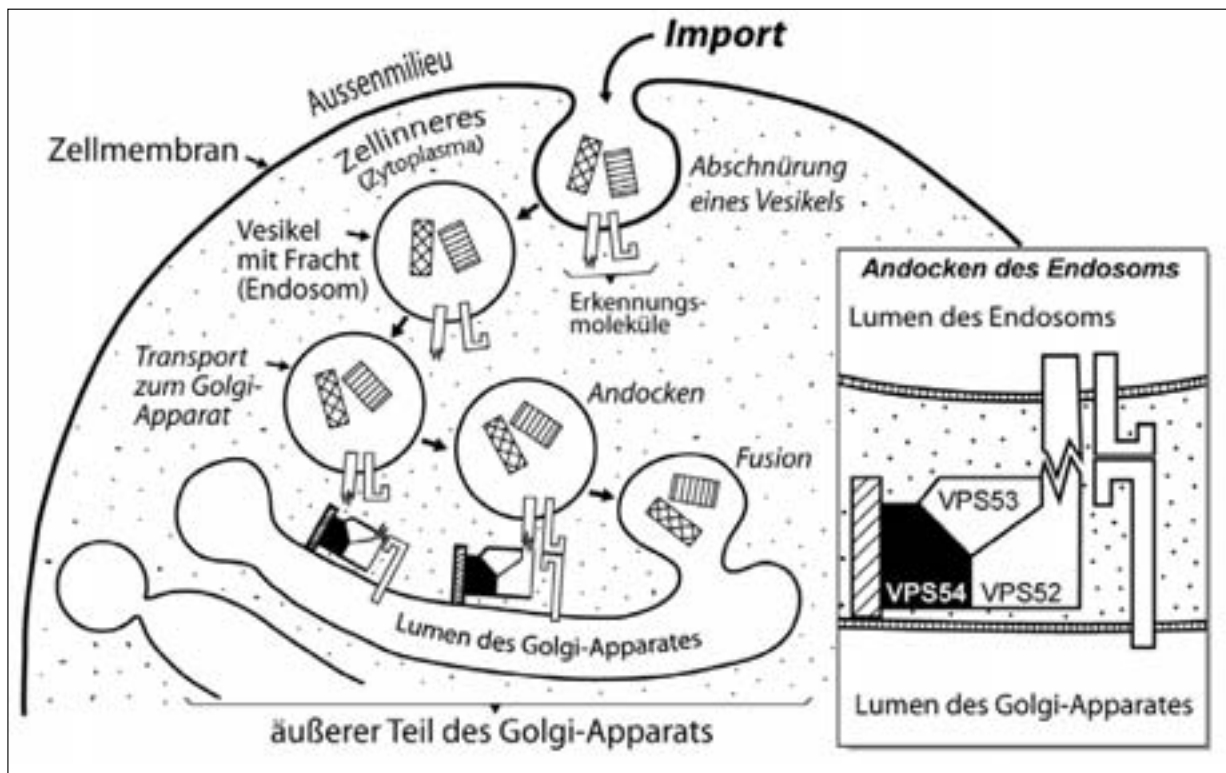


Abb.3: Die Funktion des Vesikulären Protein-Sortierungsfaktors VPS54 beim Vesikeltransport. Schematisch gezeigt ist ein Schnitt durch einen Teil einer Säugerzelle, in der der „Rückverkehr“ mikroskopisch kleiner Bläschen (Vesikel) mit ihrer Fracht (Kästchen) von der Zellmembran zum Golgi-Apparat abläuft. Der entsprechende „Hinverkehr“, die Exozytose, wurde zur Vereinfachung weggelassen. Am Andocken sind zwei Erkennungskomplexe beteiligt. Das bei der neurodegenerativen Erbkrankheit „wobbler“ betroffene Protein VPS54 gehört zu dem links dargestellten Komplex und ist ein notwendiger Baustein für die Verankerung des Vesikels an seinem Zielort Golgimembran. Der ebenfalls notwendige, rechts in Form zweier Haken dargestellte Komplex besteht aus den sogenannten SNAREs (je eins am Vesikel und an der Golgi-Membran), die die Fusion der beiden Membranen vermitteln und von der wobbler-Mutation nicht betroffen sind. Lumen = Innenraum der Vesikel und der Golgi-Membransäcke. Die Gestalt der VPS-Proteine ist willkürlich schematisiert, ihre tatsächliche Form ist noch nicht bekannt. – Graphik: H. Jockusch, C. Drepper, P. Heimann, Universität Bielefeld.

Methoden ins Spiel. Die erstere am Department für Humangenetik unter Leitung von Miriam Meisler brachte künstlich ein zusätzliches „gesundes“ VPS54-Gen als „Transgen“ in Mäuse, so dass es durch Kreuzung in eine genetisch zur wobbler-Krankheit verdamnte Maus bugsiert werden konnte. Die so mit dem Ersatzgen für VPS54 versehenen, eigentlich erblich wobbler-kranken Mäuse blieben vollkommen gesund (Abb. 1, Abb. 2)! Dass der genetische Defekt der wobbler-Maus durch eine Gentherapie mit dem VPS54-Gen kuriert werden kann, ist schon fast ein Beweis für die Identität von wobbler- und VPS54-Gen.

■ Beweis durch ein „k.o.-geschlagenes“ Gen

Aber eben nur fast. Für einen zusätzlichen Nachweis schaltete die Arbeitsgruppe Infektionsgenetik an der GBF in Braunschweig unter Leitung von Andreas Lengeling³ das VPS54-Gen in seiner Funktion geplant aus. Hierzu wurden embryonale Maus-Stammzellen aus den USA, in denen eines der beiden VPS54-Gene durch ein eingekleibtes Fremdgen funktionell zerstört war, in Mäuse eingeschleust. Trugen die Mäuse ein normales und ein „k.o.-geschlagenes“ VPS54-Gen, so waren sie völlig gesund; waren beide Gene k.o., so starben sie schon als Embryonen im Uterus: Das VPS54-Gen hat also nicht nur eine spezielle Funktion für das Überleben der motorischen

Nervenzellen, sondern eine ganz fundamentale für die Entwicklung des gesamten Organismus. Um nun die Identität von wobbler- und VPS54-Gen zu beweisen, wurden Mäuse, die das wobbler-Gen trugen, mit solchen, bei denen das VPS 54-Gen k.o. war, gekreuzt. Ein Viertel der Nachkommen trugen das wobbler-Gen und ein k.o.-geschlagenes VPS54-Gen. Diese Tiere litten an der wobbler-Krankheit, weil das k.o.-Gen nicht „helfen“ konnte und kein normales, dem wobbler-Gen entsprechendes Gen vorhanden war (wie es bei Nichtidentität von wobbler-Gen und VPS54-Gen der Fall gewesen wäre). Also sind wobbler-Gen und VPS54-Gen identisch⁴.

Bisher konnte der Vesikelverkehr in den Zellen der wobbler-Maus nicht direkt beobachtet und mit dem der normalen Maus verglichen werden. Es ist aber bekannt, dass der Materialtransport in den langen Fortsätzen der motorischen Nervenzellen bei der wobbler-Maus gestört ist, und zwar in „retrograder“ Richtung, von den Enden der Nervenfasern zurück zum Zellkörper. An der Verkehrsregelung in dieser Richtung ist ein Komplex von Proteinmolekülen, der sog. GARP-Komplex, beteiligt, von denen eines das bei der wobbler-Maus durch Mutation veränderte VPS54 ist (Abb. 3). Wir stellen uns vor, dass es hierdurch zu einem Verkehrsstau kommen kann, der über einige Wochen hinweg zum Absterben der betroffenen Nervenzellen und damit indirekt zu Lähmung und Muskelabbau führt.

Die Untersuchungen am VPS54-Gen zeigen exemplarisch, dass ein und derselbe Erbfaktor in verschiedenen Entwicklungsstadien auf verschiedenen Ebenen in das Leben eines Organismus eingreifen kann: Die Grundfunktion des Genprodukts, des Vesikulären Protein-Sortierungsfaktors 54, ist für den Fötus lebenswichtig. In der nachgeburtlichen Entwicklung ist aber noch eine sehr spezifische Funktion dieses Proteins für das Überleben der Nervenzellen

unentbehrlich. Die Aufklärung solcher Zusammenhänge hilft, erblich bedingte Krankheitssyndrome beim Menschen besser zu verstehen, auch wenn sie nicht genau die gleichen genetischen Ursachen haben wie die wobbler-Krankheit der Maus.

Die Verfasser danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft und dem Fonds der chemischen Industrie für finanzielle Unterstützung.

- ¹ Zur Identifizierung von Krankheitsgenen vgl. Heft 6 /1992 von „Forschung an der Universität Bielefeld“, Artikel „Die Geschichte von der Maus“ von Harald Jockusch, in dem es um das Krankheitsgen für Myotonie (Muskelsteifigkeit) geht.
- ² Vgl. dazu Heft 21/2000 von „Forschung an der Universität Bielefeld“, Artikel „Notsignale beim Tod von Nervenzellen“ von Jörg Walter Bartsch, Jürgen Frey und Harald Jockusch.
- ³ Dr. Andreas Lengeling hat 1988 - 1993 in Bielefeld Biologie studiert und am Lehrstuhl für Entwicklungsbiologie und Molekulare Pathologie seine Diplom- und Doktorarbeit angefertigt (1993 und 1993–1997).
- ⁴ Vgl. Heft 26/2003 von „Forschung an der Universität Bielefeld“, Artikel „Wie menschlich ist die Maus? Funktionelle Genomforschung am Modellorganismus der Biomedizin“ von Thomas Schmitt-John und Harald Jockusch, in dem die oben erwähnten Vorarbeiten z.T. beschrieben sind. Das Gen VPS54 trägt dort noch die veraltete Bezeichnung Hcc8.

Dieser Artikel bezieht sich auf folgende aktuelle Publikation: Schmitt-John, T., Drepper, C., Musmann, A., Hahn, P., Kuhlmann, M., Thiel, C., Hafner, M., Lengeling, A., Heimann, P., Jones, J. M., Meisler, M. H., and Jockusch, H. (2005). Mutation of Vps54 causes motor neuron disease and defective spermiogenesis in the wobbler mouse, in: Nature Genetics 37, S. 1213 bis 1215.



Prof. Dr. Harald Jockusch studierte Biologie und Chemie in Frankfurt/Main, Tübingen und München und promovierte 1966 mit einer am Max-Planck-Institut für Biologie in Tübingen durchgeführten Untersuchung auf dem Gebiet der Molekularen Pflanzenvirologie. 1968 bis 1970 war er Postdoc in Madison, Wisconsin, USA. 1971 habilitierte er sich für das Fach Biologie in Tübingen. Von 1975 bis 1977 war er Dozent am Biozentrum der Universität Basel und von 1977 bis 1981 Professor für Neurobiologie in Heidelberg. Von 1981 bis 2003 war er Professor für Entwicklungsbiologie und Molekulare Pathologie an der Universität Bielefeld und von 1988 bis 1991 Prorektor für Forschung und wissenschaftlichen Nachwuchs. Jockusch war Mitbegründer und erster Koordinator des Schwerpunkts „Muskel-forschung“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft sowie Mitbegründer und 1993 bis 1996 Sprecher des Sonderforschungsbereichs (SFB) 223 „Pathomechanismen zellulärer Wechselwirkungen“ und Mitbegründer und Sprecher des SFB 549 „Prozessierung und Signalwirkung extrazellulärer Makromoleküle“.



Prof. Dr. Thomas Schmitt-John studierte Biologie in Frankfurt/Main und promovierte am Institut für Organische Chemie der Universität Frankfurt. Nach einer kurzen Phase in einem Auftragsforschungs-Unternehmen wechselte er für drei Jahre als Postdoc an das GSF-Institut für Säugetiergenetik (München). Seit 1995 arbeitete er in Bielefeld am Lehrstuhl Entwicklungsbiologie & Molekulare Pathologie, unter anderem als Teilprojektleiter im Sonderforschungsbereich 549. Im Jahr 2001 habilitierte er sich für das Fach „Genetik“. Seit 2005 ist er Professor für Molekulare Biologie an der Universität Aarhus (Dänemark).



Dr. Peter Heimann studierte 1972 bis 1975 Biologie an der Universität Wien. 1980 promovierte er dort am Lehrstuhl für Meeresbiologie. Anschließend erhielt er ein Post-Doc Stipendium der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Von 1981 bis 1984 war er Wissenschaftlicher Assistent am Institut für Zoologie der Universität Regensburg und 1984 bis 1995 wissenschaftlicher Angestellter am Lehrstuhl für Entwicklungsbiologie der Universität Bielefeld. Seit 1995 ist er Akademischer Oberrat am Lehrstuhl Entwicklungsbiologie & Molekulare Pathologie der Universität Bielefeld.



Carsten Drepper studierte Biologie an der Universität Bielefeld, schloss 2002 seine Diplomarbeit ab und begann dann am Lehrstuhl für Entwicklungsbiologie & Molekulare Pathologie seine gerade abgeschlossene Promotionsarbeit. Er ist Stipendiat an der International NRW Graduate School in Bioinformatics and Genome Research.



Aus den Augen in den Sinn: Wohin blickt ein Vogel?

Hans-Joachim Bischof, Joe Voss

Fakultät für Biologie

Zwei kurze Pappröhren reichen für ein verblüffendes Experiment: Halten Sie sich die Röhren vor die Augen und fixieren Sie mit der einen eine Münze, mit der anderen eine Briefmarke, die Sie in Augenabstand vor sich auf den Tisch gelegt haben. Sie werden bemerken, dass Sie nicht beide Gegenstände gleichzeitig wahrnehmen, sondern alternierend immer nur einen der beiden. Eine Situation, bei der die beiden Augen völlig unterschiedliche Bilder sehen, kommt bei uns unter normalen Umständen nicht vor; bei Vögeln mit seitlich stehenden Augen und Sehachsen, die in verschiedene Richtungen zeigen, ist das aber der Normalfall. Die Verfasser wollen herausfinden, wie Vögel diese Situation permanenter Doppelbilder meistern.



Abb. 1: Menschen sind nicht in der Lage, zwei unterschiedliche Objekte gleichzeitig zu fixieren. Durch den gezeigten, im Text beschriebenen Versuch, bei dem man durch zwei Pappröhren auf die beiden Objekte auf dem Tisch blickt, wird das deutlich.

■ Das Betrachten von Objekten

Von den vielen Objekten, die sich um uns herum befinden, können wir unsere Aufmerksamkeit immer nur einem zuwenden. Wir tun dies, indem wir das Objekt ansehen. Nur dann sehen wir ein Objekt wirklich scharf und erkennen auch Einzelheiten. Dies liegt in erster Näherung daran, dass das durch die Augenlinse auf die Netzhaut projizierte Bild auf einen Bereich mit einer größeren Dichte von Lichtrezeptoren trifft, die sogenannte Fovea. Für den Fixiervorgang unerheblich ist es bei uns, dass wir unsere Umwelt mit zwei Augen sehen. Das Gehirn sorgt dafür, dass sich die Augen mit Hilfe der Augenmuskeln immer auf dasselbe Objekt ausrichten, und auf beiden Netzhäuten wird annähernd das gleiche Bild entworfen. Das Gehirn macht aus diesen zwei fast identischen Bildern eines, das Information über die Tiefe besitzt. Damit ist es möglich, im Nahbereich Entfernungen zu bestimmen. In der Ferne wird eine Trennung von Objekten gegenüber einem Hintergrund erleichtert.

Was passiert, wenn wir in einem Experiment dafür sorgen, dass die auf der Netzhaut ankommenden Bilder nicht identisch sind? Wie in der Einleitung geschildert, kann man dies tun, indem man durch

zwei parallel gehaltene Papprollen auf dem Tisch vor sich zwei gleich große, aber ansonsten unterschiedliche Gegenstände, wie z. B. eine Münze und eine Briefmarke, mit jeweils einem Auge fixiert (Abb. 1). Zwei so unterschiedliche Objekte zu einem einzigen zu fusionieren, ist schlichtweg unmöglich. Als Ausweg aus diesem Dilemma unterdrückt das Gehirn immer abwechselnd das Bild eines der fixierten Objekte, so dass abwechselnd die Briefmarke und die Münze zu sehen sind.

Diese „binokuläre Rivalität“ ist an sich schon ein faszinierendes Phänomen. Es ist bis heute nicht eindeutig geklärt, welche Stationen des Gehirns für die wechselseitige Unterdrückung verantwortlich sind. Auf das Phänomen der binokulären Rivalität beim Menschen stießen die Verfasser, als sie in der Literatur Antworten auf die Frage suchten, ob eigentlich Vögel ihre Aufmerksamkeit gleichzeitig auf zwei verschiedene Objekte richten können. Bei den meisten Vögeln sind nämlich die Augen wie bei dem Zebrafinken in Abb. 2 seitlich am Kopf angeordnet, und die optischen Achsen mit den Foveae (den Stellen schärfsten Sehens) beider Augen zeigen in unterschiedliche Richtungen (Abb. 3). Das heißt, theoretisch könnten die Vögel zwei Objekte gleichzeitig scharf sehen. Können sie auch beide gleichzeitig aufmerksam betrachten, oder schalten sie auch zwischen beiden Augen hin und her, da sie, wie wir, ihre Aufmerksamkeit nur auf ein Objekt richten können?

■ Wie fixieren Vögel?

Theoretisch wären Vögel eher als wir in der Lage, ihre visuelle Aufmerksamkeit zu teilen. Die Information von beiden Augen wird bei ihnen zunächst vollständig zur gegenüberliegenden Gehirnhälfte transportiert und dort auch zum größten Teil verarbeitet (beim Menschen erhalten beide Gehirnhälften direkt Information von beiden Augen), und es gibt Hinweise darauf, dass bei manchen Vögeln eine Hirnhemisphäre schlafen kann, während die andere wach ist. So könnte möglicherweise jede Gehirnhälfte die Information des zugehörigen Auges unabhängig voneinander und parallel verarbeiten. Eine zweite Möglichkeit besteht darin, dass sich die Vögel immer für ein Auge entscheiden und ihren visuellen Fokus dann darauf ausrichten. Eine solche Entscheidungsfindung bedingt allerdings eine Kommunikation zwischen den Verarbeitungspfaden des linken und rechten Auges. Tatsächlich gibt es auch im Gehirn von Vögeln viele Querverbindungen, die visuelle Information von der einen Hemisphäre in die andere



Abb. 2: Der größte Teil der Vögel (eine Ausnahme sind Eulenvögel) besitzt seitlich stehende Augen wie das hier abgebildete Zebrafinken-Männchen. Der Zebrafink ist eine australische Singvogelart, die leicht gehalten und gezüchtet werden kann und damit ein beliebtes Labortier abgibt.

schickt (Abb. 5). Erscheinen also zeitgleich zwei unterschiedliche Objekte im Sehfeld beider Augen (z. B. Fuchs und Futter), wird das Tier vorzugsweise das prägnantere Objekt visuell verarbeiten und anschließend passend reagieren – in diesem Fall mit Flucht vor dem Fressfeind. Beobachtet man nämlich die Augenbewegungen bei australischen Zebrafinken als Versuchstieren (Abb. 2), denen man gleichzeitig ein Objekt auf der linken und auf der rechten Seite bietet, so kann man feststellen, dass sie in allen Fällen zuerst eine Zuwendebewegung mit einem Auge machen. Erst danach wendet sich das andere Auge dem Reiz zu. Das wird deshalb auch besonders deutlich, weil die beiden Augen sich nicht völlig unabhängig bewegen können, sondern es eine gewisse Kopplung der Bewegungen gibt: Wenn sich das eine Auge nach hinten bewegt, bewegt sich das andere nach vorne. Im Fall von Reizen an beiden Seiten bewegt sich nur ein Auge auf den Reiz zu, das andere vom Reiz weg (Abb. 4 links). Wir nehmen

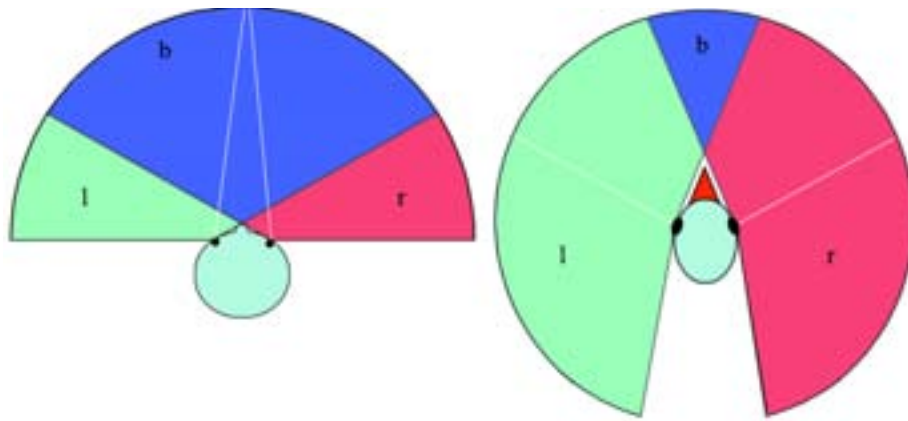


Abb. 3: Das Sehfeld des Menschen umfasst ca. 180°, die Sehachsen beider Augen sind auf einen Punkt gerichtet. Vorn überlappen sich die Sehbereiche beider Augen; dieser „binokuläre“ Bereich umfasst beim Menschen ca. 120°. Zebrafinken besitzen ein Sehfeld von 320° Ausdehnung. Ihre Sehachsen (weiße Linien) zeigen in unterschiedliche Richtungen, der binokuläre Bereich ist bei den meisten Vögeln sehr klein. Bei Zebrafinken beträgt er $\pm 20^\circ$.

also an, dass Vögel, wie wir Menschen, immer nur auf einen Reiz zur Zeit aufmerksam sein können. Das ist natürlich auch sinnvoll, da sie ja wie wir auch nur ein Reaktionssystem haben, um auf den Reiz adäquat zu reagieren. (Natürlich sollte durch die Lenkung der Aufmerksamkeit auf ein Auge das Bild des anderen Auges nicht völlig unterdrückt sein, es könnte ja etwas Wichtiges auf der anderen Seite auftauchen...)

■ Die Kontrolle der Aufmerksamkeit

Wie lenkt das Gehirn die Aufmerksamkeit des Vogels auf eines der beiden Augen? Da die Zuwendungsbewegung sehr schnell erfolgt, vermuten die Verfasser,

dass ein weitgehend automatisierter Mechanismus dafür verantwortlich ist. Er sorgt dafür, dass im Falle eines Ereignisses in einem Sehfeld die Aufmerksamkeit des Vogels dorthin lenkt und von dem anderen Auge abzieht. In der Tat wurde in neurophysiologischen Experimenten herausgefunden, dass sich beide Augen gegenseitig hemmen: verringert sich der Einfluss des einen Auges auf die Aktivierung eines Gehirngebiets, so wird der Einfluss des anderen gleichzeitig erhöht. Nach diesem Modell würde die Aufmerksamkeit auf ein Auge dadurch erhöht, dass der Informationsfluss vom anderen Auge in höhere Verarbeitungszentren des Sehsystems gedrosselt wird.¹

Welche Gehirngebiete für diese Lenkung des Informationsflusses verantwortlich sind, ist noch

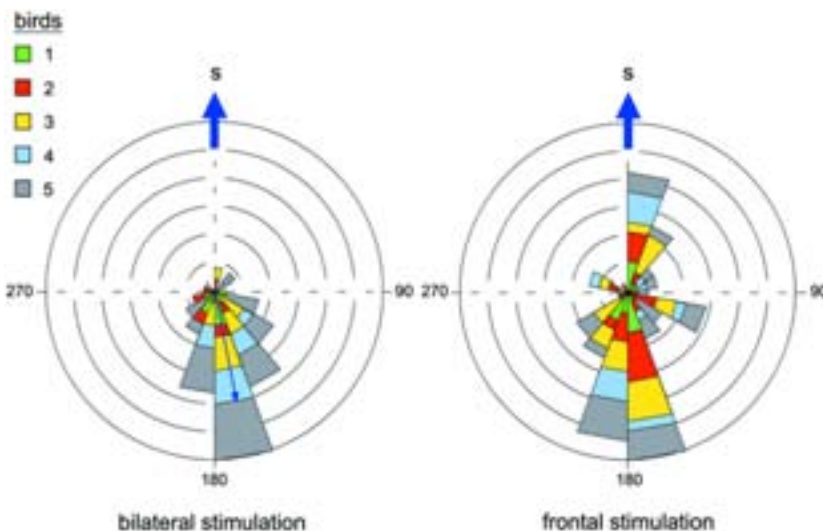


Abb. 4: Das Kreisdiagramm zeigt an, in welche Richtung die Augen bewegt werden. Die Bewegungsrichtung des Auges, das sich als erstes auf den Reiz zubewegt, ist mit dem blauen Pfeil gekennzeichnet; diese Bewegungsrichtung wird als 0° definiert. Die Bewegung des anderen Auges ist durch die farbigen Kreisabschnitte gekennzeichnet. Links werden die Ergebnisse eines Versuchs gezeigt, bei dem die Tiere Reize im seitlichen Sehfeld (Abb. 3, links) geboten bekommen: Das andere Auge bewegt sich stets entgegengesetzt zu dem Auge, das sich dem Reiz zuwendet. Bei frontalem Reiz (Abb. 3, rechts) gibt es zwei Reaktionstypen des anderen Auges: In die gleiche Richtung wie das zuerst reagierende Auge (nach oben) oder wieder entgegengesetzt (180° , nach unten).

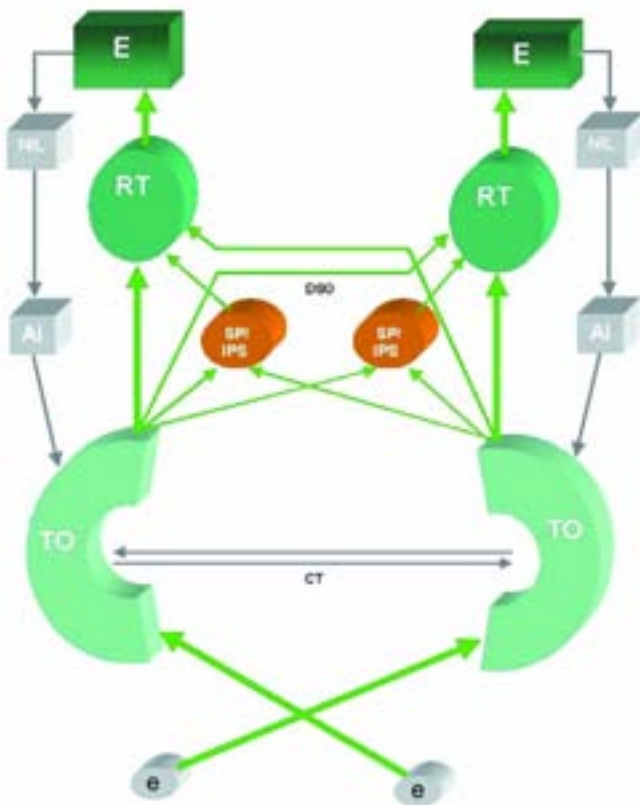


Abb. 5: Das Sehsystem von Vögeln ist symmetrisch aufgebaut. Die visuelle Information gelangt vom Auge in die gegenüberliegende Gehirnhälfte und durchläuft hier eine Reihe von Stationen (TO, Rt, E). Querverbindungen ermöglichen einen Transfer auf die gegenüberliegende Gehirnhälfte. Der SP/IPS könnte an der hier beschriebenen Aufmerksamkeitssteuerung beteiligt sein. Die von E zu TO zurückführende Schleife ist ein Kandidat für den vermuteten zweiten Mechanismus.

nicht vollständig geklärt. Die Verfasser haben im so genannten Prätectum, einem Gehirnbereich mit Hirnarealen, die auf die eine oder andere Weise mit der Verarbeitung visueller Information befasst sind, ein Kerngebiet (SP/IPS, Abb. 5) identifiziert, das vielleicht das Signal dafür geben könnte, welches der beiden Augen verstärkt beachtet und welches abgeschwächt wird. Sie sind bisher nicht sicher, ob die Hemmung der visuellen Information direkt von diesem Kerngebiet aus erfolgt oder ob aus diesem Gebiet nur ein Signal ausgesendet wird, das in einer anderen Station des visuellen Systems, vielleicht dem so genannten nucleus rotundus, die Aktivierung oder Hemmung des Informationsflusses erzeugt.

Möglicherweise könnte es neben dem hier beschriebenen schnellen automatisierten Mechanismus noch einen langsameren geben, der dafür wesentlich selektiver sein könnte. Unbefriedigend ist

nämlich bei der schnellen Variante, dass sie nicht sehr selektiv ist. Auch letztlich irrelevante Reize werden zunächst einmal beachtet. Nach dieser schnellen Zuwendung könnte das Gehirn den Reiz dann genauer analysieren. Dazu ist das Vorderhirn notwendig, und die Ergebnisse müssten dann an Bereiche des Mittelhirns zurückgemeldet werden, die die Aufmerksamkeit steuern. Wir kennen neuronale Verbindungen zwischen Vorderhirn und Mittelhirn, die solche Information transportieren könnten, aber bisher ist nicht geklärt, ob sie für die Aufmerksamkeitssteuerung eingesetzt werden.

Dies ist nicht das einzige Problem, das am System der Aufmerksamkeitssteuerung noch untersucht werden muss. Wie jede Untersuchung bringt auch diese mehr Fragen hervor, als sie Antworten liefert. So stellte sich zum Beispiel heraus, dass sich im Konfliktfall in den meisten Fällen das linke Auge zuerst dem Reiz zuwendet. Ist die rechte Hirnhälfte von Vögeln, wie manche Wissenschaftler vermuten, tatsächlich für visuelle Aufgaben spezialisiert? Die Bielefelder Ergebnisse



Isaac Newton, 1687

Als er das Gravitationsgesetz erforschte, hatten wir bereits seit hundert Jahren die Bewegung der Märkte studiert.

Profitieren Sie von der Erfahrung und Unabhängigkeit Deutschlands ältester Privatbank und erleben Sie unseren ganz persönlichen Service.

VOLKER STEINBERG (0521) 97 79-0
NIEDERLASSUNG BIELEFELD
WELLE 15, 33602 BIELEFELD

WWW.BERENBERGBANK.DE

400 JAHRE - ERFAHRUNG HAT ZUKUNFT

zeigen auch, dass bei Objekten, die im frontalen Bereich des Sehfelds liegen, also vor dem Schnabel, sich in den meisten Fällen (wie oben für seitliche gleichzeitige Reize beschrieben) sich erst das eine, dann das andere Auge auf den Reiz zubewegt. Es wurde aber auch deutlich, dass in ca. 20 % der Fälle beide Augen gleichzeitig dem Reiz zugewandt werden (Abb. 4 rechts) und dass dies sogar schneller geschieht als eine Zuwendung zu einem seitlichen Objekt. Gibt es hier, wie schon lange vermutet, einen zweiten, unabhängigen Modus der Aufmerksamkeitssteuerung, der eventuell viel mehr dem für den Menschen beschriebenen ähnelt? Die bisher erhobenen Daten stützen diese Idee, weitere Experimente sind allerdings notwendig, um Klarheit zu verschaffen.

■ Arbeitsgruppe Neuroethologie

Die Arbeitsgruppe Neuroethologie am Lehrstuhl für Verhaltensforschung beschäftigt sich mit der Aufklärung der neuralen Grundlagen komplexen Verhaltens. Typischerweise starten solche Untersuchungen mit Verhaltensbeobachtungen, die dann, wie im beschriebenen Projekt, zu neurophysiologischen Fragestellungen führen. Die Ergebnisse der neurophysiologischen Experimente ergeben dann wieder Fragen an das Verhalten, so dass die damit befassten

Forscher ständig zwischen physiologischen und Verhaltensexperimenten hin- und herpendeln. Neben der Funktionsweise des Sehsystems von Vögeln interessieren sie sich besonders für Phänomene frühkindlichen Lernens. Für beide Fragestellungen sind Zebrafinken, eine leicht zu züchtende und zu haltende Vogelart, das ideale Versuchstier. Bezüglich des visuellen Systems untersuchen die Bielefelder Neuroethologen neben dem geschilderten Problem gemeinsam mit M. Egelhaaf vom Lehrstuhl Neurobiologie die Verarbeitung von optischem Fluss für die Flugsteuerung, mit W. Wiltschko von der Universität Frankfurt die Beteiligung des Sehsystems an der Magnetfeldorientierung. Die Rolle des Hippocampus für frühkindliches Lernen und räumliches Gedächtnis untersuchen sie gemeinsam mit S. Watanabe von der Keio-Universität in Tokyo. Mustererkennungsprozesse bei frühkindlichem Lernen werden z.T. in Zusammenarbeit mit G. Sagerer aus der Technischen Fakultät untersucht.

¹ Übrigens haben diese Experimente gleichzeitig eine andere Idee ad acta gelegt, die oben erwähnt wurde – dass nämlich beide Hirnhälften visuelle Information unabhängig voneinander verarbeiten. In den höheren Stationen des Sehsystems wurden immer Reaktionen auf die Aktivierung beider Augen beobachtet.



Joe Voss arbeitet als Doktorand in der Arbeitsgruppe Neuroethologie. Seiner Doktorarbeit entstammen die meisten der oben beschriebenen Befunde.

Psychiatrie in München habilitierte er sich 1981. 1986 wurde er zum apl. Professor ernannt. Stationen für Forschungsaufenthalte waren das California Institute of Technology, die University of California in San Diego und die Keio-University in Tokyo.

Prof. Dr. Hans-Joachim Bischof studierte Zoologie, Botanik und physikalische Chemie in Braunschweig. Nach einer neurophysiologisch-ethologischen Promotion über die Schweresinnesorgane von Insekten ging er 1975 an den Lehrstuhl Verhaltensforschung in Bielefeld. Nach einem Forschungsjahr am Max-Planck-Institut für



Aktives Sehen: Strategien und neuronale Mechanismen der Raumorientierung

Martin Egelhaaf, Roland Kern,
Jens P. Lindemann, Holger Weiss

Fakultät für Biologie



Abb. 1: Bildfluss, der auf den Augen induziert wird, wenn man sich auf der Stelle dreht (obere Abbildung) oder wenn man sich geradeaus bewegt (untere Abbildung). Der Bildfluss wird schematisch durch die Überlagerung von drei aufeinander folgenden Bildern illustriert. Die Geschwindigkeit einzelner Bildpunkte wird beispielhaft durch Pfeile angedeutet. Wichtig ist, dass sich bei einer Drehung alle Bildpunkte mit gleicher Geschwindigkeit bewegen unabhängig vom Abstand der jeweiligen Objekte in der Umwelt. Im Gegensatz dazu hängt bei einer Geradeausbewegung der Bildfluss vom Abstand der Objekte ab und enthält somit Information über die Dreidimensionalität der Umwelt.

Welche Prozesse im Gehirn ermöglichen es Tieren und Menschen, sich in ihrer Umwelt zu bewegen, ohne mit Hindernissen zu kollidieren? Für die Analyse dieser grundlegenden, mitunter lebenswichtigen Leistung ist die Fliege ein exzellentes Modellsystem: Mit ihrem winzigen, kaum Stecknadelkopf großen Gehirn steuert sie ihr akrobatisches Flugverhalten und übertrifft dabei in mancher Hinsicht künstliche autonome Systeme bei weitem. Um das mit einem Miniaturgehirn so schnell und effizient leisten zu können, wendet die Fliege einen Kniff an: Sie formt durch die Dynamik ihrer eigenen Bewegungen die Bildfolge, die von ihren Augen aufgenommen wird, aktiv so, dass die Sehinformation vom Gehirn relativ leicht für die Verhaltenskontrolle genutzt werden kann. In Kooperation mit anderen Arbeitsgruppen untersuchen die Verfasser als Neurobiologen, ob ähnliche aktive Sehstrategien auch für andere Tiere bis hin zum Menschen wichtig sind und ob durch Berücksichtigung solcher biologischer Verhaltensstrategien eine neue Generation autonomer Roboter geschaffen werden kann, die in ihren Leistungen den biologischen Vorbildern näher kommen.

Wenn wir zum Beispiel zwei Fliegen über dem Frühstückstisch bei ihren rasanten Verfolgungsjagden zuschauen oder den blitzschnellen, zielgerichteten Sprung einer zunächst durch das Gebüsch schleichen- den Katze beobachten, wird klar, dass sich Tiere – und das gilt natürlich auch für uns Menschen – scheinbar mühelos in komplexen und sich ständig ändernden Umwelten orientieren können. Es mag überraschen, dass noch zu Beginn des neuen Jahrtausends Maschinen und Computer kaum in der Lage sind, derartiges autonomes Verhalten von Tier und Mensch erfolgreich zu reproduzieren. Zwar sind Computer im Ausführen von elementaren Rechenoperationen sehr viel schneller als Menschen. Geht es jedoch um andere, scheinbar einfachere Leistungen, wie z.B. die Orientierung in komplex strukturierten Umwelten, sind Menschen und Tiere, wie Katzen oder gar Insekten, künstlichen Systemen noch weit überlegen. Ein prinzipielles Verständnis der Verhaltens-

strategien von Tieren und der Funktionsweise der neuronalen Netzwerke ihrer Gehirne ist deshalb nicht nur eines der faszinierendsten und ambitioniertesten wissenschaftlichen Ziele, sondern kann auch wichtige Anregungen geben, will man Roboter mit autonomem Verhalten schaffen. Trotz großer Fortschritte der Neurowissenschaften sind wir hiervon noch weit entfernt.

Dies gilt auch für ein ganz fundamentales und scheinbar einfaches Problem der Raumorientierung, nämlich die Fähigkeit, sich auch in zuvor unbekanntem Umwelten bewegen zu können, ohne mit Hindernissen zu kollidieren. Da wir, wie auch die meisten Tiere, dies ganz selbstverständlich können, wird die Komplexität dieses Problems leicht unterschätzt. Man erkennt die Schwierigkeiten einer Aufgabe oft erst dann, wenn man versucht, diese zu lösen. Im Hinblick auf die Kollisionsvermeidung bedeutet das, ein autonomes künstliches System zu entwickeln, das diese Aufgabe tatsächlich erfüllen kann. Auch wenn es schon vielfältige Ansätze zur Entwicklung von Systemen gibt, die sich in unbekanntem Umwelten autonom bewegen, ohne mit Hindernissen zu kollidieren, würde es noch niemand von uns wagen, sich einem solchen System anzuvertrauen, ohne selbst steuernd einzugreifen. Dass Menschen und Tiere diese Aufgabe scheinbar mühelos bewältigen, zeigt, dass ihre Gehirne im Laufe der Evolution effiziente Lösungsstrategien entwickelt haben.

■ Quellen für Rauminformation

Um sich in einer unbekanntem Umwelt orientieren zu können, benötigt man Information über den Abstand und die Lage von Objekten, wie z.B. von Hindernissen. Welche Informationsquellen können hierfür genutzt werden? Im Nahbereich steht uns Menschen und vielen Tieren Tastinformation zur Verfügung: Viele Tiere gewinnen Rauminformationen durch Abtasten der Umwelt mit beweglichen Extremitäten, wie den Händen, bzw. mit speziellen Mechanosensoren im Kopfbereich, wie z.B. Schnurrhaare bei Katzen und Ratten oder Antennen bei Insekten. Im Fernbereich spielt natürlich das Sehsystem eine wichtige Rolle.

Sehen bedeutet, mechanistisch betrachtet, dass auf der Netzhaut des Auges Sequenzen von Bildern der Umwelt abgebildet werden, so ähnlich wie auf dem Chip einer Videokamera, und dass diese Bildfolgen vom Gehirn weiter ausgewertet werden. Da die Abbildung der Umwelt auf dem Auge den dreidimensionalen Raum auf ein zweidimensionales Bild reduziert, geht jedoch die Tiefeninformation

verloren. Diese kann teilweise rekonstruiert werden, wenn wir mit zwei Augen aus einem etwas unterschiedlichen Winkel auf nahe gelegene Objekte blicken. Diese durch stereoskopisches Sehen ermöglichte Abstandsermittlung ist jedoch nur für Objekte im Nahbereich möglich. Für Menschen spielt deshalb z.B. beim Autofahren stereoskopisches Sehen keine Rolle, weil wir gezwungen sind, angemessen auf Objekte schon in einem sehr viel größeren Abstand zu reagieren. Auch wenn die durch Erfahrung erlernte Größe von Objekten bei der Abstandsschätzung in vielen Umwelten wichtig sein kann, sind Menschen und Tiere in der Lage, sich auch in völlig unbekanntem Umwelten kollisionsfrei zu orientieren. Hier nutzt das visuelle System eine andere Informationsquelle.

■ Rauminformation durch aktives Sehen

Wenn wir uns bewegen, verschiebt sich das zweidimensionale Bild der Umwelt auf der Netzhaut des Auges. Die Größe der Bildverschiebungen hängt vom Abstand zu Umweltobjekten ab. Sitzen wir z.B. im Zug, scheinen sich die Bäume direkt neben den Gleisen sehr viel schneller zu bewegen als weiter entfernte Häuser. Folglich enthält dieser Bildfluss, der so genannte optische Fluss, sowohl Information über unsere Eigenbewegung als auch über die dreidimensionale Struktur der Umwelt. Tiefeninformation ergibt sich aus der einfachen Regel: Je schneller der optische Fluss, der von einem Objekt auf dem Auge verursacht wird, desto näher befindet sich dieses Objekt relativ zum Tier oder Menschen. Diese Art der Abstandsinformation steht nicht zur Verfügung, wenn das Tier oder der Mensch stationär und unbeweglich in die Welt blickt, sondern wird durch dessen Bewegung, d.h. durch sein Verhalten, aktiv erzeugt.

Die Sache hat jedoch einen Haken: Eindeutige Abstandsinformation kann nur gewonnen werden, solange sich die Blick- und Bewegungsrichtung nicht ändert, im einfachsten Fall also, wenn sich das Tier oder der Mensch ausschließlich geradeaus bewegt. Bei Drehungen auf der Stelle ist die Geschwindigkeit des optischen Flusses auf dem Auge unabhängig vom Abstand zu Umweltobjekten. In einer normalen Verhaltenssituation überlagern sich in der Regel beide Bewegungstypen. Zwar gibt es mathematische Verfahren, um Abstandsinformation aus optischem Fluss auch dann zu errechnen, wenn dieser durch kombinierte Geradeaus- und Drehbewegungen zustande kommt, doch erfordern diese Verfahren sehr viel Rechenaufwand. Biologische Systeme

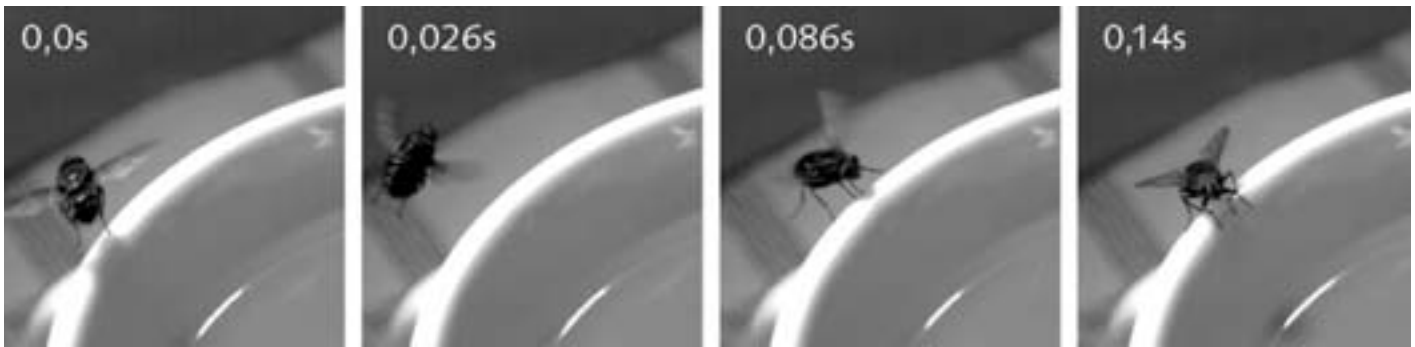


Abb. 2: Virtuoses Flugmanöver einer Fliege beim Landeanflug auf eine Kaffeetasse mit einer Hochgeschwindigkeitskamera aufgenommen. Der Zeitpunkt der gezeigten Bilder ist jeweils oben links angegeben. Die Fliege schafft es offenbar, sich in weniger als 1/7 Sekunde auf engstem Raum um fast 180° zu drehen und zielgerichtet auf dem Tassenrand zu landen. Zwischenzeitlich erreicht sie dabei Drehgeschwindigkeiten von fast 5000°/s.

scheinen sehr viel einfachere Strategien einzusetzen, die es erlauben, schon mit einem winzigen Gehirn, wie dem der Fliege, blitzschnell verhaltensrelevante Information aus dem optischen Fluss zu extrahieren.

■ **Aktives Sehen als Strategie zur Komplexitätsreduktion von optischem Fluss**

Viele Tiere (und auch der Mensch) setzen ganz charakteristische aktive Blickstrategien ein, die die dynamischen Eigenschaften des optischen Flusses bestimmen. Besonders bei vielen Insekten sind derartige Verhaltens- und Blickstrategien im Zusammenhang mit der Gewinnung von Rauminformation detailliert untersucht worden. Bei der Fliege sind darüber hinaus sogar die neuronalen Netzwerke im Gehirn, die auf Basis von äußerst effizienten aktiven Blickstrategien Rauminformation auswerten und zur Verhaltenskontrolle verwenden, in groben Zügen bekannt.

Fliegen sind extrem virtuose Flieger. Sie erreichen Geschwindigkeiten von bis zu 3m/s, d.h. etwa 300 Körperlängen pro Sekunde. Wenn man diese Geschwindigkeiten auf ein 4,5 m langes Auto hochrechnet, entspräche das einer Geschwindigkeit von 5000 km/h! Darüber hinaus drehen Fliegen in Kurven ihren Körper nicht gleichmäßig, wie dies Autofahrer mit ihrem Auto tun. Vielmehr drehen sich Fliegen blitzschnell und ruckartig für etwa 30 ms, wobei sie Drehgeschwindigkeiten von bis zu 5000°/s erreichen können. Solche enormen Drehgeschwindigkeiten könnten Menschen körperlich gar nicht aushalten. Fliegen können bis zu zehn solcher Drehungen, so genannte „Sakkaden“, pro Sekunde machen, z.B.

wenn sie um ein Hindernis herumfliegen. Zwischen diesen Sakkaden halten sie die Ausrichtung ihres Kopfes und Körpers weitgehend konstant. Offensichtlich werden durch diese aktive Flug- und Blickstrategie Drehungen und Geradeausflug weitgehend von einander getrennt, so dass der jeweils resultierende optische Fluss in zwei Komponenten zerlegt wird. Abschnitte, in denen der Fluss Abstandsinformation enthält, werden nur kurz unterbrochen von solchen, in denen keine Abstandsinformation rekonstruiert werden kann.

Interessanterweise setzen Fliegen diese aktive Blickstrategie nicht nur ein, wenn sie Kurven fliegen, sondern auch, wenn sie eigentlich geradeaus fliegen könnten. Da sie dies in einer unbekanntem Umwelt natürlich nicht von vornherein wissen können, testen sie mit ihrer sakkadischen Flug- und Blickstrategie die dreidimensionale Struktur ihrer Umwelt aus, um letztendlich einen kollisionsfreien Kurs fliegen zu können. Fliegen scheinen also ihr Flug- und Blickkontrollsystem aktiv so einzustellen, dass es zu einer Komplexitätsreduktion der Eingangssignale für das visuelle System kommt. So können sie verhaltensrelevante Information über die räumliche Struktur ihrer Umwelt einfacher gewinnen.

Will die Fliege Abstandsinformation aus dem optischen Fluss gewinnen, müssen die Nervennetze in ihrem Gehirn blitzschnell die Bildfolgen auswerten, die vom Geradeausflug zwischen den Sakkaden herrühren. Die gewonnene Abstandsinformation wird dann für die Kontrolle der anschließenden sakkadischen Drehungen eingesetzt, die dann gegebenenfalls die Kollision mit einem Hindernis verhindern.

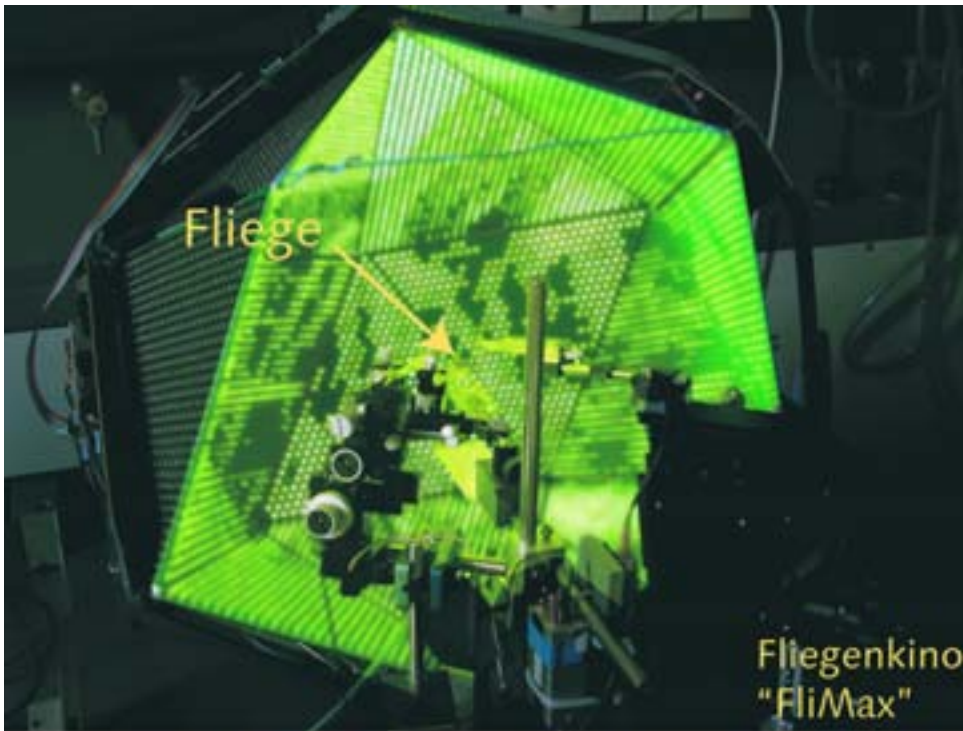
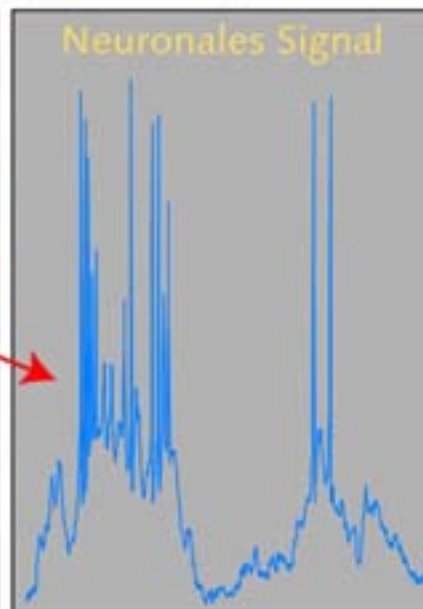


Abb. 3:
Blick in das superschnelle Fliegenpanoramakino „FliMax“. Die Fliege mit feinsten Mess-Sonden in ihrem Gehirn befindet sich im Zentrum von FliMax, während sie sich in einem Film das anschaut, was sie zuvor in einem rasanten Freiflugmanöver gesehen hat (obere Abbildung).

Blick durch ein Operationsmikroskop auf den Hinterkopf einer Fliege. In die rechte Kopfhälfte wurde eine kleine Öffnung operiert, durch die man direkt auf das Gehirn sehen kann, in das feine Mess-Sonden zur Registrierung der elektrischen Signale von Nervenzellen eingeführt werden können. Die Augenhinterränder kann man links und rechts des Kopfes als rote Streifen sehen (unten links).



Elektrisches Signal einer bewegungsempfindlichen Nervenzelle, während die Fliege in FliMax einem Film zuschaut (unten rechts).

■ **Auswertung von optischem Fluss mit einem Miniaturgehirn**

Die neuronalen Netze im Gehirn scheinen tatsächlich genau auf die spezifischen Eigenschaften des durch das Verhalten des Tiers aktiv generierten optischen Flusses abgestimmt zu sein. Sie können einerseits Information über Rotationen um alle relevanten Körperachsen und andererseits zwischen den Sakkaden Information über geradlinige Bewegungen und damit über den Abstand zur Umwelt vermitteln.

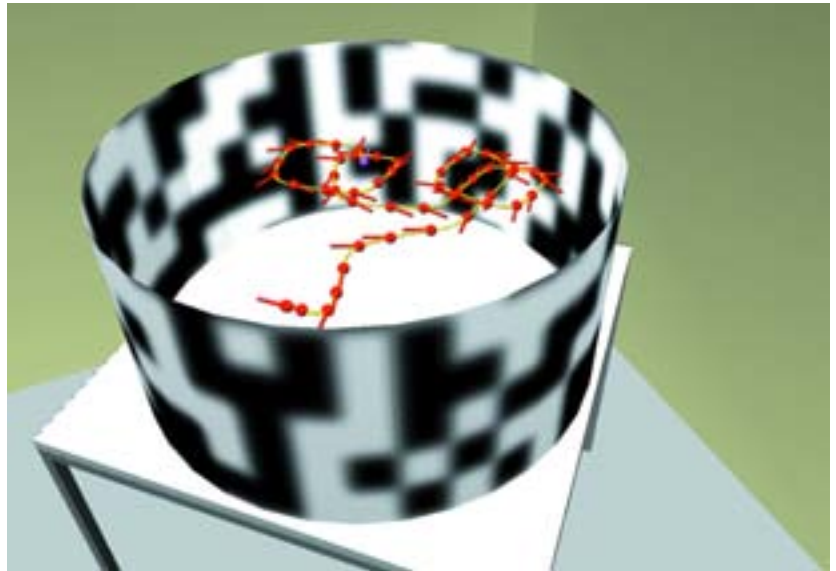
Wir konnten dies durch einen neuen Forschungsansatz herausfinden, für den wir das superschnelle Panoramafliegenkino „FliMax“ entwickelt haben. In FliMax können wir einer Fliege genau das als Film

vorspielen, was diese zuvor während ihrer virtuosen Flugmanöver gesehen hat und dabei ihren hohen Ansprüchen an die Bildwiederholfrequenz gerecht werden. Gleichzeitig können wir die elektrische Aktivität von wichtigen Elementen der Nervennetze im Gehirn registrieren.

■ **Nutzung dieser Information für Verhalten: Vom biologischen zum künstlichen System**

Doch wie nutzen Fliegen die gewonnene Information? Um Hypothesen zu testen, wie dies geschehen könnte, und als Basis für weitere Experimente auf der Ebene der neuronalen Netze im Gehirn entwickelten wir ein Modell der Fliege, die so genannte „virtuelle

Abb. 4:
 Flugbahn der Virtuellen Fliege in einer texturierten Flugarena. Die Position des Kopfes und die Ausrichtung der Virtuellen Fliege sind zu verschiedenen Zeitpunkten gezeigt. Wichtig ist, dass sich die Virtuelle Fliege wie ihr biologisches Vorbild während eines Kurvenflugs nicht kontinuierlich dreht, sondern mittels blitzschneller sakkadischer Drehungen. Zwischen den Sakkaden ist der Blick jeweils geradeaus gerichtet.



Fliege". Im ersten Schritt wurde ein Modell des Sehsystems entworfen, das die Antworten wichtiger Elemente des neuronalen Netzes zur Verarbeitung von optischem Fluss reproduzieren kann. Im zweiten Schritt dient dieses Modell des Sehsystems als Eingangsmodul von Schaltkreisen, die die so errechnete Information in Verhalten überführen. Diese Schaltkreise generieren auf Basis der visuellen Signale ein sakkadisches Flugmuster, wie wir es bei der Fliege beobachtet haben. Auch die Berücksichtigung der Physik von bewegten Körpern, wie die Masseträgheit und die Reibung, hat sich dabei als wichtig herausgestellt.

Diese virtuelle Fliege ist tatsächlich in der Lage, in virtuellen Flugarenen herumzufliegen, ohne mit den Wänden zu kollidieren. Sie verhält sich also ganz ähnlich wie die reale Fliege. Interessanterweise war es für eine virtuelle Fliege ohne sakkadische Flug- und Blickstrategie nicht möglich, Kollisionen mit der Arenawand zu vermeiden.

Die Modellsimulationen mit der virtuellen Fliege legen nahe, dass tatsächlich diese sakkadische Blick- und Flugstrategie der Fliege ermöglicht, sich kollisionsfrei mit relativ einfachen Mechanismen in einer strukturierten Umwelt zu orientieren. Dieses Verhalten gestaltet die Charakteristika des optischen Flusses aktiv so, dass die relevanten Informationen über die Eigenbewegung des Tiers sowie dessen relativen Abstand zur Umwelt sehr effizient gewonnen und für die Verhaltenskontrolle eingesetzt werden können. Derzeit operiert die virtuelle Fliege nur in einer Ebene. Unter Berücksichtigung weiterer neuronaler Systeme soll sie so weiterentwickelt werden, dass alle für eine erfolgreiche Orientierung im Raum notwendigen Freiheitsgrade eingeschlossen sind.

■ **Sakkadische Blickstrategie – ein universelles Prinzip zur Gewinnung von Rauminformation durch aktives Sehen?**

Wenn die für die Fliege entdeckte aktive Blickstrategie wirklich so effizient und einfach ist, sollte es nicht überraschen, wenn diese auch bei anderen Tieren gefunden werden könnte und somit eine Art universelle Strategie für die Gewinnung von Rauminformation durch optischen Fluss darstellen würde. In Kooperation mit Hans-Joachim Bischof (Lehrstuhl für Verhaltensforschung) wurden Untersuchungen an Vögeln begonnen, in denen mittels Hochgeschwindigkeitskameras – ähnlich wie bei den geschilderten Verhaltensexperimenten mit der Fliege – die Flug- und Blickstrategie charakterisiert wird. Anschließend sollen die neuronalen Netze des Vogelgehirns, die optischen Fluss auswerten, ähnlich wie wir das bei der Fliege machen, erstmals mit Bildfolgen charakterisiert werden, wie sie tatsächlich in Freiflugmanövern vorkommen. Aber auch Menschen könnten von einer ähnlichen Blickstrategie Gebrauch machen. Hierfür gibt es Anhaltspunkte, jedoch wurde die menschliche Blickstrategie unseres Wissens noch nie in komplexen räumlichen Umwelten untersucht, in denen es neben optischem Fluss keine anderen Quellen für Rauminformation gibt. Dank der Möglichkeit, computergestützt virtuelle Welten zu erzeugen und gleichzeitig Augenbewegungen zu registrieren, sollte dies jedoch möglich sein.

Schließlich bleibt zu fragen, ob die von den Fliegen verfolgte Blickstrategie nicht auch in autonomen künstlichen Systemen, z.B. bei der Kollisionsvermeidung autonomer Roboter, Anwendung finden könnte. Visuelle Bewegungssensoren, die denen der Fliege nachgebildet wurden, werden bereits auf

verschiedenen Roboterplattformen eingesetzt. Allerdings geht es hier bislang meistens um Kursstabilisierung, zum Beispiel bei kleinen Ungenauigkeiten im Raddurchmesser auf beiden Seiten. Die wenigen Versuche, sakkadische Blickstrategien zu implementieren, die es bislang gibt, sehen jedoch viel versprechend aus. In Kooperation mit dem Informatiker Ralf Möller (Technische Fakultät) sollen auf der Basis der beschriebenen Modellsimulationen sakkadische Blickstrategien auf Roboterplattformen implementiert werden, um ihre Eignung bei der Kollisionsvermeidung auch in komplexen Situationen und bei hohen Geschwindigkeiten zu testen.

■ Schlussfolgerung

Sehen wurde lange Zeit als ein rein informationsverarbeitender, passiver Prozess zur Rekonstruktion von Umweltinformation betrachtet, der sequentiell aus zweidimensionalen Netzhautbildern im Gehirn

Repräsentationen der Umwelt auf zunehmenden Abstraktionsebenen gewinnt. Die aktive Blickstrategie der Fliege zeigt, dass biologische Systeme andere Strategien einschlagen können, die sehr effizient und schnell sind und sich teilweise schon mit Miniaturgehirnen – das Gehirn der Fliege wiegt weniger als 1 mg! – bewerkstelligen lassen. Der entscheidende Kniff hierbei scheint darin zu bestehen, dass der Organismus als dynamisches System durch kontinuierliche Interaktionen in seine Umwelt eingebettet ist. Das Verhalten des Tiers ist also seinen sensorischen Eingangssignalen nicht ausgeliefert, sondern es formt selbst die sensorischen Eingangssignale in aktiver Weise ganz entscheidend mit. Zumindest ein Teil der Leistungsfähigkeit biologischer Systeme wird durch aktive Interaktionen mit der Umwelt erreicht und nicht durch aufwendige sequentielle Informationsverarbeitung: Das System vereinfacht sich die Aufgabe der Informationsverarbeitung durch entsprechende Verhaltensstrategien.



Prof. Dr. Martin Egelhaaf (rechts) studierte von 1975 bis 1979 Biologie an der Universität Tübingen und verfasste 1979/1980 seine Diplomarbeit an der University of Sussex (Brighton, England). 1984 promovierte er am Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik (Tübingen) und war 1985 bis 1993 dort auch Wissenschaftlicher Mitarbeiter. 1989 habilitierte er sich an der Universität Tübingen. 1994/95 war er Arbeitsgruppenleiter am Centre for Visual Sciences, RSBS, Australian National University (Canberra, Australien). Seit 1995 ist er Inhaber des Lehrstuhls für Neurobiologie der Universität Bielefeld. Sein Forschungsschwerpunkt sind Mechanismen der visuellen Informationsverarbeitung und deren Modellierung. Seit 1999 ist er Sprecher des Graduiertenkollegs „Verhaltensstrategien und Verhaltensoptimierung“.

Dr. Roland Kern (2. v. l.) studierte 1984 bis 1990 Biologie an der Universität Tübingen. 1994 promovierte er am Lehrstuhl für Bio-kybernetik der Universität Tübingen. 1995 war er Visiting Scientist am Centre for Visual Sciences, RSBS, Australian National University (Canberra, Australien) mit einem Post-doktorandenstipendium des DAAD. Seit 1995 ist er Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Neurobiologie der Universität Bielefeld und Teilprojektleiter des Forschungsschwerpunkts „Codierung verhaltensrelevanter Information im Nervensystem“.

Jens P. Lindemann (2. v.r.) studierte 1992 bis 1998 Naturwissenschaftliche Informatik an der Universität Bielefeld und verfasste 1998 seine Diplomarbeit am Lehrstuhl für Neurobiologie. Seine Doktorarbeit mit Schwerpunkten in der Entwicklung von „Virtual Reality“-Umgebungen für Fliegen und der Modellierung der neuronalen Verarbeitung von optischem Fluss und der visuellen Verhaltenskontrolle steht kurz vor dem Abschluss.

Holger Weiss (links) studierte 1998 bis 2005 Naturwissenschaftliche Informatik an der Universität Bielefeld. 1998 Diplomarbeit am Lehrstuhl für Neurobiologie zur Modellierung der visuellen Kurssteuerung der Fliege.

Komplexes Verhalten erfordert kein komplexes Gehirn

Wie die Stabheuschrecke ihren Bewegungsapparat koordiniert

Bettina Bläsing, Holk Cruse,
Volker Dürr, Josef Schmitz

Fakultät für Biologie

Die Stabheuschrecke ist ein hervorragendes Beispiel: Im Verhältnis zu ihrer normalen Schrittlänge kann sie sehr große Lücken überqueren. Ist doch auch einfach, mag so mancher denken. In Wahrheit meistert die Stabheuschrecke damit aber ein schwieriges Problem, wissen die Forscher vom Arbeitsbereich Biologische Kybernetik der Universität Bielefeld. Das wird spätestens dann klar, wenn man versucht, einen insektenähnlichen Roboter zu konstruieren. Und noch etwas zeigt die Stabheuschrecke ganz deutlich: Um komplexes Verhalten zu kontrollieren, braucht man nicht unbedingt ein komplexes Gehirn.

Abbildung 1:
Gespentheuschrecke Aretaon asperrimus.
Männchen. Körperlänge etwa 5 Zentimeter



Es gibt Roboter, die ziemlich gut Schach spielen können, was lange als eine der höchsten Intelligenzleistungen galt. Aber es gibt bis heute kein Artefakt, das auch nur entfernt an die Bewegungsleistungen eines Insekts herankommt. Die Arbeitsgruppe „Biologische Kybernetik“ untersucht deshalb Insekten in komplexen Situationen, beschreibt das beobachtete Verhalten durch möglichst einfache Regeln und prüft mit Hilfe von Simulationen, ob diese Regeln reichen, um ein bestimmtes Verhalten zu erzeugen. Damit ergründen die Forscher, welche Strukturen notwendig sind, um Verhalten zu kontrollieren.

■ Mut zur Lücke

Stabheuschrecken der Art *Aretaon asperrimus* haben, wie alle Insekten, sechs Beine. Ihr Körper ist etwa fünf Zentimeter lang. Ihre Schrittweite beträgt bei normalem Laufen etwas weniger als zwei Zentimeter. Deshalb ist es erstaunlich, dass die Tiere es dennoch schaffen, eine Lücke zu überqueren, die bis zu fünf Zentimeter breit ist. Wie ist das möglich? Um diese Frage beantworten zu können, beobachten und filmen die Forscher, wie sich die Tiere verhalten. Anschließend zerlegen sie den gesamten Verhaltens-

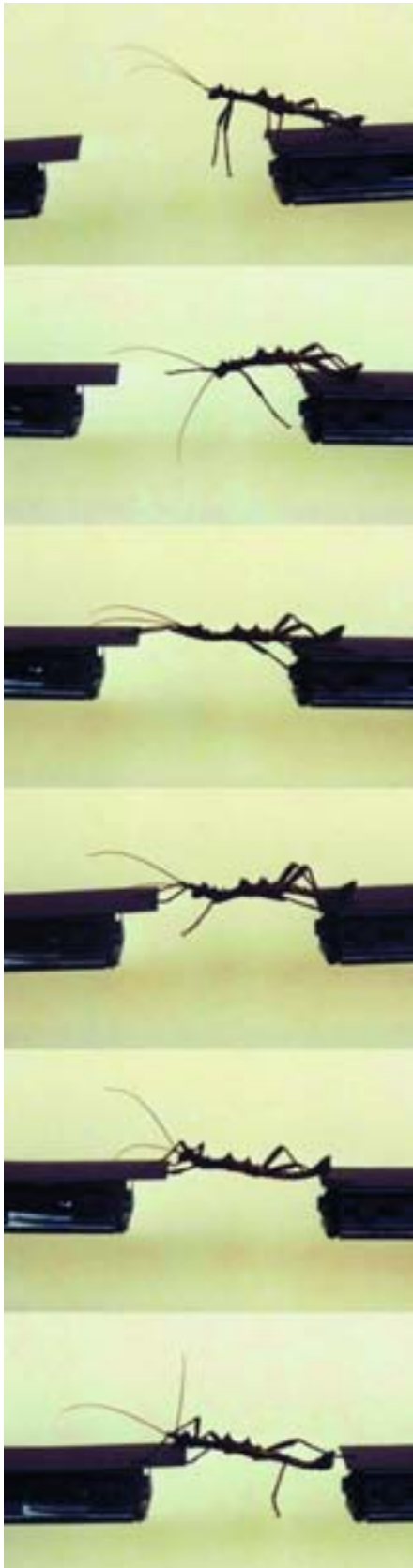


Abbildung 2: Sie schafft es! *Aretaon* klettert über eine fünf Zentimeter breite Lücke. Unter www.uni-bielefeld.de/biologie/Kybernetik/research/walk.html können dazu Videos angeklickt werden. Dort sieht man, wie viel Mühe sich die Tiere geben: wie sie sich recken und strecken, wie sie alles Mögliche ausprobieren und wie sie teilweise bis zu 15 Minuten „kämpfen“. Die meisten von ihnen geben praktisch nie auf – bis auf ein Tier, das im Experiment regelmäßig einfach von der Lauffläche gesprungen ist.

ablauf in Elemente. In aufwendigen Einzelbildanalysen wird der Ablauf im Detail vermessen.

Wenn die Lücke klein ist und beispielsweise nur etwa einen Zentimeter beträgt, dann hat das Tier offenbar keine Mühe. Es überquert die Lücke scheinbar ohne spezifische Änderung seines Verhaltens. Neue Verhaltensweisen kommen erst beim Vergrößern der Lücke hinzu. Es ist deshalb davon auszugehen, dass das hier untersuchte Klettern eine Abwandlung des ungestörten Laufens darstellt. Letzteres haben die Forscher bereits relativ gut verstanden – daher zunächst ein genauerer Blick auf das normale Laufen des Insektes.

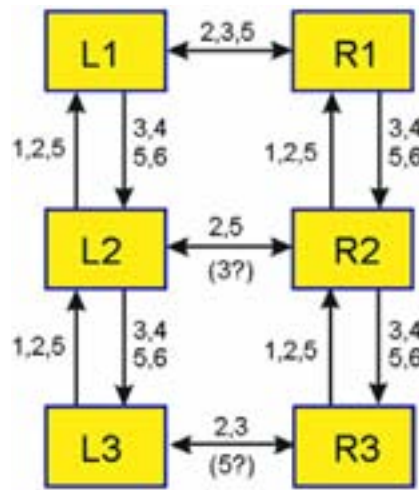
Inwiefern ist die Kontrolle von sechs Laufbeinen überhaupt ein Problem? Das schaffen ja schon einfache Kinderspielzeuge. Allerdings nur, wenn der Untergrund völlig eben ist. Schon kleine Hindernisse stören den Bewegungsablauf erheblich. Denkt man etwas genauer über das Kontrollproblem nach, so kommt man schnell zu der Vermutung, dass bereits einfaches Laufen ein komplexes Gehirn zu benötigen scheint: Jedes Bein hat drei Gelenke, es sind also 18 Gelenke zu steuern. Alle 18 Gelenke sollten natürlich sinnvoll kooperieren und nicht gegeneinander arbeiten. Beim Laufen müssen die Beinbewegungen deshalb nicht nur räumlich, sondern auch zeitlich genau abgestimmt werden. Wann darf welches Bein abheben, um den nächsten Schritt einleiten zu können? Eine wichtige Frage, wenn verhindert werden soll, dass das Tier stolpert oder sogar hinfällt.

■ Laufen, dezentral kontrolliert

Man möchte vermuten, dass zur Kontrolle dieser Bewegungsabläufe ein zentrales Kontrollsystem benötigt wird, das genaue Kenntnis der jeweiligen Beinpositionen und Gelenkwinkel hat, um daraus stabile Körperlagen und die weitere Schrittfolge berechnen zu können. Viele Roboter werden tatsächlich auf diese Weise gesteuert – allerdings nur mit begrenzt eindrucksvollen Resultaten. Die Untersuchungen an Insekten haben aber gezeigt, dass dort ganz andere Konzepte eingesetzt werden.

Das Laufsystem scheint vielmehr aus einzelnen, dezentral organisierten Modulen aufgebaut zu sein, die miteinander kooperieren oder im Wettbewerb um den Einfluss auf die Motorik ringen. Das augenscheinlich nach einem strengen Muster ablaufende Verhalten ist also nicht das Ergebnis fester Vorgaben einer Zentrale, sondern ergibt sich als Leistung des Zusammenwirkens der einzelnen Module. Entscheidungen, wie etwa die Frage, ob ein Bein abgehoben werden soll, werden dabei nicht von einem übergeordneten zentralen System getroffen.

Abbildung 3: Die dezentrale Struktur des Systems, das die Laufbeine von Stabheuschrecken kontrolliert. Zu jedem Bein gehört ein eigenes Kontrollsystem (Box). Diese sind untereinander gekoppelt, um eine sinnvolle Koordination der Beine beim Laufen zu gewährleisten.



Einflüsse auf das Nachbarbein:

1. Schwingbewegung verhindert den Start der Schwingbewegung
2. Beginn der Stembewegung fördert Start der Schwingbewegung
3. Hintere Beinposition fördert den Start der Schwingbewegung
4. Hinteres Bein zielt auf Position des vorderen Beines
- 5a. Höhere Belastung erhöht die Kraftaufwendung („Co-Aktivierung“)
- 5b. Erhöhte Belastung verlängert die Stembphase
6. „Treading-on-tarsus“-Reflex

Abbildung 3 deutet an, dass jedes der sechs Beine seine eigene Kontrollinstanz besitzt. Die Beine sind über relativ schwache neuronale Verbindungen gekoppelt. Außerdem, und das wird leicht übersehen, sind sie mechanisch über den Untergrund gekoppelt. Jede einzelne Steuerungseinheit besteht ihrerseits wieder aus Untereinheiten, die zusammenarbeiten oder miteinander im Wettbewerb stehen. Im Wesentlichen gibt es zwei Module: eines zur Kontrolle der Stembewegung am Boden und ein zweites zur Kontrolle der Schwingbewegung durch die Luft. Diese dezentrale Struktur erlaubt es, lokal und flexibel auf Störungen zu reagieren, zum Beispiel bei Hindernissen oder kleinen Bodenlücken, weshalb sie einem zentralistisch organisierten System überlegen ist.

■ **Blindes Vertrauen – Auf Antennen und Vorderbeine kommt es an**

Störungen, wie extrem große Lücken, können mit diesem System aber nicht behandelt werden. Hier müssen zu den einfachen Schwing- und Stembewegungen weitere Verhaltenselemente hinzukommen. Überraschenderweise hat sich gezeigt, dass die Tiere auch beim Klettern über sehr große Lücken ihre Augen nicht verwenden. Werden die Augen mit Kappen abgedeckt, so ändert sich ihr Verhalten nicht erkennbar. Hier sind also keine Erweiterungen nötig. Entscheidend aber sind die Antennen. Bei maximaler Streckung reichen sie etwa so weit wie die Vorderbeine. Eine Lücke wird nur dann – aber auch immer dann – überklettert, wenn das Tier die gegenüberliegende Seite mit seinen Antennen berührt hat, wenn also ein mechanischer Kontakt hergestellt werden konnte. Auch die Vorderbeine haben eine Fühlerfunktion. Wenn ein Vorderbein in die Lücke tritt und dort keinen Bodenkontakt findet, verändert

sich das Laufverhalten. Einerseits verringert sich die Laufgeschwindigkeit. Andererseits werden die anderen Beine relativ zum Körper weiter nach hinten versetzt, wodurch der Körper weiter über die Lücke geschoben werden kann. Dabei werden (sonst äußerst seltene) sehr kleine Schritte gemacht. Entscheidend ist allerdings, dass die Schwingbewegung des Vorderbeines in eine Suchbewegung übergeht, wenn das Bein am Ende der Schwingbewegung keinen Bodenkontakt findet.

Einen interessanten Unterschied gibt es zwischen Antenne und Vorderbein. Für das Tier stellt es offenbar keine bedeutsame Information dar, wenn sich die Antennen in die Lücke bewegen. Zwar ist der Kontakt mit der anderen Seite wichtig; er löst Verhaltensänderungen aus. Der „Nichtkontakt“ mit der Lücke spielt jedoch keine Rolle. Ganz anders ist dies bei den Vorderbeinen. Der Nichtkontakt eines Vorderbeines löst deutliche Verhaltensänderungen aus. Dies könnte entweder auf eine kognitive Leistung hindeuten: Die Tiere haben eine Erwartungshaltung (Bodenkontakt der Beine), deren Nichterfüllung eine Verhaltensänderung auslöst. Alternativ ist auch denkbar, dass der folgende einfache Regelsatz zugrunde liegt: „Erwarte keinen Kontakt mit den Antennen. Der Weg ist frei. Aber erwarte regelmäßigen Kontakt mit dem Fuß. Der Weg ist gangbar. Ändere das Verhalten, falls diese Erwartungen nicht eintreffen.“

■ **Simulation**

Es sind also keine Augen notwendig, aber doch zusätzliche Elemente, nämlich Antennen als Kontaktsensoren, sowie Beine, die als Kontakt- und als Nichtkontaktsensoren verwendet werden und Suchbewegungen durchführen können. Außerdem braucht man einen Mechanismus, der unter bestimmten

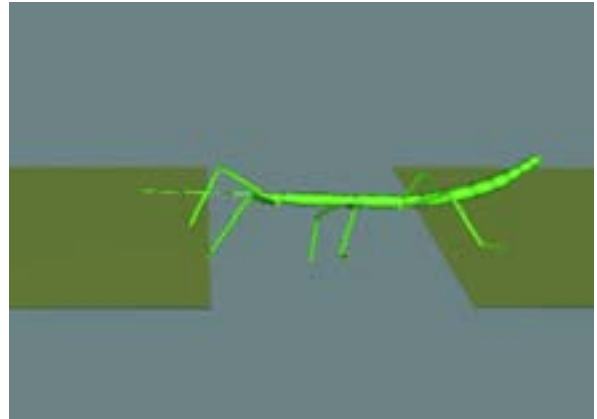
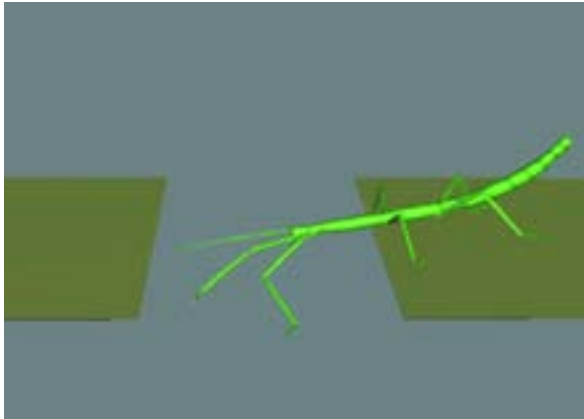


Abbildung 4: Simulation einer Stabheuschrecke, die über eine Lücke klettert – zwei Screenshots.

Bedingungen die Laufgeschwindigkeit herabsetzen kann. Letztlich sollten noch kurze Schritte durchgeführt werden können.

Reichen diese wenigen Erweiterungen aus, um das Verhalten der Tiere erklären zu können? Die spontane Reaktion eines neutralen Betrachters wäre vermutlich, dass es wohl nicht möglich sei, das komplexe Verhalten des Tieres mit diesen wenigen zusätzlichen Elementen zu beschreiben. Wie lässt sich entscheiden, ob diese Vermutung richtig ist? Erfahrungsgemäß ist es relativ schwierig, solche Fragen durch reines Überlegen zu beantworten. Das System besteht zwar aus nicht sehr vielen Modulen, diese sind aber unübersichtlich miteinander gekoppelt. Besonders unanschaulich wird es, wenn – wie hier – Rückkopplungen vorliegen. Die vermutlich einzige Möglichkeit zu entscheiden, ob die genannten Erweiterungen ausreichen, um das Verhalten der Tiere zu erklären, besteht darin, die Hypothesen mit Hilfe

von Simulationen zu testen. Dazu müssen die vermuteten Module und die vermuteten oder bekannten Verknüpfungen in einem quantitativen Modell zusammengefasst werden. Mit diesem „Denkzeug“ können die Eigenschaften des Gesamtsystems untersucht werden.

Welcher Art sind diese Modelle? Der erste Ansatz besteht darin, das Modell in einem Computer zu simulieren. Es reicht nicht aus, das Modell einmal zu testen. Vielmehr müssen, wie im Tierexperiment, viele Läufe mit unterschiedlichen Startstellungen untersucht und das Ergebnis statistisch bearbeitet werden. Der zweite Schritt besteht darin, einen Roboter zu bauen – eine Hardwaresimulation. Für unser konkretes Beispiel hat die Forschergruppe den zweiten Schritt noch nicht erreicht, weshalb hier nur die Ergebnisse aus den Softwaresimulationen dargestellt werden können. Diese sind aber eindrucksvoll genug. Wie die Simulationen gezeigt haben, kann das erweiterte Modell in einer Weise Lücken überqueren, die den Leistungen der „echten“ Tiere recht gut entspricht.

Erstaunlicherweise – und auch für die Bielefelder Forscher in dieser Form unerwartet – reichen diese einfachen Erweiterungen aus, um das Verhalten recht genau zu replizieren. Derzeit untersucht die Arbeitsgruppe „Biologische Kybernetik“, ob das Einführen weiterer Verhaltenselemente das Verhalten des Modells dem des Tieres noch ähnlicher machen kann.

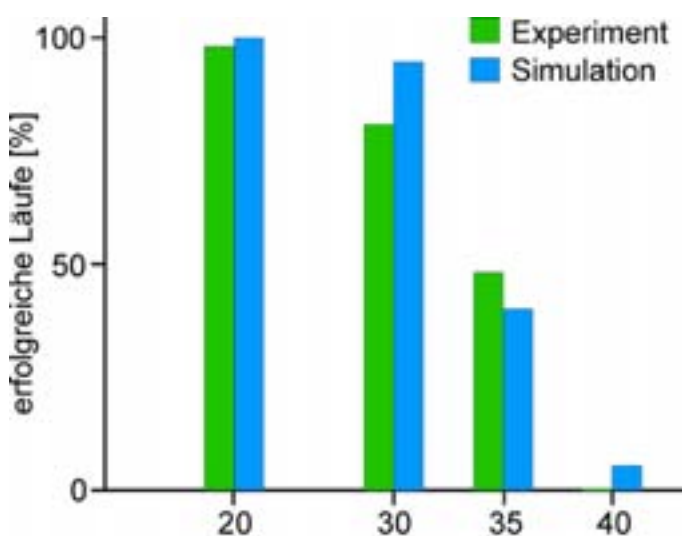


Abbildung 5: Vergleich der biologischen Daten (grüne Säulen) mit den Ergebnissen der Simulationen (blaue Säulen). Die Abbildung zeigt den Prozentsatz erfolgreicher Läufe (Ordinate) über verschieden breite Lücken (Abszisse). Simulation des Laufens über zwei verschieden breite Lücken gibt es im Internet unter www.uni-bielefeld.de/biologie/Kybernetik/research/walk.html



Dr. Volker Dürr (2. v. r.) studierte Biologie an der Universität Tübingen und an der University of Sussex in Brighton (GB). Nach der Diplomarbeit am Max-Planck-Institut für Biologische Kybernetik in Tübingen begann er seine Promotion an der Australian National University in Canberra, die er 1998 mit einer Dissertation zum Thema „Dendritische Informationsverarbeitung im Visuellen System von Insekten“ am Lehrstuhl für Neurobiologie der Universität Bielefeld abschloss. Seitdem arbeitet er als Wissenschaftlicher Assistent in der AG Biologische Kybernetik/Theoretische Biologie. Vor kurzem habilitierte er sich an der Universität Bielefeld für das Fach

Dr. Bettina Bläsing studierte Biologie an der Universität Bielefeld. Anschließend absolvierte sie einen Master of Science-Studiengang zum Thema „Applied Animal Behaviour and Welfare“ an der University of Edinburgh (GB). 2004 promovierte sie zum Thema „Kontrolle des motorischen Verhaltens der Stabheuschrecke beim Überklettern großer Lücken“ an der Universität Bielefeld in der Abteilung Biologische Kybernetik/Theoretische Biologie. Seitdem arbeitet sie im Bereich Wissenschaftsjournalismus/-redaktion u.a. bei der Bertelsmann Stiftung.

Zoologie. In seiner Forschung beschäftigt er sich mit aktiver Sensorik und kontext-abhängiger Kontrolle von Bewegungsabläufen.

Prof. Dr. Holk Cruse (rechts) studierte Biologie, Physik und Mathematik an der Universität Freiburg/ Br. und promovierte an der Universität Stuttgart zum Thema „Formensehen bei Honigbienen“. Nach einem Aufenthalt am Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik in Tübingen habilitierte er sich an der Universität Kaiserslautern für das Fach Zoologie. Seit 1981 ist er Leiter der AG Biologische Kybernetik/Theoretische Biologie an der Universität Bielefeld. Seine Forschungsarbeiten konzentrieren sich auf Fragen der reaktiven und kognitiven Kontrolle von Verhalten.

Prof. Dr. Josef Schmitz (links) studierte Biologie und Chemie an der Universität Kaiserslautern. An der Universität Bielefeld promovierte er 1985 zu einem neurophysiologischen Thema aus dem Bereich der motorischen Kontrolle bei Insekten und habilitierte sich 1993 für das Fach Zoologie. Seit 1999 ist er Professor in der Abteilung Biologische Kybernetik/Theoretische Biologie mit den Arbeitsschwerpunkten Neurobiologie des Laufsystems von Insekten und bionische Kontrolle von sechsbeinigen Robotern.

- Jugend- und Studententarife
- Preiswerte Flüge weltweit
- Kreuzfahrten
- Sport- und Aktivreisen
- Pauschal- und Wellnessreisen
- Ferienwohnungen und Fähren
- Interessante Studienreisen
- Mietwagen und Hotels

Reisebüro

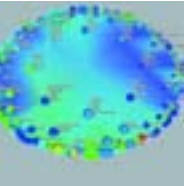
kleine Fluchten

kleine Fluchten | Rohrteichstr. 33 | 33602 Bielefeld
fon 0521.6 61 99 | fax 0521.6 75 80 | www.kleinefluchten.de






über 20 Jahre kleine Fluchten in Bielefeld



Neuronale Netze: von Daten zu Bedeutung

Helge Ritter und Jörg Ontrup

Technische Fakultät

Wie erkennen wir Bedeutung? Wie organisiert unser Gehirn die Millionen an Nervensignalen, die in jeder Sekunde von unseren Sinnesorganen einlaufen und aus denen wir durch Zauberhand ein „Bild“ unserer Umgebung und Welt erstehen, in dem wir mühelos Muster, Sinn und Bedeutung wahrnehmen? Diese spannende Frage ist nicht nur wichtig für die Grundlagenforschung, sondern auch relevant für Anwendungen in der Technik: bereits fragmentarische Teilantworten können immens nützlich für den Bau von Robotern oder „intelligenter“ Computersysteme sein, die nicht mehr starr programmiert werden müssen, sondern anhand von Beispielen durch Lernen Sinn- und Bedeutungszusammenhänge erkennen und auf die Lösung neuer Aufgaben übertragen können.

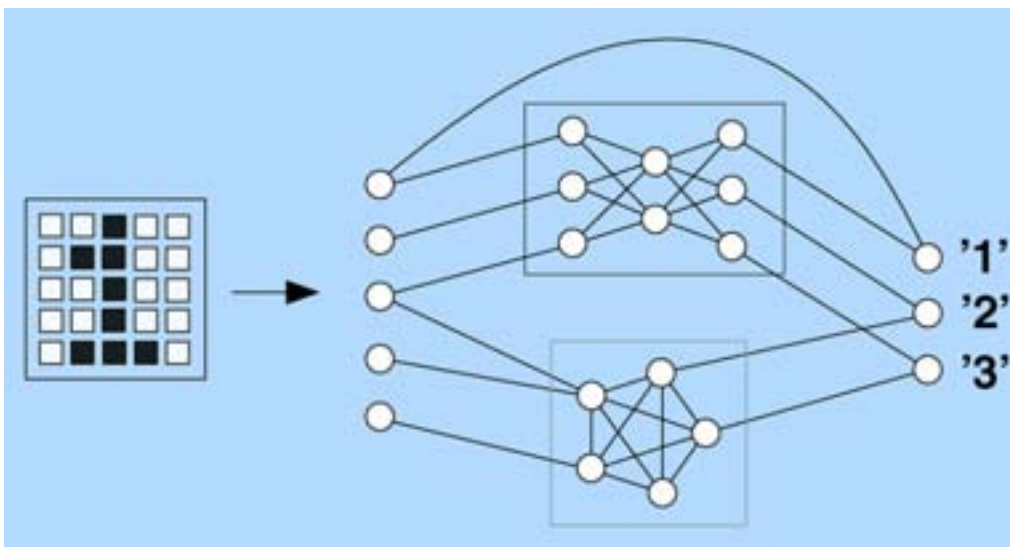


Abbildung 1: Ein Muster auf einer Sensormatrix (links) aktiviert Eingabeneuronen eines künstlichen neuronalen Netzes (Mitte) und pflanzt sich über die Vernetzung mit inneren Neuronen bis hin zu „Ausgabeneuronen“ fort. Deren Aktivierung bildet die „Antwort“ des Netzes (z.B. die korrekte Klassifikation des Eingabemusters).

Die Neuroinformatik ist dabei eine Brücke zwischen Natur- und Ingenieurwissenschaften: zum einen setzt sie Methoden der Informatik ein, um Informationsverarbeitungsprinzipien biologischer Neuronennetze durch Einsatz von Simulation und mathematischer Analyse aufzudecken. Zum anderen nutzt sie neurobiologische Erkenntnisse für die Entwicklung neuartiger Algorithmen, die Funktionsprinzipien und Vorteile

neuronaler Netze für technische Anwendungen nutzbar machen. Es liegt auf der Hand, dass die Neuroinformatik in beiden Fällen die Unterstützung von Nachbarwissenschaften, insbesondere der Neurobiologie, aber auch der Linguistik und der Psychologie, gut gebrauchen kann. Erst wenn all diese Disziplinen zusammenarbeiten, bietet sich eine Chance zu verstehen, wie unsere Fähigkeiten des Sehens,

Sprechens und Bewegens „funktionieren“ und zumindest in Teilen in technischen Systemen nachgebildet werden können.

Heutige Computerprogramme sind von ihrem Aufbau her lange Befehlsketten vergleichsweise einfacher Operationen („Programmcode“), aus deren sequentieller Abarbeitung durch einen zentralen Prozessor sich alle „Dienstleistungen“ des Programms ergeben. Der Erfolg dieses nach dem ungarischen Mathematiker John von Neumann benannten Verarbeitungsprinzips beruht auf der immensen Geschwindigkeit heutiger Prozessoren und der höchst sorgfältigen Arbeit menschlicher Programmiererteams, die selbst für mittelgroße Anwendungsprogramme Zigtausende an Programmzeilen erstellen müssen. Gänzlich anders liegen die Dinge im Gehirn. Dort „steckt“ die Intelligenz im äußerst dichten Geflecht der Verbindungen zwischen seinen zahlreichen Neuronen: wir besitzen etliche Milliarden dieser Nervenzellen, und jede davon steht mit Tausenden anderer Nervenzellen in direkter Verbindung, mit denen sie kurze, nadelförmige elektrische Impulse („Spikes“) austauscht.

Verglichen mit der zentralen Verarbeitung in einem Prozessorchip (der pro Sekunde Milliarden Anweisungen verarbeitet), geschieht dies bemerkenswert gemächlich: die meisten Neuronen im Gehirn „feuern“ nur einige Nadelimpulse pro Sekunde, die Geschwindigkeitsgrenze liegt bei einigen Hundert und wird nur von einem kleinen Teil aller Neuronen genutzt. Diesen Geschwindigkeitsnachteil gleicht das Gehirn durch seine große Zahl gleichzeitig arbeitender Neuronen aus: dank dieser „massiv parallelen“ Verarbeitungsweise können die vermeintlich „langsamen“ Neuronennetze unseres Gehirns die Fähigkeiten auch der schnellsten Prozessorchips noch immer um viele Längen schlagen, jedenfalls wenn es um „interessante“ Verarbeitungsleistungen geht, wie Sehen, Verstehen oder die Koordination von Bewegungen, wie beim Laufen oder Zugreifen (für stereotype Rechenaufgaben ist dagegen unser Gehirn – wie wir alle wissen – nicht sehr gut geeignet und bereits einem Taschenrechner unterlegen).



Start: 17. Februar 2006

GründerSchule

**Von Profis lernen.
Existenzen gründen.**

Lust auf Selbstständigkeit? Interesse an der Gründung eines eigenen Unternehmens?
Sie wollen wissen, wie? Dann kommen Sie zur GründerSchule. Anmeldung und weitere
Informationen unter www.s-gruenderschule.de

Eine Initiative der  Sparkasse Bielefeld  Sparkasse Herford

■ Künstliche Neuronale Netze

Künstliche neuronale Netze bieten eine attraktive Möglichkeit, diesen „biologischen Stil“ der Informationsverarbeitung auf dem Computer nachzuahmen. Dazu verwenden sie simulierte „Neuronen“, die ähnlich ihrem biologischen Vorbild aktiv oder inaktiv sein können und die ihre Aktivität über „erregende“ oder „hemmende“ Verbindungen gegenseitig beeinflussen. Bereits sehr einfache Regeln für dieses Zusammenspiel können überaus komplizierte, raumzeitliche Aktivitätsmuster bewirken. An die Stelle einer Programmierung treten Verfahren, die Vernetzung zwischen den Neuronen so einzurichten, dass die resultierenden Aktivitätsmuster eine beabsichtigte Berechnungsaufgabe lösen, beispielsweise ein Eingabemuster durch Aktivieren eines von mehreren Ausgabenneuronen korrekt zu klassifizieren (Abb. 2). Damit erschließen künstliche neuronale Netze zugleich eine weitere wichtige und höchst attraktive Eigenschaft realer Neuronennetze: ihre Fähigkeiten direkt aus Daten durch „Training“ zu lernen.

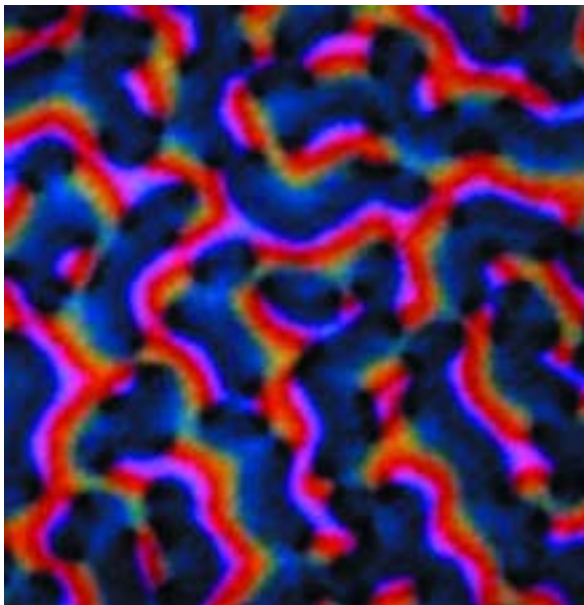


Abbildung 2: Farbmuster machen sichtbar, wie sich Neuronen eines simulierten Ausschnitts des visuellen Cortex (des für das Sehen zuständigen Bereichs der Hirnrinde) auf die Orientierung (simulierter) Helligkeitskanten spezialisieren. Die erhaltene Struktur („Merkmalskarte“) zeigt große Ähnlichkeit zu gemessenen Daten.

Dass dies möglich ist, ist keineswegs trivial und Ergebnis jahrzehntelanger Forschung. Die damit verbundenen Fragen sind bei weitem noch nicht alle gelöst und stehen auch im Mittelpunkt vieler Forschungsarbeiten in der Arbeitsgruppe „Neuroinformatik“ an der Universität Bielefeld. Anders als die Neurobiologen geht es uns dabei nicht um die detailgenaue Imitation von Vorgängen in biologischen Neuronennetzen. Vielmehr versuchen wir herauszufinden, wie Selbstorganisation und Lernen solche Systeme im Laufe der Zeit befähigen, Information auf einer semantischen Ebene zu verarbeiten und damit den Sprung von Daten zu Bedeutung zu leisten.

■ Wie sieht das Sehsystem?

Beispielsweise leistet unser visuelles System im Gehirn das Kunststück, von einzeln recht bedeutungslosen Hell-Dunkel-Signalen zahlloser Bild-„Pixel“ in der Netzhaut innerhalb weniger hundert Millisekunden bis zu semantisch hochkomplexen Kategorisierungen unserer visuellen Umwelt zu gelangen. Ein wichtiges Prinzip bei dieser höchst bemerkenswerten Leistung scheint in der Herausbildung so genannter „merkmalspezifischer Zellen“ zu liegen. Diese Neuronen machen einen großen Teil der Zellen des visuellen System aus. Sie sind über ein komplexes Nervenbahnsystem und über mehrere Zwischenstationen mit den lichtempfindlichen Sinnesrezeptoren in unseren Augen verbunden. Die Verbindungen sind dabei anfänglich sehr diffus, organisieren sich (ein Teil der Organisation findet sogar bereits vorgeburtlich statt) allmählich so, dass sich die Zellen auf unterschiedliche (untereinander überlappende) Bildausschnitte spezialisieren und nur aktiv werden, wenn in „ihrem“ Bildausschnitt etwas geschieht. Zusätzlich zu dieser zunächst nur örtlichen Fokussierung tritt im Laufe der ersten Lebensmonate eine weitere Spezialisierung des Ansprechverhaltens auf charakteristische visuelle Merkmale. Dazu zählen die Orientierung von Helligkeitskanten, lokale Textur, Farbtöne, aber auch Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit. In späteren Entwicklungsstadien findet man dann auch merkmalspezifische Zellen, die auf „höhere“ Merkmale wie Handbewegungen oder Gesichtsausdrücke selektiv reagieren.

■ Selbstorganisierende Merkmalskarten

Interessanterweise sind viele dieser merkmalsselektiven Neuronen räumlich in gesetzmäßiger Weise angeordnet: benachbarte Zellen sprechen meist auf

ähnliche, jedoch leicht veränderte Reize an. Auf diese Weise entstehen „Merkmalskarten“, deren Orte unterschiedlichen Ausprägungen eines Merkmals entsprechen und die man heute mittels bildgebender Verfahren für einfache Merkmale – wie Ort oder Orientierung – experimentell recht genau erfassen kann.

Mittlerweile kann man das Zustandekommen dieser Karten allein durch reizgetriebenes Lernen auch in Modellsimulationen mit künstlichen neuronalen Netzen recht gut nachbilden. Die Kernidee dabei ist eine Steuerung des Lernens der einzelnen Neuronen durch eine geeignete Mischung aus Kooperation und Wettbewerb: Lernen erfolgt in wiederholten Schritten, die mit der Präsentation jeweils neuer visueller Stimuli einhergehen. Dabei werden in einem Schritt immer nur diejenigen Neuronen adaptiert, die durch die vorliegende Merkmalsmischung jeweils am stärksten erregt werden, die also schon „am besten“ auf diese Merkmalskombination spezialisiert sind. Diesem „Wettbewerb“ wird als zweites Prinzip eine Kooperation an die Seite gestellt. Ihre Aufgabe besteht darin, auch geringer spezialisierte Neuronen wettbewerbsfähig zu machen. Um die spezialisierungsfördernde Wirkung des Wettbewerbs nicht zu unterlaufen, ist die Kooperation jedoch auf eine enge räumliche Nachbarschaft zu den „Wettbewerbs-Siegerneuronen“ begrenzt: ihre Nachbarn werden immer mitadaptiert, auch wenn sie erst gering spezialisiert sein sollten. Die Lernregel

selbst führt dabei zu Verschaltungsänderungen, die die Spezialisierung eines Neurons auf den angebotenen Stimulus erhöhen.

Ausgehend von diesem auf den finnischen Informatiker Teuvo Kohonen zurückgehenden Ansatz arbeiten wir daran, die Fähigkeiten dieses Modells zur Selbstorganisation visueller Merkmalskarten auch auf abstraktere Datentypen zu erweitern. So konnten wir bereits vor längerem zeigen, dass sich nach demselben Prinzip künstliche Neuronen auch auf Wortkategorien spezialisieren und räumlich organisierte „Bedeutungskarten“ bilden können, wenn man als „Stimuli“ Worte zusammen mit dem Kontext ihres Auftretens verwendet. Worte sind aber noch vergleichsweise „einfache“ Bedeutungsträger. Die gewaltige Erleichterung der Textverarbeitung und -speicherung durch den Computer beschert uns heute eine nie gesehene Flut an Dokumenten. Damit stellt sich die Frage, ob wir ähnlich den Bedeutungskarten für einzelne Worte auch ganze Dokumentenbestände als „Bedeutungslandschaften“ durch ein Lernverfahren strukturieren können.

■ Begriffe als Farben für Bedeutung

Als einen ersten Schritt zur Beantwortung dieser Frage haben wir den neuronal motivierten Ansatz selbstorganisierender Karten mit Ideen aus dem Gebiet des Textdaten-Mining verbunden. Dazu

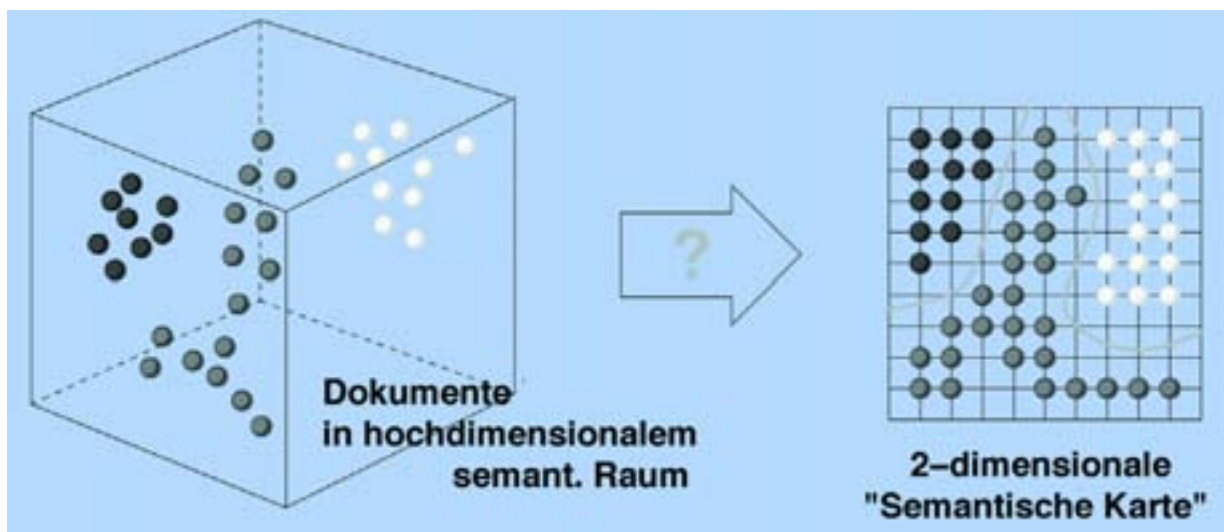


Abbildung 3: Wie kann man die „Topologie“ von Bedeutungen eines hochdimensionalen „semantischen Raums“ (links als 3-dimensionaler Würfel veranschaulicht) möglichst strukturerhaltend auf eine niedrigdimensionale Merkmalskarte („Neuronengitter“, rechts) abbilden?

behandeln wir die Bedeutung eines Dokuments in Analogie zu einer Farbe: anstelle der Grundfarben Rot, Grün und Blau fungiert jetzt jeder Begriff als eine eigene Farbe; die Häufigkeit des Begriffs im Dokument bestimmt die Farbintensität. Aufgrund der Vielzahl von Begriffen tritt an die Stelle des vertrauten dreidimensionalen Farbraums ein äußerst hochdimensionaler „semantischer Farbraum“. In diesem Raum können selbstorganisierende neuronale Karten bereits große Dokumentenbestände semantisch ordnen. Dabei versucht der Lernprozess die Dokumente so in der Karte zu verorten, dass sich Bedeutungsähnlichkeiten und Unterschiede zwischen den Dokumenten in Form von Abstandsrelationen zwischen ihren Kartenorten widerspiegeln: bedeutungsähnliche Dokumente erscheinen benachbart, inhaltlich sehr verschiedene Dokumente weit voneinander entfernt. Der Abbildung des sehr hochdimensionalen semantischen Farbraums auf eine ebene, zweidimensionale Karte wohnt allerdings noch ein gravierendes Problem inne, das in einfacherer Form Kartographen beim Versuch der Abbildung der Erdoberfläche begegnet: die Krümmung der Erdoberfläche in die dritte Dimension macht es unmöglich, die gesamte Erdoberfläche ohne „Risse“ oder „Singularitäten“ auf einer ebenen Karte wiederzugeben. Für unseren vieltausenddimensionalen

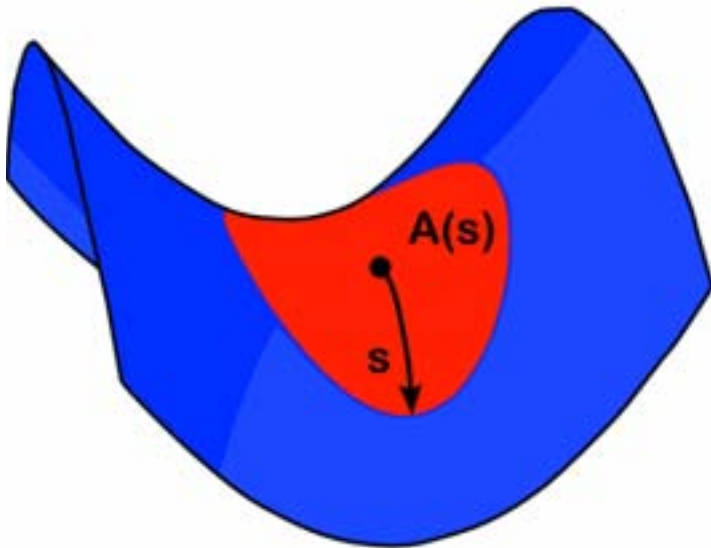


Abbildung 4: In der Sattelgeometrie gekrümmter Flächen wächst der Inhalt einer Kreisumgebung rascher als in der Ebene.

semantischen Raum tritt dieses Problem in vielfach verschärfter Form auf. Ursache dafür ist, dass in einem solchen Raum die Umgebung eines Punktes enorm rasch mit dem Entfernungsradius wächst (unter einer 1-%igen Vergrößerung des Radius wächst die Fläche eines Kreises um kaum mehr als 2%; eine Kugel im dreidimensionalen Raum wächst bereits um 3%, eine „Hyperkugel“ eines 1000-dimensionalen Raums bläht sich unter einprozentigem Radiuszuwachs jedoch auf das mehr als 20000-fache auf!).

■ Mehr Platz durch gekrümmte Räume

Interessanterweise gibt es nun mathematische Flächen, die – zumindest im Großen – ein solch rasantes Wachstum in nur zwei Dimensionen, also ohne Zuhilfenahme hochdimensionaler Räume, ermöglichen. Ähnlich wie unsere Erdoberfläche sind auch diese Flächen gekrümmt, jedoch im Unterschied zur „positiven“ Kugelkrümmung der Erdoberfläche ist die Krümmung dieser Flächen genau entgegengesetzt, mathematisch „negativ“. Der Krümmungsverlauf dieser so genannten „hyperbolischen“ Flächen ähnelt an jeder Stelle derjenigen eines Pferdesattels. Das raschere Nachbarschaftswachstum bemerkt der Kürschner daran, dass er in der Nähe des Sattelrandes gegenüber einem flachen Lederstück zusätzliches Leder einarbeiten muss. Als mathematische Fläche kann man den Sattel in alle Richtungen bis ins Unendliche fortsetzen. Dies liefert eine Fläche, deren Inhalt mit ihrem Radius exponentiell wächst und damit das Wachstumsverhalten in jedem noch so hochdimensionalen euklidischen (nichtgekrümmten) Raum letzten Endes übertrifft.

Um nun diese besondere Fläche für die Bildung semantischer Karten zu nutzen, erzeugten wir eine simulierte Neuronenschicht, die die Struktur eines regulären Gitters der hyperbolischen Fläche besitzt. Mit dieser Struktur „erbt“ die Neuronenschicht sozusagen alle Wachstumseigenschaften der hyperbolischen Ebene. Der Selbstorganisationsprozess für die Anordnung der Dokumente verfügt damit über wesentlich verbesserte Möglichkeiten, den hochdimensionalen semantischen Raum der Dokumente abzubilden.

■ Von Escher zum „Datenfischeuge“

Natürlich müssen wir die so generierten, hyperbolischen selbstorganisierenden Merkmalskarten (HSOMs) am Ende noch auf einen (nichtgekrümmten!) Computerbildschirm abbilden. Glücklicherweise

stellt uns die Mathematik dafür gleich mehrere Verfahren zur Verfügung, deren gemeinsame Idee darin besteht, entferntere Regionen der Karte so stark zu verkleinern, dass sie trotz des exponentiellen Wachstums in ein fest abgestecktes Blickfeld passen. Eines dieser Verfahren, die sog. Poincaré-Abbildung, ähnelt der Wirkung eines „Fischauges“ und bildet die gesamte hyperbolische Fläche an jedem Punkt formtreu (d. h., Winkelverhältnisse werden erhalten, lediglich eine ortsabhängige Größenverzerrung tritt ein) auf eine Kreisscheibe ab. Ein intuitives Bild der Wirkung dieser Abbildung liefert das Bild „Engel und Teufel“ des Künstlers Mauritsius Escher, der in mehreren seiner Werke die Visualisierung hyperbolischer Geometrie ohne mathematische Kenntnisse „intuitiv“ erahnt hat.

Wie sieht nun das Ergebnis einer Kombination all dieser Zutaten aus? Abb. 5 zeigt ein Beispiel. Hier wurden die Neuronen mit Meldungen der Nachrichtenagentur Reuters „trainiert“. Am Ende haben sich die Neuronenspezialisierungen auf die einzelnen Dokumente in der hyperbolischen Ebene so verteilt, dass Neuronen zu bedeutungsähnlichen Dokumenten räumliche Cluster bilden (Abb. oben). Die Einfärbung der Karte kann dabei weitere Merkmale, wie beispielsweise den „Andrang“ von Meldungen bei der Spezialisierung der Neuronen, sichtbar machen. Durch (mathematische) Verschiebung des „Fischaugen-Zentrums“ in der hyperbolischen Ebene lassen sich verschiedene Cluster genauer inspizieren, ohne ihren Bedeutungskontext aus den Augen zu verlieren (Abb. unten).

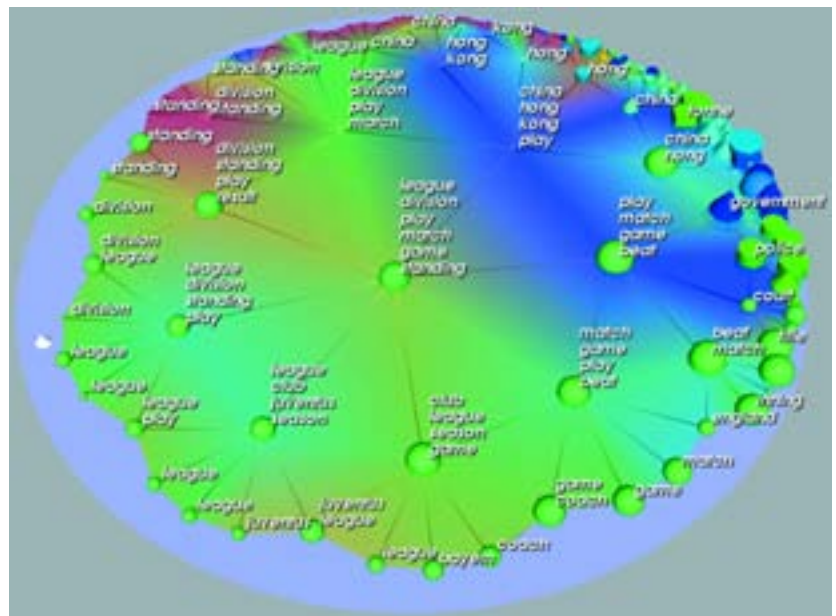
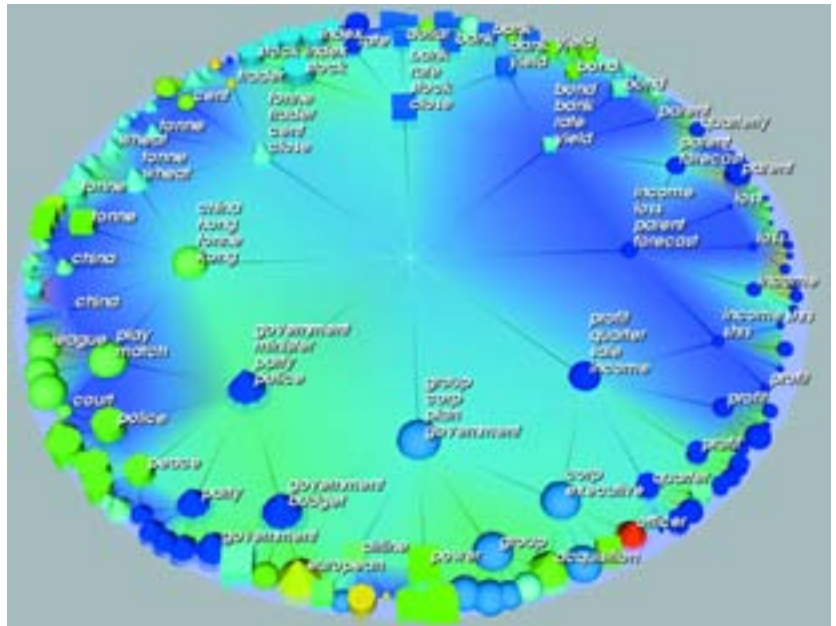


Abbildung 5: (Oben) Hyperbolische Karte von Nachrichtenmeldungen der Agentur Reuters. (Unten) Detailinspektion des Dokumentenclusters „Sport“ durch Verschiebung des „Fischaugen-zentrums“ in die Region nahe „8 Uhr“ im oberen Bild.

■ Was können neuronale Netze noch?

Auch viele andere unserer Projekte sind von einer solchen Vorgehensweise geprägt. So arbeiten wir in der Sonifikation an Verfahren, die anstelle von Visualisierung auf Verklanglichung von Daten setzen, um uns die Exploration großer Datenbestände zu erleichtern. Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 360 „Situierete Künstliche Kommunikatoren“ arbeiten wir mit Neurolinguisten an maschinellen Lernverfahren zur Auswertung von EEG-Signalen,

um adaptive Gehirn-Computer-Schnittstellen zu realisieren. Ein weiteres Projekt, in enger Kooperation mit der Arbeitsgruppe Angewandte Informatik, zielt auf die Entwicklung eines aktiven semantischen Gedächtnisses, das seine Informationen durch eine Brille empfängt. Besonders wichtig ist Lernen in der Robotik: Hier dient uns die Erforschung des Greifens mit einer mehrfingerigen Roboterhand zur Erprobung neuer Ideen des Lernens durch Imitation, Exploration



Abbildung 6: Erforschung von Lernen und Imitation am Beispiel des Greifens mit einer mehrfingrigen Roboterhand

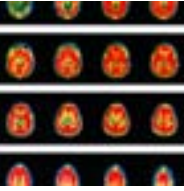
und aktives Instruieren. Neben den Projektinhalten ist die wichtige verbindende Klammer all dieser Arbeiten das Talent und die hohe Motivation der dahinter stehenden Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen.

Von ihrem kompetenten Einsatz hängt der Erfolg einer Forschungsgruppe entscheidend ab, ebenso wie von der immer neuen Begeisterung unserer Studierenden und Absolventen für das auch in Zukunft spannende und aussichtsreiche Feld der Neuroinformatik.



Helge Ritter ist seit 1990 Professor an der Technischen Fakultät und leitet dort seit 1993 die Arbeitsgruppe Neuroinformatik. Er studierte Physik und Mathematik an den Universitäten Bayreuth, Heidelberg und München und promovierte an der TU München. Helge Ritter war Mitveranstalter der Forschergruppe „Prärationale Intelligenz“ am Bielefelder Zentrum für interdisziplinäre Forschung (ZiF) und Fellow des Wissenschaftskollegs zu Berlin. Für seine Forschungen im Bereich der Neuroinformatik wurde er 2000 mit dem Alcatel Forschungspreis und 2001 mit dem Leibnizpreis der Deutschen Forschungsgemeinschaft ausgezeichnet.

Jörg Ontrup studierte Physik und Naturwissenschaftliche Informatik an der Technischen Fakultät der Universität Bielefeld und am Trinity College in Dublin. Nach seinem Hochschulabschluss leitete er bei der Firma „Betron control systems“ die Entwicklung eines Kamerasystems zur industriellen Bildverarbeitung auf Basis künstlicher neuronaler Netze. Anschließend wechselte er in die AG Neuroinformatik der Technischen Fakultät, wo er zur Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter mit dem Forschungsschwerpunkt „Visualisierung großer Datenmengen“ tätig ist.



Epileptische Anfälle und Epilepsien – Eine häufige menschlich-medizinische und wissenschaftliche Herausforderung

Bernd Pohlmann-Eden

Epilepsie-Zentrum Bethel/
Fakultät für Gesundheitswissenschaften

Epileptische Anfälle und Epilepsien gehören neben den Durchblutungsstörungen zu den häufigsten neurologischen Erkrankungen. Während einzelne Anfälle bei jedem 10. Menschen im Laufe seines Lebens auftreten können und oft nur ein Symptom einer kurz dauernden Hirnfunktionsstörung mit unterschiedlichen Provokationsfaktoren darstellen, werden Epilepsien definiert als das wiederholte Auftreten unprovoked epileptischer Anfälle (mindestens zwei), in der Größenordnung des insulinpflichtigen Diabetis in 0,5-1% der Bevölkerung beobachtet. Sie sind auch heute – im Jahre 2005 – Erkrankungen, die mit einer erheblichen sozialen Stigmatisierung, Tabuisierung und teilweise mythischen Vorstellungen zur Entstehung verbunden sind. Dies steht in Diskrepanz zu einem weit fortgeschrittenen Verständnis molekularer und neurochemischer Prozesse als Ursache von Anfallsbereitschaft und einer sehr guten Therapieprognose in 2/3 aller Patienten.

Das sorgfältige Explorieren und Beobachten von Anfällen mittels synchroner EEG (Elektroenzephalographie = „Hirnstrombild“)-Video-Ableitungen, sowie modernste Techniken wie Magnetresonanztomographie und Positronenemissionstomographie haben weit über den Bereich der Epilepsieerkrankungen wesentlich dazu beigetragen, die „Landkarte“ Gehirn im Sinne der funktionellen Neuroanatomie in ihren umschriebenen und auch vernetzten Aufgaben zu verstehen. Akzeptierte, wissenschaftlich fundierte Therapien stellen die rationale Pharmakotherapie, die Epilepsiechirurgie und die Nervenstimulation dar, die sämtlich im Epilepsie-Zentrum Bethel einbezogen sind in ein komplexes Angebot sozialer und psychoedukativer Maßnahmen, die gleichfalls wissenschaftlich evaluiert werden.



Bernd Pohlmann-Eden studierte von 1974 bis 1977 Medizin und Philosophie in Mainz und von 1977 bis 1981 Medizin in Heidelberg. Nach der Promotion war er 1981 bis 1985 Wissenschaftlicher Assistent an der Neurologischen Klinik der Fakultät für Klinische Medizin Mannheim der Universität Heidelberg. 1987 wurde er Facharzt für Neurologie und habilitierte sich 1990 für das Fach Neurologie. Nach einem Forschungsaufenthalt an der Harvard Medical School wurde er 1995 Leiter des Mannheimer Epilepsiezentrums und 1996 Professor für Neurologie. Nach einer Gastprofessur am Krembil Neuroscience Center der Universität Toronto wurde er 2003 Leiter des Epilepsie-Zentrums Bethel. Seit 2004 ist der Professor an der Fakultät für Gesundheitswissenschaften der Universität Bielefeld.

■ Epilepsie-Zentrum Bethel – Bielefeld

Das Epilepsie-Zentrum Bethel (Klinikteil) ist ein weltweit bekanntes diagnostisches und therapeutisches Angebot, das sämtliche hochmoderne Technik sowie nahezu alle Therapieformen inklusive psychosozialer und edukativer Maßnahmen bietet und überregional genutzt wird. Das ganzheitliche „Comprehensive Care“-Konzept, bei dem der Mensch mit Epilepsie im Mittelpunkt steht, gilt international als Modell. Begleitende Forschung in allen Bereichen ist Teil einer Strategie zur Erhaltung des Qualitätsstandards und wird durch ein lebendiges Netzwerk aus nationalen und internationalen Partnern gestützt.

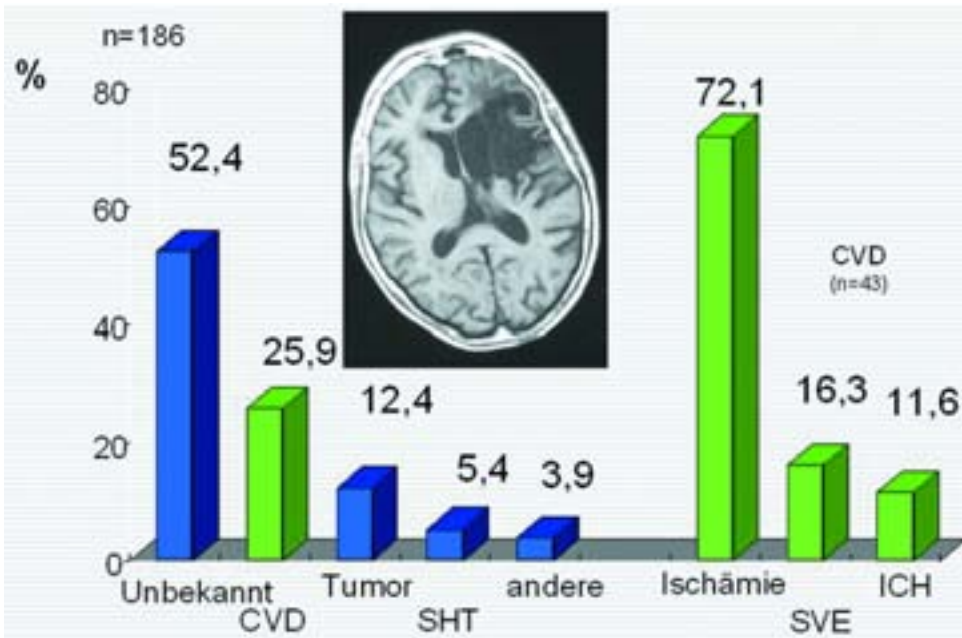


Abbildung 1:
Pathomorphologische Befunde
bei Patienten mit ersten
Anfällen aus einer prospektiven
Untersuchung an 166 Patienten

■ Der erste epileptische Anfall – was dann?

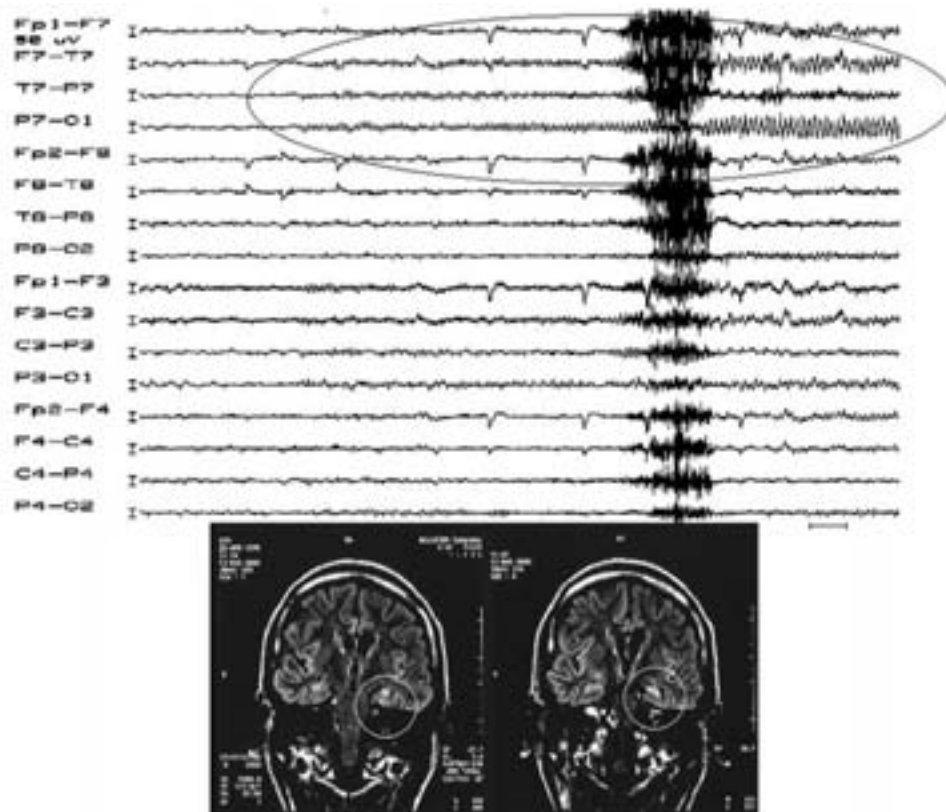
Ein erster gesicherter epileptischer Anfall (EA) führt nahezu immer zu einer schweren subjektiven Irritation und Störung der Autonomie. Eine Kernfrage ist dann, ob es bei diesem einzelnen Ereignis bleibt (im Sinne einer einmaligen Hirnfunktionsstörung mit Reduktion der „Krampf“schwelle) oder ob mit weiteren Anfällen und der Entwicklung einer Epilepsie gerechnet werden muss. Zur Zeit wird in Bielefeld ein Forschungsschwerpunkt zur Frage der Krankheitsentstehung und -entwicklung am Beispiel der Epilepsieerkrankung aufgebaut, die neben apparativ bestimmten Prädiktoren auch psychosoziale Faktoren einschließen soll. Die Erfassung von Patienten mit ersten Anfällen spielt hier eine zentrale Rolle. Eine eigene vorbereitende große prospektive Untersuchung an 166 EA-Patienten widmete sich wissenschaftlich dieser Fragestellung. Menschen, bei denen eine klare akute „Provokations-situation“ (wie hohes Fieber, Alkohol- und Medikamentenentzug, akute Gehirnerkrankung) vorlag, die das Auftreten des ersten Anfalls plausibel und eine Wiederholung („Rezidiv“) unwahrscheinlich machten, wurden ausgeschlossen. 30–40% der Menschen mit scheinbar „unprovokierten“ Anfällen zeigten innerhalb von drei bis vier Jahren ein Anfallsrezidiv (AR). Die meisten davon ereigneten sich bereits innerhalb der ersten sechs Monate. Die Schnittbildgebung des Gehirns (meistens als Magnetresonanztomographie [MRT]) war in der Hälfte aller 166 Patienten auffällig und zeigte in absteigender Häufigkeit bislang nicht bekannte Veränderungen der Hirnsubstanz (Ischämien [Narben nach Durchblutungsstörungen], Tumoren, Schädel-Hirn-Verletzungen – Abbildung 1 gibt einen Über-

blick). Als Prädiktor, bzw. Variablen, die die Entwicklung einer Epilepsie, also das AR, vorhersagten, zeigten sich vor allem ein frühzeitig abgeleitetes Hirnstrombild (EEG) (Schreiner und Pohlmann-Eden 2003) mit einem krankhaften (pathologischen) Befund sowie Schlaganfallnarben, vor allem wenn sie Inseln von Hirnrindenaktivität („PCI sign“= preserved cortical island sign) stehen ließen. Die Veränderung der Alterspyramide in der allgemeinen Bevölkerung lässt erwarten, dass Altersepilepsien bald die häufigste Form der Epilepsien darstellen.

■ Rationale Pharmakotherapie

Durch eine gezielte, gestufte, gleichzeitig individualisierte Pharmakotherapie können 70 % aller Epilepsiepatienten anfallsfrei werden oder in eine längere anfallsfreie Phase des Abklingens der Krankheits-symptome kommen. Experimentelle und klinische Untersuchungen zeigen, dass die gegenwärtig vorhandenen Medikamente zur Behandlung von Epilepsien, so genannte Antiepileptika (AE), das Erregungsniveau von Neuronen (Nervenzellen), Neuronenverbänden und auch Erregungsausbreitungen hemmen und damit Anfälle wirksam unterdrücken. Sie belegen aber nicht, dass sie auch das Potential haben, Epilepsieentstehung zu unterdrücken und den natürlichen Verlauf von Epilepsien zu beeinflussen. Es scheint vielmehr so zu sein, dass frühzeitig bereits feststeht, ob eine Epilepsie einfach oder schwierig zu behandeln ist, und dass andere Faktoren für die Prognose entscheidend sind als eine frühzeitige Behandlung oder die bestimmte Auswahl eines AE. Bisherige Therapiestudien, an denen das Epilepsie-Zentrum wesentlich beteiligt ist (verant-

Abbildung 2: Umschriebene Narbe im Schläfenlappen links (Hippokampussklerose) – im Bild seitenverkehrt, also rechts – nur durch eine Signalanhebung in einer speziellen Magnetresonanztchnik erkennbar. Korrespondierend hierzu Darstellung der Anfallsaktivität und den Anfallsbeginns im Multikanal-EEG



wortlich Dr. Christian Brandt), machen wahrscheinlich, dass morphologische (strukturelle) und genetische Faktoren entscheidend die Therapieprognose determinieren. Aus diesem Grunde kommt einer hoch differenzierten Funktions- und Strukturdiagnostik in einer frühen Phase der Erkrankung eine große Bedeutung in der Beratungssituation zu.

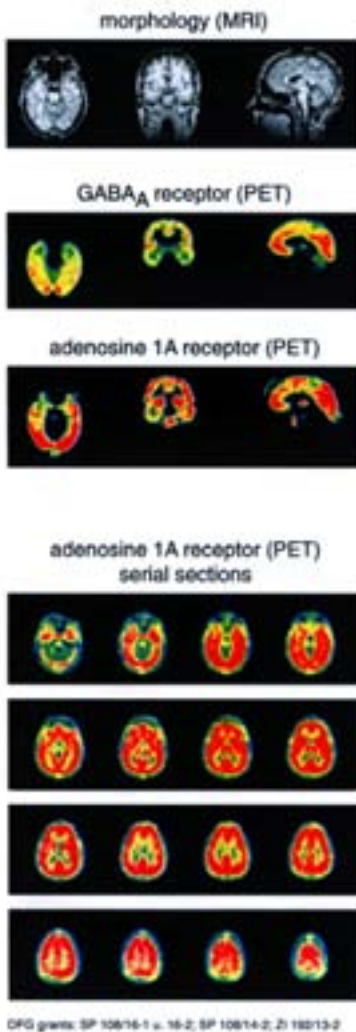
Abbildung 2 zeigt eine umschriebene Vernarbung im linken Schläfenlappen eines Epilepsiepatienten, eine so genannte Ammonshornsclerose oder Hippocampussclerose mit einem korrespondierenden epileptischen Fokus in der ergänzenden Elektroenzephalographie. Die Prognose durch eine Medikamentenbehandlung ist hier eher schlecht, während eine operative Entfernung dieses Areals eine gute Therapieprognose hat (siehe unten). Welches die genauen Mechanismen für eine sich entwickelnde „Pharmakoresistenz“ sind, die immerhin bei 30 % aller Patienten mit Epilepsie festgestellt wird (250.000–300.000 Menschen in Deutschland), ist unklar. Multiple, sich im Einzelfall konstellierende Variablen werden diskutiert. Eine Arbeitsgruppe am Epilepsie-Zentrum Bethel unter Leitung des Epilepsiechirurgen Dr. Heinz Pannek (Kooperationsprojekt mit der Universität Münster, Prof. Dr. Erwin-Josef Speckmann) untersucht derzeit mittels intraoperativer Mikrodialyse in der Nachbarschaft des als epileptogen klassifizierten Areals (siehe Abbildung 3 – nächste Seite) die Hypothese, ob veränderte Transportvorgänge an der Nervenzelle

verhindern, dass das Antiepileptikum seine Zielstrukturen erreicht.

■ Präoperative Evaluation und Epilepsiechirurgie

In der Abteilung präoperative Diagnostik unter der Leitung von Dr. Alois Ebner wird mittels multimodaler Techniken (EEG, Video-EEG, MRT, Positronenemissionstomographie, siehe oben) geklärt, ob Patienten geeignete Kandidaten für eine epilepsiechirurgische Maßnahme sind. Voraussetzungen für eine Operation sind bestehende Pharmakoresistenz und der Nachweis eines Herdes (monofokale Epilepsie). Ein wesentlicher Forschungsschwerpunkt ist die Identifikation des idealen Kandidaten für die Operation, d. h. die Bestimmung von Prädiktoren für eine gute oder eine schlechte Prognose. Als Prädiktoren wurden identifiziert Variablen der Anamnese, des Anfallsbildes, des EEG- und MRT-Befundes. So wurden 91 % von 84 operierten erwachsenen Patienten mit einer Temporallappenepilepsie (TLE) mit der Vorgeschichte eines komplizierten Fieberkrampfes (CFC) in der Kindheit anfallsfrei, während Patienten ohne Fieberkrampf nur in 64 % Anfallsfreiheit erreichten. Dies wird als weiterer Beleg dafür gesehen, dass ein kindlicher CFC einerseits eine kritische Vorbedingung für das spätere Auftreten einer TLE ist, andererseits zu einem spezifischen Epilepsiesyndrom führt, bei dem eine operative Entfernung des epileptogenen Areals erfolgversprechend ist.

PRE-OPERATIVE



INTRA-OPERATIVE

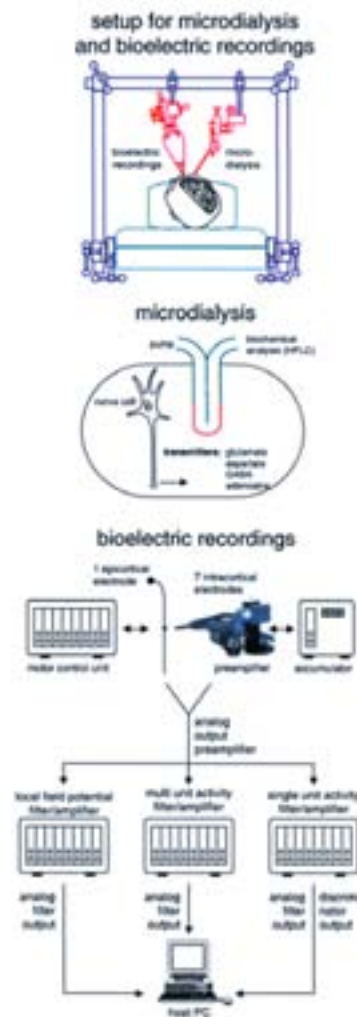


Abbildung 3:
Intraoperative Mikrodialyse

Serie 1 Präoperative Untersuchungen:
Routinemäßig erfolgt in Bethel ein hoch auflösendes MRT (Magnetresonanztomographie) des Schädels bei den zur Operation anstehenden Epilepsie-Patienten. Für spezielle wissenschaftliche Fragestellungen in der Grundlagenforschung wird zur exakteren Beschreibung der epileptogenen Aktivität eine ergänzende PET-(Positronenemissionstomographie-)Untersuchung im Forschungszentrum Jülich durchgeführt. Mit spezifischen Radionukliden ist es hier möglich, Adenosin 1A-Rezeptoren quantitativ und qualitativ zu bestimmen (Adenosin – ein wichtiges, biochemisches Molekül – hemmt die neurale Aktivität im Gehirn und kann daher auch epileptischen Anfällen entgegenwirken). Es sollen somit letztendlich die Einflussfaktoren im epileptogenen Gewebe und für die Epilepsie des betreffenden Patienten detaillierter beschrieben werden.

Serie 2 Intraoperative Untersuchung:
Aufbau der intraoperativen Mikrodialyse-Untersuchung sowie in diesem Zusammenhang durchgeführte elektrokortikographische bzw. Stimulations-Registrierungen. Auf der Graphik sind der Op.-Tisch mit dem dazugehörigen Halterungsrahmen für die Mikromanipulatoren zur Aufnahme der Dialyse-Katheter sowie die Fixierung des elektrokortikographischen Ableitungssystems schematisch dargestellt. Darunter ist das Prinzip der Mikrodialyse mit Zu- und Abfluss des Dialysates erklärt. Abschluss bildet die Darstellung der dafür benötigten bioelektronischen Registrierung inklusive Stimulations- und Ableitungsmodalitäten mit Verstärker.

In einer großen weiteren Studie konnte weiterhin die Bedeutung der Epilepsiedauer gezeigt werden: Patienten mit einer Epilepsiedauer von mehr als 30 Jahren wurden nur noch in 31 % der Fälle anfallsfrei, während bei Epilepsiedauern von weniger als zehn Jahren in 91 % Anfallsfreiheit postoperativ beobachtet wurden (Jansky et al. 2005). Bei bestimmten Epilepsieformen im posterioren Cortex erwiesen sich videographisch dokumentierte so genannte „lateralisierende“, d. h. auf die betreffende Hemisphäre hinweisende Zeichen als prognostisch günstig (Bösebeck et al. 2002). Zeigte das EEG in beiden Temporallappen vor der Operation spezifisch epileptische Aktivität (SEA), war die Prognose ungleich schlechter als bei Patienten mit einer unilateralen SEA.

Eine andere Arbeitsgruppe um die Neuropsychiaterin Dr. Steffi Koch-Stöcker zeigte, dass eine präoperative erhöhte psychiatrische Komorbidität prognostisch ungünstig bezüglich zu erwartender Anfallsfreiheit ist und mit einem erhöhten Auftreten postoperativer Depression einhergeht.

Ein weiterer Schwerpunkt, der in der Abteilung Kinderepileptologie unter der Leitung von Dr. Ingrid Tuxhorn bearbeitet wird, ist die frühe Identifikation von Kindern mit medikamentenresistenter Epilepsie und die frühzeitige epilepsiechirurgische Intervention (Operation bereits ab dem 6. Lebensmonat), unter anderem mit der Frage, ob präoperative kognitive und neuropsychologische Defizite bzw. Entwicklungsverzögerungen durch Entfernung des anfallsaktiven Fokus gebessert oder verhindert werden können.

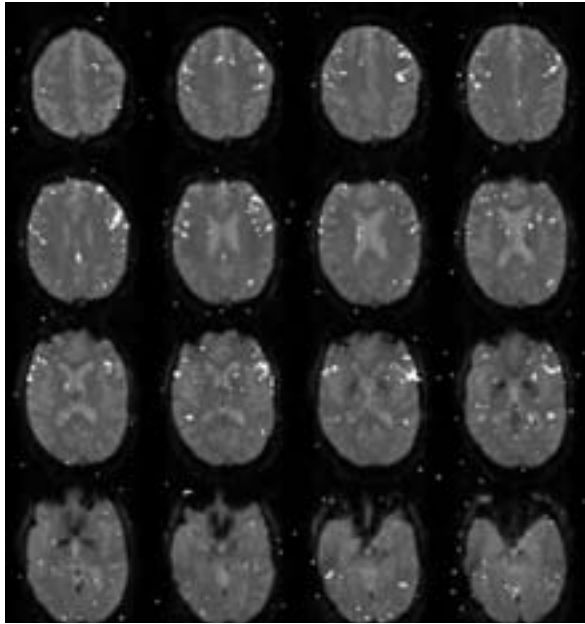


Abbildung 4: fMRT-Untersuchungen zur Sprachlokalisierung: deutliche Signalanhebung im linken Stirnhirn (im Bild seitenverkehrt rechts) durch Sprachaktivierung

■ Funktionelle Magnetresonanztomographie

Eine weitere Forschungsgruppe um Dr. Fritz Wörmann zeigte zwischenzeitlich, dass eine zuverlässige individuelle Sprachlateralisation mittels funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT) möglich ist (Wörmann et al. 2003) und damit den methodisch aufwendigen, den Patienten belastenden WADA-Test (eine Hemisphäre des Patienten wird durch ein Betäubungsmittel funktionell ausgeschaltet und dann getestet) ablösen kann (Abbildung 4). In gleicher Weise wird derzeit versucht, mittels fMRT-Technik und spezifischer Stimulationsparadigmen auch die präoperativ relevanten Areale für die Gedächtnisfunktion zu identifizieren. Eine weitere Untersuchung mit dieser Technik legt nahe, dass im Rahmen wiedererinnerter Angstsituationen Menschen mit Panikattacken vor allem rechtshemisphärische Netzwerke im Schläfen- und Stirnlappen aktivieren, während Menschen mit epileptischen Angstattacken, so genannte „ictal fear“, Verbindungen zum visuellen Cortex und linken Stirnlappen aufwiesen.

be smart - buy smart - smart chairs



Ergonomisch sinnvoll - qualitativ hochwertig und attraktiv im Design - das sind Stühle von SATO Office mit den Marken TCC - The Chair Company, Grammer Office und Projects.

SATO
OFFICE GMBH
Jubatus - Allee 1
D-92263 Ebermannsdorf
<http://www.satooffice.com>

AKS
Bürosysteme GmbH
Büromöbel • Bürobedarf • EDV-Zubehör
Büromaschinen

InvitASS.

Jeder von uns verbringt rund ein Drittel seiner Zeit am Arbeitsplatz.



www.assmann.de

Grund genug, sich mit Bedacht darauf einzurichten.

InvitASS ist das variantenreiche Schrankwand-Programm, das Raum und Übersicht verschafft. Der intelligenten Raumgestaltung sind durch variable Planungen kaum noch Grenzen gesetzt.

ASSMANN®
BÜROMÖBEL
Funktionelle Arbeitswelten.

AKS
Bürosysteme GmbH
Büromöbel • Bürobedarf • EDV-Zubehör
Büromaschinen

Anschrift:
AKS Bürosysteme GmbH
Beckhausstraße 211
33611 Bielefeld

Telefon: +49 (0) 5 21-5 60 96-0
Telefax: +49 (0) 5 21-5 60 96-29
E-Mail: info@aks-buerosysteme.de
www.aks-buerosysteme.de

■ **Konversationsanalyse als Differenzierungsinstrument zwischen dissoziativen und epileptischen Anfällen**

Nahezu jeder dritte Patient, der sich in einem Epilepsie-Zentrum vorstellt, leidet tatsächlich nicht unter epileptischen Anfällen, sondern unter so genannten „psychogenen“, dissoziativen Anfällen. Die Unterscheidung oder Differentialdiagnose ist traditionell methodisch sehr aufwendig und erfordert langdauernde Video-EEG-Monitoring-Ableitungen, biochemische Untersuchungen und MRT-Studien. Eine seit 1998 zwischen dem Epilepsie Zentrum Bethel und Linguisten der Universität Bielefeld unter Leitung von Prof. Elisabeth Gülich bestehende Kooperation widmet sich nun der Analyse des Sprachverhaltens von Patienten mit unterschiedlichen, anfallsartig sich manifestierenden Krankheiten unter Einschluss dissoziativer Anfälle. Mittlerweile konnten nahezu hundert im klinischen Alltag geführte Gespräche aufgezeichnet, fein-transkribiert und konversationsanalytisch aufgearbeitet werden. Durch diese Analysen war es möglich, konversationelle Verfahren zu entdecken und zu beschreiben, welche Patienten zur Vermittlung ihrer krankheitsspezifischen Erfahrungen einsetzen. Dabei ließ sich nachweisen, dass bei unterschiedlichen Formen anfallsartiger Erkrankungen auch unterschiedliche diskursive Muster eingesetzt werden. Daher war in einer prospektiven Studie an schwierig diagnostizierbaren Patienten allein anhand linguistischer Kriterien in 85 % der untersuchten Fälle eine zutreffende, nachfolgend durch klinisch-epileptologische Untersuchungen bestätigte Diagnose möglich. Ebenso ließ sich in einer interdisziplinären, gemeinsam mit Psychiatern und Psychologen der Psychiatrischen Klinik in Bielefeld (ZPPM) durchgeführten Studie zeigen, dass Patienten mit „epileptischer Angst“, also so genannten Angstauren, diese konversationell in deutlich anderer Weise bearbeiten als Panik-Patienten ihre (nicht-epileptischen) Angstanfälle.

■ **Psychosoziales Outcome und Rehabilitation**

Der Soziologe Rupprecht Thorbecke, Mitleiter der Abteilung Rehabilitation (Ärztliche Leitung Dr. Ulrich Specht), sowie Kollegen von der Abteilung für präoperative Diagnostik und Epilepsiechirurgie untersuchten bei 115 Patienten den Beschäftigungsstatus zwei Jahre nach einem epilepsiechirurgischen Eingriff. Sie konnten zeigen, dass durch die Reha-Maßnahmen nach der Operation und die gewachsene Erfahrung v.a. mit psychischen Problemen deutlich mehr

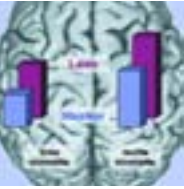
Patienten in Arbeit waren als vor der Operation. Bemerkenswert ist dabei, dass eine gleichartige Untersuchung vor Eröffnung der Reha-Abteilung 1997 keine Verbesserung, sondern eher eine leichte Verschlechterung der Beschäftigungssituation gezeigt hatte und die allgemeine Arbeitslosigkeit seitdem sogar noch zugenommen hat (in beiden Gruppen waren gleich viele Patienten anfallsfrei geworden). In der gleichen Studiengruppe wurde die soziale Situation vor der Operation mit der zwei Jahre danach verglichen. 68 % waren anfallsfrei geworden. Die Patienten bezeichneten ihre Wohnsituation, ihre sozialen Kontakte und ihre Situation hinsichtlich Partnerschaft als deutlich verbessert. Ihre objektive Lebenssituation hatte sich tatsächlich auch verändert. Während vor der Operation noch 27 % bei den Eltern lebten, war dies danach nur noch bei 16 % der Fall, und nur noch 24 % gegenüber 33 % vor der Operation hatten seltener als ein Mal pro Woche Kontakte außerhalb der Familie. Vor der Operation hatten 35 % keinen Partner, danach war dies noch bei 28 % der Fall.

■ **Innovative Psychoedukative Programme**

Eine weitere Arbeitsgruppe um die Psychologen Margarete Pfäfflin und PD Dr. Theodor May beschäftigt sich wissenschaftlich mit der Frage, wieweit psycho-edukative Programme, systematisch eingesetzt, Krankheitsverläufe günstig beeinflussen und einer Chronifizierung entgegenwirken können. Dabei geht es um eine frühzeitige Aufklärung, Strategien für den Umgang mit der Krankheit („Coping“), Krankheitswissen, Erfassen von Parametern zur Lebensqualität und spezifischen Ängsten. Hierzu wurden spezifische Testinstrumente und Lernprogramme entwickelt wie MOSES (Modular Service Package Epilepsy) für Erwachsene und FAMOSES für Kinder und ihre Eltern.

■ **Forschung in enger Zusammenarbeit mit der Universität Bielefeld**

Die kurz skizzierten, illustrativen Forschungsansätze werden zum großen Teil in enger Kooperation und Kommunikation mit der Universität Bielefeld realisiert, maßgeblich unterstützt durch das an die Fakultät für Gesundheitswissenschaften angelehnte An-Institut für Interdisziplinäre Epilepsieforschung (InIEF), das wiederum Teil der Gesellschaft für Epilepsieforschung am Epilepsie-Zentrum ist. Das InIEF bietet regelmäßige sechswöchentliche Plattformen zur Vorstellung neuer interdisziplinärer Projekte und zur Ressourcenanalyse gemeinsamer Forschung.



Die Hirnaktivität auf dem Prüfstand

Neurowissenschaftliche Forschung in der Arbeitsgruppe „Klinische Psychologie – Neuropsychologie“

Wolfgang Hartje, Michael Bulla-Hellwig,
Cornelia Macek, Anke Menzel-Begemann,
Sören Krach, Wolfhard Skreczek

Fakultät für Psychologie und Sportwissenschaft



*Technik der transkraniellen Doppler-Sonographie.
Hier: Messung der Durchblutungsgeschwindigkeit
in der rechten mittleren Hirnarterie (Deppe, 2000)*

Dass die linke Gehirnhälfte für sprachliche Aufgaben zuständig ist, haben Forscher mit unterschiedlichen Methoden bestätigt. Bildgebende Verfahren spielen beim Nachweis eine ganz zentrale Rolle. Positronen-Emissions-Tomographie (PET) und funktionelle Magnet-Resonanz-Tomographie (fMRT) wurden in den letzten Jahrzehnten so entwickelt, dass sie die Aktivierung des Hirnstoffwechsels und der Hirndurchblutung in Bildern darstellen können, während Testpersonen sprachliche Aufgaben bearbeiten. Mit Hilfe dieser Methoden kann die Aktivität des gesunden Gehirns bei spezifischen intellektuellen (kognitiven) und emotionalen Prozessen unterschiedlichster Art immer genauer erfasst werden. Die genannten bildgebenden Untersuchungsverfahren sind allerdings apparativ aufwendig und mit erheblichen Einschränkungen verbunden: Da die Probanden bei der fMRT beispielsweise in die „Röhre“ geschoben werden, sind die Möglichkeiten, ihnen in Experimenten Aufgaben zu stellen, begrenzt.

Die linke Gehirnhälfte ist der rechten überlegen – zumindest, was die Sprachfunktion angeht. Das ist seit langem bekannt, denn klinische Untersuchungen haben gezeigt, dass Patienten, die einen linkshirnigen Schlaganfall hatten, unter Sprachstörungen leiden. Die Arbeitsgruppe „Klinische Psychologie – Neuropsychologie“ an der Universität Bielefeld will es noch genauer wissen: Wie können die unterschiedlichen Funktionen der beiden Hälften des menschlichen Gehirns ermittelt werden? Neben dieser methodischen Frage ergründen die Forscher, wie Hirndurchblutung, Anstrengung und Leistung zusammenhängen. Das Ganze hat einen praktischen Nutzen: Die hier gewonnenen Erkenntnisse helfen Neuropsychologen bei der Diagnose. Ein Überblick zur Forschung der Arbeitsgruppe.

■ Einfacher und ökonomischer: Ultraschall-Technik

Neben den bildgebenden Verfahren PET und fMRT hat sich in der neurowissenschaftlichen Forschung inzwischen ein apparativ einfaches und ökonomisches Verfahren etabliert, das auf Ultraschall-Technik basiert. Mit der so genannten transkraniellen Doppler-Sonographie (TCD) kann man die Blutflussgeschwindigkeit in den vorderen, mittleren oder hinteren großen Hirnarterien messen. Diese Hirnarterien versorgen die linke oder rechte Hirnhälfte mit Blut. Die Ultraschallsignale werden von relativ kleinen Sonden gesendet, die am Kopf fixiert werden. Die Sonden dienen gleichzeitig als Empfänger der reflektierten Echo-Schallwellen, deren Frequenz durch die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes verändert wird. Die Blutflussgeschwindigkeit wird aus dem Ausmaß der Frequenzänderung berechnet. Die Aktivierung des Gehirns durch Wahrnehmungs- und Denkprozesse oder durch Bewegungen führt zu einer rasch einsetzenden systematischen Änderung der Durchblutungsgeschwindigkeit. So verändert zum Beispiel eine abwechselnde Hell-Dunkel-Stimulation die Blutflussgeschwindigkeit in der hinteren Hirnarterie, die die visuellen Hirnregionen mit Blut versorgt.

■ **Besonders vielseitig: die simultane transkraniale Doppler-Sonographie (TCD)**

Mittlerweile ist die TCD technisch weiterentwickelt worden. Forscher haben seit Ende der 1980er-Jahre ein Verfahren entwickelt, bei dem gleichzeitig die Durchblutung der rechten und linken Hirnarterien gemessen werden kann. Die simultane TCD wurde inzwischen international in zahlreichen Studien eingesetzt. Der besondere Vorteil des Verfahrens besteht darin, dass es die Probanden in der Untersuchungssituation in ihren Wahrnehmungs- und Reaktionsmöglichkeiten kaum einschränkt. So können ganz unterschiedliche Aufgaben gestellt werden. Die Untersuchungen können außerdem mit großen Personengruppen vorgenommen werden, ohne dass hierdurch nennenswerte Kosten entstehen.

Seit Anfang der 1990er-Jahre macht auch die Bielefelder Arbeitsgruppe „Klinische Psychologie – Neuropsychologie“ Versuche mit Hilfe der TCD. Sie interessiert sich speziell dafür, welche Funktionen der rechten oder linken Gehirnhälfte zugeschrieben werden können.

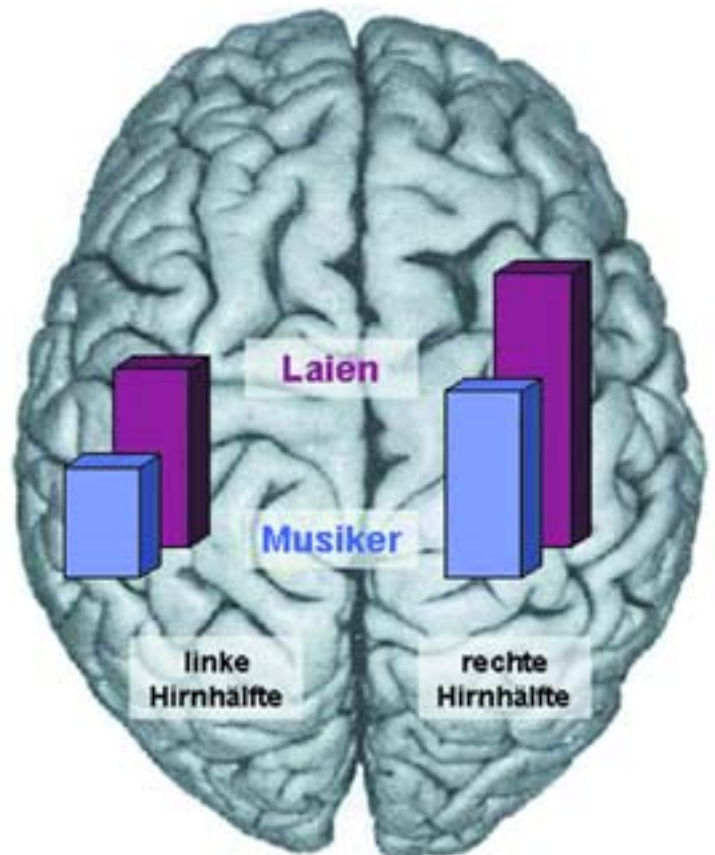
■ **Nachgewiesen: Musik hören und verarbeiten findet auch in der rechten Hirnhälfte statt!**

Mit einer traditionellen wissenschaftlichen Überzeugung konnten die Bielefelder Forscher bereits aufräumen: Bisher war man davon überzeugt, dass musikalische Prozesse, auch bei Musikern, vorwiegend in der linken „sprachdominanten“ Hirnhälfte ablaufen. In einem Experiment mit professionellen Dirigenten sollten sich Versuchspersonen vorstellen, wie sie ein komplexes Musikstück dirigieren. Hierbei konnten die Forscher messen, dass beide Hirnhälften symmetrisch aktiviert werden. Die rechte Hirnhälfte ist also doch und sogar wesentlich beteiligt. Bei einer anderen Untersuchung zeigte sich, dass beim bewussten Hören von Musikstücken (Bach-Fugen) die jeweils rechten Gehirnhälften aktiv werden – nicht nur bei den versierten Musikern, sondern auch bei musikalisch ungeübten „Laien“.

■ **Wie hängen Hirndurchblutung, Anstrengung und Leistung zusammen?**

Bei Studien dieser Art fällt auf, dass es eine systematische Beziehung gibt zwischen dem Schwierigkeitsgrad der psychischen Aktivität und der Beschleunigung der Hirndurchblutung: Je schwieriger die Aufgabe für die Probanden, desto schneller fließt das Blut durch die Hirnarterien. Offen bleibt dabei aber, ob die gesteigerte Durchblutung nur mit der Anstrengung

oder auch mit der Qualität der Aufgabenbewältigung zusammenhängt. Diese Beobachtungen sind der Ausgangspunkt der aktuellen Forschung in der Arbeitsgruppe „Klinische Psychologie – Neuropsychologie“. Neben der Frage, welche Gehirnhälfte bestimmte Funktionen übernimmt, geht die Gruppe der bisher wenig erforschten Frage nach, wie Veränderungen der Hirndurchblutung, kognitive Anstrengung und Leistung miteinander zusammenhängen.

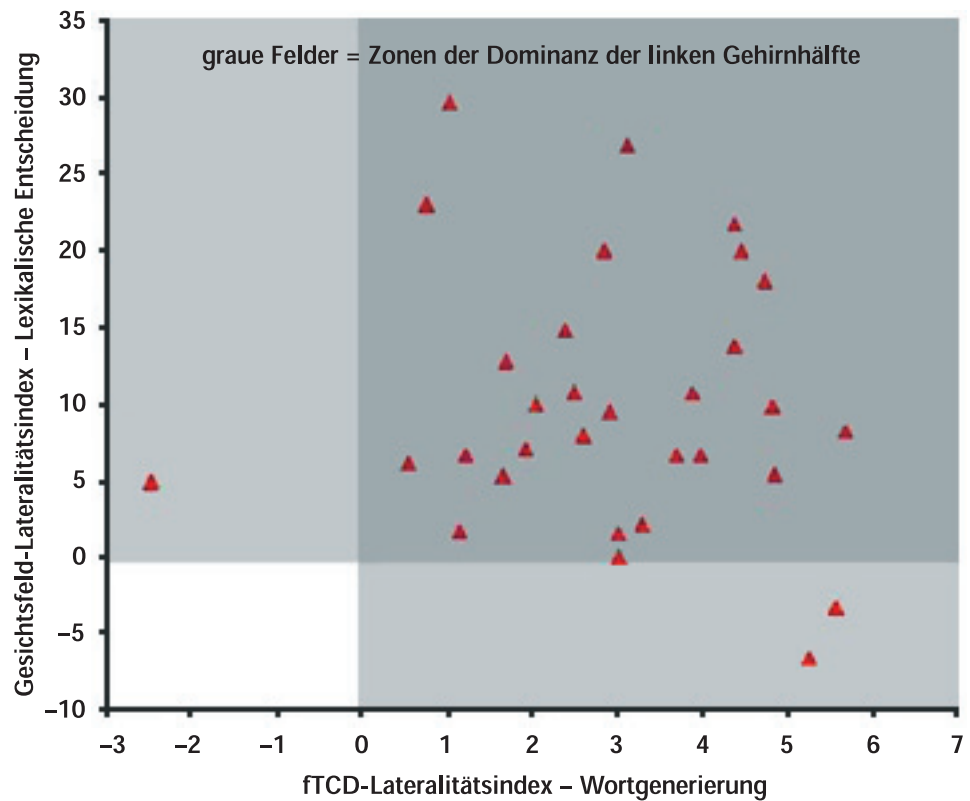


Dominante, stärkere Aktivierung der Durchblutung in der rechten Hirnhälfte bei Musikern und Laien während der Beachtung des musikalischen Themas in Fugen von J.S. Bach

■ **Physiologische und psychologische Zusammenhänge im Experiment**

Mit zwei ganz unterschiedlichen Methoden prüften die Forscher in einer Studie zur Sprachdominanz bei gesunden Personen, wie es um die funktionelle Asymmetrie zwischen den Hirnhälften steht und welche Zusammenhänge es zwischen Anstrengung und Leistung gibt: In einem ersten Test mussten die Probanden möglichst schnell möglichst viele Wörter

Klassifikation der Sprachdominanz mit einem physiologischen (x-Achse) und einem psychologischen, leistungsbasierten Lateralitätsindex (y-Achse). Übereinstimmende Dominanz der linken Hirnhälfte in 90% der untersuchten Rechtshänder (dunkelgrauer Überlappungsbereich)



mit einem bestimmten Anfangsbuchstaben finden. Bei der Lösung dieser Aufgabe wurde die Blutflussbeschleunigung gemessen. Aus den Ergebnissen konnte ein physiologischer Dominanz-Index erstellt werden. In einem zweiten Test wurde die Aufgabe gestellt, möglichst schnell zu entscheiden, ob ein präsentiertes Wort ein echtes oder ein Nonsens-Wort ist. Die jeweiligen Buchstabenreihen wurden den Versuchsteilnehmern entweder in der rechten oder linken Hälfte des Gesichtsfeldes dargeboten. Weil die Sehbahnen im Gehirn einem speziellen Verlauf folgen, gelangt das rechts gezeigte Wort zuerst in die linke und das links gezeigte Wort zuerst in die rechte Hirnhälfte. Aus den Reaktionszeiten oder der Anzahl der richtigen Entscheidungen für das rechte beziehungsweise linke Gesichtsfeld wurde ein psychologischer Dominanz-Index berechnet, also ein Index, der aus einer Leistungsmessung abgeleitet ist. Diese Studie wies nach, dass der quantitative, numerische Zusammenhang zwischen den physiologischen und psychologischen Indices überraschend gering ist. Außerdem zeigte sie, dass die rechte Hirnhälfte während der Wort-Entscheidungsaufgabe viel stärker durchblutet wurde. Grund hierfür könnte sein, dass die Probanden durch die visuelle, schnelle und damit sehr anspruchsvolle Aufgabe eine hohe Aufmerksamkeitsanspannung haben. Um diese Diskrepanz aufzuklären, läuft momentan eine Studie mit modifizierter Versuchsanordnung.

Sie feiern...



*... Geburtstag
oder gar ein
Jubiläum?*

Nutzen Sie diesen schönen Anlass für ein besonderes Geschenk – spenden Sie ein Stück Ihrer „Torte“ für die Förderung der Alzheimer-Forschung und -Aufklärung.

Wie das geht?

Einfach kostenlos anrufen unter:

0800 200 400 1



Alzheimer Forschung Initiative e.V.
Grabenstraße 5 · 40213 Düsseldorf
www.alzheimer-forschung.de

■ Experten-Paradigmen

Um das Problem auf andere Weise anzugehen, untersucht die Arbeitsgruppe die Beziehung zwischen Hirndurchblutung, Anstrengung und Leistung derzeit mit so genannten Experten-Paradigmen. Dabei bearbeiten Personen mit unterschiedlichen fachlichen Kompetenzen verschiedene Aufgaben, für die sie entweder als Experten oder aber als Laien gelten. Durchgeführt werden die Versuche mit Versuchspersonen aus geistes- oder naturwissenschaftlichen Fächern. Die Aufgaben sind entweder stark sprachabhängig oder entstammen dem physikalisch-technischen Bereich. Noch erlauben die Resultate keine eindeutigen Schlussfolgerungen. Sie weisen aber darauf hin, dass es einen Zusammenhang zwischen der Testleistung und dem Ausmaß der Durchblutungsbeschleunigung gibt. Bemerkenswert ist die Beobachtung, dass zwischen richtig und falsch gelösten

Aufgaben kein Unterschied im Anstieg der Durchblutungsgeschwindigkeit besteht; demnach scheint eher das Bemühen um die Aufgabenlösung als der Erfolg das Ausmaß der physiologischen Hirnaktivierung zu bestimmen. Eine Studie mit einer logischen Denkaufgabe, die an Arbeiten von Forschungsgruppen in Graz und in Freiburg im Breisgau anknüpft, soll weiteren Aufschluss bringen.

■ Studie an Patienten mit Schlafstörungen

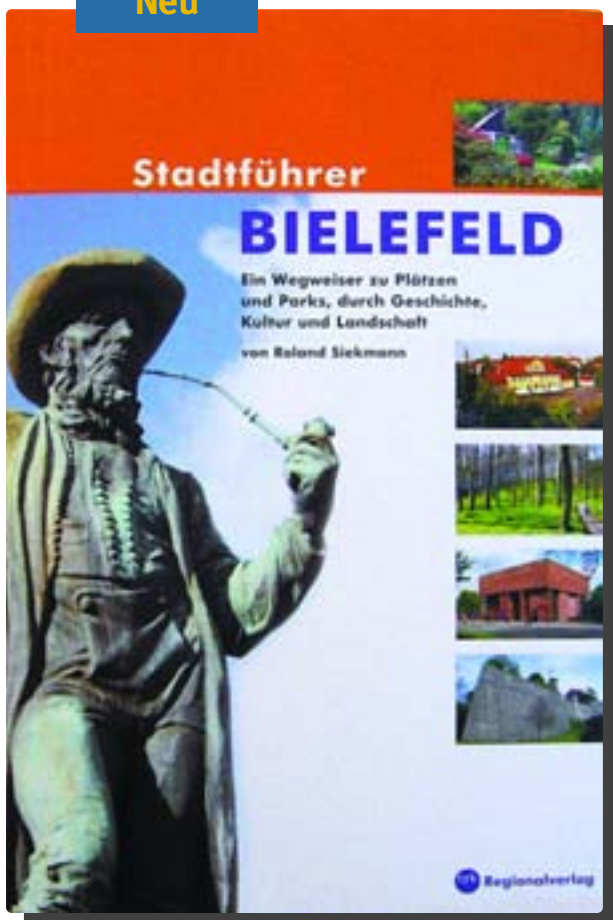
Unter der Annahme, dass eine Verbesserung oder Steigerung der physiologischen Hirnaktivität mit einer Verbesserung der kognitiven Leistungsfähigkeit einhergeht, wurde eine weitere Studie konzipiert, in der Patienten mit Schlafstörungen untersucht werden. Sie leiden unter chronischem nächtlichen Sauerstoffmangel des Gehirns und wurden vor und nach einer Atemmasken-Therapie untersucht. Es wird vermutet, dass die Verbesserung der Sauerstoffversorgung des Gehirns auf mehreren Ebenen wirkt: Einerseits erhöht sie die Reagibilität der Durchblutungsregulation – unter kognitiven Belastungen spricht die Hirndurchblutung schneller und stärker an. Andererseits verbessert sie die kognitive Leistungsfähigkeit. Die Ergebnisse der Datenanalyse werden bald vollständig vorliegen.

■ Praktischer Nutzen für die Diagnostik in der Neuropsychologie

Die durchgeführten Studien haben einen praktischen Nebeneffekt für die neuropsychologische Diagnostik: Aus den hirnphysiologischen Daten der transkraniellen Doppler-Sonographie ergeben sich interessante Informationen: Welche der beiden Hirnhälften ist bei der Bewältigung bestimmter Aufgaben maßgeblich beteiligt, und wie müssen Testverfahren konzipiert werden?

Um vor allem die linke, sprachdominante Hirnhälfte noch genauer bestimmen zu können, machen Mitarbeiter aus der Forschungsgruppe derzeit Tests, in denen dieselben Personen sowohl über die funktionelle TCD als auch über das aufwendigere Verfahren der fMRT untersucht werden. Aufgabe für die Probanden bei dieser Studie ist es, Reime zu bilden. Rasch müssen möglichst viele Wörter erdacht werden, die sich auf ein vorgegebenes Pseudowort reimen (z. B. Oite: Leute, Bräute, ...). Die Arbeitsgruppe wird dabei von der „Gemeinschaftspraxis für Radiologie und Nuklearmedizin Bielefeld-Zentrum“ (Geschäftsführer Dr. H. Krüger) in dankenswerter Weise unterstützt.

Neu



Roland Siekmann · **Stadtführer Bielefeld**
Ein Wegweiser zu Plätzen und Parks, durch Geschichte,
Kultur und Landschaft · 136 S. · Paperback · 140 Fotos
ausklappbare Karten · Regionalverlag Thomas P. Kiper
ISBN 3-936359-09-1 · **9,90 Euro**



Wolfgang Hartje (3. v. r.) war nach dem Studium der Psychologie zunächst als Klinischer Psychologe an der Neurologischen Klinik der RWTH Aachen tätig, ab 1981 mit einer Professur für das Lehr- und Forschungsgebiet Neuropsychologie. Seit 1992 ist er Professor für Klinische Neuropsychologie an der Fakultät für Psychologie und Sportwissenschaft der Universität Bielefeld. Seine Forschungsgebiete sind die Entwicklung und Validierung diagnostischer Methoden und die Untersuchung der Hemisphärendominanz für kognitive Prozesse.

Michael Bulla-Hellwig (2. v. r.) studierte, promovierte und habilitierte sich in Bielefeld. Zwischen 2000 und 2003 war er Lehrstuhlvertreter für Klinische Psychologie/Pathopsychologie an der Fakultät für Psychologie und Sportwissenschaft der Universität Bielefeld. Seine Forschungsschwerpunkte waren zunächst inter- und intra-individuelle Unterschiede der Hemisphärenspezialisierung und neuropsychologische Diagnostik. Aktuell erforscht er Risiko- und Schutzfaktoren bei der Krankheitsverarbeitung von neuropsychologischen Patienten und deren Angehörigen.

Diplom-Psychologe Sören Krach (2. v. l.) promovierte seit 2004 mit einem Graduiertenstipendium der Universität Bielefeld. Seine Forschungsgebiete sind die Untersuchung der Hemisphärendominanz für sprachliche und aufmerksamkeitsbedingte Prozesse mit verschiedenen bildgebenden Verfahren.

Diplom-Psychologin Anke Menzel-Begemann (3. v. l.) ist seit 2002 wissenschaftliche Mitarbeiterin. Sie ist außerdem als klinische Psychologin in der Neurologischen Rehabilitationsklinik Johanniter Ordenshäuser Bad Oeynhausen tätig. Ihr Promotionsvorhaben betrifft die Entwicklung von Testverfahren zur Diagnose exekutiver Störungen bei Hirngeschädigten.

Diplom-Psychologin Cornelia Macek (links) ist seit 2002 wissenschaftliche Mitarbeiterin und schließt gerade ihr Promotionsverfahren ab. In ihrer Dissertation untersuchte sie Veränderungen der Regulation der Hirndurchblutung unter physiologischen und pathologischen Bedingungen bei kognitiven Aufgaben, darunter einem neu entwickelten Arbeitsgedächtnistest.

Wolfgang Skreczek (rechts) ist psychologisch-technischer Assistent und mit der Programmierung von Experimenten und der statistischen Datenanalyse der Forschungsarbeiten betraut.

Forschungspreise an Wissenschaftler der Universität Bielefeld im Jahr 2004/05

■ Gustav-Hertz-Preis 2005 der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

Dr. Markus Drescher
(Fakultät für Physik, jetzt Universität Hamburg)

■ Ludwig Preller-Preis für Sozialpolitik

Prof. Dr. Franz-Xaver Kaufmann
(Fakultät für Soziologie)

■ Laird S. Cermak Award der International Neuropsychological Society

Prof. Dr. Hans J. Markowitsch (Fakultät für
Psychologie und Sportwissenschaft/Psychologie)

■ Early Career Development Award der Internationalen Gesellschaft für Differentielle Psychologie

Dr. Frank-M. Spinath (Fakultät für Psychologie und
Sportwissenschaft/Psychologie, jetzt Universität des
Saarlandes)

■ Carl Diem-Plakette des Deutschen Sportbundes

Dr. Oliver Höner (Fakultät für Psychologie und
Sportwissenschaft/Sportwissenschaft, jetzt
Universität Mainz)

■ Habilitationspreis der Westfälisch-Lippischen Universitätsgesellschaft

Privatdozent Dr. Mischa Meier (Fakultät für
Geschichtswissenschaft, Philosophie und Theologie)

■ Dissertationspreis der Westfälisch-Lippischen Universitätsgesellschaft

Dr. Armen Avanesian (Fakultät für Linguistik und
Literaturwissenschaft/Literaturwissenschaft)

Dr. Christel Brüggengbrock (Fakultät für
Geschichtswissenschaft, Philosophie und
Theologie/Geschichtswissenschaft)

Dr. Micha Jost (Fakultät für Chemie)

Dr. Oliver Höner (Fakultät für Psychologie und
Sportwissenschaft/Sportwissenschaft)

Dr. Brigitte Kottmann (Fakultät für Pädagogik)

Dr. Olaf Krüger (Technische Fakultät)

Dr. Oleksandr V. Kutovij (Fakultät für Mathematik)

Dr. Ulrich Meier (Fakultät für Psychologie und
Sportwissenschaft/Psychologie)

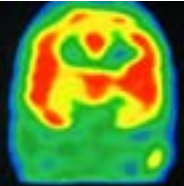
Dr. Heike Rohmann (Fakultät für Linguistik und
Literaturwissenschaft/Linguistik)

Dr. Cécile Rol (Fakultät für Soziologie)

Dr. Philipp Terhechte (Fakultät für
Rechtswissenschaft)

Dr. Klaus Wingenfeld (Fakultät für
Gesundheitswissenschaften)

Dr. Felix Zantow (Fakultät für Physik)



Gehirn, Gedächtnis und Bewusstsein

Die neurale Basis von Gedächtnis und Gedächtnisstörungen

Hans J. Markowitsch

Fakultät für Psychologie und Sportwissenschaft

Wie hängen Gedächtnis, Gehirn und Bewusstsein zusammen, und was sind Grundlagen und Mechanismen, auf Grund derer wir uns Fakten merken oder Erlebnisse erinnern? Was sind unsere Motive für Handlungen, wie kommen Bewertungen der Umwelt und unseres Innenlebens zustande? Dies sind Fragen, die von der kognitiven Neurowissenschaft thematisiert werden. Um sie einer Lösung oder Beantwortung zuzuführen, ist es notwendig, Bedingungen zu kennen und abzugrenzen, die unterschiedliche Ausformungen ermöglichen oder nach sich ziehen.

Gedächtnis, Gehirn und Bewusstsein existieren in unterschiedlichen Manifestationen – sie variieren einmal zwischen Individuen und zum anderen innerhalb eines Individuums. Manche Menschen haben ein gutes Zahlengedächtnis, andere ein gutes Namensgedächtnis. Das Gehirn kann auf dem Höhepunkt seiner Kapazität sein, kann aber auf Grund von Krankheit oder Alter auch Minderleistungen erbringen, und auch unser Bewusstsein kann hellwach und gespannt aufmerksam oder dösig und somnolent sein. Wir können uns einer Handlung bewusst sein oder sie automatisch ausführen, und wir können Personen reizend oder Szenen abstoßend finden. Im Folgenden geht es darum, wie die Hirnforschung diese Sujets untersucht und zu welchen Ergebnissen und Schlussfolgerungen sie dabei gelangt.

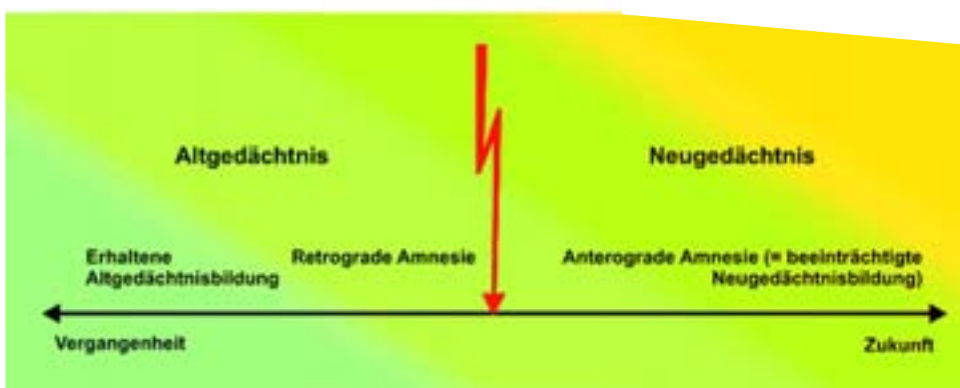


Abb. 1: Der Januskopf des Gedächtnisses – Altgedächtnis und Neugeächtnis, gesehen vom Zeitpunkt eines distinkten Ereignisses (Blitzsymbol für Hirnschädigung oder psychisches Trauma).

■ Gedächtnis und Gedächtnisstörungen

Wie meist im Leben hängen Vorgänge zusammen und führt folglich eine reduktionistisch-isolierte Sichtweise möglicherweise nicht nur zu Informationsverlusten, sondern auch zu Fehleinschätzungen. Die moderne

Gedächtnisforschung trägt dem Rechnung, indem sie zum einen Gedächtnis nicht isoliert betrachtet, sondern eingebettet in andere Hirnfunktionen (Aufmerksamkeit, Intelligenz, Befindlichkeit etc.)

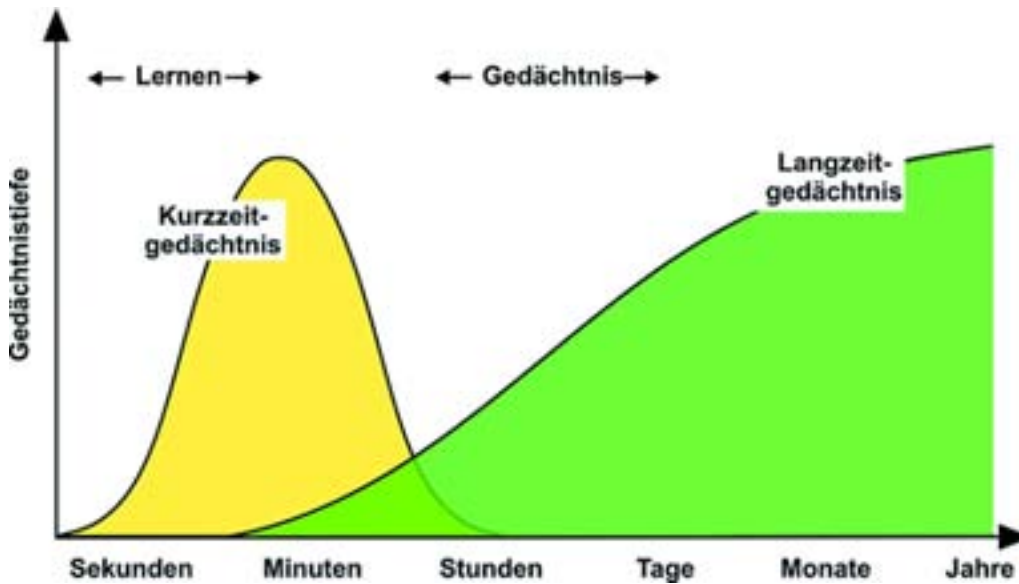


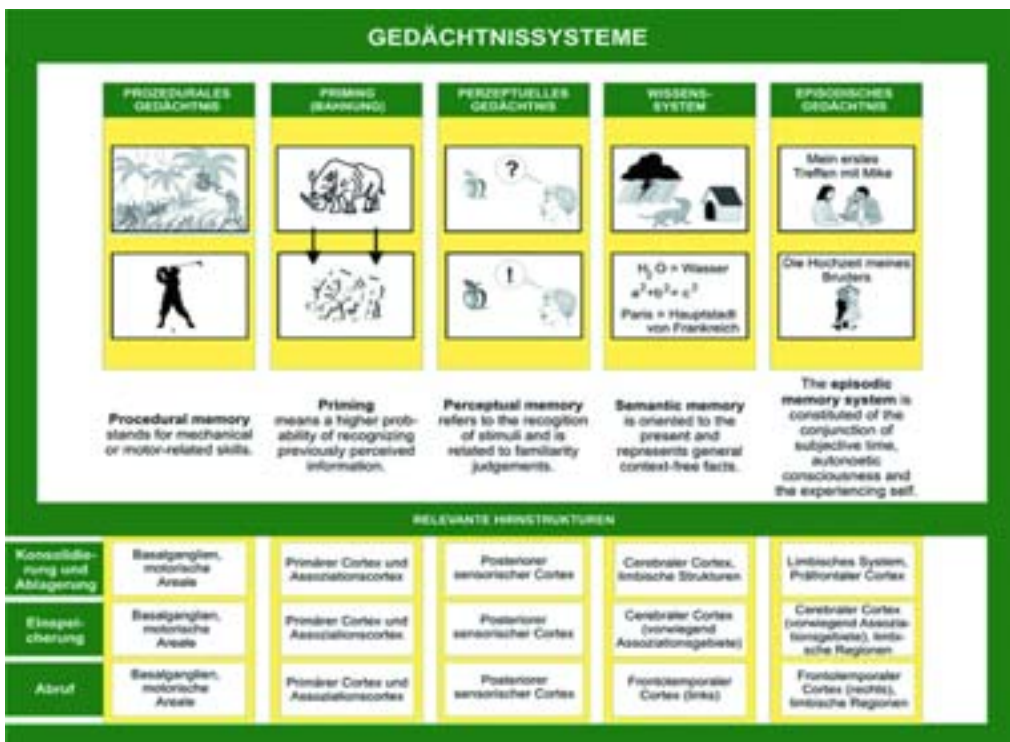
Abb. 2: Die zeitliche Verteilung kurzzeitig und langfristig gespeicherter Information.

sieht, und zum anderen nicht ein uniformes Gedächtnis annimmt, sondern eine Reihe unterschiedlicher, aber klar abgrenzbarer Gedächtnissysteme. Wir sprechen von Erinnerung an Abgespeichertes (Altgedächtnis) und Merken von Neuem (Neugedächtnis) (Abb. 1) und unterteilen in ein Kurzzeit- (Abb. 2) und in eine Reihe inhaltlich differenzierbarer Langzeitgedächtnissysteme (Abb. 3). Alle diese Gedächtnissysteme haben eine distinkte neurale

Repräsentation (sie sind also im Gehirn recht genau lokalisierbar – Abb. 4), wobei die Hirnforschung heutzutage von einer Mischung zwischen modularer und holistischer Arbeitsweise des Nervensystems ausgeht.

Zwei zentrale methodische Zugänge bestimmen die Suche nach Orts-Funktions-Zusammenhängen: das Studium hirngeschädigter oder in ihrem Verhalten normabweichender Individuen (neurologischer

Abb. 3: Die inhaltlich differenzierten fünf Langzeitgedächtnissysteme. Das prozedurale Gedächtnis bezieht sich meist auf motorische Fertigkeiten (z. B. Auto fahren, kraulen, Klavier spielen), die automatisch und damit unbewusst abgerufen werden. Priming („Prägung“, „Bahnung“) repräsentiert eine höhere Wiedererkennungswahrscheinlichkeit für Reize, die man zuvor in gleicher oder ähnlicher Form unbewusst wahrgenommen hatte (z. B. eine Melodie, die einem beim „Wiederhören“ bekannt vorkommt).



Das perzeptuelle Gedächtnis bezieht sich auf Bekanntheit/Familiarität – ein Objekt auf präsemantischer Ebene eindeutig identifizieren oder zuordnen zu können. Das Wissenssystem umfasst unser allgemeines Faktenwissen, und das episodische Gedächtnis steht für die Schnittmenge von subjektiver Zeit, autoethnographischem Bewusstsein und dem sich erfahrenden Selbst. Es erlaubt Zeitreisen in Vergangenheit und Zukunft, reflektiert auf die eigene Person und ist in der Regel autobiographisch und emotional besetzt. Die Gedächtnissysteme entwickelten sich ontogenetisch in der Reihenfolge von prozedural nach episodisch und sind auch in ihrer Komplexität und anatomischen Vernetztheit in dieser Reihenfolge ansteigend zu sehen. (Nach Markowitsch, *Neurolmage*, 20, S132–S138, 2003.)

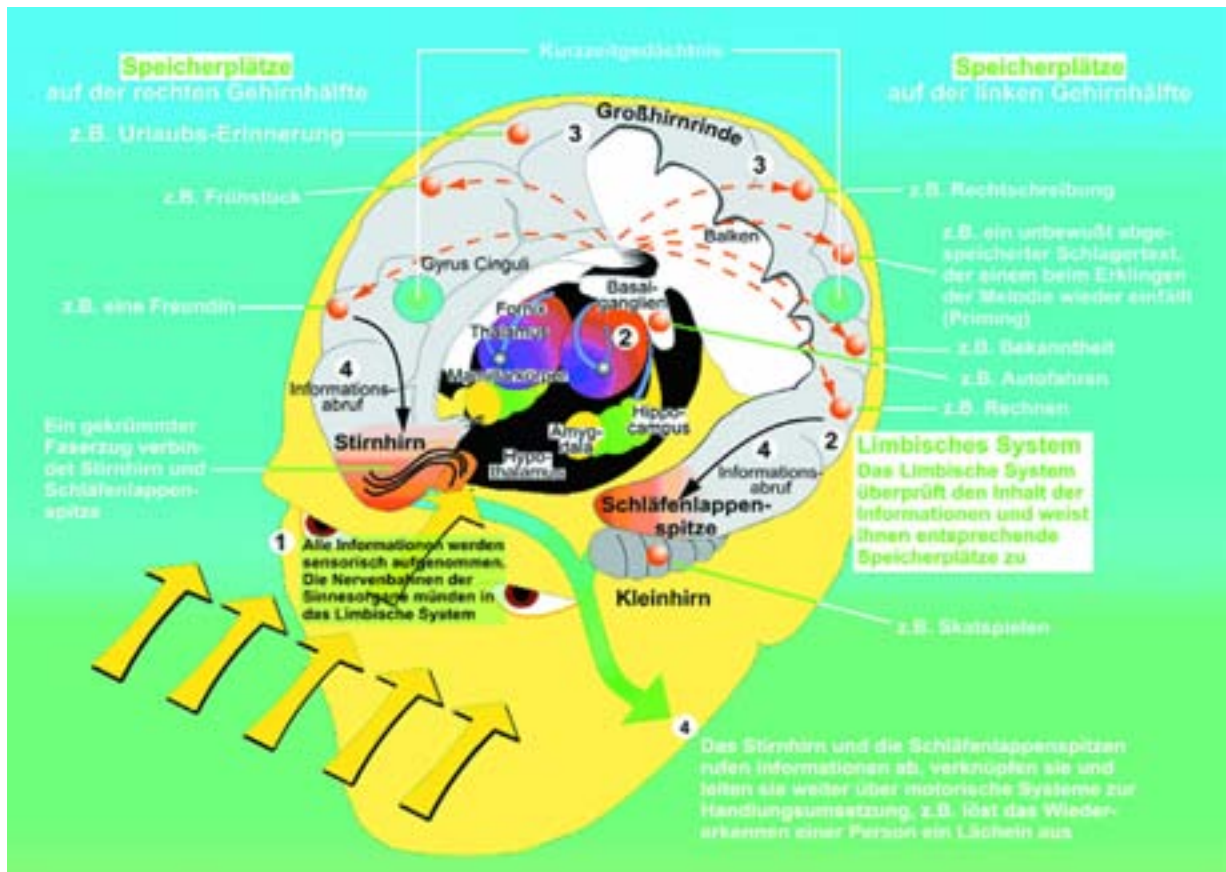


Abb. 4: Schematische Gesamtvorstellung zur Informationsverarbeitung im menschlichen Gehirn von der Informationsaufnahme bis zum Informationsabruf.

und psychiatrischer Patienten) und Untersuchungen unter Zuhilfenahme funktionell bildgebender Methoden an „Normalprobanden“, also Nichthirngeschädigten. Über Ausfälle lässt sich zeigen, welche Hirnstruktur essentiell (wenngleich in der Regel nicht allein zuständig) für ein Verhalten ist, und durch Anwendung von funktionell bildgebenden (radiologischen) Techniken, die den Hirnstoffwechsel (Blutfluss, Glukoseverbrauch) und damit auch die Nervenzellaktivität sichtbar machen (funktionelle Kernspintomographie [fMRT], Positronenemissionstomographie [PET]), lässt sich belegen, welche Strukturen auf unterschiedlichen Hirnebenen konzentriert zusammenwirken.

Wenn beide Zugänge zu konvergenten Resultaten führen, kann man sich recht sicher sein, die Repräsentanz einer Funktion auf Hirnebene aufgeklärt zu haben und damit auch deren individuelle Einbettung in Netze von Emotion, Kognition, Wahrnehmung oder Befindlichkeit. Dies gelang in Bielefeld z.B. für den Abruf autobiographischer (= episodischer) Lebenserinnerungen: Sind Patienten im Bereich der vorderen rechten Hirnrinde geschädigt (vgl. Abb. 4), haben sie keinen Zugang mehr zu ihrem früheren Leben. Sie wissen nicht mehr, wer ein Familienmitglied ist, was sie in ihrer Kindheit und Jugend erlebt haben und wie sie sich in bestimmten sozialen

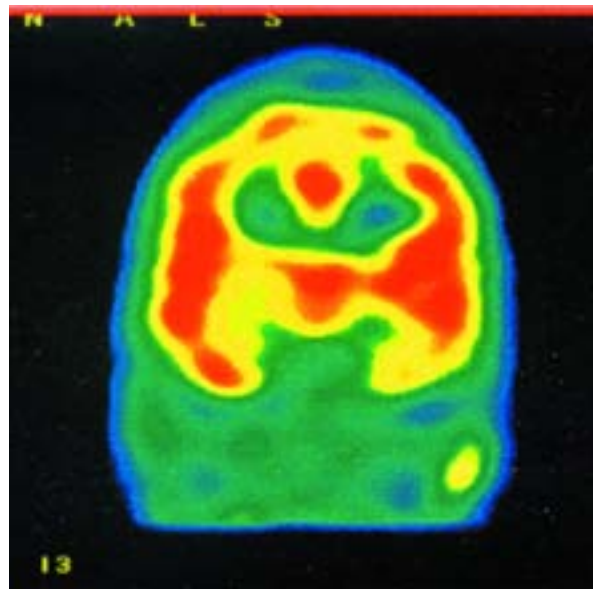
Situationen verhalten haben. Umgekehrt, wenn Studenten nach ihren bedeutendsten Lebenserinnerungen befragt und sie im Tomographen mit diesen konfrontiert wurden, zeigten sich Aktivierungen genau der Hirnrindenanteile, die bei den Patienten zerstört waren. Diese Untersuchungen erbrachten gleichzeitig Beweise dafür, dass nur die das Selbst betreffenden autobiographischen Erinnerungen nicht mehr verfügbar („blockiert“) waren, das allgemeine Weltwissen jedoch weiterhin präsent war, d.h., die Patienten benahmen sich nach außen hin normal und konnten nicht nur weiterhin lesen, schreiben und rechnen, sondern wussten auch, wer z.B. Bundeskanzler ist. Das war auch ein weiterer Beleg für die Eigenständigkeit der in Abbildung 3 beschriebenen Gedächtnissysteme.

■ Gedächtnis und Emotion

Patienten mit anderen Hirnschäden haben dagegen Schwierigkeiten, die Bedeutung neuer Informationen zu erfassen. Für diese Fähigkeit ist ein kleiner Bereich im vorderen Schläfenlappen zentral, der Mandelkern (Amygdala). Da dieser in der Regel nie selektiv in der linken und rechten Hirnhälfte gleichzeitig geschädigt ist, ist seine Funktion anhand von Patientendaten kaum beschreibbar. Hier kam dem Verfasser und



Abb. 5: Computertomographische (links) und funktionell bildgebende Darstellung (rechts) der fehlenden Stoffwechselverarbeitung in den Mandelkernen eines Patienten



mit Urbach-Wiethe-Krankheit, der deswegen Probleme bei der Integration emotionaler und kognitiver Informationen hatte. (Nach Siebert et al., Brain, 126, 2627–2637, 2003.)

seinen Mitarbeitern die Natur entgegen. Sie fanden – insbesondere in Südafrika – Patienten, die auf Grund einer genetisch bedingten Krankheit, der sog. Urbach-Wiethe Krankheit, eine selektive Schädigung beider Mandelkerne aufwiesen (Abb. 5) und die auf Grund dieses Hirnschadens Probleme hatten, wichtige von unwichtiger Information zu unterscheiden und Emotionen bei anderen Menschen zu interpretieren. Somit zeigen diese Patienten, dass das Gedächtnis nicht isoliert, sondern beispielsweise hinsichtlich seiner emotionalen Wichtigkeit für das Individuum erfasst und bewertet werden muss.

Die Amygdala wird aktiviert, wenn Personen sich an ihre emotionalen Erlebnisse erinnern. In Bielefeld konnte dies in einer Studie mit Studierenden gezeigt werden, die – ähnlich wie in dem oben geschilderten Experiment – gebeten wurden, ihre bedeutenden

Lebenserinnerungen zu schildern. Außerdem sollten sie aber auch ähnlich klingende, aber erfundene „Erinnerungen“ schildern, die plausibel und auch emotional besetzt klangen, aber rein fiktiver Natur waren. Untersucht man den Hirnstoffwechsel, während sich die Probanden entweder die fiktiven oder an die tatsächlich erlebten Erinnerungen vergegenwärtigen sollen, so zeigt sich auf die tatsächlich erlebten eine rechtshirnige Aktivierung der Amygdala (und der umliegenden vorderen, seitlichen Hirnrindenregion), auf die fiktiven aber lediglich eine Aktivierung im hinteren, inneren Bereich der Hirnrinde, in der sog. Präcuneusregion (Abb. 6). Diese Region wird immer dann aktiviert, wenn man sich etwas bildhaft vorstellen (imaginieren) soll – was ja tatsächlich notwendig ist, wenn man sich eine Lügengeschichte vergegenwärtigen muss.

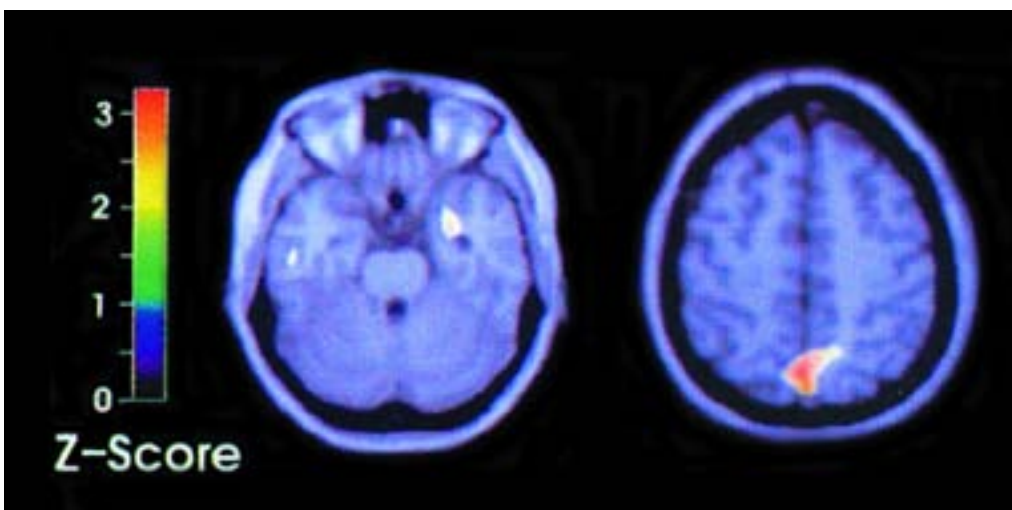


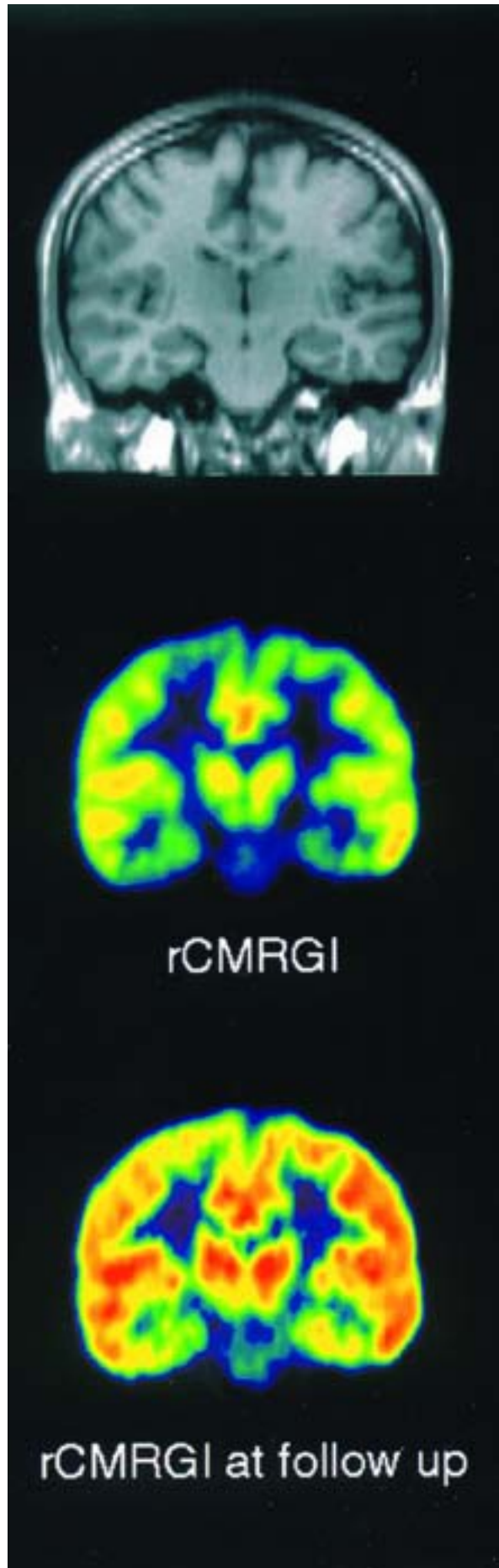
Abb. 6: Vergleich der Aktivierungen auf tatsächlich erlebte Erinnerungen (Horizontalschnitt links durch ein menschliches Gehirn, die Aktivierung der rechten Amygdala zeigend) und auf fiktive Erinnerungen (Horizontalschnitt rechts, die Aktivierung in der Präcuneusregion, die für bildhaftes Vorstellen wichtig ist, zeigend). (Nach Markowitsch et al., Behavioural Neurology, 12, 181–190, 2000.)

Mit diesem Resultat kommen wir zum Übergang zwischen Neurologie und Psychiatrie, der auch – in Form des sog. False Memory Syndroms – in der Psychologie zunehmend Beachtung findet. Unter False Memory Syndrom versteht man die Überzeugung, sich an vermeintlich Geschehenes so zu erinnern, als habe man dieses wirklich erlebt. Auch das fälschliche Wiedererkennen von Reizen oder Situationen gehört zu diesem Syndrom. In Bielefeld wurde dazu Probanden ein Film gezeigt und ihnen später Standbilder präsentiert, die entweder tatsächlich im Film vorkamen oder die in ähnlicher Form oder aber gar nicht vorkamen. Je nachdem, wie plausibel die in den Standbildern gezeigte Szene war, wurde diese fälschlich als tatsächlich gesehen identifiziert. Insgesamt kam es auf diese Weise zu mehr als 40 % falscher Identifikationen, eine Zahl, die unwahrscheinlich hoch klingt, die aber zeigt, dass wir unseren Erinnerungen weit weniger trauen können, als wir dies gemeinhin tun. Unser Gedächtnis ist eben doch weit entfernt von der Festplatte eines Computers. Es ist dynamisch, zustandsabhängig und damit fehlerhaft und subjektiv.

■ Umweltinduzierte Gedächtnisstörungen

Die Beschäftigung mit neurologischen Patienten führte aber fast zwangsläufig auch zu einer Ausweitung auf die Untersuchung psychiatrischer Patienten. Wenn etwa jemand mit nachgewiesenem Hirnschaden die gleichen Symptome aufweist wie jemand, der – nach allen Regeln ärztlicher Kunst untersucht – keine Hirnschädigung im Sinne eines Gewebsschadens hat, so muss man versuchen, diese Diskrepanz zu (er-)klären. Wir fanden Patienten, die sich ohne offensichtliche Hirnschädigung genauso wenig an ihr bisheriges Leben erinnerten, wie andere, denen nach einem Reitunfall oder nach einer

Abb. 7: Drei Querschnitte durch das Gehirn eines Patienten. Oben ist sein Gehirn mittels statischer Kernspintomographie gezeigt – man erkennt ein unauffälliges, offensichtlich nicht gewebsgeschädigtes Gehirn. In der Mitte ist ein mit funktioneller Bildgebung (PET) gewonnener Hirnschnitt zu sehen, der eine globale Stoffwechsellinderung und zusätzlich eine noch massivere im Bereich der für Gedächtnis und Emotionen wichtigen mittleren Schläfenlappen- und Zwischenhirnanteile zeigt. Im unteren PET-Bild ist dagegen bei dem gleichen Patienten ein normaler Hirnstoffwechsel zu sehen. Während des reduzierten Hirnstoffwechsels (Mitte) war der Patient (autobiographisch) amnestisch, nach Rückkehr in den Normalbereich nach einem Jahr (unten) war auch seine Erinnerung wieder zurückgekehrt. (Nach Markowitsch et al., Neuropsychiatry, Neuropsychology, and Behavioral Neurology, 13, 60–66, 2000.)



Baseball-Schlägerei große Teile ihrer rechten vorderen Hirnhälfte fehlten. Wir haben eine Reihe derartiger Patienten untersuchen können und herausgefunden, dass sie in der Regel schwere psychische Stress- und Traumaerlebnisse hatten, die meist schon in Kindheit oder Jugend begannen, sich dann aber aus aktuellem Anlass manifestierten. Auch für diese Patienten zeigt sich eine auf die Biographie eingegrenzte Gedächtnisstörung mit der Möglichkeit des Neuerwerbs von Information (auf eher neutraler Basis). Wir nehmen an, dass die durchgemachten Stresssituationen zu einer kaskadenartigen Ausschüttung von Stresshormonen auf Hirnebene führten, die den normalen Informationsfluss für emotional besetzte (und damit autobiographische) Episoden blockierte – die

Gedächtnis betreffende Anteile zusammenführen sollen, der Mandelkern und der Hippocampus, die meisten Rezeptoren für Stresshormone enthalten und somit stressbedingt den normalen Informationsfluss unterbinden. Wie Abbildung 7 deutlich macht, lässt sich dies mittels funktioneller Bildgebung nachweisen: Wir hatten einen Patienten, der nach einem psychischen Schockzustand seine Erinnerung teilweise verloren hatte und diese auch über Monate nicht zurückgewann. Erst durch intensive, medikamentenunterstützte Psychotherapie kam er nach circa einem Jahr wieder an seine Erinnerungen. Während der Amnesiedauer war sein Hirnstoffwechsel reduziert, nach Wiederkehr seines Gedächtnisses lag auch sein Hirnstoffwechsel wieder im Normalbereich.

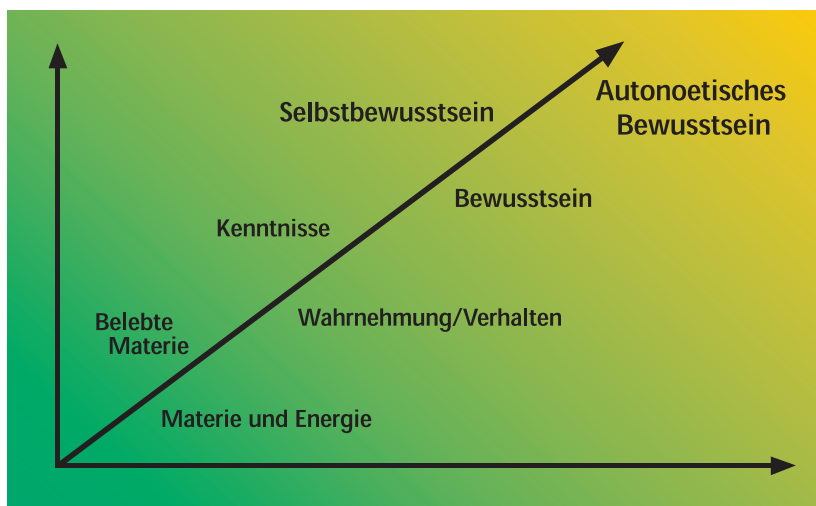


Abb. 8. Kontinuum von Bewusstseinsformen (Nach Markowitsch, *Anästhesiologie & Intensivmedizin*, 39, 627–633, 1998.)

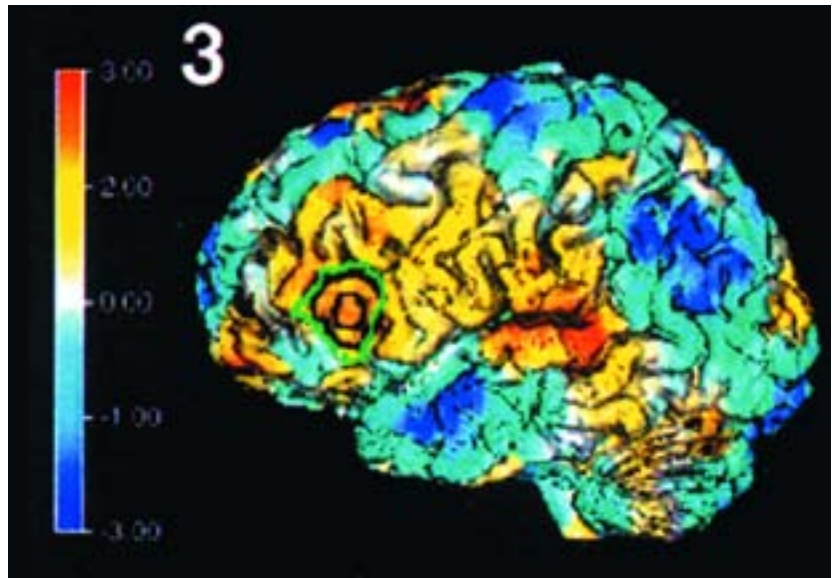
Patienten weisen ein „mnestisches Blockadesyndrom“ auf. Dies kann allein durch das Wissen über die Abrufprobleme sich perpetuierend reaktivieren und führt so zu jahrelang bestehenden, die eigene Biographie umfassenden Amnesien.

Interessanterweise zeigen derartige Patienten, analog zu den somatisch Hirngeschädigten, in den mit funktioneller Bildgebung erhaltenen Ergebnissen Ausfälle in ähnlichen Hirnregionen oder sogar noch extensiver eine globale Verminderung ihres Hirnstoffwechsels und damit auch – wie wir meinen – nur noch unzureichend Möglichkeiten, emotionale und kognitive Informationsanteile synchron zusammenzuführen. Es kommt zu dem, was die Psychiater „dissoziative Störung“ nennen: entweder sind nur noch die schrecklichen Panik machenden emotionalen Anteile abrufbar oder nur noch die nichtssagend neutralen Anteile. Dies wiederum liegt daran, dass genau die Hirnregionen, die emotionale und das

■ Gedächtnis, Bewusstsein und „freier Wille“

Unsere Forschungen werfen aber auch Fragen auf, die die Gesellschaft betreffen: Sind Menschen ohne bewusste Erinnerung anders zu behandeln als andere Menschen, sind sie in ihrer Persönlichkeit verändert (z. B. Menschen in Alzheimerkrankheit, die mit ihrem Spiegelbild diskutieren), und handeln Menschen immer, manchmal oder nie frei, wenn sie ihre Handlungen etwa rational begründen oder sich von Emotionen leiten lassen? Ist der „freie Wille“ eine Illusion oder muss man ihn nur entsprechend definieren, um ihn für sich reklamieren zu können? Kann man mit gleicher Wahrscheinlichkeit auch alternativ handeln? Haben dann aber nur hirngesunde Individuen einen freien Willen, hirngeschädigte wie der Vater, der nach Entstehen eines Tumors in seinem Stirnhirn pädophil wird, nicht? Ändern aber nicht alle Einflüsse, die auf uns einwirken, unser

Abb. 9: Beeinflussung der Hirnaktivität und damit der Möglichkeit, neue Information zu erwerben, durch von außen induzierte transkraniale Magnetstimulation (Nach Thiel et al., *NeuroImage* 25, 815–823, 2005).



Verhalten? Der Hirnforscher Wolf Singer schrieb von der Analogie zu „mikrochirurgischen Eingriffen“ in das sich entwickelnde Gehirn, wenn wir kleinen Kindern etwas beibringen. Und wie sieht die andere Seite aus – gibt es die „Verbrecherpersönlichkeit“ und ist sie umweltbedingt? Gibt es ein Kontinuum von Bewusstsein – beim komatösen Patienten ein gegen Null gehendes, beim gesunden, ausgeschlafenen, aufmerksamen und stressunbelasteten Erwachsenen ein hochgradiges (Abb. 8)? Wie steht es mit freiem Denken und Entscheiden, wenn man zum Beispiel durch Magnetstimulation in seiner Handlungsfreiheit beeinflusst wird, wie wir dies in einem Experiment mit normalen Erwachsenen taten, die etwas neu erlernen sollten (Abb. 9)?

Hirnforschung löst Fragen, die das Individuum betreffen, wirft aber auch Fragen auf, die die Gesellschaft angehen. Dies macht ein Arbeiten auf diesem Gebiet nicht nur spannend, sondern erfüllt möglicherweise auch soziale Funktionen.

Ich danke Frau Eva Böcker für die Anfertigung von Zeichnungen. Die geschilderten Forschungen wurden teilweise in Zusammenarbeit mit dem Kölner Max-Planck-Institut für neurologische Forschung, dem Forschungszentrum Jülich, den Kliniken Gilead und Mara in Bethel und dem Kulturwissenschaftlichen Institut NRW in Essen durchgeführt. Weitere Ausführungen zu den angeschnittenen Themen finden sich in dem Buch von Hans J. Markowitsch „Dem Gedächtnis auf der Spur“ (2. Aufl.). Wissenschaftliche Buchgesellschaft und Primus-Verlag, Darmstadt, 2005, und in dem Artikel von Hans J. Markowitsch „Warum wir keinen freien Willen haben“ in der *Psychologischen Rundschau*, Bd. 55, S. 163–168, 2004.



Hans Joachim Markowitsch studierte Psychologie und Biologie an der Universität Konstanz, hatte Professuren für Biopsychologie und Physiologische Psychologie an den Universitäten Konstanz und Bochum inne und erhielt Rufe auf Professuren für Psychologie und Neurowissenschaften an australische und kanadische Universitäten. Seit 1991 ist er Professor für Physiologische Psychologie an der Universität Bielefeld. Er kooperiert mit Wissenschaftlern an in- und ausländischen Universitäten und Max-Planck-Instituten. Seine Forschungsgebiete sind Gedächtnis und Gedächtnisstörungen, sowie Wechselwirkungen zwischen Gedächtnis, Emotion und Bewusstsein. Er ist Autor oder Herausgeber von mehr als einem Dutzend Büchern und mehr als 400 Buch- und Zeitschriftenartikeln.



Anna, Anmut, Anker: Die Struktur der Wörter im Gehirn

Horst H. Müller

Fakultät für Linguistik und Literaturwissenschaft

Wie kommt es im menschlichen Gehirn zur Sprachfähigkeit? Welche Teilprozesse lassen sich feststellen? Wie ist die enorme Geschwindigkeit der Sprachverarbeitung zu erklären? Ergebnisse der experimentellen Neurolinguistik haben während der letzten Jahre einige Antworten auf solche Fragen erbringen können. Beispielsweise zur Binnenstruktur des Lexikons und der kortikalen Repräsentation der Wörter (also ihres „Sitzes“ in der Hirnrinde, dem Kortex). Betrachtet man die Ergebnisse der Hirnforschung, so scheint die seit der Antike belegte Einteilung der Wörter in Wortarten (z. B. Verben, Nomen, Eigennamen) durchaus über eine in der Hirnfunktion verankerte „kognitive Realität“ zu verfügen. Hinsichtlich der Binnenstruktur der Wortarten – für die Verben beispielsweise die weitere Unterteilung in Handlungsverben, Zustandsverben usw. – ergeben sich nach neurolinguistischen Befunden jedoch Veränderungen. Auch der in wenigen Zehntelsekunden ablaufende Verstehensprozess von konkreten und abstrakten Nomen sowie von Eigennamen ist nun etwas besser bekannt.

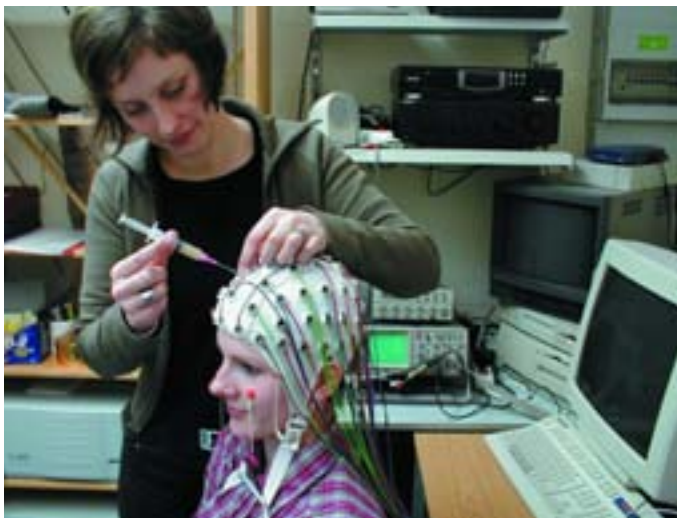


Abbildung 1: Das EEG-Labor der Arbeitsgruppe Experimentelle Neurolinguistik: Vorbereitung der Versuchsperson für ein EEG-Experiment. Die EEG-Elektroden werden positioniert und mit einem leitenden Gel gefüllt, um so den Kontakt zur Hautoberfläche des Kopfes zu gewährleisten. Nach der anschließenden Überprüfung und Angleichung der Hautwiderstandswerte findet das eigentliche Experiment in einer abgeschirmten Versuchskammer statt (s. Abbildung 2).

■ Was ist experimentelle Neurolinguistik?

Bei der experimentellen Neurolinguistik handelt es sich um ein fächerübergreifendes Forschungsgebiet aus Teilen der Linguistik, Sprachphilosophie, Neurobiologie, Neuropsychologie und Neuroinformatik. Einzelne Prozesse der Sprachverarbeitung werden hier mit elektrophysiologischen bzw. bildgebenden Verfahren der Neurowissenschaft untersucht, um die

zugrunde liegenden hirnhysiologischen Prozesse zu analysieren. Zum Einsatz kommen Techniken aus der so genannten „Cognitive Neuroscience“: Beispielsweise werden bei der Elektroenzephalographie (EEG) Elektroden auf die Kopfhaut aufgesetzt, um die elektrische Aktivität der darunter liegenden Neuronen abzuleiten (siehe Abbildungen 1 und 2). Bei der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) wird der Kopf der Versuchsperson in einem künst-

Abbildung 2: Während des Experimentes zur Sprachverarbeitung sitzt die Versuchsperson in einer schallreduzierten und elektrisch abgeschirmten Versuchskammer (links). Dort hört die untersuchte Person einige Hundert Sätze oder Wörter, unterbrochen von kurzen Ruhepausen. Während der Wahrnehmung im Gehirn der Versuchsperson ablaufende Sprachverarbeitungsprozesse können anhand der nachfolgenden Analyse des EEG-Signals erfasst werden. Die Durchführung eines solchen Experimentes ist in etwa drei Stunden erledigt. Die vorherige Planung, die Bereitstellung der Stimuli sowie vor allem die nachfolgende Analyse der erhobenen Daten beanspruchen mehrmonatige Bearbeitungszeiten.



lichen Magnetfeld untersucht, um anhand des Sauerstoffverbrauchs der Nervenzellen auf die Hirnaktivität während der Sprachverarbeitung zu schließen (siehe Abbildung 3).

Mit modernen computergestützten Analyseverfahren können z. B. aus dem EEG-Signal bedeutsame Informationen ermittelt werden: Bei der Analyse des Ereigniskorrelierten Potentials (ERP) wird die Gesamtheit der auf ein bestimmtes Ereignis zurückgehenden Nervenaktivitäten („neuronalen Summenaktivität“) ermittelt. Im Unterschied dazu wird bei der Spektralanalyse das EEG-Signal in einzelne Frequenzkomponenten aufgespalten, so dass eine Transformation der Signale vom Zeitbereich in den Frequenzbereich erfolgt. Die Kohärenzanalyse erlaubt somit eine Beurteilung der Zunahme oder Abnahme von Synchronisationsprozessen zweier Gehirnareale im jeweiligen Frequenzband während der Wahrnehmung eines Satzes. Die Ergebnisse solcher Untersuchungen liefern Antworten zu Fragen nach der Funktionsweise von Sprache im Gehirn. Einige der bislang unbeantworteten Forschungsfragen der Neurolinguistik zeigt die folgende Aufstellung:

- Ist die Sprachfunktion überhaupt im Gehirn zu lokalisieren oder handelt es sich vielmehr um variable neuronale Netzwerke?
- Falls die Sprache verortet werden kann: Wo und wie ist Sprache im Gehirn lokalisiert?
- Wie ist das „Lexikon“ (also der gespeicherte Wortschatz) in der Hirnrinde organisiert und aufgebaut? Werden z. B. konkrete und abstrakte Nomen an getrennten Orten verarbeitet?

- Teilen sich Muttersprache und später erlernte Fremdsprachen die gleichen Hirnbereiche oder nutzt der kindliche Mutterspracherwerb ganz besondere Hirnbereiche, die nur in frühester Kindheit zur Verfügung stehen?

■ Wörter im Gehirn

Aus neurolinguistischer Sicht handelt es sich beim Verstehen sprachlicher Kommunikation um ein gleichzeitiges Zusammenspiel von sprachspezifischen und sprachunspezifischen Kognitionsprozessen, deren neuronales Substrat in verteilten, kortikalen und subkortikalen Gehirnregionen beider Hemisphären liegt. Weiterhin sieht es so aus, als ob es keine ausschließlich sprachspezifischen Hirnbereiche gibt. Die Befunde der Cognitive Neuroscience legen vielmehr nahe, dass die in „cell assemblies“ organisierten kortikalen Neuronen zu unterschiedlichen Zeitpunkten in unterschiedlichen, ggf. auch nichtsprachlichen Netzwerken aktiv sein können. Dennoch lassen sich Teilleistungen der Sprachfunktion isolieren und gewisse Ordnungsprinzipien feststellen.

Angesichts der hohen Geschwindigkeit, mit der wir Sprache verstehen und auf Gehörtes angemessen antworten können, müssen wir von einem Ordnungssystem der Wörter im Kopf ausgehen. Anders wäre ein so schneller Zugriff auf die etwa 10.000 bis 50.000 Wörter im Gehirn eines Menschen nicht zu erklären. Doch wie sieht dieses Ordnungssystem aus? Durch Schriften belegt ist, dass bereits in der Antike Philosophen die Menge der Wörter in



Abbildung 3: Eine weitere wichtige Untersuchungstechnik zur Lokalisierung bestimmter Sprachfunktionen ist die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT). Das Bild zeigt die Vorbereitung einer Versuchsperson im MRT (Epilepsiezentrum Bethel) zur Untersuchung der Verarbeitung von Eigennamen, konkreten und abstrakten Nomen. Nach dem Anbringen der Gradientenspule wird die Versuchsperson in den Scanner gefahren und hört die sprachlichen Stimuli per Kopfhörer. Bereits wenige Minuten nach Beginn der Untersuchung erscheinen die anatomischen Details des Gehirns auf dem Monitor im benachbarten Kontrollraum. Nach einem weiteren Test ist bereits auch sichtbar, ob die Sprachfunktion der jeweiligen Person überwiegend in der linken (häufig) oder rechten Gehirnhälfte (selten) angesiedelt ist. Die umfangreiche Auswertung über alle Versuchspersonen findet dann erst nach Abschluss der Datenaufnahme statt.

unterschiedliche Wortarten eingeteilt haben. Aber entspricht diese seither nur unwesentlich veränderte Einteilung in Wortarten auch dem Ordnungssystem des Gehirns oder handelt es sich dabei lediglich um eine noch immer alltagstaugliche, jedoch in kognitiver Hinsicht realitätsferne „Erfindung“ der Antike? Um nur ein Beispiel zu nennen: In der Gruppe der Nomen wird in der Linguistik vor allem die Sonderstellung der Eigennamen diskutiert. Diese Diskussion ist bereits viele hundert Jahre alt, und es ist bis jetzt unklar, ob 1. die Eigennamen (Nomina propria) in der Kognition als eigenständige Gruppe existieren und 2. was dann genau zur Gruppe der Eigennamen zu zählen ist (z.B. Vornamen, Ortsnamen, Warennamen usw.).

Neben dieser Fragestellung bilden weitere Arbeitsschwerpunkte der Bielefelder Arbeitsgruppe Untersuchungen zur Verarbeitung von komplexeren Äußerungen, zum Verstehen multimodaler Kommunikation und zur Struktur des zweisprachigen Gehirns.

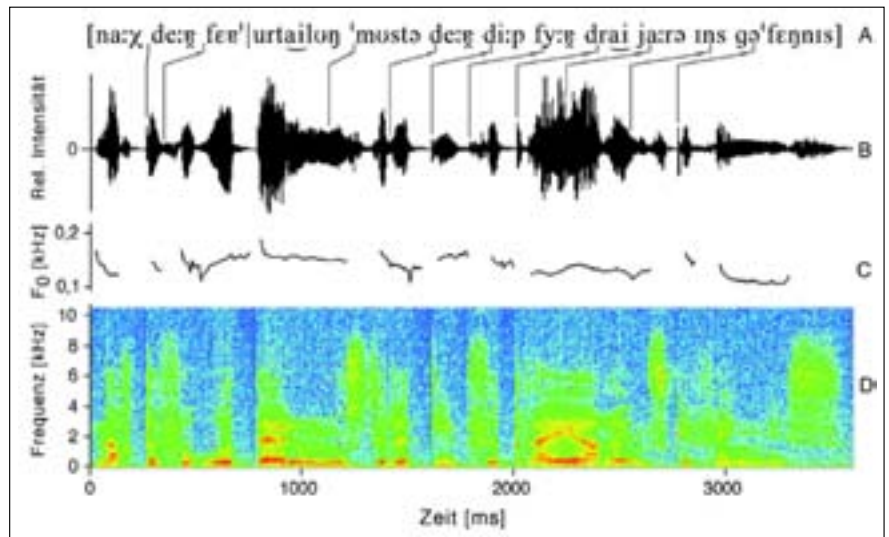
■ **Die antike Wortarteneinteilung: Kompatibel mit neuesten neurolinguistischen Erkenntnissen**

Im neurolinguistischen Experiment wird den Versuchspersonen eine große Anzahl unterschiedlicher Wörter zufallsverteilt präsentiert, während die Gehirntätigkeit mittels Elektroenzephalographie (EEG)

oder funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT) erfasst wird. Von den vielen theoretisch möglichen Einteilungen der Wörter in Gruppen gehen einige mit signifikanten Unterschieden in der Hirntätigkeit einher. Kann eine bestimmte Gruppierung der Wörter anhand eines physiologischen Maßes belegt werden, gilt das als ein starker Beweis für die kognitive Realität dieser Einteilung. Jüngste Magnetresonanztomographie-Experimente in Zusammenarbeit mit Dr. Friedrich Wörmann (MRT des Epilepsiezentrums Bethel) zeigen, dass die Verarbeitung von konkreten Nomen (z. B. „Anker“) und abstrakten Nomen (z. B. „Anmut“) mit unterschiedlicher Hirnaktivität einhergeht. Anhand der Analyse des ereigniskorrelierten Potentials (ERP) im Elektroenzephalogramm (EEG) konnte gezeigt werden, dass sich innerhalb der Gruppe der konkreten Nomen die Verarbeitung von Eigennamen (z. B. „Anna“) signifikant von der der Gattungsbezeichnungen (z. B. „Anker“) unterscheidet. Mittlerweile sind diese Verarbeitungsunterschiede in der Arbeitsgruppe „Experimentelle Neurolinguistik“ auch in unterschiedlichen psycholinguistischen Experimenten belegt worden, bei denen die Versuchspersonen Eigennamen möglichst schnell als solche erkennen (Reaktionszeitmessung) oder lediglich anhand von Wortbruchstücken unterscheiden sollen (Gating-Paradigma). Da die ermittelten Unterschiede nicht nur in anderen Sprachen, sondern auch bei natürlich-

Abbildung 4: Die in den Sprachverarbeitungs-Experimenten verwendeten Stimuli müssen nach psycholinguistischen Kriterien ausgesucht sein – beispielsweise Silbenlänge, die Verwendungshäufigkeit (Wortfrequenz) oder die Bildhaftigkeit der jeweiligen Wörter. Auch Merkmale wie etwa Anfangsphonem oder die Artikulationsdauer bzw. -intensität müssen kontrolliert werden. Hier dargestellt für den Stimulussatz Nach der Verurteilung musste der Dieb für drei Jahre ins Gefängnis ist die phonetische Umschreibung (A), der Amplitudenverlauf in der Intensitätsdomäne (B), der Verlauf der Grundfrequenzkontur (F_0 -Kontur) (C) und eine Zeit-Frequenzmatrix (D).

(aus Müller 2002, Arbeitsbuch)



sprachlicher und schriftsprachlicher Präsentation auftreten, kann durchaus ein für alle Menschen allgemein gültiger Befund vermutet werden: Prototypische Eigennamen bilden tatsächlich eine besondere Gruppe (Nomina propria) innerhalb der Nomen. Die zumindest seit der Antike theoretisch begründete Gruppe der Eigennamen verfügt somit grundsätzlich über eine neurokognitive Realität.

■ Sonderstellung der Eigennamen gilt international

In Zusammenarbeit mit Prof. Marta Kutas (University of California at San Diego, USA) wurde im ERP-Experiment festgestellt, dass Eigennamen bereits 120 ms nach Wortbeginn zu einer typischen Hirnaktivität führen. Mit einem spektralanalytischen Verfahren (EEG-Kohärenzanalyse), die die synchrone Zusammenarbeit von unterschiedlichen Gehirnregionen in bestimmten Frequenzbereichen erfasst, zeigten sich weitere Besonderheiten bei der Wahrnehmung von Eigennamen. In Zusammenarbeit mit Dr. Sabine Weiss und Prof. Peter Rappelsberger (Hirnforschungszentrum der Medizinischen Universität Wien) wurde festgestellt, dass die Verarbeitung von Eigennamen im Unterschied zu der von Gattungsbezeichnungen mit einer zusätzlichen, rechtshemisphärischen Neuronenaktivität in einem Frequenzband einhergeht. Diese rechtshemisphärische Aktivität passt gut zu jüngsten Befunden anderer Arbeitsgruppen, die mittels Magnetresonanztomographie für die Gesichtswahrnehmung und die Personenerkennung ebenfalls in der rechten Hemisphäre einen spezifischen Verarbeitungsort ausmachen konnten. Um diesen

Befund für die Verarbeitung von Eigennamen genauer zu untersuchen, haben die Bielefelder Forscher in Zusammenarbeit mit Prof. Ho-Ling Liu (Chang-Gung University, Taiwan) und Prof. Chia-Ying Lee (Academia Sinica, Taiwan) eine fMRT-Untersuchung zur Verarbeitung von Eigennamen mit Mandarin-Sprechern durchgeführt. Parallel dazu wurde – um zu allgemeineren Aussagen zu gelangen – gemeinsam mit Dr. Friedrich Wörmann (Epilepsiezentrum Bethel) ein vergleichbares Experiment mit deutschen Muttersprachlern durchgeführt. Auch die bislang vorliegenden Ergebnisse dieser Studien belegen die Verarbeitungsunterschiede zwischen Gattungsbezeichnungen und Eigennamen.

In die bislang sich vor allem durch eine Hypothesenvielfalt auszeichnende Diskussion zur Organisation des Lexikons können nun weitere empirische Daten einfließen: Die bisherigen Befunde der Bielefelder Forscher unterstützen einerseits die Sonderstellung der Eigennamen, liefern andererseits jedoch auch Hinweise für die darüber hinaus strittige Frage, was genau zu den Eigennamen gezählt werden muss. Aus neurolinguistischer Sicht gehören zur Gruppe der Eigennamen z. B. Personenvornamen und bestimmte Ortsnamen, nicht jedoch Warennamen, die zu einem abweichenden Zeitpunkt und mit einem geringfügig anderen Aktivitätsmuster der Hirnrinde verarbeitet werden. Gemeinsam mit hier nicht erwähnten Ergebnissen zu anderen Wortgruppen (z. B. Verben), liefern neurolinguistische Untersuchungen Hinweise auf die Organisationsprinzipien der Wörter im Gehirn, die für die zukünftige Umsetzung (Implementierung) von Sprachverarbeitungsprozessen in Computern notwendig sind. Gegenwärtig

tig werden im Bereich der Cognitive Neuroscience große Fortschritte bei der Analyse der Sprachfunktion im Gehirn erreicht. Eine Ursache dafür liegt in der Verfügbarkeit neuartiger Techniken und Methoden der Neurowissenschaft. Allerdings werden durch diese Methoden enorme Datenmengen erzeugt, die erst seit der Verfügbarkeit von leistungsfähiger Hard- und Software ausgewertet werden können. Beispielsweise werden während eines ca. einstündigen EEG-Experiments mit 64 Ableit Elektroden etwa 250 Millionen Zahlenwerte erfasst, für die in nachfolgenden Analyseschritten aufwendige Berechnungen durchgeführt werden müssen (z.B. Fouriertransformationen und frequenzband-spezifische Kreuzkorrelationen). Einen weiteren Entwicklungsschub erfährt die Neurolinguistik gegenwärtig durch die neuartigen Analysemöglichkeiten der Neuroinformatik, da die großen Datenmengen mit nicht-linearen Analysemethoden (z.B. „Self-Organizing Maps“ oder „Support Vector Machines“) exploriert werden können. In Zusammenarbeit mit Prof. Helge Ritter (AG Neuroinformatik, Universität Bielefeld) werden solche Verfahren entwickelt und eingesetzt, um neuartige Sichtweisen auf die experimentellen Befunde zur Sprachfunktion zu erlangen.

■ Die Zukunft: vielfältige praktische Anwendungsmöglichkeiten

Neurolinguistische Experimente sind nicht nur Grundlagenforschung zur Funktion des Gehirns. Erkenntnisse zur Physiologie der Sprachverarbeitung haben auch eine Bedeutung für anwendungsorientierte Bereiche der Sprachwissenschaft. Beispielsweise ermöglichen sie ein besseres Verständnis des kindlichen Erstspracherwerbs, aber auch des Zweitspracherwerbs bei Erwachsenen. Sie beeinflussen daher Theorien der Didaktik und das schulische Bemühen um die Verbesserung der Sprachleistung von Kindern oder den Erwerb von Fremdsprachen. Ein aktuelles Beispiel ist die Diskussion, ob Kinder eine Zweitsprache bereits im Kindergarten, in der Grundschule oder erst ab dem zehnten Lebensjahr erlernen sollen. Auch für die Klinische Linguistik und die Therapie des Sprachverlusts nach einer Hirnschädigung (Aphasie), die z.B. durch einen Schlaganfall ausgelöst werden kann, sind die neurokognitiven Grundlagen der Sprachfähigkeit von entscheidender Bedeutung. Das sprunghaft zunehmende Wissen über die

Sprachfunktion im Gehirn wird in der Zukunft große Veränderungen mit sich bringen, da diese Ergebnisse nicht nur zur weiteren Theoriebildung in der Linguistik, sondern auch zur Modellentwicklung und Simulation von Teilleistungen der Sprachverarbeitung innerhalb der Künstliche-Intelligenz-Forschung beitragen. Auch die Konstruktion von sprachverstehenden Computersystemen, die Äußerungen nicht nur per Mustererkennung identifizieren, sondern Sprache interpretieren können, wird durch das Verständnis des biologischen Vorbilds erleichtert werden.



Horst M. Müller studierte an der Ruhr-Universität Bochum und an der Universität Bielefeld Biologie und Linguistik. Nach dem Diplom in Neurobiologie und dem M.A. in Linguistik promovierte er 1988 in Linguistik und 1993 in Neurobiologie. Nach der Habilitation im Bereich der Neurolinguistik 1997 ist er seit 2003 außerplanmäßiger Professor und lehrt im Fachbereich Klinische Linguistik bzw. Linguistik. Er ist Gründer der AG Experimentelle Neurolinguistik und arbeitet als Projektleiter im Sonderforschungsbereich 360 der Universität Bielefeld. Schwerpunkte seiner Arbeit liegen in den Bereichen Neurolinguistik, Cognitive Neuroscience und Evolution der Sprache.



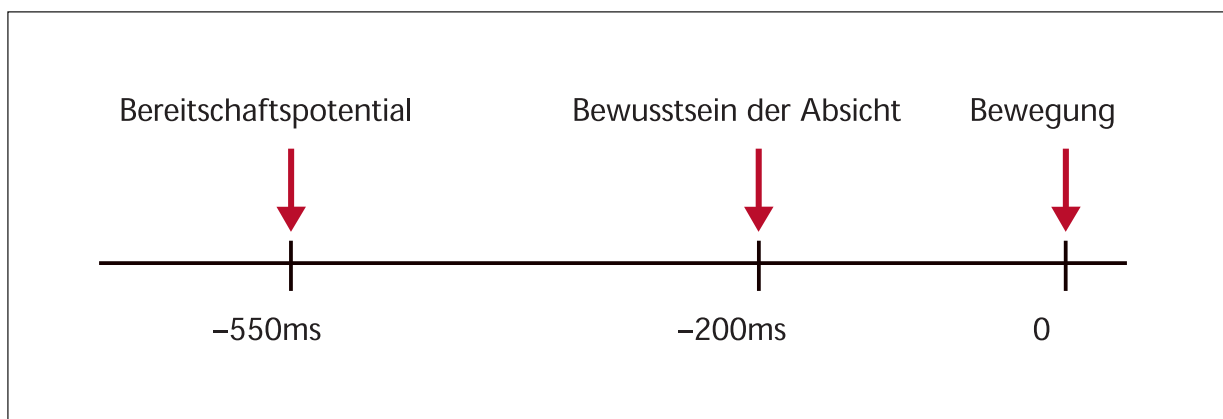
Willensfreiheit – nichts als eine Illusion?

Philosophische Überlegungen zu neurowissenschaftlichen Behauptungen

Ansgar Beckermann

Fakultät für Geschichtswissenschaft,
Philosophie und Theologie

Das Gefühl, dass unser Wille oder wir selbst unsere Handlungen entscheidend steuern – dieses Gefühl, so die Psychologen und Neurobiologen Wolfgang Prinz, Gerhard Roth und Wolf Singer, sei nichts als eine Illusion. Dies zeigten unter anderem die Experimente von Benjamin Libet: Schon 350 ms bevor uns bewusst wird, dass wir eine bestimmte Bewegung ausführen wollen, lässt sich im Gehirn ein entsprechendes Bereitschaftspotential nachweisen. Das Gehirn beginnt also schon vor der bewussten Entscheidung, diese Bewegung zu initiieren.



Das Hauptergebnis der Libet-Experimente

„Wir tun nicht, was wir wollen; wir wollen, was wir tun.“ Das ist die prägnante Formel, auf die Wolfgang Prinz diese Befunde gebracht hat. Anders ausgedrückt: Alle unsere Handlungen sind neuronal determiniert und daher unfrei. Denn: Wie kann das, was ich tue, von *mir* abhängen, wenn es auf Vorgängen im Gehirn beruht, die stattfinden, *bevor* ich die Absicht, etwas tun zu wollen, überhaupt ausbilde? Und wie kann *ich* es sein, der eine Wahl trifft, wenn die Wahl schon zuvor von meinem Gehirn getroffen wurde? Diese Argumentation setzt allerdings voraus, dass es eine strikte Trennung zwischen Gehirn und Person bzw. zwischen Gehirn und Ich gibt. Wenn ich etwas entscheide, wird es nicht von meinem Gehirn ent-

schieden, und umgekehrt: wenn mein Gehirn etwas entscheidet, wird es nicht von mir entschieden. Diese Entgegensetzung zwischen Ich und Gehirn – oder allgemeiner: zwischen Ich und Natur – ist aber keineswegs selbstverständlich. Sie ist vielmehr Teil einer bestimmten – der inkompatibilistischen – Auffassung von Freiheit, die bei näherem Hinsehen alles andere als unproblematisch ist.

■ Strikte Trennung zwischen Gehirn und Ich

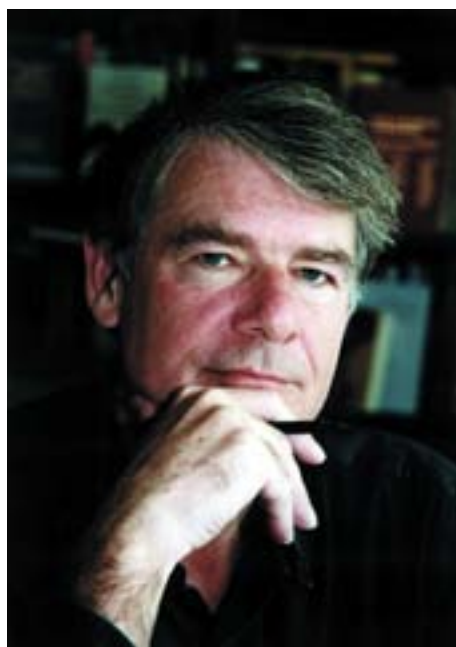
Inkompatibilisten vertreten die These, dass Determinismus und Freiheit unvereinbar sind. Warum? Hauptsächlich, weil Freiheit voraussetzt, dass ich eine

Wahl habe. Und, so fragen Inkompatibilisten, wie kann ich eine Wahl zwischen verschiedenen Alternativen haben, wenn zu jedem Zeitpunkt durch den jeweiligen Zustand der Welt und durch die Naturgesetze festgelegt ist, wie es weitergeht? Doch dass nicht alles naturgesetzlich determiniert ist, ist bestenfalls die Hälfte der Geschichte. Wenn ich die Wahl zwischen zwei Handlungen A und B habe, wenn also – dem Inkompatibilisten gemäß – zu diesem Zeitpunkt nicht naturgesetzlich determiniert ist, dass ich A bzw. B tue, dann würden wir trotzdem nicht von einer freien Handlung reden, wenn es *reiner Zufall* wäre, dass ich in dieser Situation, sagen wir, die Handlung A und nicht die Handlung B ausführe. Freiheit setzt in den Augen der meisten

■ Drei Gründe, warum Willensfreiheit problematisch ist

Erstens: Wenn nicht andere Umstände festlegen, wie ich mich entscheide, sondern *ich selbst* diese Entscheidung herbeiführe, muss ich offenbar ein Wesen sein, das *außerhalb* des normalen Weltverlaufs steht und in der Lage ist, *von außen* in diesen Weltverlauf einzugreifen. Die Auffassung, dass handelnde und entscheidende Personen nicht Teil der natürlichen Welt sind, sondern von außen in diese Welt eingreifen, ist aber mit allem unvereinbar, was uns die Naturwissenschaften über die Welt sagen.

Zweitens: Die Auffassung des Inkompatibilisten setzt voraus, dass es eine eigene Art von Kausalität



„Wir tun nicht, was wir wollen; wir wollen, was wir tun.“ Neurowissenschaftler Prinz, Roth und Singer

Inkompatibilisten nicht nur voraus, dass meine Handlungen nicht naturgesetzlich determiniert sind, sondern auch, dass das, was ich in solchen Situationen tue, nicht rein zufällig passiert, dass vielmehr in diesen Situationen *ich selbst* es bin, der bestimmt, welche Handlung ausgeführt wird. Es ist genau diese Idee, die in den Augen vieler Naturwissenschaftler gegen die Möglichkeit (inkompatibilistischer) Freiheit spricht. Aber auch für Philosophen sprechen viele Gründe gegen dieses Bild von Freiheit.

gibt, über die nur handelnde und entscheidende Personen verfügen – *Akteurskausalität*. Und diese Art von Kausalität ist äußerst mysteriös.

Drittens: Akteurskausalität wird von Inkompatibilisten eingeführt, um verantwortliches von bloß zufälligem Handeln zu unterscheiden. Letztlich sind aber freie Entscheidungen im inkompatibilistischen Sinne trotzdem immer rein zufällig und nicht erklärbar. Zur Situation, in der sich die Person entscheidet, gehören nämlich auch *die Gründe*, die sie zu diesem Zeitpunkt für die verschiedenen Alternativen hat, sowie das *relative Gewicht* dieser Gründe. Wenn sie

sich für die Alternative A entscheidet, entscheidet sie sich also angesichts *dieser* Gründe für A. Und wenn sie sich für die Alternative B entscheidet, entscheidet sie sich angesichts *derselben* Gründe für B. Wenn man angesichts *genau derselben Gründe* einmal A und ein anderes Mal B wählt, ist diese Wahl selbst aber offenbar unbegründet.

■ Entscheidungsfreiheit – Handlungsfreiheit – Willensfreiheit

Heißt das, dass die Idee der Willensfreiheit nicht nur aus empirischen, sondern auch aus theoretischen Gründen unhaltbar ist? Offenbar nur wenn das Freiheitsbild des Inkompatibilisten das einzig mögliche ist. Aber genau das ist in der Philosophie immer wieder bestritten worden. Manche haben dabei betont, dass der Kern der Freiheit darin bestehe, dass wir tun können, was wir tun wollen, dass wir also in unserem Handeln frei sind. Doch reicht das wirklich aus?

Denken wir etwa an einen Drogensüchtigen. Drogensüchtige können tun, was sie wollen; sie sind in ihren Handlungen frei. Trotzdem machen wir sie nicht verantwortlich. Sie sind nicht äußerlich, sondern innerlich unfrei; sie unterliegen einem *inneren Zwang*. Der Drogensüchtige kann zwar tun, was er will, aber in seinem Wollen, in seinen Entscheidungen ist er nicht frei. Auch wenn er sich anders entscheiden möchte, sein Wunsch, Drogen zu nehmen, wird sich durchsetzen. Der Drogensüchtige ist nicht Herr seiner Wünsche. Mit einem Wort: Was ihm fehlt ist *Willensfreiheit*. Wenn Handlungsfreiheit darin besteht, dass man tun kann, was man will, worin besteht dann aber Willensfreiheit?

■ John Lockes Antwort

Die plausibelste kompatibilistische Antwort auf diese Frage findet sich bei John Locke, der völlig zu Recht darauf hinweist, dass wir keineswegs immer die Sklaven unserer Wünsche sind. Menschen haben,

Dauair ist da!
Neu ab 12.09.2005

Mo – Fr
2x täglich

Paderborn/Lippstadt
– **Stuttgart**

dauair 
Wir beflügeln Sie.

dauair.com

The advertisement features a map of Germany with a red airplane icon flying between two cities: Paderborn/Lippstadt and Stuttgart. The background is a dark red color.



„Wir sind keineswegs immer die Sklaven unserer Wünsche.“
Der englische Philosoph John Locke (1632–1704).

so Locke, zumindest in vielen Fällen die Fähigkeit, bevor sie eine Entscheidung treffen, innezuhalten und zu überlegen. Sie können sich fragen, ob das, was sie vorhaben, moralisch richtig ist bzw. in ihrem wohlverstandenen Eigeninteresse liegt. Und sie haben außerdem häufig die Fähigkeit, dem Ergebnis dieser Überlegung gemäß zu entscheiden und zu handeln. Das allein macht nach Locke die Freiheit des Willens aus – dass wir überlegen können, was zu tun richtig wäre, und dass wir dem Ergebnis dieser Überlegung gemäß entscheiden können.

Für diese Auffassung Lockes spricht sicher, dass sie genau auf den Fall des Drogensüchtigen passt. Was dem Drogensüchtigen fehlt, ist doch, dass er selbst, wenn er *einsieht*, dass die Drogensucht seine Gesundheit ruinieren wird, nicht anders kann, als sich für die Drogen zu entscheiden. Was dem Drogensüchtigen fehlt, ist also die Fähigkeit, so zu *entscheiden*, wie es aufgrund seiner eigenen Überlegungen richtig wäre. Er mag die Fähigkeit haben, zu überlegen und

einzusehen, dass das, was er tut, ihm selbst schaden wird und dass es möglicherweise sogar unmoralisch ist. Doch auf seine Entscheidungen hat das keinen Einfluss. Sie werden durch Umstände determiniert, die durch solche Überlegungen nicht beeinflusst werden können.

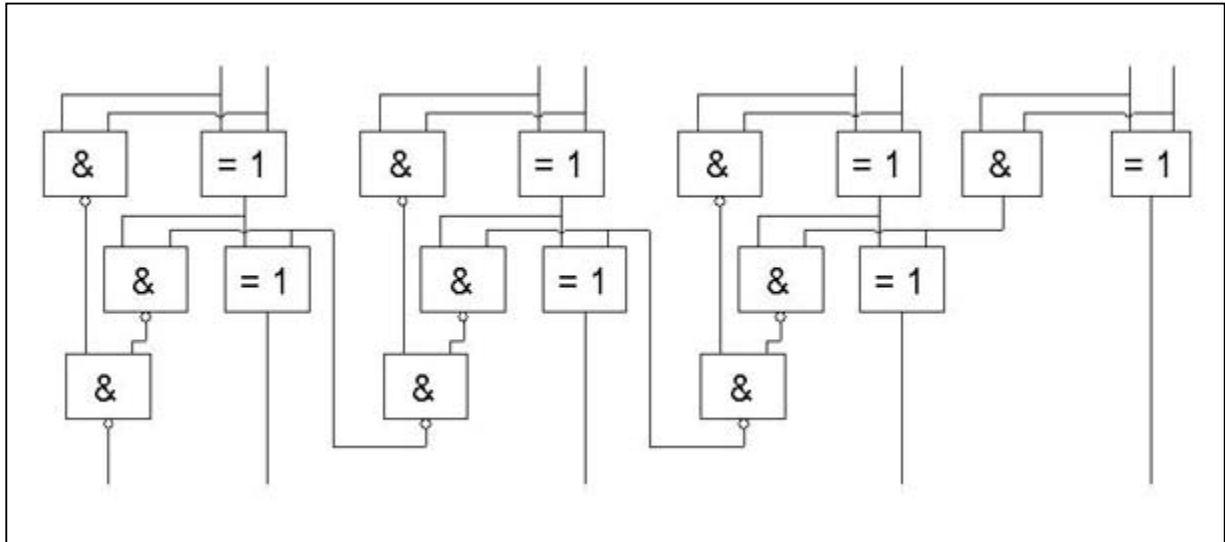
Auch der § 20 StGB passt gut zu Lockes Überlegungen. „Ohne Schuld handelt, wer bei Begehung der Tat wegen einer krankhaften seelischen Störung, wegen einer tiefgreifenden Bewusstseinsstörung oder wegen Schwachsinn oder einer schweren anderen seelischen Abartigkeit *unfähig ist, das Unrecht der Tat einzusehen oder nach dieser Einsicht zu handeln.*“ Nach unserem Strafgesetz kann nur schuldig sein, wer das Unrecht des eigenen Handelns einsehen und dieser Einsicht gemäß handeln kann.

■ Koexistenz von physikalischen und theoretisch-funktionalen Beschreibungen physischer Prozesse

Wenn Willensfreiheit aber auf der Fähigkeit beruht, vor dem Handeln zu überlegen und dann dem Ergebnis dieser Überlegung gemäß zu handeln, wie kann sie dann mit neuronaler Determiniertheit vereinbar sein? Wenn in biologischen Wesen alle Entscheidungen auf *neuronalen* Prozessen beruhen – und genau das scheint die Neurobiologie ja zu beweisen –, wie sollen sie dann durch rationale Argumente und Überlegungen beeinflusst werden können?

Die Antwort auf diese Frage ergibt sich aus der Beobachtung, dass sich viele physische Prozesse auf *sehr verschiedene Weise beschreiben* lassen – auf der einen Seite *physikalisch*, auf der anderen Seite aber auch *theoretisch-funktional*. In einem Computer z. B. kann *derselbe* Vorgang *sowohl* eine bestimmte Bewegung von Elektronen durch ein Transistorennetz *als auch* das Errechnen der Summe zweier Zahlen sein.

Computer generell sind auf der einen Seite elektronische Geräte, auf der anderen Seite aber auch Rechen- bzw. Symbolverarbeitungsmaschinen. Dasselbe – oder zumindest etwas sehr Ähnliches – gilt auch für das Gehirn. Auf der einen Seite ist das Gehirn eine Ansammlung von vielfach miteinander verschalteten Neuronen, die auf unterschiedliche Weise feuern und sich in ihrem Feuerungsverhalten wechselseitig beeinflussen. Aber auch das Feuern von Neuronen lässt sich auf einer kognitiven Ebene beschreiben – als das Wahrnehmen eines Gesichts, als Abrufen einer Erinnerung oder als die Entscheidung, den Arm zu heben. Damit steht aber der



Schaltbild eines elektronischen Geräts aus logischen Gattern (die ihrerseits aus Transistoren bestehen), mit dem zwei vierstellige Zahlen addiert werden können.

Annahme nichts mehr im Wege, dass es sich bei manchen neuronalen Prozessen um Prozesse des rationalen Überlegens oder des Abwägens von Gründen handelt. Oder anders ausgedrückt: Die Tatsache, dass etwas ein neuronaler Prozess ist, schließt keineswegs aus, dass es sich bei *demselben* Prozess um einen Prozess des Überlegens handelt –

genauso wenig wie die Tatsache, dass etwas ein elektronischer Prozess ist, ausschließt, dass es sich bei *demselben* Prozess um das Berechnen der Summe zweier Zahlen handelt. Mit anderen Worten: Dass unsere Entscheidungen auf neuronalen Prozessen beruhen, schließt keineswegs aus, dass sie auf Überlegungen und Gründen beruhen – ganz im Gegenteil.



Ansgar Beckermann, geb. 1945, studierte Philosophie, Mathematik und Soziologie in Hamburg und Frankfurt/M. und promovierte 1974 in Frankfurt/M. Nach der Habilitation 1978 in Osnabrück war er von 1982 bis 1992 Professor für Philosophie an der Universität Göttingen und von 1992 bis 1995 Professor für Philosophie an der Universität Mannheim. Seit 1995 ist er Professor für Philosophie an der Universität Bielefeld. Von 1988 bis 1994 war er einer der drei Koordinatoren des DFG-Schwerpunktprogramms Kognition und Gehirn. Seit September 2000 ist er Präsident der Gesellschaft für Analytische Philosophie e.V. Veröffentlichungen u. a. zur Handlungstheorie, zum Leib-Seele-Problem, zur Erkenntnistheorie und zum Problem der Willensfreiheit. Außerdem arbeitet Ansgar Beckermann an dem Projekt „Philosophie verständlich“, dessen Ziel es ist, ein breiteres Publikum über den Stand der philosophischen Diskussion zu den zentralen Themen der Philosophie zu informieren (www.philosophieverstaendlich.de).

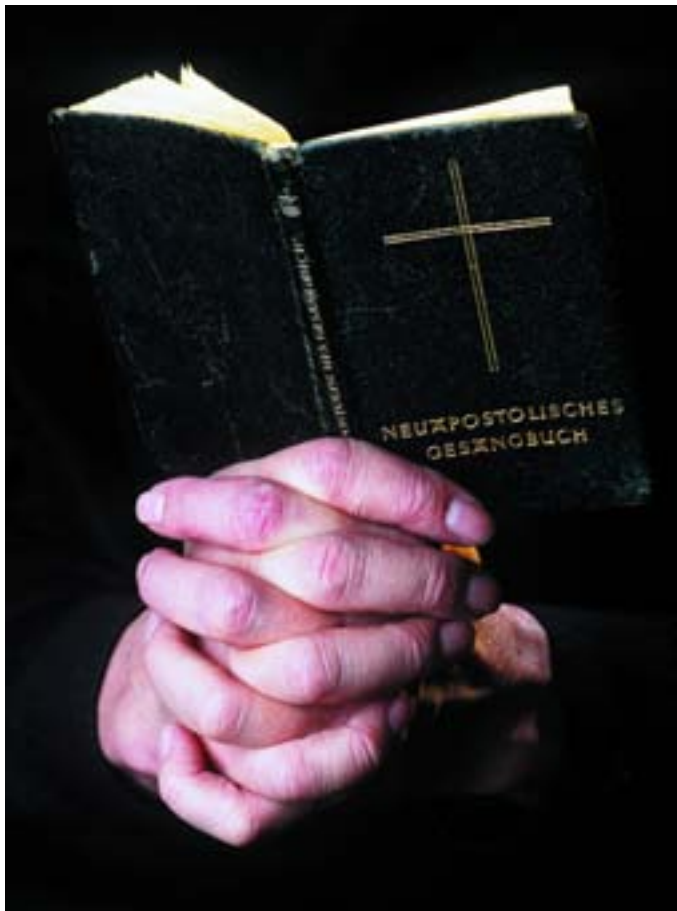


Glaube und Gehirnwäsche

Zur Freiwilligkeit der Zugehörigkeit zu
neureligiös-fundamentalistischen
Glaubensgemeinschaften

Barbara Keller

Fakultät für Geschichte, Philosophie und
Theologie



*Weder gibt es das typische „Sektenopfer“
noch typische und für jeden gefährliche
Beeinflussungsmethoden durch Sekten*

Was erleben Menschen, die eine Glaubensgemeinschaft verlassen? Danach fragen Wissenschaftler der Forschungsstelle biographische Religionsforschung der Universität Bielefeld in augenblicklich laufenden so genannten „Dekonversionsstudien“. Unter Leitung von Prof. Heinz Streib befasst sich die Forschungsstelle mit gelebter Religiosität, biographisch gewachsenen Glaubensvorstellungen und deren Veränderungen. In der ersten Phase der Dekonversionsstudien wurden neureligiöse Bewegungen und fundamentalistische Gruppen untersucht. Es wurden Aussteiger und Mitglieder von Gruppen befragt, die sich von anderen u. a. dadurch abheben, dass sie sich auf wörtliche Interpretationen heiliger Texte beziehen, deren Normen in der alltäglichen Lebensführung absolut zu befolgen sind, oder die sich an einem absoluten Wertesystem orientieren. Insbesondere die Freiwilligkeit der Zugehörigkeit zu so genannten „Sekten“ ist auch öffentlich kontrovers diskutiert worden. Steckt „Gehirnwäsche“ dahinter, wenn Menschen eine Bekehrung erfahren und einer als „Sekte“ etikettierten Glaubensgemeinschaft beitreten? Und bedeutet die Dekonversion, der Abschied von einer solchen Glaubensgemeinschaft, dann die Wiedergewinnung verlorener Freiheit?

■ Was ist Gehirnwäsche?

Der Begriff „Gehirnwäsche“ wurde ursprünglich auf diejenigen amerikanischen Soldaten angewendet, die 1950 im Auftrag der UN Südkorea gegen das von den Chinesen unterstützte Nordkorea verteidigten und in Gefangenschaft geraten waren. Manche von ihnen vertraten auch nach ihrer Befreiung kommunistische Überzeugungen, zu denen sie in der Gefangenschaft „bekehrt“ worden waren. Derartige Bekehrungen wurden auf gewaltsame Methoden der Indoktrination und Einflussnahme zurückgeführt, die

der CIA-Detektiv Edward Hunter als „Gehirnwäsche“ bezeichnete. Der Psychiater Robert J. Lifton hat später, den Begriff aufnehmend, den Einfluss durch totalitäre Kontrolle beschrieben, darunter die Kontrolle der sozialen Umwelt, das öffentliche Ablegen von Geständnissen, die absolute Anerkennung der herrschenden Lehre, die immer über die (möglicherweise widersprechende) individuelle Erfahrung gestellt werden muss.

■ Gehirnwäsche und Gefährdungen durch Glaubensgemeinschaften

In den siebziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurde in den USA im Zusammenhang mit neureligiösen Gemeinschaften als Gehirnwäsche der Vorgang bezeichnet, dass (meist junge) Menschen mit falschen Versprechungen, etwa Angeboten sozialer Zugehörigkeit, Verheißungen spiritueller Wachstums oder Teilhabe an einer durch die Gruppe ins Werk gesetzten Veränderung der Welt, geködert und dann indoktriniert würden. Dies setze ihr kritisches Denkvermögen außer Kraft, so dass sie, einmal in die „Sekte“ gelockt, kaum entkommen könnten. Eine Gegenmaßnahme, die besorgte Familienangehörige in Auftrag gaben, war die Entführung aus der „Sekte“ und eine daran anschließende „Deprogrammierung“, die die vorangegangene „Gehirnwäsche“ rückgängig machen sollte. Diese Vorgehensweise ist mittlerweile weitgehend durch eine Ausstiegsberatung abgelöst, die auf Zwang verzichtet, da die erzwungene Deprogrammierung sich als rechtlich unzulässig und wissenschaftlich nicht hinreichend begründbar erwies. Berichte, die den Gehirnwäsche-Vorwurf stützten – und Zwangsmaßnahmen rechtfertigten –, kamen meist von Aussteigern, die erfolgreich deprogrammiert worden waren, und wurden als einseitig eingeschätzt. In einigen Fällen hatte sich gezeigt, dass erst die erzwungene Deprogrammierung zu einer Traumatisierung führte oder dass die „Deprogrammierten“ sich später umso überzeugter wieder ihrer Glaubensgemeinschaft zuwandten.

Auch in Deutschland wurde die Frage nach dem gefährdenden Einfluss gestellt, den „so genannte Sekten und Psychogruppen“ haben. An der Forschungsarbeit im Auftrag der Bundestags-Enquete-Kommission aus dem Jahr 1998 war Heinz Streib mit einem Team von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Universität Bielefeld beteiligt. Zu den zentralen Ergebnissen gehörte, dass es weder das typische „Sektenopfer“ gibt noch typische und für jeden gefährliche Beeinflussungsmethoden. Undramatisch

etwa verhält sich besonders der von Streib so genannte „akkumulative Häretiker“, der im Verlauf seines Lebens mehrmals die religiöse Orientierung wechselt. In verschiedenen Glaubensgemeinschaften findet er nacheinander Möglichkeiten zu bearbeiten, was ihm zu einer bestimmten Zeit in seinem Leben wichtig ist.

■ Gehirnwäsche und Glaubensentscheidungen: ein Blick in die laufende Forschungsarbeit

Unter den heutigen Bedingungen des religiösen Pluralismus – manche sprechen von einem religiösen Markt – wird es weniger selbstverständlich, dass Menschen ihr ganzes Leben lang einem Glauben und einer Glaubensgemeinschaft verpflichtet bleiben. Was veranlasst sie zu Veränderungen und wie erleben sie diese? Das Verlassen von Glaubensgemeinschaften, die Dekonversion, wird in den derzeit laufenden und von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekten genauer untersucht, wobei ein breites Spektrum religiöser Vereinigungen in den Blick genommen wird. Dazu werden in Deutschland – und parallel in den USA – Dekonvertiten, aufgrund der erwähnten öffentlichen Besorgnis zunächst aus fundamentalistisch-neureligiösen Gruppen, mittlerweile auch aus etablierten religiösen Organisationen, nach ihren Biographieverläufen und Bewältigungsprozessen befragt. Mit „neureligiöse Gruppierungen“ sind z. B. die Zeugen Jehovas, die Mormonen, die Vereinigungskirche („Mun-Sekte“) oder fernöstlich orientierte Gruppen mit verbindlichen und den Alltag bestimmenden Lehren gemeint.

In den Interviews mit Aussteiger/innen aus neureligiösen Gruppen wird teilweise von Gehirnwäsche gesprochen, nämlich dann, wenn es darum geht zu erklären, wie man dazu kam zu glauben, woran man jetzt nicht mehr glaubt, und warum man tat, was aus heutiger Sicht fraglich erscheint. Für Betroffene kann der Begriff damit neben einer kritischen auch eine entlastende Funktion haben.

So spricht beispielsweise ein ehemaliger Zeuge Jehovas über die Zeit, in der er selbst als „Ältester“ andere im Studium des „Wachturms“ unterwies: „Das hab ich auch gemacht, ja. Da hab ich dann auch gelehrt, wie man das macht. Aber man ist tatsächlich so einer Gehirnwäsche unterzogen durch dieses Studium, da ist man dann bereit, wirklich Dinge zu tun, die man freiwillig nicht machen würde.“

Der Begriff „Gehirnwäsche“ wird im folgenden, ebenfalls wörtlich transkribierten Beispiel von einem ehemaligen Mitglied einer östlich inspirierten Glau-



„...man ist tatsächlich so einer Gehirnwäsche unterzogen, da ist man bereit, wirklich Dinge zu tun, die man freiwillig nicht machen würde“ (Taufe von „Zeugen Jehovas“ in Velten bei Berlin)

bensgemeinschaft herangezogen, um zu erklären, warum einmal streng befolgt wurde, was nun, nach Verlassen der Glaubensgemeinschaft, keine Bedeutung mehr hat: „Da wird einfach das Gehirn gewaschen und wird programmiert. Und das Wort Gehirnwäsche hatte niemand jemals in der Sekte benutzt. Ich benutz' es mittlerweile aber. Weil es wirklich ne Programmierung ist, man, man, wenn man oft genug gesagt kriegt, wie der Mechanismus ist, du arbeitest, du machst etwas gegen die Regeln, dann kriegst, dann hast en Unfall, du wirst krank und das Gehirn hat das wirklich einprogrammiert, dann kriegt man auch en Unfall. Das hat, das ist dann sozusagen der Beweis für die, dessen Gott und so weiter.“

In diesen Interviews steht „Gehirnwäsche“ im Zentrum des Bemühens, einen Bruch im eigenen Leben zu verstehen und begreiflich zu machen. Auch bietet diese Sicht Entlastung: Wenn die „Gehirnwäsche“ den freien Willen außer Kraft setzte, kann, wer mit trug, was er/sie mittlerweile kritisiert, dafür allenfalls eingeschränkt verantwortlich gemacht werden.

■ „Gehirnwäsche“ als wissenschaftlicher Begriff?

Wer heute noch in wissenschaftlichen Zusammenhängen von „Gehirnwäsche“ spricht, verweist ent-

weder auf Gewalt als Bestandteil von Beeinflussungsmethoden oder meint soziale Einflüsse, denen unsere Gehirne allerdings fast ständig ausgesetzt sind – etwa in Medien, Werbung und auch in zwischenmenschlichen Beziehungen.

Zum Verständnis von „Gehirnwäsche“ im Sinne von Zwang und Gewalt mag ein Blick in die Traumaforschung aufschlussreich sein: Erlebnisse, die so schrecklich sind, dass sie unsere Verarbeitungsmechanismen übersteigen, können bei Überlebenden als extrem Angst auslösende Vorstellungen auftreten, die Menschen immer wieder und ungewollt überschwemmen. Die Therapie besteht dann darin, diese Erlebnisse einer bewussten Bearbeitung zugänglich zu machen, den Betroffenen ein Stück Kontrolle über das eigene Gefühlsleben wieder zu geben und damit ein Stück Freiheit zu verschaffen. Das gilt auch für „religiös“ motivierte Traumatisierungen, die aber auch entsprechend bezeichnet und von anderen Verläufen unterschieden werden sollten.

Wenn wir es mit einem Bündel wirksamer „Persuasionsstrategien“ zu tun haben, so könnte eine Information über ihre Wirkungsweisen helfen, sich ihnen zu entziehen. Entsprechend sehen ehemalige Mitglieder oft eine wichtige Aufgabe darin, sich in Aussteiger-Gruppen zu engagieren, über ihre Erfahrungen zu berichten und über „Sekten“ aufzuklären: Dabei ist wichtig, dass Menschen nicht in der Rolle von „Sektenopfern“ verharren, sondern

„... den Betroffenen ein Stück Kontrolle über das eigene Gefühlsleben wiedergeben“ (per Satellit übertragene Segnung von weltweit 39,6 Mio. Ehepaaren – hier in Frankfurt/M. – durch Sektenführer San Myung Mun während einer Massenhochzeit in Washington 1997)



dass auch thematisiert wird, was einmal ganz positiv gesehen wurde und Zugehörigkeit motivierte. Auch bei der therapeutischen Begleitung von Aussteigern geht es darum, eigene Verantwortlichkeit zu fördern. Mehr Freiheit bedeutet auch mehr Verantwortung.

■ Was passiert bei Glaubensveränderungen im Gehirn?

Könnte man auch Glaubensveränderungen im Gehirn ablesen? Mit modernen bildgebenden Verfahren wird bereits untersucht, welche Gehirnregionen

während des Betens aktiviert sind oder ob die Gehirne gläubiger Menschen Schmerz anders verarbeiten als die ungläubiger. Wird nun bald die verordnete Andacht das Aspirin ersetzen? Werden dann selbst Glaubensveränderungen auf bunten Scans ablesbar? Die Komplexität und Plastizität des Gehirns und die Vielfalt von Glaubensweisen und Glaubensentwicklungsverläufen machen die Untersuchung von Zusammenhängen zwischen (berichteten und beobachteten) Veränderungen religiöser Praktiken und Veränderungen im Gehirn zu einer großen Herausforderung. Dazu kann empirische Religionsforschung, die erfasst, wie Menschen

Der Begriff „Gehirnwäsche“ steht im Zentrum des Bemühens der „Aussteiger“, einen Bruch im eigenen Leben zu verstehen und begrifflich zu machen (Hare-Krishna-Jünger tanzen mit einer „Mridanga“ genannten Handtrommel und Zimbeln durch die Straßen von Debrecen/ Ungarn. Die 1966 gegründete Hare-Krishna-Bewegung bezeichnet sich als „Gemeinschaft von Gottgeweihten“ und streitet ab, eine Sekte zu sein).



Glauben leben, beitragen, beispielsweise indem sie fragt, was Dekonversionserfahrungen gemeinsam haben und was sie unterscheidet. Dass sie keinesfalls immer dramatisch verlaufen und mit „Gehirnwäsche“ nicht auf den Begriff zu bringen sind, zeigen die Bielefelder Untersuchungen.

Mehr dazu sowie zu weiteren Projekten der Forschungsstelle unter: www.uni-bielefeld.de/Universitaet/Einrichtungen/Zentrale%20Institute/IWT/FWG/Religion/



Barbara Keller studierte an der Universität Heidelberg Psychologie und promovierte 1994 dort mit einer Arbeit zu psychologischen Aspekten der Situation älterer Frauen in Städten. 1994/95 arbeitete sie an der Abteilung für Psychogerontologie der Universität Nijmegen und 1997/98 an der Universität Köln (...). Im Auftrag der Stadt Köln führte sie 1999/2000 ein Projekt mit autistischen Jugendlichen durch. Von 2000 bis 2002 war sie an der TU Dresden im Bereich Entwicklungspsychologie beschäftigt. Seit 2002 arbeitet sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Forschungsstelle Biographische Religionsforschung der Fakultät für Geschichtswissenschaft, Philosophie und Theologie.

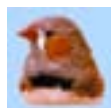


Thomas Schmitt-John, Carsten Drepper,
Peter Heimann, and Harald Jockusch

Deadly Traffic Jam in the Nerve Cell

Novel mechanism for neurodegenerative hereditary disease discovered in a mouse model for ALS

By studying mutant mice, a team of researchers at the Unit for Developmental Biology and Molecular Pathology at Bielefeld University (Germany) in collaboration with groups at Ann Arbor, Michigan (USA), and the GBF at Braunschweig (Germany) has discovered a novel mechanism for neurodegeneration. By identifying and characterizing the mutant gene of the so-called wobbler mouse it was found that a vesicular protein sorting factor (Vps54) is affected. Vps54 has an important role for intracellular trafficking (Nature Genetics 37/2005).



Hans-Joachim Bischof, Joe Voss

A Bird's Eye View: How Do Birds Select their Gaze Direction?

In most avian species, the optical axes of the eyes diverge by some 120 degrees, and the foveae accordingly gaze into different directions. At least theoretically, birds (in contrast to humans) are therefore able to fixate two different objects at the same time. Does this also mean that they can attend simultaneously to more than one stimulus? Our experiments indicate that they cannot. Upon presentation of two objects within the visual fields of both eyes, only one eye shows a fixation movement while the other eye turns away from the stimulus due to some coupling of the eye movements. If a stimulus appears in one of the visual fields, access of the other eye to the visual processing areas is temporarily suppressed. We believe therefore that the brain switches the bird's attention regularly from one eye to the other, until a stimulus occurs which catches the bird's attention more permanently. This process is probably very similar to what we can observe in humans as „binocular rivalry“ in experimental situations.



Martin Egelhaaf, Roland Kern,
Jens P. Lindemann, Holger Weiss

Active Vision: Strategies and Neuronal Mechanisms of Spatial Orientation

Which brain mechanisms enable animals and humans to move in their environments without colliding with obstacles? The fly is an excellent model system to analyse how this vital task can be solved. With its miniature brain, the fly is able to control highly aerobic flight manoeuvres and, in this regard, outperforms any man-made autonomous system. To accomplish this extraordinary performance, flies employ a clever trick: they shape actively by the specific properties of their own movements the dynamics of the image sequences on their eyes, an activity which results in visual information that can be processed by the brain with relatively little computational effort. In cooperation with other

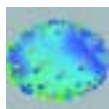
groups, we are currently investigating whether similar active vision strategies are used by other animals, including humans. Moreover, we test whether biologically inspired computational principles can be employed in artificial vision systems to realise autonomous robots which come close, with regard to their performance, to their biological counterparts.



Bettina Bläsing, Holk Cruse,
Volker Dürr, Josef Schmitz

Complex Behaviour Does not Require a Complex Brain

It may appear plausible to assume that the control of complex behaviour requires a correspondingly complex brain. However, our studies on the behaviour of insects show that this assumption is generally not justified. Controlling the movement of six legs, each equipped with three joints, is a considerably difficult task, even when walking on a simple and predictable horizontal plane. This is because the 18 joints have to be coordinated so as to avoid unnecessary strain among counteracting legs. Coping with unexpected disturbances adds further, quite natural complexity. The difficulty of the task appears to increase even more dramatically when the insect has to negotiate a gap the size of its own body length. We have shown that the first tasks, i.e. adaptive walking on a plane, can be solved using an extremely decentralized control architecture. Combined behavioural, software and hardware simulation studies show that a quite small number of simple, additional mechanisms will suffice to cope with the climbing task as well.



Helge Ritter und Jörg Ontrup

Neuronal Networks: from Data to Meaning

How do we realize meaning? How does our brain organize the tremendous amounts of information supplied by our senses in such a way that we do not perceive the world as a chaotic stream of impressions, but rather as a well-structured set of meaningful entities? This tantalizing question is not only important for fundamental research. Even fragmentary answers could provide us with means to create „intelligent“ computer systems able to perceive meaning, and to organize information, by learning from their environment.



Bernd Pohlmann-Eden

Epileptic Seizures and Epilepsies – a Frequent Medical, Socio-Economic and Scientifically Challenging Condition

Seizures and epilepsies belong among the most frequent neurological disorders. In discrepancy to the fact that people suffering from seizures are still stigmatized, even in 2005, there is both an enormously increased knowledge of the causes of the disease (including the most likely underlying pathophysiological mechanisms) and a wide range of therapeutic options avail

able (mainly drug therapy and epilepsy surgery) which makes 2/3 rds of all patients long-term seizure free. The world famous Bethel epilepsy centre offers a multifaceted diagnostic and therapeutical program which extends from psychosocial counselling across differential diagnosis and therapy to highly sophisticated pre-surgical evaluation, and subsequent surgery. Modern imaging procedures such as structural and functional magnetic resonance imaging as well as digitized continuous Video-EEG-monitoring have helped to precisely determine the epileptogenic zone, and to learn about the functional anatomy of the brain. The Bethel epilepsy centre is scientifically active in nearly all fields of epilepsy research, an activity considered to be an essential precondition for a high quality health care. A wide network of developing national and international co-operations supports this concept.



Wolfgang Hartje, Michael Bulla-Hellwig, Cornelia Macek, Anke Menzel-Begemann, Sören Krach, Wolfhard Skreczek

Brain Activity on Test

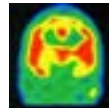
The relatively new method of functional transcranial Doppler-sonography (fTCD) is being applied as a simple and economic non-invasive technique to study changes of cerebral blood flow velocity provoked by mental activities. The research group „Clinical Psychology - Neuropsychology“ at the University of Bielefeld presently focuses on the interrelationship between cognitively induced changes of blood flow velocity in cortical regions of the right and left cerebral hemispheres, the degree of mental effort required by the task, and the level of cognitive performance achieved on the task. Preliminary results indicate that the changes of blood flow velocity reflect rather the degree of mental effort than the level of performance. This suggests that the relationship between physiological parameters of cortical activation and behavioural performance measures is more complicated than is usually assumed.



Horst H. Müller

The Structure of Words in the Brain

How is language represented in the human brain? Which sub-processes can be separated? Why are these subprocesses so fast, and how does the underlying neural network work? During the last decade, neurolinguistic experiments delivered some answers to such questions. For example: Findings on the cortical representation of the lexicon and the organization of words in the brain often correspond to theoretical considerations in language philosophy developed more than 2000 years ago. Most of the classical word categories (i.e., verbs, nouns, proper names) show a neurocognitive reality, based on electrophysiological and neuroimaging data. Within these categories, however, some changes would seem to be necessary. The hierarchical organization and processing of concrete and abstract nouns as well as proper names are now somewhat better understood.



Hans J. Markowitsch

Brain, Memory and Consciousness

The Neural Basis of Memory and Memory Disturbances

Interrelations between memory, nervous system and consciousness are discussed on the basis of results obtained from patients with neurological damage, from patients with stress and psychic trauma related amnesia, and on the basis of findings with so-called functional brain imaging methods in normal human subjects. Specific regions and neural networks of the brain are engaged in encoding, storing, and retrieving information. Modern neuroscience data show that these brain structures differ for different forms of short-term and long-term memory, procedural (motor-skill related) memory, priming and perceptual memory, facts, and autobiography. Furthermore, psychiatric patients reveal that the environment can influence the brain in a way that leads to a selective blocking of personal, emotion-related past episodes, most likely due to the release of stress hormones on the brain level.



Ansgar Beckermann

Free Will – no more than an Illusion?

Recently, psychologists and neurobiologists have argued that free will is just an illusion. This thesis is mainly supported by findings that tend to show that all our decisions are caused by neural processes. Even if this were true, however, it would not suffice to show that we are not free. For individuals, in order to be free, need not be capable of intervening in the normal context of nature from the outside. Freedom just rests on the ability to deliberate before making a decision. And if we assume that deliberation itself is realised by neural processes, it may well be that we have this ability even if all our decisions are caused by neural processes.



Barbara Keller

Faith and Brainwashing: How Voluntary is Membership in Fundamentalist New Religious Groups?

The project „Deconverts from Fundamentalist New Religious Groups in Germany and the United States of America“, is located at the Research Center for Biographical Studie in Contemporary Religion, and directed by Prof. Heinz Streib, Ph.D. Funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), it studies biographical trajectories of deconverts in Germany and in the U.S. who have left or are in the process of leaving fundamentalist new religious groups. Is „brainwashing“ involved when persons experience a conversion and join a religious community labelled as „cult“? And does deconversion imply regained freedom?

Abbildungen S. 5 und 6: Autorenabbildung, auch in: Nature Genetics 37 (2005) ■ Abildung S. 39: Michael Deppe, Funktionelle transkranielle Doppler-Sonographie - Methodik zur Erfassung ereignisbezogener Gehirnaktivitätsänderungen, Diss. Münster 2000, Abb. 2.1 ■ Abbildung S. 46 unten: nach Markowitsch, NeuroImage 20 (2003), S. 132–138 ■ Abbildung S. 48 oben: nach Siebert et. al., Brain 126 (2000), S. 2627–2637 ■ Abbildung S. 48 unten: nach Markowitsch et. al., Behavioural Neurology 12 (2000), S. 181-190 ■ Abbildung S. 49: nach Markowitsch et al., Neuropsychiatry, Neuropsychology and Behavioral Neurology 13 (2000), S. 60–66 ■ Abbildung S. 50: nach Markowitsch, Anästhesiologie & Intensivmedizin 39 (1998) , S. 627–633 ■ Abbildung S. 51: nach Thiel et al., NeuroImage 25 (2005), S. 815–823 ■ Abbildung S.55: Horst M. Müller (Hg.), Arbeitsbuch Linguistik, Paderborn 2002, S. 27 ■ Abbildung S. 58 links: Norma Langohr, Mitte: Hansekolleg Delmenhorst mit freundlicher Genehmigung, rechts: Max-Planck-Institut für Hirnforschung Frankfurt/M. mit freundlicher Genehmigung ■ Abbildung S. 60: dpa Picture-Alliance ■ Abbildungen S. 62–65: epd-Bilddatenbank ■ Weitere Abbildungen wurden von den Autoren zur Verfügung gestellt ■ Autorenporträts, soweit nicht von den Autoren selbst zur Verfügung gestellt: Norma Langohr

■ Abbildungen

Herausgeber: Universität Bielefeld, Informations- und Pressestelle ■ Redaktion: Dr. Hans-Martin Kruckis (verantwortlich), Maria Tzankow ■ Übersetzungen: Günter Seib ■ Satz und Gestaltung: Thomas P. Kiper, Hunteweg 28, 33689 Bielefeld ■ Anzeigen: Marlies Läge-Knuth ■ Gesamtherstellung: Druck und Medienhaus Hans Gieselmann GmbH & Co. KG, Ackerstr. 54, 33649 Bielefeld, Tel. 0521/94609-0, Fax 0521/94609-99, E-Mail: gieselmanndruck@gieselmanndruck.de, Internet: www.gieselmanndruck.de ■ Auflage: 4000 ■ Anschrift von Redaktion und Vertrieb: Informations- und Pressestelle der Universität Bielefeld, Postfach 100131, 33501 Bielefeld, Tel. 0521/106-4146, Fax 0521/106-2964 ■ Internet: www.uni-bielefeld.de/Presse/fomag/

■ Impressum

Der ungekürzte Nachdruck von Beiträgen ist unter Nennung des Autors und der Quelle und unter Beachtung des Copyrights für die Abbildungen frei ■ Wir bitten um Belegexemplare.

■ ISSN 0937-2873

Flugbahn einer Virtuellen Fliege in einer texturierten Flugarena, wie sie von Bielefelder Neurobiologen im Zusammenhang mit ihren Forschungen zum Flugverhalten der Fliege eingesetzt wird. Mehr dazu lesen Sie in dem Artikel „Aktives Sehen: Strategien und neuronale Mechanismen der Raumorientierung“ ab Seite 15.

■ Titelbild



WDR 5

Roboter – die besseren Forscher?
Großstädte – das Paradies für
Singvögel? Intelligenz – eine Frage
der Gene? Bachelor & Master – das
neue Bildungswunder?

Gut zuhören

WDR 5
Leonardo
Wissenschaft
und mehr

Es gibt unendlich viele Fragen, *WDR 5 Leonardo – Wissenschaft und mehr* beantwortet sie – verständlich, kompetent und unterhaltsam.

Leonardo im Radio:

Montag bis Freitag 16.05 bis 17.00 Uhr,
Wiederholung 22.05 bis 23.00 Uhr

Leonardo im Internet:

Aktuelle Hintergrundinfos, ausführliche
Dossiers und Manuskriptdownload
www.wdr5.de

Hören erleben WDR 5