



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Bernstein Zentren – Forschung für die Zukunft



Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Öffentlichkeitsarbeit
11055 Berlin

Bestellungen

schriftlich an den Herausgeber
Postfach 30 02 35
53182 Bonn
oder per
Tel.: 01805 - 262 302
Fax: 01805 - 262 303 (0,12 Euro/Min. aus dem deutschen Festnetz)
E-Mail: books@bmbf.bund.de
Internet: <http://www.bmbf.de>

Autorinnen

Brigitte Stahl-Busse, Hamburg
Dr. Jo Schilling, Hamburg

Redaktion

DLR Projektträger Gesundheitsforschung
Brigitte Stahl-Busse, Hamburg
Dr. Jo Schilling, Hamburg

Gestaltung

FOCON GmbH, Aachen

Druckerei

setpoint medien, Kamp-Lintfort

Bonn, Berlin 2006

Gedruckt auf Recyclingpapier

Bildnachweis

Titelbild: gettyimages, Ron Levine
S. 4 gettyimages, Nick Koudis
S. 5 Bernstein Centers for Computational Neuroscience
S. 6 Dr. Jan Benda
S. 7 gettyimages, Don Farrall
S.8 Kathrin Binner, TU Darmstadt (Darmstadt Dibblers)
S. 9-11 gettyimages, John Foxx, Noel Hendrickson, rubberball
S. 12 Forschungszentrum Jülich
S. 13 gettyimages, Peter Adams
S. 14 Bernstein Zentrum Freiburg
S. 15 oben: gettyimages, unten: Fraunhofer-Institut FIRST
S. 16 gettyimages, Jode Luis Pelaez Inc
S. 17 Fraunhofer-Institut FIRST
S. 18-20 Otto Bock
S. 21 gettyimages, Alvis Upitis
S. 22 Prof. Florentin Wörgötter
S. 23 Dr. Poramate Manoonpong
S. 23-26 gettyimages, Philip & Karen Smith, David de Lossy
S. 27 flashlight
S. 27-28 gettyimages, Jim Arbogast
S. 29 Dr. Poramate Manoonpong
S. 29 gettyimages
S. 30 Prof. Alexander Borst
S. 31 Kuratorium für Verkehrssicherheit Österreich
S. 32 gettyimages, Jayne Thornton
S. 33 Dr. Rainer Loose
S. 34-36 gettyimages, Constantini Michele, Jeff Cadge
S. 37 links: Dr. Fred Wolf
S. 37 rechts: BMBF
S. 38 links: gettyimages, Rayman
S. 38 rechts: BMBF
S. 39 gettyimages, 3D Clinic



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Bernstein Zentren – Forschung für die Zukunft

Das menschliche Gehirn ist eine der komplexesten Strukturen der biologischen Evolution. Es ist Sitz mentaler Funktionen wie der Denkfähigkeit, des Gedächtnisses, der Emotionen und des zielgerichteten Verhaltens. Die Erforschung von Struktur und Funktion des Gehirns, die Identifizierung grundlegender Mechanismen und Prinzipien der Informationsverarbeitung des Gehirns bedeutet für die Neurowissenschaften noch immer eine erhebliche Herausforderung.

Die Neurowissenschaften besitzen darüber hinaus jedoch ein Innovationspotenzial für anwendungsorientierte Forschungsgebiete wie kaum ein anderes Wissenschaftsfeld. Aus diesem Grund haben die Neurowissenschaften einen herausragenden Stellenwert für die Zukunftsfähigkeit unseres Landes. Wer das Denken versteht, gewinnt Chancen für die Wissenschaft und den Alltag. Die Bedeutung von Erkenntnisfortschritten in den Neurowissenschaften ist bereits spürbar. Zunehmend zeichnen sich klinische und technologische Anwendungen ab: für die Prävention und Therapie von Erkrankungen des Gehirns, für die Entwicklung hochleistungsfähiger Prothesen, für intelligentere und kundenfreundlichere Technik und nicht zuletzt für das Bildungswesen.

Mit dem Ziel, die Forschung zu beschleunigen und das Innovationspotenzial der Neurowissenschaften auszuschöpfen, hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit der Förderinitiative "Nationales Netzwerk Computational Neuroscience" einen neuen Forschungsansatz aufgegriffen. Das interdisziplinäre Konzept der Computational Neuroscience macht das gezielte Zusammenwirken von Neurowissenschaften, Biologie, Medizin, Physik, Mathematik und Informatik erforderlich. Intelligente, durchsetzungsfähige Lösungsansätze entstehen nur, wenn Menschen mit verschiedenen Lebens- und Forschungserfahrungen zusammen kommen: Experimentatoren und Theoretiker, Grundlagenforscher und anwendungsorientierte Experten, Naturwissenschaftler, Mediziner und Sozialwissenschaftler.



In den vier „Bernstein Zentren für Computational Neuroscience“ (BCCN), die das BMBF im Rahmen des Nationalen Netzwerkes gegründet hat, werden die Kapazitäten dieser Disziplinen in einer neuen, international sichtbaren Form zusammengeführt und ausgebaut.

Mit dieser Broschüre lade ich Sie ein zu einem Streifzug durch die vier deutschen Bernstein Zentren und durch die faszinierende Welt der Computational Neuroscience. Ich bin sicher, dass ihre Forschungsergebnisse unseren Alltag verändern werden.

Dr. Annette Schavan, MdB
Bundesministerin für Bildung und Forschung

Inhalt

	Seite
VORWORT	2
GRUNDLAGEN	
Theorie und Experiment – Gemeinsamer Aufbruch in den Bernstein Zentren	4
PORTRAITS	
Präzision und Varianz – Bernstein Zentrum Berlin	6
Dynamik – Bernstein Zentrum Freiburg	7
Adaptivität – Bernstein Zentrum Göttingen	8
Raum und Zeit – Bernstein Zentrum München	9
VERSTEHEN und HEILEN	
Augen aus dem Gleichgewicht – Weshalb Beifahrer reisekrank werden	10
Neurone feuern im Gleichtakt – Epilepsie: Die andere Seite der Synchronisation	14
Computer-Doc – Hirnströme auf Knopfdruck interpretieren	16
GREIFEN und BEGREIFEN	
Gedacht – getan! Prothesen der Zukunft	18
Der laufende Roboter – Künstliche Neurone lassen RunBot laufen wie einen Menschen	22
ORIENTIEREN und RECHNEN	
„Ohren gespitzt und hergehört!“ – Das Hören gibt noch viele Rätsel auf	24
Wenn das Mobiltelefon nicht hören kann – Natur liefert Vorbild für maschinelle Spracherkennung	26
Maschinen lernen sehen – Auf zwei Wegen machen sich Rechner ein Bild	28
Was ein Auto von einer Fliege lernen kann – Neue Technik für die Verkehrssicherheit	30
Billionen Kontakte im ständigen Wandel – Das Geheimnis steckt in den Synapsen	34
WAHRNEHMEN und LERNEN	
Kanten als Schlüssel zum Gehirn – Sehkarten zeigen den Umbau des Netzwerkes	36
Neue Pfade für neue Informationen – Das Gehirn lernt lebenslang	38
INFO und KONTAKT	40

Grundlagen

Theorie und Experiment – Gemeinsamer Aufbruch in den Bernstein Zentren

In der Gehirnforschung arbeiten Biologen, Mediziner und Psychologen zusammen. Sie wollen die Funktionsweise des Nervensystems ergründen, die Ursachen von Erkrankungen erkennen, gezielt Therapien entwickeln und Prinzipien für technische Entwicklungen ableiten. In einem neuen Ansatz werden diese experimentellen Forschungen ergänzt durch Physiker, Mathematiker und

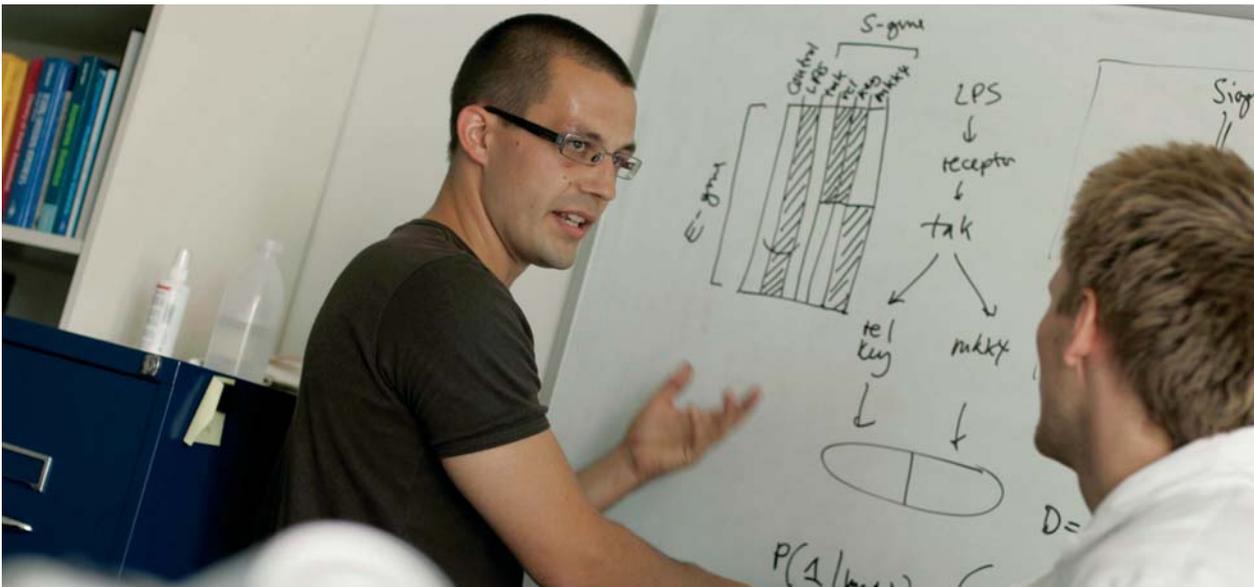
Ingenieure, die mit theoretischen Ansätzen dieselben Ziele verfolgen. In den Bernstein Zentren für Computational Neuroscience kombinieren Forscherinnen und Forscher mathematische Modelle mit biologischen Konzepten und kommen so zu völlig neuen Einsichten.

Der für die Lebenswissenschaften neue und zukunftsweisende Ansatz der Computational Neuroscience bringt enorme Erkenntnisgewinne über die grundlegenden Funktionen unseres Gehirns. Er führt schneller zu Ergebnissen und beschleunigt technische Anwendungen ebenso wie neuartige Therapieansätze für bisher unverstandene Phänomene, etwa den Tinnitus. Die Wissenschaftler arbeiten mit Hochdruck an Warnsystemen für einen herannahenden epileptischen Anfall oder modellieren mit Computern – einem Zeitraffer ähnlich – schleichende Prozesse, die beim Menschen im Verlauf von 30 Jahren zu Depressionen führen können.

Basis dieser Arbeiten ist das gemeinsame Herangehen von Theoretikern und experimentell ausgerichteten Forschern. Mit der Gründung der Bernstein Zentren fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) diese Einbindung theoretischer Ansätze in die Neurowissenschaften und etabliert die junge Disziplin Computational Neuroscience damit nachhaltig in Deutschland. Forscherverbände aus Berlin, Freiburg, Göttingen und München überzeugten die internationale Jury des BMBF mit ihren hervorragenden Konzepten. Alle vier Zentren legten zukunftsweisende multidisziplinäre Arbeitsprogramme für die Verknüpfung theoretischer und experimenteller Ansätze in der Gehirnforschung vor. Seit September 2004 fördert das BMBF die Realisierung dieser Konzepte in den Bernstein Zentren für Computational Neuroscience mit rund 36 Millionen Euro.

Damit werden vorhandene Kompetenzen gebündelt, neue Ressourcen entstehen. Zusätzliche Stellen für Wissenschaftler wurden und werden eingerichtet, die Forschungskonzepte können somit umgesetzt werden. Zusätzlich zur Förderung durch das BMBF ergänzen die beteiligten Forschungseinrichtungen die Fördermaßnahme mit dem Aufbau der Infrastruktur und der Etablierung der Lehre für die Disziplin Computa-





tional Neuroscience. Die im Rahmen der BMBF-Förderung neu geschaffenen Professuren werden nach fünf Jahren von den Hochschulen weitergeführt. Dank dieses Engagements der Universitäten und Bundesländer – und durch die Zusage, in der Lehre einen Schwerpunkt zugunsten der Computational Neuroscience einzurichten – wird die exzellente Expertise in den Zentren nachhaltig gesichert und ihre Innovationsfähigkeit dauerhaft gewährleistet.

Die vorliegende Broschüre zeigt beispielhaft, auf welche Ideen Informatiker, Mathematiker und Physiker kommen, wenn sie gemeinsam mit Biologen, Medizinern und Psychologen solchen Fragen nachgehen: Wie lernen Autos von Fliegen? Wie produzieren Rechner ein epilepsieartiges Chaos? Oder: Wieso klingelt es in den Ohren? Wie können Computer Gedanken lesen? Wie vermögen Gedanken Prothesen zu steuern? Und können Roboter tatsächlich Laufen und Sehen lernen? Die Beispiele zeigen: Hier wird Grundlagenforschung geleistet, die unseren Alltag verändern und prägen wird. Forschung für die Zukunft ...

Die Bernstein Zentren zeigen mit ihren Arbeiten die Richtung auf, die die Hirnforschung in den kommenden Jahren nehmen wird. Wie das Gehirn arbeitet und welche immensen Leistungen es vollbringt, kann nur verstanden werden, wenn

experimentierende Lebenswissenschaftler und Theoretiker zusammenarbeiten. Und das tun sie in den Bernstein Zentren offensichtlich mit großem Engagement und viel Spaß. Die folgenden Beiträge gewähren einen kleinen Einblick in die faszinierende Welt der Bernstein Zentren für Computational Neuroscience. Sie zeigen eindrucksvoll, wie Geist und Computer wechselseitig voneinander profitieren.

Julius Bernstein
Die „Membrantheorie“ des Physiologen Julius Bernstein (1839-1917) enthielt erstmalig eine biophysikalische Erklärung für die neuronale Erregungsausbreitung an Nervenfasern. Damit etablierte er die erste wirklich quantitative Theorie der Elektrophysiologie.



Portraits

Präzision und Varianz – Bernstein Zentrum Berlin



Die Frage, die im Zentrum des Interesses des Berliner Bernstein Zentrums steht, ist eine der faszinierendsten Fragen der Neurowissenschaften: Wie kann es sein, dass unser Gehirn einerseits innerhalb von Millisekunden auf einen Reiz, wie ein im Augenwinkel auftauchendes Auto, reagiert und eine perfekte Reaktion hervorruft, sich andererseits aber ständig verändert?

So zeigt ein Blick auf unsere neuronalen Strukturen – oder die von Insekten –, dass das Gehirn auf denselben Reiz jedes Mal anders reagiert. Stehen Präzision und Variabilität im Widerspruch zueinander? Diese Frage hat direkte Auswirkungen auf die Medizin. Die Wissenschaftler in Berlin untersuchen deshalb unter anderem, wie Synchronisationsprozesse von Nervenzellen mit Epilepsie in Verbindung stehen (S. 14-15). Sie fragen sich auch, was geschieht, wenn neue Neurone in das Gehirn integriert werden (S. 38-39). Und sie machen den Computer zum Partner des Arztes, indem sie ihn zum Beispiel in EEG-Aufzeichnungen nach Krankheitsmerkmalen suchen lassen (S. 16-17).

Aber nicht nur diese Aufgaben stehen auf der Agenda des Bernstein Zentrums Berlin. Ein besonderer Schwerpunkt ist die fundamentale Frage, ob die Variabilität unseres Gehirns ein Grundrauschen ist, das bei der Verarbeitung von Informationen in einem biophysikalischen System automatisch entsteht. Oder haben wir etwa grundlegende Prinzipien der neuronalen Verarbeitung noch gar nicht verstanden?

Daran arbeiten Gruppen an der Charité, der Freien Universität, der Humboldt-Universität und der Technischen Universität Berlin, am Fraunhofer Institut FIRST, dem Max-Delbrück-Zentrum sowie dem Wissenschaftskolleg zu Berlin. Gemeinsam haben sie auch die „Graduate School for Computational Neuroscience“ mit einem interdisziplinären Master- und Promotionsstudiengang eingerichtet und schreiben jährlich mehrere Promotionsstipendien aus, um besonders talentierte Nachwuchswissenschaftler zu gewinnen.

Dynamik – Bernstein Zentrum Freiburg

Egal ob wir schlafen oder wach sind – im Großhirn

herrscht immer reger Betrieb. Es hat seine eigene

Dynamik. Man könnte fast meinen, es sei in ein

ständiges Selbstgespräch vertieft.

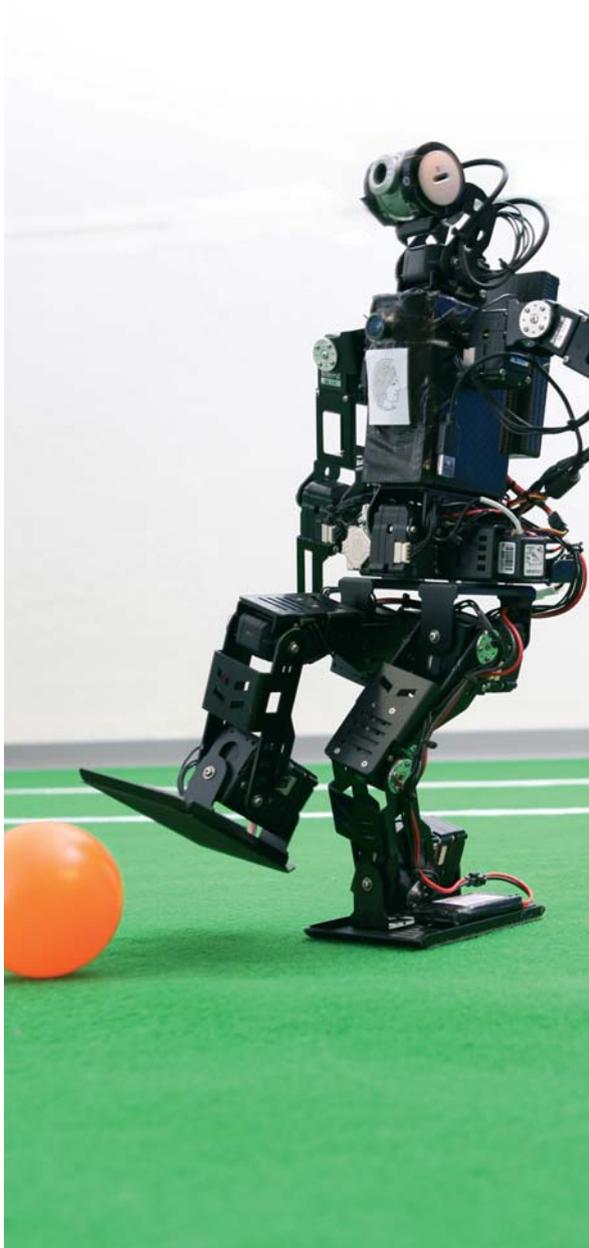
Im Bernstein Zentrum Freiburg wird diese Eigendynamik analysiert. Wie ändert sich die Kommunikation zwischen den Nervenzellen, wenn eine Bewegung geplant wird? Kann man aus der gemeinsamen Reaktion von 10.000 Nervenzellen ein Steuersignal für eine Prothese ableiten (S. 18-21)? Wann und wie kündigt sich im „Grundrauschen“ des Gehirns ein epileptischer Anfall an (S. 14-15)? Um diese Prozesse besser zu verstehen, entwerfen Theoretiker im Computer riesige neuronale Netze. Sie simulieren einen Kubikmillimeter Großhirn mit rund 100.000 Nervenzellen, verknüpfen jede dieser Zellen 10.000-fach miteinander und lernen, wie ein solches Netz funktioniert – oder wann es zusammenbricht (S. 34-35). Gleichzeitig stellen sich die Wissenschaftler die Frage, ob die Zellen im lebenden Gehirn optimal verknüpft sind, oder ob es theoretisch möglich ist, noch bessere künstliche Netzwerke zu entwerfen, die schneller oder vielleicht robuster arbeiten. Diese Frage interessiert besonders die Entwickler von Robotersystemen.

Zur Lösung dieser Fragen arbeiten am Freiburger Bernstein Zentrum Forscher aus den Fachrichtungen Biologie, Physik, Mathematik, Medizin, Informatik und Mikrosystemtechnik sowie Wissenschaftler der Honda Research Institute Europe GmbH und der Multi Channel Systems GmbH zusammen.

Ein neues Studienprogramm bündelt das Wissen all dieser Disziplinen. Hier arbeiten Doktoranden nicht nur an ihren Forschungsprojekten, sondern erhalten auch eine umfassende Ausbildung in allen relevanten Bereichen der Computational Neuroscience. Vorlesungen, Kurse und Sommerschulen zum Thema Gehirnforschung für Studierende außerhalb des Bernstein Zentrums runden das Ausbildungsangebot ab. Auch für Post-Doktoranden gibt es in Freiburg ein neuartiges Seminarprogramm, das besonders die Schlüsselqualifikationen der zukünftigen Führungskräfte berücksichtigt.



Adaptivität – Bernstein Zentrum Göttingen



Neuronale Netze sind Anpassungskünstler. Adaptivität wird diese Form der Anpassung genannt und sie gilt als eines der bedeutendsten ungelösten Rätsel der Neurowissenschaften. Die Fähigkeit, sich auf eine jeweilige Aufgabe einzustellen und zu lernen, ergründen die Forscher am Bernstein Zentrum Göttingen.

Die Adaptivität ist der gemeinsame Nenner, wenn Wissenschaftler die Funktion einzelner Verbindungen zwischen zwei Nervenzellen untersuchen. Wenn sie auf der kognitiven Ebene untersuchen, wie unsere Aufmerksamkeit funktioniert. Wenn sie künstliche Netzwerke sich selbst organisieren lassen. Wenn sie Roboter das Sehen lehren oder sie auf zwei Beinen rennen lassen (S. 22-23, 28-29). Und natürlich ist es ein Paradebeispiel für Adaption, wenn eine funktionierende Verbindung zwischen einem Menschen und einer Prothese geknüpft werden muss (S. 18-21).

An diesen unterschiedlichen Ansätzen, das Phänomen der ungeheuren Anpassungsfähigkeit des Gehirns zu beleuchten, arbeiten Wissenschaftler verschiedener Ausrichtungen miteinander. Vier Fakultäten der Universität Göttingen – Physik, Biologie, Medizin und Mathematik mit dem Institut für Informatik – sind daran beteiligt. Forscher der Max-Planck-Institute für Dynamik und Selbstorganisation sowie für Biophysikalische Chemie arbeiten im Bernstein Zentrum mit. Hinzu kommen Arbeitsgruppen des Deutschen Primatenzentrums und die Forschungsabteilung der Otto Bock HealthCare GmbH.

Neben der Forschung widmet sich das Bernstein Zentrum Göttingen auch der Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Drei selbstständige Nachwuchsgruppen erforschen zum einen die biologische Seite der Neuroprothetik, zum anderen neue Datenanalysemethoden für neurobiologische Probleme oder auch nichtlineare Dynamiken in neuronalen Netzwerken. Hochschulabsolventen können an einer Graduate School auf dem Gebiet der Computational Neuroscience promovieren.

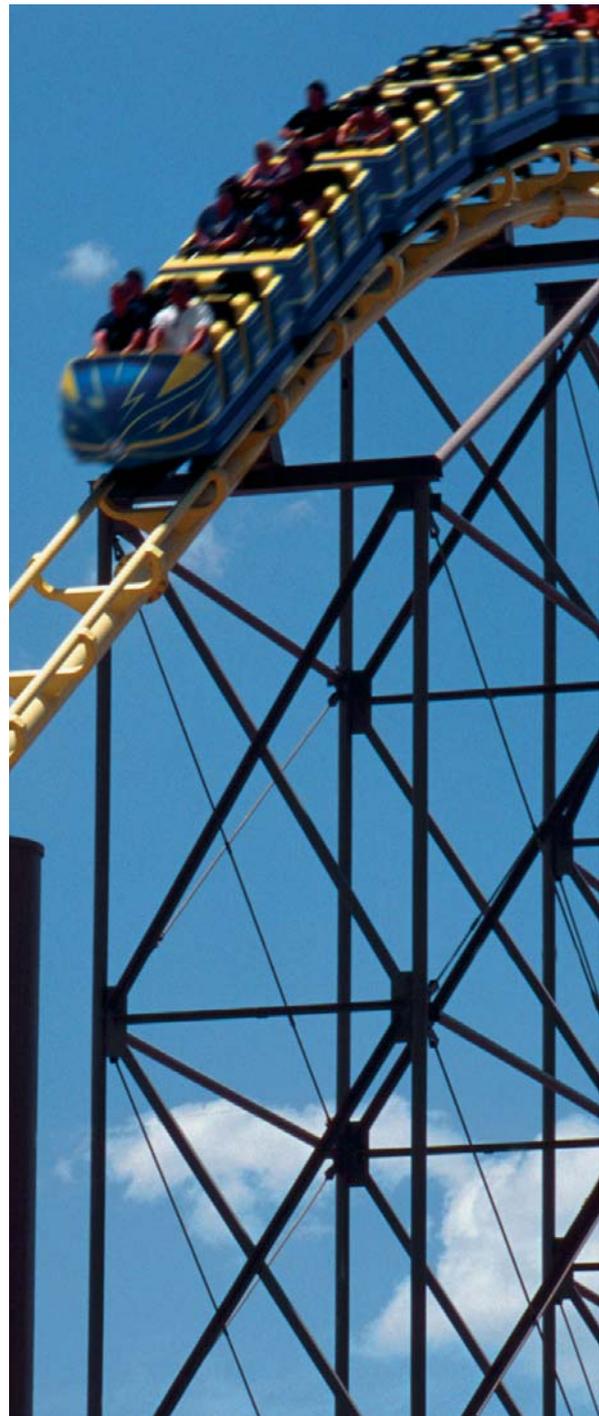
Raum und Zeit – Bernstein Zentrum München

Im Bernstein Zentrum München untersuchen Forscher, wie Sinnesorgane Bewegungen erkennen, wie das Gehirn sie auswertet und gleichzeitig Raum- und Zeiteindrücke verarbeitet.

Dabei haben sie Zeiträume von Bruchteilen einer Sekunde bis hin zu Minuten im Blick. Das Erkennen, ob ein Auto von links oder rechts heranzfährt, basiert beispielsweise auf Höreindrücken, die sich nur im Bereich von wenigen Millionstel Sekunden unterscheiden (S. 24-25). Gleichzeitig können wir Distanzen recht gut abschätzen, die mehrere Minuten Fußweg beanspruchen. Welche Rolle spielt dabei die „gefühlte“ Zeit für die Raumwahrnehmung? Und wieso kommen wir völlig durcheinander, wenn wir beim Gehen gleichzeitig rückwärts zählen (S. 30-33)? Wie beeinflussen sich Augen und Gleichgewichtssinn, wenn es auf der Achterbahn rund geht (S. 10-13)?

Klinische Aspekte, wie Schwindel und Übelkeit, interessieren die Münchener Forscher ebenso wie die Frage, was ein Fahrerassistenz-System im Auto von einer Stubenfliege lernen kann (S. 30-33). Dabei arbeiten Grundlagenforscher aus dem Max-Planck-Institut für Neurobiologie eng mit Ingenieuren der Technischen Universität München zusammen. Und Mediziner des Universitätsklinikums Großhadern haben sich mit Ingenieuren von Infineon und Biologen der Ludwig-Maximilians-Universität München sowie theoretischen Physikern der Technischen Universität zusammengeschlossen.

Allen Projekten ist gemeinsam, dass sie Experiment und Theorie vereinen. Das bedeutet auch, dass hier Vertreter aus Fachdisziplinen kooperieren, die zuvor nicht oder nur ausnahmsweise miteinander gearbeitet haben: Physiker erleben ein biologisches Experiment, Biologen erkennen den Wert mathematischer Modelle für ihre Theorien. Damit sich zwischen den unterschiedlichen Fachrichtungen eine gemeinsame Sprache und Herangehensweise entwickelt, bietet das Bernstein Zentrum München umfangreiche Vorlesungen, Seminare und Zusatzkurse über Computational Neuroscience an. Gleichzeitig sind in München in diesem Fachbereich Master-, MD-PhD- und PhD-Abschlüsse möglich.



Verstehen und Heilen

Augen aus dem Gleichgewicht – Weshalb Beifahrer reisekrank werden

„Papa, Mama, mir ist sooo übel“ – den Hilferuf aus dem Fond des Wagens, bekommen viele Eltern in der Ferienzeit zu hören. Der Nachwuchs – fest verschnallt, ohne sich bewegen zu können – malt in einem Buch, spielt ein Spiel oder versucht sonst irgendwie die lange Fahrzeit an den Urlaubsort zu überbrücken. Nur selten blicken Kinder während der Fahrt aus dem Fenster und lassen die Landschaft an sich vorüberziehen. Muss der Beifahrer dann noch die Karte lesen, ist meist schon zweien im Auto elend. Den Grund dafür kennen Dr. Stefan Glasauer vom Zentrum für Sensomotorische Forschung der Universität

München und der Direktor der Neurologischen Klinik, Professor Thomas Brandt: Es ist der Widerspruch von Bewegungsmeldungen über Augen und Gleichgewichtssinn im Innenohr.

„Wir haben ein neues Prinzip der Interaktion zwischen visuellem und vestibulärem System gefunden“, erklärt Thomas Brandt. Das vestibuläre System ist unser Gleichgewichtssinn, der im Innenohr sitzt. Hier schwingt eine Flüssigkeit hin und her und drückt gegen Haarsinneszellen, wenn unser Körper eine Beschleunigung erfährt. Wird das Gleichgewichtssystem durch Bewegungen gereizt, hemmt dies gleichzeitig den visuellen Kortex. Das funktioniert auch umgekehrt. Nehmen die Augen großflächige Bewegungsreize auf, wird das Gleichgewichtssystem gehemmt. „Das ist durchaus sinnvoll“, sagt Brandt, „weil beide Systeme für die Wahrnehmung der Eigenbewegung zuständig sind, aber diese unterschiedlich wahrnehmen.“



Bei konstanter Geschwindigkeit lösen die am Fenster vorbeiziehenden Bilder das Gefühl der Eigenbewegung aus. Das Paradebeispiel ist der im Bahnhof ganz langsam anfahrende Nachbarzug. Eine Beschleunigung ist nicht zu spüren, aber die Augen signalisieren eine Bewegung des eigenen stehenden Zuges.

Das große Elend

Zurück zu unserem Auto, mit den gegen Übelkeit kämpfenden Insassen: „Beim Autofahren meldet das vestibuläre System Bremsen, Beschleunigung und Bodenwellen“, erklärt Thomas Brandt. „Die Augen melden jedoch beim Lesen der Karte oder beim Spielen: ‚ich bewege mich doch gar nicht.‘ Die Übelkeit kommt daher, dass von zwei Sinnessystemen unterschiedliche Bewegungsempfindungen gemeldet werden.“ Besonders extrem sei dieser Effekt in Seenotkapseln auf dem Meer. „Da wird jedem schlecht!“, ist Thomas Brandt überzeugt, „weil es in diesen Kapseln keine Fenster und keine stationären Umweltkontraste gibt und man ohne Orientierung im Raum vom Meer hin und her geschleudert wird.“ Daher ist es auch nicht ratsam, auf der Achterbahn die Augen zu schließen. Aber es funktioniert auch anders herum, etwa im gemütlichen Sessel eines Imax-Kinos. Wenn die Bilder unserem Gehirn eine rasante Verfolgungsjagd präsentieren, das Gleichgewichtssystem jedoch nur das sanfte Nachgeben des Polsters spürt, vergeht manchem Kinobesucher der Appetit auf das Popcorn.

Gehemmte Neurone

Auf solche Zusammenhänge des Zusammenspiels der Sinne sind die Wissenschaftler des Bernstein Zentrums München bei Versuchsreihen im Kernspintomographen gestoßen. Thomas Brandt präsentiert seinen im Gerät liegenden Probanden mal einfache optische und mal einfache vestibuläre Reize. Die Beobachtung: Wird der visuelle Kortex der Versuchsteilnehmer gereizt, zeigt die Aufnahme der Großhirnrinde, dass die Aktivität der Region, die für Gleichgewichtsreize zuständig ist, abnimmt. Die Frage: Warum sinkt die Aktivität in einer Hirnregion, die überhaupt nicht am Sehen beteiligt ist? Um diese Informationen zu interpretieren, hat Stefan Glasauer ein mathematisches Modell entwickelt. Es bestätigt, was dem Mediziner Thomas Brandt ohnehin schon als physiologisch sinnvoll erschien. „Das Modell zeigt, dass ein hemmender Ein-

fluss zwischen den Gehirnregionen sinnvoll ist, da zwei Sensorsignale ständig abgeglichen werden“, sagt der Ingenieur Glasauer. „Diese so genannte Sensorfusion ist eine der Aufgaben des Zentralnervensystems, um sensorische Signale in sinnvolle Wahrnehmungen zu verwandeln.“ Das Modell dafür ist im Gegensatz zu vielen anderen mathematischen Modellen keine Simulation eines neuronalen Netzes. Es baut auf mathematisch formulierten Annahmen aus der Schätztheorie auf. Wenn das visuelle System das Durchfahren einer Kurve meldet, löst es im Gleichgewichtssinn eine Erwartung aus. „Wenn man das in Mathematik fasst, sieht man, dass dies zu einer gegenseitigen Hemmung führt.“

Stabile Bilder

Aber der Zusammenhang zwischen den Bewegungen der Augen und dem Gleichgewichtssinn hat natürlich noch mehr zu bieten als Übelkeit beim Autofahren. Thomas Brandt gibt



ein Beispiel: „Wenn man mit einer Kamera durch das Gelände läuft, sind alle Bilder verwackelt. Die Bilder, die wir wahrnehmen, sind jedoch nicht verwackelt, weil der Reflex vom Gleichgewichtsorgan auf die Augen dafür sorgt, dass bei einer Kopfbewegung nach oben das Auge um den gleichen Betrag nach unten gedreht wird.“ Das funktioniert auch mit Bewegungen zur Seite, so dass die Bilder auf der Netzhaut stabil bleiben – die Voraussetzung dafür, dass wir in der Bewegung Gesichter erkennen und sogar Texte lesen können. Die Augen werden ständig durch das Gleichgewichtssystem stabilisiert.

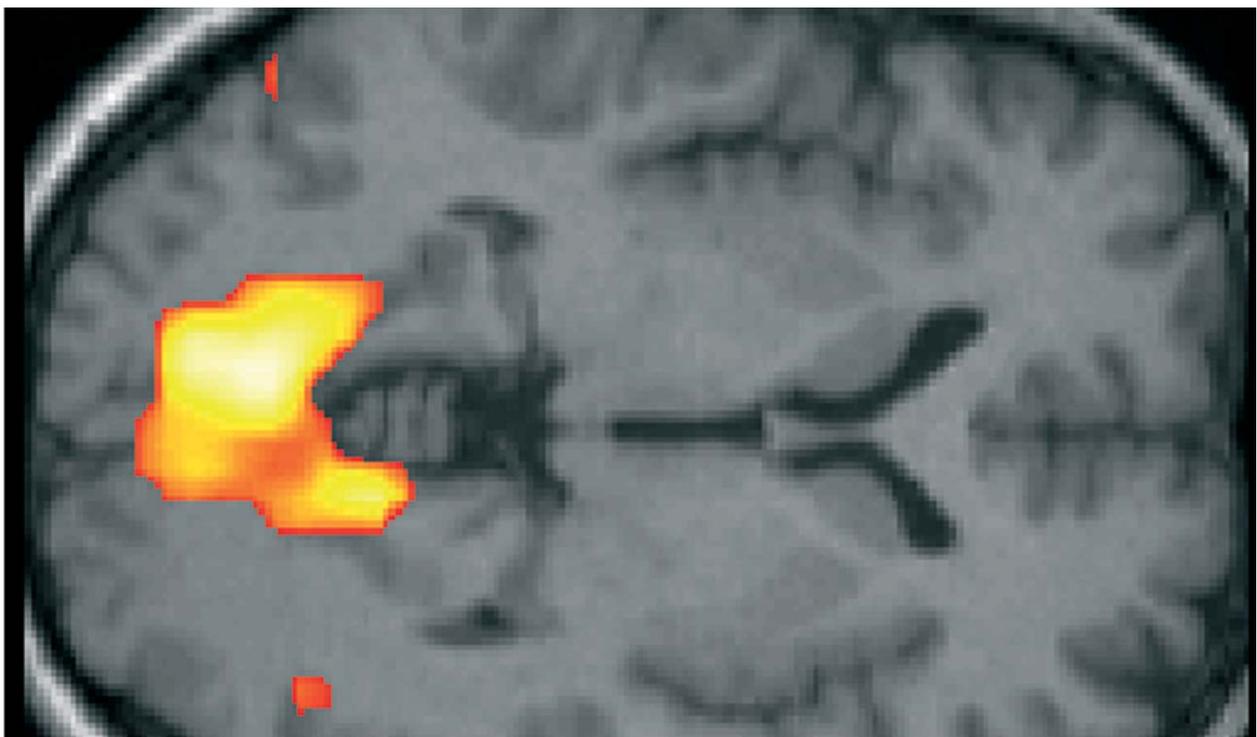
Allerdings lässt sich dieser Regelmechanismus austricksen. Machen Sie einen kleinen Selbstversuch: Drehen Sie sich eine halbe Minute schnell um Ihre eigene Achse und bleiben dann plötzlich stehen. Erstens ist Ihnen dann furchtbar schwindelig, weil Ihr Gleichgewichtsorgan für so lange Drehungen nicht ausgelegt ist. Und zweitens stellt sich noch ein anderer

Effekt ein: Ihre Augen flattern. Während der Drehung justieren sie ständig nach und wenn die Drehung plötzlich aufhört, schlägt das Auge sozusagen in die andere Richtung. Das ist normal und muss so sein.

Augenzittern wider Willen

„Es gibt jedoch Formen des Augenzitterns, die nicht vom Gleichgewichtssinn herrühren“, sagt Stefan Glasauer. „Bis heute weiß niemand genau, was den Patienten eigentlich fehlt, denn auch bildgebende Verfahren zeigen keinen Befund.“ Das Krankheitsbild nennt sich Downbeat-Nystagmus. Dabei schlägt das Auge schnell nach unten, als würde der Patient plötzlich auf den Boden sehen, und driftet dann langsam wieder nach oben. Menschen mit diesem Augenzittern können nicht mehr erkennen, wer ihnen auf der Straße entgegen kommt. Mit verantwortlich für diese Bewegung der Augen sind Nervenzellen im Kleinhirn. Sie sind aktiv, wenn das Auge sich von oben nach unten bewegt – ihre Gegenspieler, also Neurone, die feuern, wenn das Auge wieder von

Visuelle Eindrücke verarbeitet das Gehirn in einem Bereich des Hinterkopfes, dem visuellen Kortex (MR-Aufnahme von oben).





unten nach oben wandert, wurden bislang jedoch noch nicht gefunden.

„Wir glauben nun, dass es diese Zellen gar nicht gibt“, sagt Glasauer. Um zu untersuchen, wie die Augenbewegungen gesteuert sind, hat er ein Modell entwickelt. Die Daten für seine Rechnungen bekommt er von Probanden, die sich eine

Nystagmus

Ein Nystagmus ist eine unwillkürliche und rhythmische Bewegung eines Organs – meist der Augen. Deshalb wird „Augenzittern“ häufig als Synonym verwendet. Ohne den physiologischen Nystagmus funktioniert unsere Bildverarbeitung nicht. Er hält das durch die Linse projizierte Bild auf der Netzhaut konstant, so dass eine Wahrnehmung möglich ist. Die pathologischen Formen entstehen vor allem durch Erkrankungen des Hirnstamms, des Kleinhirns oder des vestibulären Systems.

Menschen mit Augenzittern können nicht mehr erkennen, wer ihnen auf der Straße entgegenkommt.

Speziallinse auf ihr Auge setzen lassen. In dieser Kontaktlinse sind hauchfeine Drähte zu einer Spule aufgewickelt, die in einem magnetischen Wechselfeld einen Strom induziert. Drähte, die aus der Linse hängen, übertragen die Informationen über die Augenbewegungen zu Stefan Glasauers Rechner. „Die Teilnehmer sitzen im dunklen Labor und wir projizieren einen Laserpunkt an die Wand, dem sie mit den Augen folgen müssen. Der bewegt sich mal langsam, mal springt er und mal verschwindet er.“ Und das Modell zeigt: Mit nur einer Sorte Neuronen lassen sich alle Augenbewegungen erklären. Wenn dann an dieser Stelle ein Fehler in das Modell eingebaut wird, entsteht ein virtueller Downbeat-Nystagmus.

„Mit dem Wissen können wir uns bei der Ursachenforschung jetzt auf das Kleinhirn konzentrieren“, sagt Glasauer. „Wir haben auch bereits einen neuen Therapieansatz mit einem Medikament entwickelt, das ursprünglich aus der Behandlung der Multiplen Sklerose kommt. Aktuelle Versuche zeigen, dass es tatsächlich die Sensitivität der Zellen verbessert, die die Augenbewegungen steuern und beim Downbeat-Nystagmus hilft.“

Neurone feuern im Gleichtakt – Epilepsie: Die andere Seite der Synchronisation

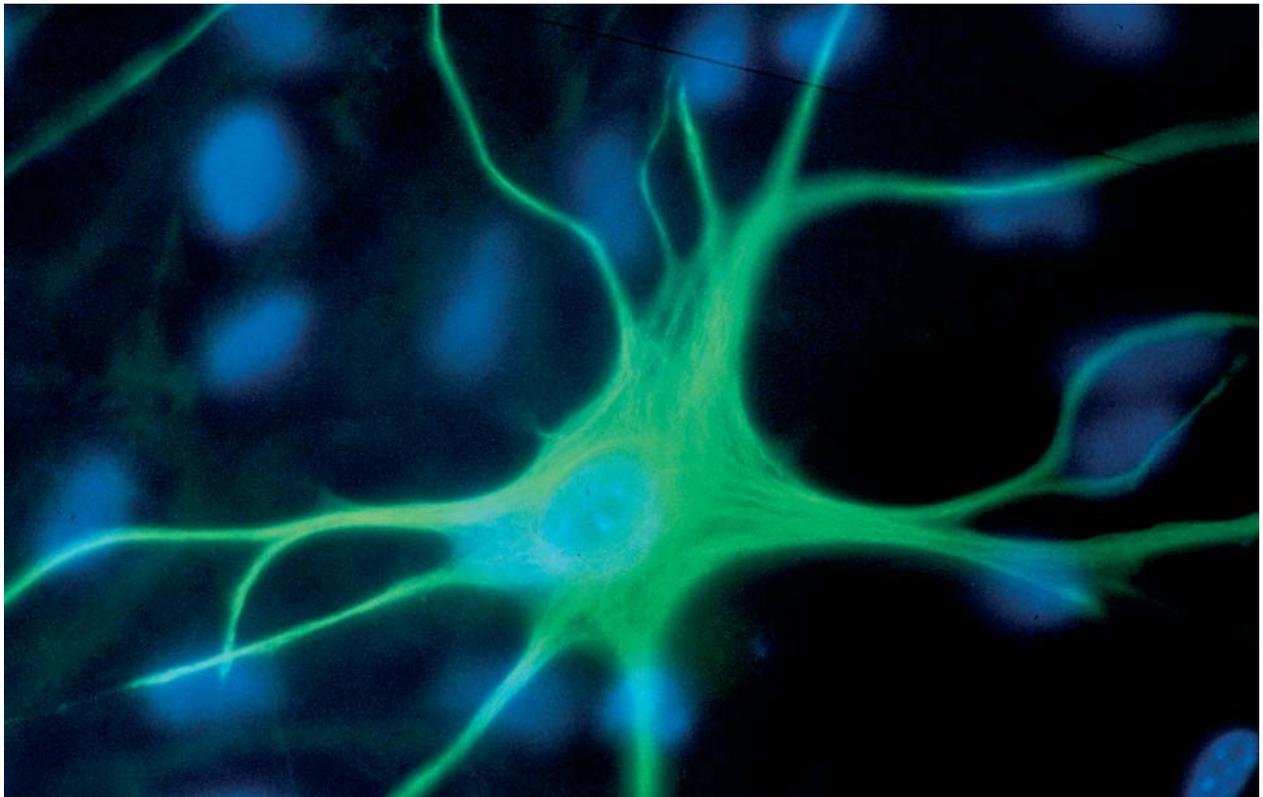
Epilepsie ist bislang eine unberechenbare Krankheit. An der Kasse im Supermarkt, beim Radfahren oder zu Hause im Bett – überall können die Betroffenen von einem Anfall überrascht werden. Manchmal kündigt er sich Sekunden vorher an. Oft haben die Kranken aber nicht einmal mehr Zeit, sich auf den Boden zu legen, um der ersten lebensbedrohlichen Gefahr, dem Sturz, auszuweichen.

Epileptische Attacken werden durch eine Fehlfunktion der Nervenzellen im Gehirn ausgelöst. „Einzelne Neurone entladen sich mit charakteristischen Mustern“, erklärt Dr. Andreas

Schulze-Bonhage vom Bernstein Zentrum Freiburg. „Diese Nervenzellen koppeln dann an andere Neurone. Diese Ankopplung betrifft bestimmte Areale des Gehirns, die zeitgleich besonders stark entladen.“ Das Ergebnis sind die bekannten Symptome eines epileptischen Anfalls: kognitive Defizite, motorische Störungen bis zu Verkrampfungen der Extremitäten oder Automatismen. „Wir untersuchen, wie es zu dem Übergang kommt, der einen epileptischen Anfall kennzeichnet“, sagt Andreas Schulze-Bonhage. Sein Ziel ist ein zuverlässiges Frühwarnsystem.

Die minutiös abgestimmte Aktivität von Nervenzellen ist die Basis unserer Auffassungsgabe. Wir könnten nicht so schnell hören, sehen, riechen, schmecken und dabei auch noch denken, wenn die Neurone nicht eine grundlegende Fähigkeit

Das Gehirn verfügt über rund 100 Milliarden Nervenzellen. Hier wurde eine Nervenzelle mit Hilfe von Antikörpern grün eingefärbt. Die Zellkerne von benachbarten Zellen erscheinen als blaue Punkte.



hätten – die zur Synchronisation. Bei einem epileptischen Anfall jedoch übertreibt das Gehirn. Es feuert in ganzen Bereichen gleichzeitig aus allen Neuronen. Epilepsie ist damit die andere Seite der Synchronisation.

Feuerndes Warten

Wie effektiv Synchronisation ist, zeigen Versuche, die Dr. Sonja Grün, im Moment am Bernstein Zentrum Berlin, auswertet. Demnächst wird sie als Unit-Leader an das renommierte *RIKEN Brain Science Institute* nach Japan wechseln. Das Großhirn hat etwa 100 Milliarden Nervenzellen und jede einzelne dieser Zellen ist mit 10.000 anderen über Synapsen verknüpft. Die theoretische Neurowissenschaftlerin hat eine Methode entwickelt, mit der sie das synchrone Feuern einzelner Neurone aus dem Feuer unendlich vieler Nervenzellen herausfiltern kann. Der Versuch: Ein Affe drückt eine Taste und weiß, dass nach einiger Zeit ein Signal ertönt, nach dem er wieder auf einen Knopf drücken muss. Allerdings weiß der Affe nicht, wann dieses Signal kommt. „Das Zeitintervall, das er abwarten muss, wird aus vier möglichen gewählt. Da er lange trainiert ist, kennt er die Intervalle und weiß, wann er das Signal zu erwarten hat“, beschreibt Sonja Grün. „Mich interessiert nun, wie die Vorbereitung zur Armbewegung neuronal kodiert ist.“ Was die Datenaufzeichnung zeigt, während der Affe still da sitzt und wartet: Immer wenn ein Signal zu erwarten ist, feuern die Neurone im Bewegungszentrum synchron, ohne dass der Affe auch nur zuckt.

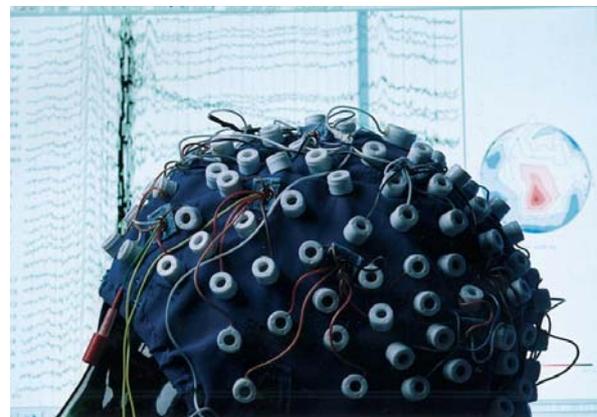
Epilepsie-Frühwarnsystem

Genau solchen verborgenen synchronen Aktivitäten geht auch Andreas Schulze-Bonhage bei seinen Patienten nach, auf der Suche nach frühen Anzeichen für epileptische Anfälle. Er untersucht keine einzelnen Neurone, sondern interpretiert EEG-Signale – sowohl von Elektroden auf der Kopfhaut, als auch von solchen, die direkt auf dem Gehirn liegen. Mit komplizierten Algorithmen filtert er gemeinsam mit Physikern des Freiburger Zentrums für Datenanalyse und Modellbildung die Informationen, die das Gehirn an die Elektroden weiterreicht – und ist fündig geworden. „Die Anzeichen zeigen sich meist zehn bis 30 Minuten vor einem Anfall, es gibt aber Hinweise, dass es bereits drei Stunden vor einem Anfall veränderte Entladungsformen gibt.“ Diese Zeitspannen reichen aus, um dem drohenden Anfall noch entgegen zu steu-



Synchrone Bewegungen vermitteln uns ein Gefühl der Harmonie. Synchrone Vorgänge im Gehirn können eine besondere Aufmerksamkeit signalisieren oder sie kündigen einen epileptischen Anfall an.

ern, ob mit Medikamenten oder durch elektrische Stimulationen des Gehirns, die die krankhafte Synchronisation der Nervenzellen aus dem Takt bringt. „Der kritische Punkt ist, den Anfall verlässlich genug vorauszusagen“, betont Andreas Schulze-Bonhage, „und dazu tragen die Forschungen am Bernstein Zentrum Freiburg wesentlich bei.“



Mit Hilfe einer EEG-Kappe werden kleinste elektrische Spannungen auf der Kopfhaut gemessen. Bei einem epileptischen Anfall zeigt das EEG sehr typische Veränderungen.

Computer-Doc – Hirnströme auf Knopfdruck interpretieren

Der geschulte Blick des Neurologen auf ein mit Kurven und Zacken übersätes Blatt Papier entlarvt Bewusstseins- oder Schlafstörungen und hilft dabei, Vergiftungen oder Epilepsien aufzudecken. Hochentwickelte Computerprogramme sollen in Zukunft bei der Interpretation der Signale helfen, die das menschliche Gehirn in jeder Sekunde seines Lebens produziert.

Gewonnen werden die für den Laien wirt erscheinenden Zitterpartituren per Elektroenzephalogramm – kurz EEG genannt. Seit fast 80 Jahren nutzen Ärzte und Wissenschaftler diese Technik. Sie erfassen hiermit die extrem schwachen, aber dennoch auf der Kopfhaut messbaren elektrischen Ströme des Gehirns. Dabei hat die Rolle Endlospapier ausgedient. Seit Jahren werden EEG-Daten in den meisten Kliniken per Computer aufgenommen und digital gespeichert.

EEG

Während wir denken oder fühlen, aber auch wenn wir schlafen, gibt unser Gehirn ständig chemische und elektrische Impulse ab. Die Summe der elektrischen Impulse erzeugt auf der Kopfhaut winzige – aber dennoch messbare – elektrische Spannungen im Mikrovoltbereich (millionstel Volt). Die Aufnahme der Gehirnströme per EEG ist schmerzfrei und ungefährlich. Der Patient erhält eine eng anliegende Kappe, in der innen Noppen mit Elektrodenfühlern sitzen. Diese registrieren kleinste elektrische Spannungen auf der Kopfhaut. Die Wissenschaftler des Bernstein Zentrums Berlin arbeiten mit einem System, das über 128 Fühler verfügt.

Diagnose per Mausclick

Professor Dr. Gabriel Curio und sein Team vom Bernstein Zentrum Berlin sitzen auf einem wahren Berg an EEG-Daten. In der Arbeitsgruppe Neurophysik an der Klinik für Neurologie der Berliner Charité werden jährlich rund 3.000 EEGs aufgenommen. Weitere 10.000 EEGs der vergangenen Jahre sind elektronisch verfügbar. Ein Ziel von Curio und seinen Kooperationspartnern vom Fraunhofer-Institut für Rechnerarchitektur und Softwaretechnik (FIRST) ist es, diese Daten per Computer zu filtern. Professor Dr. Klaus-Robert Müller, Leiter der FIRST-Arbeitsgruppe „Intelligente Datenanalyse“, stellt die entscheidende Frage: „Können unsere Computerprogramme in den Tausenden von EEG-Daten markante Merkmale finden, die für bestimmte Krankheiten stehen?“ Müller erläutert: „Technisch wird diese Suche ‚Merkmalsextraktion‘ genannt. Das mathematische Verfahren, das dahinter steckt, wendet man beispielsweise auch bei Bild- oder Handschriften-Erkennungssystemen oder der Suchmaschine Google an.“ Finden die Forscher solche Merkmale, könnte es in Zukunft eine automatische EEG-Diagnostik geben.

„Es wird aber auch in Zukunft keine Fließbanddiagnostik geben“, dämpft Gabriel Curio die Erwartungen. „Bei ähn-

Der geschulte ärztliche Blick bleibt für die Feindiagnostik auch in Zukunft unersetzlich.



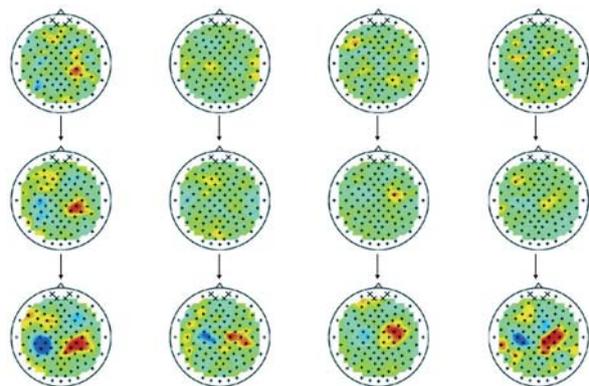


Beim Berliner Brain-Pong kann ein Spieler gegen den Computer antreten, oder zwei Spieler wetteifern gegeneinander.

lichen Auswerteverfahren, wie sie zum Beispiel bei der Herzdiagnostik erprobt werden, hat sich herausgestellt, dass der Computer bei der raschen Ersteinschätzung eines Notfalls hilfreich sein kann – der geschulte Blick eines Kardiologen ist jedoch für die Feindiagnostik unersetzlich.“ Zudem verwirrt unser Gehirn die Auswerteprogramme mit einer Eigenschaft, die eine automatische Datenanalyse erheblich erschwert: „Das Gehirn variiert beispielsweise seine Befehlskette und Reaktionszeiten für ein- und dieselbe Handlung ständig“, gibt Klaus-Robert Müller zu bedenken. Ein wichtiges Ziel innerhalb des Bernstein Zentrums Berlin ist es daher, diese Variabilität des Gehirns zu verstehen.

Tippen ohne Tasten

Das im Bernstein Zentrum angesiedelte Projekt der EEG-Interpretation profitiert von den erfolgreichen Vorarbeiten beider Arbeitsgruppen. Die mathematischen Grundlagen entwickelten die Teams zunächst für das Computerspiel „Brain-Pong“ und eine neuartige EEG-Schreibmaschine. Diese Arbeiten werden ebenfalls vom BMBF gefördert und waren auf der CeBIT 2006 spektakuläre interaktive Exponate. Angelehnt an das vor 30 Jahren entwickelte Computerspiel „Pong“ entstand in Berlin die Zukunftsvariante des beliebten Video-Tennis: „Brain-Pong“. Einst saßen zahllose Kinder vor einem schwarzen Bildschirm und schoben per Daumendreh zwei weiße Balken – die Schläger – und einen Punkt, der als Ball fungierte, auf der Mattscheibe hin und her. Heute zucken weder Daumen noch Augenlid, wenn sich zwei Spieler zum Brain-Pong



EEG-Daten von vier Brain-Pong-Spielern: Von oben nach unten ist zu erkennen, wie sich das Bereitschaftspotenzial für den Befehl „Links“ in der rechten Gehirnhälfte aufbaut. Rot steht für viel Aktivität, blau für wenig.

treffen. Allein Konzentration und Gedankenkraft bewegen die Schlägerflächen im virtuellen Tennisspiel.

Spaß für die einen – Hilfe für die anderen: Gelähmten Patienten öffnet die Technik, die hinter Brain-Pong steht, neue Wege der Kommunikation. Der Patient wählt per EEG-Signal Buchstaben aus und bildet dank moderner Sprachsoftware zügig ganze Sätze. Die Idee ist nicht neu – aber das Berliner System ist schneller trainierbar. Nur 20 Minuten brauchen Patient und Computer, um sich zu verstehen.

„Neben den medizinischen Aspekten, wie Schreibmaschine oder auch Prothesensteuerung, sehen wir für EEG-Signale ein weites Einsatzfeld“, bilanziert Müller. „Neben der Spielindustrie sind zum Beispiel Autobauer interessiert. Sicherheitsgurte könnten per Gehirnimpuls entscheidende Momente vor dem eigentlichen Bremsmanöver gestrafft werden. Oder man prüft im Vorfeld, wie sehr Autofahrer von neuartigen Warnhinweisen abgelenkt sind, die auf die Windschutzscheibe projiziert werden.“

Greifen und Begreifen

Gedacht – getan!

Prothesen der Zukunft

Sie haben Durst ... vor Ihnen steht ein wunderbar kühles Glas Wasser ... Greifen Sie zu! Ihr Gehirn leistet dabei Präzisionsarbeit. Die Augen fixieren das Glas und Ihr Gehirn erkennt, dass es voll ist. Ihre Ohren hören das leise Blubbern der Kohlensäure. Sie freuen sich schon auf den ersten Schluck. Ihr Arm streckt sich, die Hand richtet sich aus und Ihre Finger umgreifen das Glas. Die Hand bewegt sich zum Mund – der Glasrand wird Ihre Lippen mit wohl dosiertem Druck berühren.

„Ob wir nach einem Glas Wasser greifen oder an einer roten Ampel, fast wie von selbst, auf das Bremspedal treten – unser Gehirn setzt jeden Tag Tausende von Sinneseindrücken und Erinnerungen zusammen und gibt komplexe Befehle für zielgerichtete Bewegungen“, erklärt Dr. Alexander Gail vom Bernstein Zentrum Göttingen. Dabei sind die Gehirnareale für das Sehen, Erkennen, Bewegen und das Verarbeiten erlernter Regeln (wie das Anhalten an einer roten Ampel) in unserem Denkkorgan weit verteilt. Eine Gehirnregion im Parietal-Kortex, die ungefähr da liegt, wo unser Scheitel endet, ist nach neuen Erkenntnissen daran beteiligt, Gesehenes und Gelerntes zusammenzuführen und anschließend die passende Reaktion zu planen.

Neuroprothesen als Ziel

„Spannend ist die Frage, wie zielgerichtete Bewegungen erlernt werden“, sagt der Physiker, der kürzlich vom renommierten California Institute of Technology nach Göttingen wechselte. „Unsere Arbeiten sind zunächst reine Grundlagenforschung. Wir wissen einfach viel zu wenig darüber, wie unser Gehirn Regeln lernt und den Körper zielgerichtet lenkt“, erläutert er. Doch Gail und seine Kollegen haben ein Ziel: „Die Ergebnisse werden Neuroprothesen möglich machen, die es Gelähmten erlauben, sicherer und komfortabler als es bisher in wenigen Fällen gezeigt wurde, Computer zu bedienen und Prothesen oder Rollstühle zu steuern.“

Der weltweit bekannteste „Fall“ ist Matthew Nagle, 25 Jahre jung und ehemaliger Spitzensportler. Er ist seit einem Überfall vor fünf Jahren vom Hals abwärts gelähmt. Für eine zeitlich begrenzte Studie wurde ihm von US-amerikanischen Forschern ein Elektroden-Chip ins Gehirn implantiert. Ein daran angeschlossener Computer entschlüsselte anschließend die gemessenen Hirnsignale. Mit Hilfe dieser Neuroprothese öffnete er unter anderem per Gedankenkraft seine E-Mails, wählte sein Fernsehprogramm und ließ eine künstliche Hand auf und zu schnappen.

„Die Frage bleibt“, sagt Professor Andreas Schulze-Bonhage vom Epilepsie-Zentrum der Universität Freiburg, „wie lange ein solcher Chip, der mehrere Millimeter tief ins Gehirn versenkt wird, verträglich ist und wie lange er funktioniert.“ Matthew Nagle nahm erhebliche Risiken auf sich. Zwar ist der Chip nur vier mal vier Millimeter groß und seine 100 Elektro-

Armprothese der Firma Otto Bock



den sind nur jeweils einen Millimeter lang. Aber das künstliche Objekt wurde mit Pressluft 1,5 Millimeter tief in gesundes Gehirngewebe geschossen. Blutungen und epileptische Anfälle sind seltene, aber nicht völlig auszuschließende Folgen eines solchen Eingriffs.

Gehirn belauschen

Die Forscher des Bernstein Zentrums Freiburg, zu denen auch Schulze-Bonhage gehört, verfolgen einen sanfteren Plan. Sie nutzen eine dünne, bioverträgliche Folie, die mit hunderten dünnen Metallplättchen versehen ist. Diese Elektrodenfolie wird auf die Gehirnhaut aufgelegt, um Bewegungssignale aufzunehmen.

Ein angeschlossener Computer entschlüsselt die Signale und übersetzt sie beispielsweise in ein Steuerungssignal für einen Computercursor. „Mit einer Elektrode, deren Spitze in der Nähe einer Nervenzelle liegt, kann man zwar sehr präzise Signale aufnehmen“, sagt Dr. Carsten Mehring, Physiker im Bernstein Zentrum Freiburg. „Aber wenn die Elektrode verrutscht oder die ‚belauschte‘ Nervenzelle zugrunde geht, dann muss das gesamte System neu geeicht werden.“

Mehring und seine Kollegen lauschen stattdessen mit Hilfe der Elektrodenfolie einem ganzen Chor von Nervenzellen. Sie nehmen ein Mischsignal von Tausenden Nervenzellen auf. „Wir können aus diesem Orchesterrauschen sehr genau herausfiltern, welche Bewegung das Gehirn gerade steuern will“, erklärt Mehring. Die Elektrodenfolien, die in Freiburg zum Einsatz kommen, gehören zur Standardausrüstung in der Epilepsiediagnostik. Bei Patienten mit schweren Epilepsien, die auf Medikamente nicht ansprechen, wird eine solche Folie für eine begrenzte Zeit implantiert. Sie hilft dabei, diejenige Gehirnregion exakt zu lokalisieren, welche die epileptischen Anfälle auslöst (S. 14-15 „Synchronisation“).

Die anfallsfreie Zeit wird mit Einverständnis der Patienten dazu genutzt, an einigen einfachen Tests teilzunehmen – beispielsweise um bestimmte Finger- oder Greifbewegungen auszuführen. Ein angeschlossener Computer hat gelernt, die Intention des Patienten zu entschlüsseln. „Wir können die Signale für Armbewegungen und Fingerbewegungen sehr genau im Computer erkennen – und zwar mit einer weitaus höheren zeitlichen und räumlichen Auflösung als dies mit Elektroden möglich ist, die außen auf die Kopfhaut aufge-

klebt sind“, betont Dr. Tonio Ball, der als Mediziner im Freiburger Team für die Patienten verantwortlich ist. „Im Moment arbeiten wir an neuen Tests, in denen ein Cursor auf einem Computermonitor gesteuert werden soll“, sagt Ball. „Eine Neuroprothese der Zukunft wird nach meiner Einschätzung Informationen aus mehreren Gehirnregionen abgreifen und gemeinsam auswerten – sowohl aus der Region, die plant, als auch aus derjenigen, die ausführt“, fügt er an.

Prothesen verbessern

Neuroprothesen, welche direkt im Gehirn Signale messen, sind trotz der rasanten Fortschritte in jüngster Zeit noch mehrere Jahre von einem Routineeinsatz entfernt. Daher arbeitet Dr. Michael Herrmann vom Bernstein Zentrum Göttingen gemeinsam mit dem weltweit agierenden Prothesenhersteller Otto Bock an neuartigen Steuerungssystemen für herkömmliche Arm- und Beinprothesen, die dann sofort in die Praxis umgesetzt werden können. Dabei helfen die langjährige Erfahrung in der Betreuung von Patienten und das technische Knowhow der Firma Otto Bock neue Ansätze schneller zu realisieren.

Innenleben einer Handprothese – und das sichtbare Ergebnis.



Dr.-Ing. Lüder Mosler, der als Ingenieur bei Otto Bock arbeitet, beschreibt die Problematik so: „Eine handelsübliche Handprothese verfügt über zwei Elektroden, die im Schaft der Prothese installiert sind. Die Elektroden nehmen aus den verbliebenen Muskeln elektrische Signale auf und können dann die künstliche Hand rotieren lassen und eine Auf- und Zu-Bewegung steuern. Mit mehr Elektroden wären komplexere Bewegungen möglich – aber es ist so gut wie unmöglich, jeden Morgen, wenn die Prothese angelegt wird, die richtige Position einer größeren Anzahl von Elektroden millimetergenau zu treffen.“ Michael Herrmann fügt an: „Im Moment wird mit den zwei Elektroden nur die ‚Lautstärke‘ des Muskelsignals belauscht. Wir versuchen nun zusätzlich die ‚Melodie‘ des Signals und seine räumliche Verteilung einzubeziehen, so dass

sich eine höhere Zuverlässigkeit und mehr Freiheitsgrade für die Ansteuerung der Prothese ergeben.“

Bei Beinprothesen interessiert die Forscher sowohl das Gangbild, das so natürlich wie möglich sein sollte, als auch die Sicherheit des Patienten. Treppenstufen oder Kopfsteinpflaster verlangen von Patienten mit einfachen Beinprothesen ein Höchstmaß an Konzentration. Ein übersehenes Steinchen oder ein Augenblick der Unachtsamkeit lässt das künstliche Bein wegnicken, der Patient stürzt.

Ein Mikroprozessor im Kniegelenk moderner Beinprothesen steuert den gesamten Zyklus des Gehens, sowohl die Schwung- als auch die Standphase. Sensoren ermitteln alle 0,02 Sekunden, in welcher Phase des Schrittes sich der Prothesenträger gerade befindet. „Überraschend war für uns, dass wir im Labor, wo die Patienten sehr konzentriert hin- und her-

Curtis Grimsley gelang am 11. September 2001 trotz seiner Behinderung die Flucht aus dem 70. Stock des brennenden World Trade Center. Die von einem Mikroprozessor gesteuerte Beinprothese leistete ihm dabei überlebenswichtige Dienste.





laufen, am Gangbild zwar signifikante, aber dennoch nicht herausragende Unterschiede zwischen herkömmlichen und Mikroprozessor-gesteuerten Beinprothesen feststellen konnten“, sagt Mosler. „Aber die Patienten berichten, dass sie sich dank der neuartigen Steuerung deutlich weniger auf ihr künstliches Bein konzentrieren müssen.“ Diesen immensen Vorteil erfuhr beispielsweise Curtis Grimsley, der durch einen Autounfall das linke Bein bis oberhalb des Knies verloren hatte. Eine Mikroprozessor-gesteuerte Beinprothese ermöglichte ihm am 11. September 2001 die Flucht aus dem 70. Stock des brennenden World Trade Centers.

Doch perfekt ist auch die moderne Beinprothese noch nicht. "Wir möchten durch unsere Arbeit helfen, gleichermaßen Gangbild, Komfort und Sicherheit zu verbessern, wobei sich eine Zusammenarbeit mit Forschungen zu Laufrobotern für beide Seiten als sehr produktiv herausstellt", fügt Herrmann

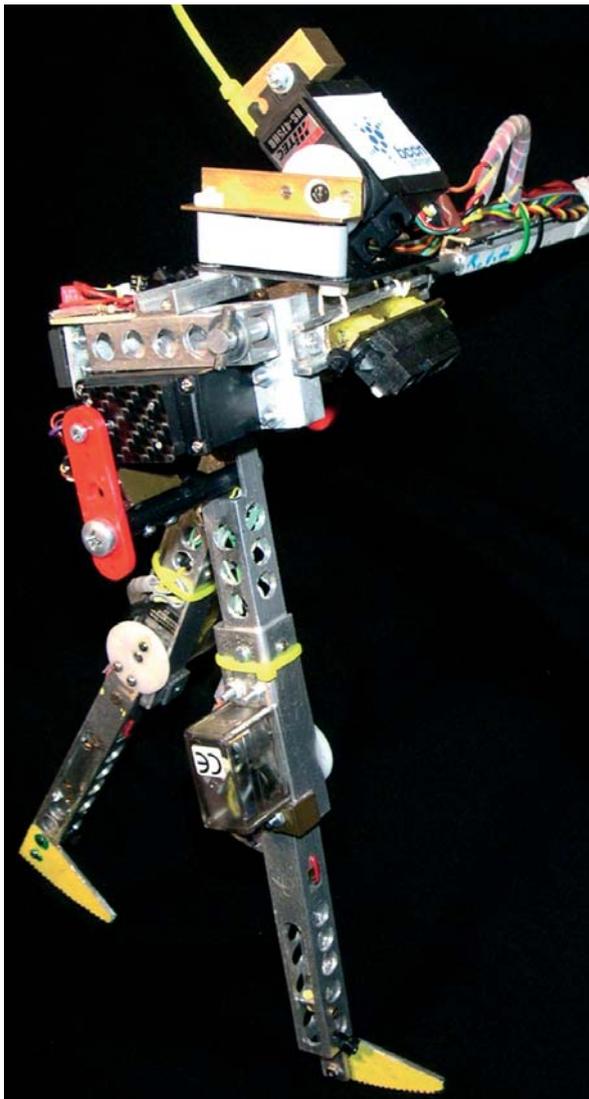
Ein Musikinstrument zu spielen ist ein hochkomplexer Vorgang. Für das Gehirn bedeutet es einerseits, den Befehl zu aufeinander abgestimmten Bewegungen von Armen, Händen und Fingern zu geben, gleichzeitig wird die Atmung angepasst – aber andererseits muss das Gehirn auch wissen, was Hände, Mund, Atmung, Finger und Arme gerade tun, damit es überhaupt zur Beherrschung des Instruments kommen kann. Dieses Problem der Selbstwahrnehmung ist bei den bisherigen Neuroprothesen noch nicht gelöst.

an. Er verweist damit auf die laufenden Roboter von Professor Florentin Wörgötter, die im folgenden Artikel vorgestellt werden.

Der laufende Roboter – Künstliche Neurone lassen RunBot laufen wie einen Menschen

Wenn der kleine Roboter RunBot aus Göttingen läuft, erinnert das ein wenig an den berühmten Storch im Salat. Schwungvoll schmeißt er seine Beine schneller und schneller vorwärts. Er ist der schnellste Laufroboter der Welt – weil er nach dem Vorbild des Gehirns lernt. Mit

jedem neuen Schritt optimiert ein Netzwerk aus 18 künstlichen Nervenzellen seinen Bewegungsablauf. Schnell laufen ist nur die erste Etappe auf dem Weg zu einem zweibeinigen geländegängigen Roboter, der wie ein kleines Kind immer sicherer auf den Füßen wird.



„Bei den anderen zweibeinigen Maschinen, die derzeit laufen können, wie zum Beispiel dem Asimo aus Japan, bleibt der Körperschwerpunkt immer über den Füßen“, erklärt Professor Florentin Wörgötter, den das Bernstein Zentrum Göttingen 2005 von der schottischen University of Sterling gewinnen konnte. Ihre Bewegungsabläufe wirken verklemmt – sie bewegen sich ähnlich wie Sumoringer. RunBot dagegen läuft regelrecht entspannt und kümmert sich nicht um seinen Schwerpunkt. Der entscheidende Unterschied: Herkömmliche Roboter berechnen ihre Gelenkwinkelstellungen exakt am Fuß, am Knie und an der Hüfte und planen sorgfältig den nächsten Schritt. „RunBot hat einen dynamischen Gehvorgang“, erklärt Wörgötter, „er rechnet nicht, sondern handelt reflexartig und nutzt seine Eigendynamik.“

Sensoren füttern das Netzwerk

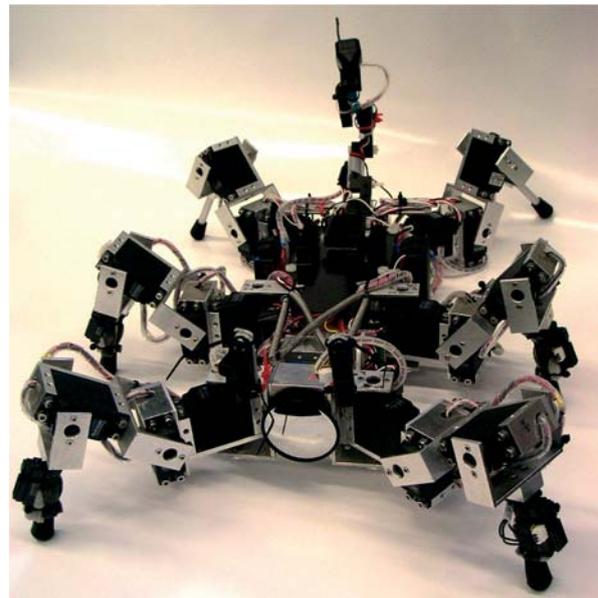
Diese Reflexe basieren auf vier Sensoren. Unter den Füßen melden sie Bodenkontakt und in der Hüfte registrieren die Messfühler, wenn der Roboter sein Bein weit ausstreckt. Sie schicken ihre Signale per Kabel an die 18 künstlichen Neurone auf einem externen Computer. Diese Neurone sind elektronische Schaltelemente mit mehreren Signaleingängen, die außerdem noch untereinander verbunden sind. Während der Roboter sich bewegt, fließt ein stetiger Strom an Signalen in dieses künstliche neuronale Netzwerk. Jedes Neuron addiert die Signale, die bei ihm ankommen und erzeugt ein Ausgangssignal. Dieses Ausgangssignal wird wiederum in das Netzwerk eingespeist, so dass ein hochkomplexes Geflecht aus hin und her fließenden Informationen entsteht.

Das allein lässt RunBot aber noch nicht zu einem so eleganten Läufer werden. Der Trick: Die Eingänge an den einzelnen Neuronen sind unterschiedlich gewichtet und diese Wertung lässt sich verstellen. „Diese Gewichtung geben wir am Anfang

als Grundstruktur vor“, sagt Wörgötter, „so dass der Roboter zumindest nicht ständig umfällt. Von dieser Situation ausgehend, stellen sich die Gewichtungen über Lernalgorithmen Schritt für Schritt auf einen sinnvollen Wert ein.“ Die Signale, die dann wieder zurück zu RunBot gesendet werden, treiben die Motoren an, die seine Bewegungen umsetzen. Er setzt einen Fuß auf den Boden, das Sensorsignal löst einen Rückzugreflex aus, er hebt sein Bein an und streckt es aus. Dabei lenkt die Hüfte aus und wenn ein bestimmter Winkel überschritten ist, setzt der nächste Reflex ein, so dass ein zyklischer Laufvorgang entsteht.

Ein Roboter lernt klettern

„Unser nächstes Ziel ist, dass RunBot das Bergsteigen lernt“, blickt Wörgötter in die Zukunft. Die Berge, die der Roboter bewältigen soll, sind zwar mit einer Steigung von acht Grad nicht gerade alpin, aber dennoch eine große Herausforderung. Denn damit ein Roboter lernen kann, sich in seiner Umgebung zurecht zu finden – und sich etwa auf eine Steigung einzustellen – müssen die Neurone so strukturiert werden, dass eine Hierarchie entsteht. Wenn RunBot selbst merken soll, dass er gerade eine Steigung betritt, braucht er mehr als nur Reflexe. Das ist bereits höhere Kontrolle und für die braucht er in Zukunft Augen und noch ein bisschen mehr Gefühl in den Füßen.



Dr. Poramate Manoonpong, Nachwuchswissenschaftler im Team von Professor Wörgötter, arbeitet nicht nur am zweibeinigen RunBot, sondern auch an einem Roboter, der sich wie ein Insekt auf sechs Beinen fortbewegt. Diese Laufmaschine bewegt sich einerseits selbstständig fort, andererseits kann sie durch ihr künstliches neuronales Netzwerk auch Hindernissen ausweichen sowie Sackgassen oder Ecken vermeiden. Mit ihrer Hilfe werden Robotersysteme weiterentwickelt, die ihre Umgebung erkennen und gezielt auf sie reagieren.

Bergsteigen bedeutet für Roboter eine noch größere Herausforderung als für Menschen. Denn Roboter müssen für die Anforderungen jeder einzelnen Steigung gezielt trainiert werden.

Neuron

Neurone sind Zellen, die darauf spezialisiert sind, elektrische Impulse im Körper weiter zu leiten. Sie nehmen Sinnesreize auf, reichen die Information als elektrische Impulse von einer Nervenzelle zur nächsten weiter und verarbeiten oder speichern sie im neuronalen Netzwerk. Techniker versuchen diese Eigenschaften für Computer nachzuahmen – damit Rechner das Lernen lernen.



Orientieren und Rechnen

„Ohren gespitzt und hergehört!“ –

Das Hören gibt noch viele Rätsel auf

Das Richtungshören, ob ein Polizeiwagen mit Martinshorn von rechts oder links heranhfährt, ist eine nützliche Einrichtung der Natur. Die Präzision gesunder Ohren ist faszinierend und gibt der Forschung immer noch viele Rätsel auf. Daher befassen sich gleich mehrere Arbeitsgruppen der vier Bernstein Zentren mit dem Hörsinn.

Jede Arbeitsgruppe konzentriert sich dabei auf einen speziellen Teilaspekt des Hörens. Wie kommt es beispielsweise, dass Hörzellen rasch auf neue Ereignisse reagieren und so besonders viel Information über ein Schallsignal weitergeben können? Professor Andreas Herz vom Bernstein Zentrum Berlin und seine Kollegen fanden mit Hilfe von Experimenten und mathematischen Modellen heraus, dass das Trommelfell im Ohr von Heuschrecken nach einem „Klick-Geräusch“ nur zwei- bis dreimal schwingt, bevor es wieder zur Ruhe kommt. Dies geschieht schon nach weniger als einer Tausendstel Sekunde. Ähnlich schnell „entsorgen“ Hörnervenzellen alte Signale, indem sie elektrisch geladene Teilchen mit hoher Geschwindigkeit aus ihrem Inneren herauslassen. Sie schieben damit quasi Erinnerungen an frühere Sinneseindrücke weg.

Nervenimpulse verstehen

Auch das Richtungshören ist eine schnelle Angelegenheit: In dem Ohr, das der Schallquelle zugewandt ist, läuft der Nervenimpuls minimal früher los als im abgewandten Ohr. Dieser Zeitunterschied ist extrem klein – er liegt im Bereich von Millionstel Sekunden. Professor Benedikt Grothe vom Münchener Bernstein Zentrum entdeckte, dass beispielsweise Wüstenrennmäuse das Richtungshören nach der Geburt erst einmal erlernen müssen. Zeitgleich entwickelte Professor Leo van Hemmen, ebenfalls am Bernstein Zentrum München, eine mathematische Theorie zur Erklärung der biologischen Befunde der Grothe-Gruppe. Werden die Mäuse in ihren ersten Lebenswochen einem undifferenzierten Rauschen ausgesetzt, sind sie später nicht mehr in der Lage, Schallquellen zu orten. Auch dieser Befund kann durch das Modell simuliert werden. Wieso sich gesunde Ohren in einem Gewirr von

Geräuschen auf eine bestimmte Schallquelle konzentrieren können, ist eine weitere spannende Frage. „Wenn wir die Grundlagen dieses ‚Cocktail-Party-Hörens‘ verstanden haben“, sagt Dr. Nick Lesica aus der Arbeitsgruppe Grothe, „dann können wir voraussichtlich in Zukunft auch die Funktion von Hörhilfen oder Cochlea Implantaten verbessern.“

Von Computermodellen lernen

Bei den meisten schwerhörigen Patienten sind die Haarzellen im Ohr defekt. In Göttingen untersucht der Mediziner Professor Tobias Moser gemeinsam mit dem theoretischen Physiker Dr. Fred Wolf, was sich in gesunden und erkrankten Haarzellen und den nachfolgenden Hörstufen genau abspielt. In einem Modell, das die Verschlüsselung von Schall in Nervensignale simuliert, wird das Zusammenspiel von Ionenkanälen

Am Bernstein Zentrum München hat Dr.-Ing. Werner Hemmert ein Innenohrmodell entwickelt, das mechanische und molekulare Prozesse im gesunden Ohr simuliert. Mit Hilfe des Modells wollen die Forscher feststellen, ob und wie ein Hörgerät bei bestimmten Hörstörungen hilft.





und Botenstoffen an den Synapsen zwischen den Haarzellen und dem nachgeschalteten Hörnerv berechnet. „Durch das Modell möchten wir verstehen, wie Haarzellen es schaffen, sehr leise Töne zu übermitteln, aber auch schnell zu reagieren, wenn ein neuer Schall eintrifft und damit das Richtungshören ermöglichen“, berichtet Dr. Andreas Neef aus der Arbeitsgruppe Wolf/Moser. „Wenn wir die Schallkodierung an den Synapsen besser verstehen, können in Zukunft auch die Kodierungsstrategien von Hörprothesen optimiert werden“, schließt Moser.

Cochlea Implantat

Sind die Haarzellen im Ohr defekt, kann ein Cochlea Implantat ihre Rolle übernehmen. Es wandelt den Schall in elektrische Impulse um und gibt diese über 24 dünne Elektroden an den Hörnerv weiter. Normalerweise sorgen bis zu 15.000 Haarzellen je Ohr für eine große Palette an Höreindrücken. Beim Cochlea Implantat kann das Gehirn trotz der geringen Anzahl von Elektroden lernen, diese künstlichen Impulse zu interpretieren und in verständliche Sprache umzuwandeln.

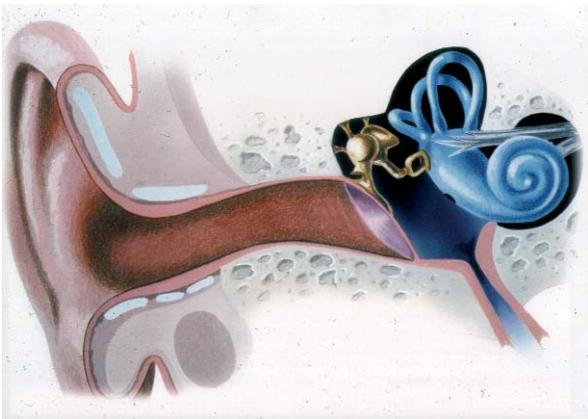
Wenn das Mobiltelefon nicht hören kann – Natur liefert Vorbild für maschinelle Spracherkennung

Das Gehör ist unsere Pforte zur Außenwelt – und eine sehr komplexe Angelegenheit. So können wir uns an einer Ampelkreuzung in der Berliner Innenstadt noch vergleichsweise leise miteinander unterhalten. Den Lärm der vorbeirauschenden Autos und Busse, die Musik, die aus den Geschäften dröhnt und das laute Geschnatter junger Leute blendet unser Gehör einfach aus. Es weiß, wem es zu lauschen hat. Aber in so einer Umgebung ein Mobiltelefon nicht per Tastendruck, sondern mit Sprach-

befehlen zu bedienen, ist unmöglich. Ein Mikrofon und ein Computer unterscheiden nicht zwischen Plauderei und Lärm. Sie erfassen ganz unterschiedslos jede Schwingung der Luft.

Um zwischen gesprochenem Wort und allen anderen Geräuschen der Umwelt zu unterscheiden, ist eine Kaskade aus Neuronen nötig, die den Schall vom Trommelfell aufnehmen und bis in das Gehirn leiten. „Uns interessiert, welche Eigenschaften des Innenohrs für das Erkennen von Sprache wichtig sind und eine robuste Spracherkennung ermöglichen“, erzählt Dr.-Ing. Werner Hemmert vom Bernstein Zentrum München. Er hat bei dem Unternehmen Infineon ein mathematisches Modell des Innenohrs entwickelt und kann damit





Das menschliche Ohr ist ein hochkomplexes Organ, dessen Fähigkeiten bisher nur unzulänglich in Technik umgesetzt werden können.

die ersten Schritte des Hörvorgangs simulieren – auf dem Weg zu einer auch bei Krach tauglichen Spracherkennung für Mobiltelefone.

Laut und leise

Das Geheimnis seines Innenohrmodells ist der präzise Nachbau der Verarbeitungsstrukturen beim Hören. Jeder Ton, der in das Ohr dringt, wird im Innenohr in ein elektrisches Signal verwandelt, indem er Nervenzellen dazu anregt, Aktionspotenziale den Hörnerv entlang zu feuern. Dabei müssen leise Töne im Innenohr verstärkt werden, um überhaupt hörbar zu werden. Laute Töne werden dagegen kaum intensiviert. Dadurch können die Nervenzellen einen sehr großen Lautstärkebereich wahrnehmen. Diese Verstärkung geht Lärschwerhörigen verloren – leise Töne können sie nicht mehr hören. Trotzdem werden ihnen laute Schalle sehr schnell zu laut. „Darin liegt der große Unterschied unseres Systems zu dem, was in bislang existierenden technischen Systemen passiert. Dort wird einfach ein analoges Signal verwendet, das für unterschiedliche Lautstärken unterschiedlich hohe Werte annehmen kann“, vergleicht Werner Hemmert.

Der kleine Unterschied

Die Frage, die sich Hemmert stellt: Wie kann unser Gehirn diese Informationen auswerten und aus den leisen und lauten Tönen auch noch Sprache erkennen? 30.000 Neurone des Hörnervs feuern Aktionspotenziale oder warten ab, wenn ein

gesprochenes Wort unser Trommelfell in Schwingungen versetzt. Dieses Geflecht aus Nervenzellen simuliert der Experte für Spracherkennung am Computer – eine rechnerische Höchstleistung. Nur kurze Sprachsignale von wenigen Sekunden kann er auswerten und beschränkt sich deshalb derzeit noch auf die Buchstaben des Alphabets. Bis zu 100 Rechner muss er simultan rechnen lassen, um das zu erreichen, was unser Gehirn jede Sekunde tut ... die Buchstaben von A bis Z erkennen.

Die Stärke unseres Gehirns liegt darin, dass es Signale zeitlich besonders gut aufschlüsselt. Die Nervenzellen unseres Hörsystems feuern mit einer sehr hohen zeitlichen Präzision und schaffen damit einen ganz besonderen Code. So verschlüsseln sie die Grundfrequenz einer Sprechstimme – etwa 75 bis 150 Hertz bei Männern und ungefähr 200 Hertz bei Frauen – über den Zeitbereich der Aktionspotenziale des Hörnervs. Diese wichtige Information wird von technischen Spracherkennungssystemen vollständig ignoriert. Damit kann unser Hörsystem einzelne Sprecher identifizieren und sie aus der Menge filtern. „Wir müssen jetzt herausfinden, wie wir das für die Spracherkennung nutzen können“, fordert Hemmert.

Sich inmitten eines Biergartens gepflegt mit seiner Nachbarin unterhalten zu können – wo Gläser klirren, Busse vorbeirauschen und dutzende Stimmen durch die Luft flirren – ist eine ganz besondere Leistung unseres Hörsinns. Ziel der Entwickler von Hörgeräten oder Spracherkennungssystemen ist es, dieses biologische Phänomen – „Cocktail-Party-Hören“ – zu verstehen und technisch umzusetzen.



Maschinen lernen sehen – Auf zwei Wegen machen sich Rechner ein Bild

Während Sie diesen Text lesen, ist Ihre Umwelt recht stabil. Die Broschüre liegt auf einem Tisch, das Telefon wartet ruhig auf den nächsten Anruf, das Mobiliar steht bewegungslos. Für die Augen ist also nicht viel zu tun, könnte man meinen. Aber obwohl die Umgebung sich kaum verändert, arbeiten die Rezeptoren auf der Netzhaut Ihres Auges auf Hochtouren. Die Umwelt ist zwar stabil – aber das Auge bewegt sich ständig, um sie zu erfassen. Die einzelnen Rezeptoren setzen in jedem Augenblick das Bild des Zimmers aus einzelnen Signalen neu zusammen.

Um das ruhige Zimmer und diesen Text sehen zu können, muss unser Gehirn nicht die schnellen Bewegungen wahrnehmen, sondern aus den Signalen, die das Auge aufnimmt, die langsamen herausfiltern, denn diese stellen die Umwelt tatsächlich dar. „Echte“ Bewegungen in der Umwelt sind nämlich viel langsamer als die durch die eigenen Augenbewegungen verursachten „Scheinbewegungen“. „Ich nenne das die Entdeckung der Langsamkeit“, erzählt Dr. Laurenz Wiskott, Physiker am Bernstein Zentrum Berlin. Diese Langsamkeit soll seine Computer das Sehen lehren.

Welt aus Kanten

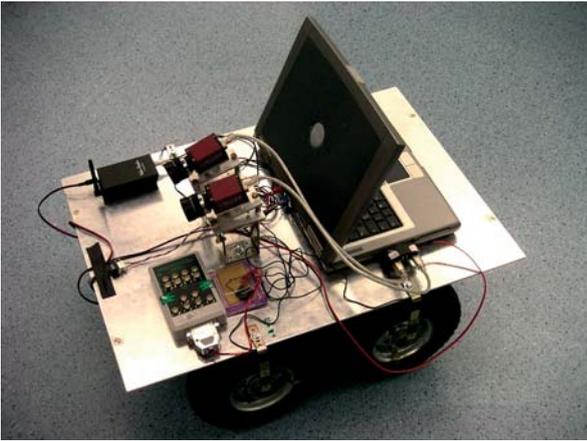
„Wir sagen unserem System: Versuch alles an Bildinformation zu extrahieren, was sich langsam verändert.“ Wiskott simuliert den Sehvorgang in einem hierarchischen Netzwerk, das nichts weiter zu tun hat, als langsame Merkmale aus Bildsequenzen zu extrahieren. Dabei entstehen Kantendetektoren im visuellen System. Das ist sinnvoll, denn Kanten umreißen unsere Welt. Jeder erkennt aus wenigen hingekritzelt Strichen ein Haus, einen Hund oder einen Menschen.

„An der TU Berlin lernt ein Roboter von Professor Klaus Obermeyer mit diesem System zu navigieren“, sagt Laurenz Wiskott. „Er läuft durch die Gänge der Gebäude und rechnet visuelle Informationen in Ortsinformationen um.“ Damit soll sich dieser Roboter in Zukunft im Gebäude bewegen, ohne auf Navigationshilfen, wie rote Linien auf dem Fußboden oder sogar das Global Positioning System, GPS, zurückgreifen zu müssen.

Ein Auto lernt fahren

Wenn Professor Florentin Wörgötter vom Göttinger Bernstein Zentrum eine Maschine das Sehen lehrt, setzt er nicht auf Kanten und mathematische Zielfunktionen, sondern auf biologische Konzepte. „In unserem europäischen Projekt *Driving School* lernt ein Testfahrzeug von einem menschlichen Fahrer das Autofahren“, berichtet er. Das Roboterauto – eine



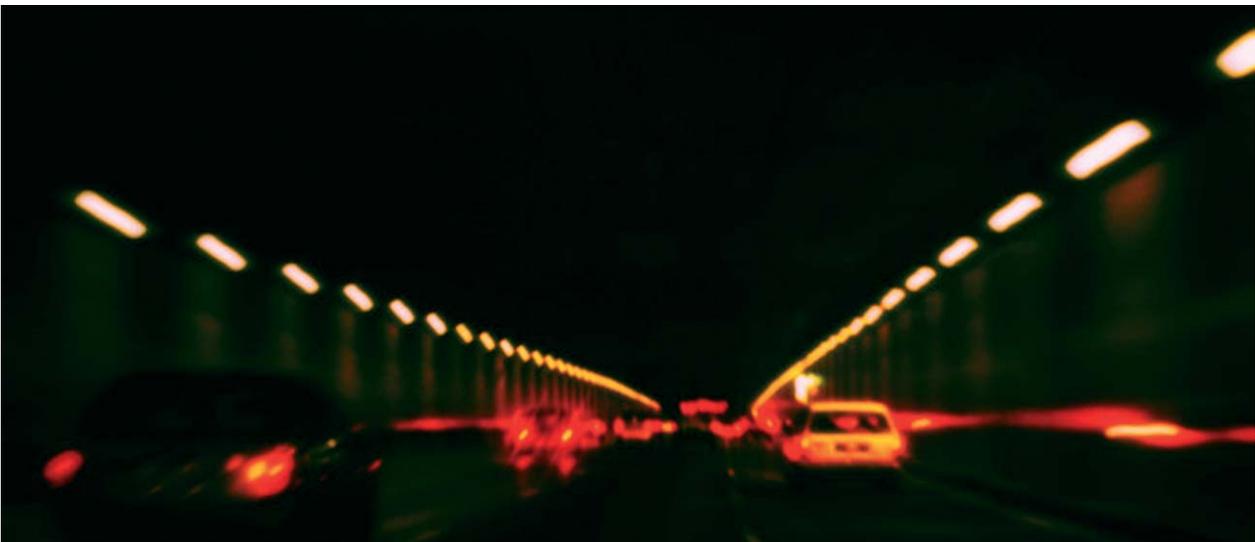


Laptop auf vier Rädern: Das Testfahrzeug lernt, welche Raumeindrücke für ein sicheres Fahrverhalten wichtig sind.

Metallplatte mit Reifen und Laptop auf der Oberseite – ist mit zwei Kameras ausgestattet, durch die der menschliche Lehrer auf die Straße sieht. Mit einer Konsole steuert er das Fahrzeug wie durch die Kurven einer Spielzeugrennbahn. Die Maschine kombiniert die visuelle Umgebung mit den Aktionen des Fahrers. Das Fahrzeug lernt durch den Einsatz von künstlichen neuronalen Netzen: Wenn ein Hindernis im Weg steht, muss ich bremsen, wenn eine Kurve kommt, muss ich langsamer werden. „Das zentrale Thema ist dabei die Kombination aus Sehen und Handeln.“

Nachtsicht

Natürlich soll der Fahrer nicht gemütlich auf der Rückbank Platz nehmen, während sein Auto durch den Feierabendverkehr navigiert – das Ziel dieses Lernprozesses ist, das Fahren bei Nacht zu erleichtern. Es existieren heute schon Infrarotkameras, die dem Fahrer zu einem besseren nächtlichen Überblick verhelfen sollen. Nur hat sich in der Praxis herausgestellt, dass diese Informationen beim Steuern verwirren. „Im *Driving School Projekt* soll der Wagen am Tag das Fahren vom Fahrer lernen. Nachts, wenn der Mensch nicht mehr genug sieht, soll die Maschine antizipieren, was gleich für eine Aktion zu folgen hat“, erklärt Wörgötter. Und sie soll den Fahrer warnen: „Achtung, gleich kommt eine Kurve“ oder „In 500 Metern steht ein Hindernis auf der Fahrbahn“.



Was ein Auto von einer Fliege lernen kann – Neue Technik für die Verkehrssicherheit

Wir jagen und erschlagen sie: Stubenfliegen, Schmeißfliegen, Fruchtfliegen und alle Anverwandten, die ungebeten ihren Rüssel in unser Essen stecken. Wer allerdings an einem ruhigen Samstagnachmittag die Muße hat, einer Stubenfliege bei ihren akrobatischen Flugmanövern durchs Wohnzimmer zuzuschauen, wird staunen. Präzise surrt das Insekt im Raum herum, landet mit elegantem Schwung kopfüber an der Zimmerdecke und entwischt der Fliegenklatsche ein ums andere Mal.

Fliegen erreichen Fluggeschwindigkeiten von bis zu zehn Stundenkilometern, vollführen bis zu sechs komplette Wendungen pro Sekunde und beschleunigen innerhalb einer zweihundertstel Sekunde von Null auf Höchstgeschwindigkeit.

„Da staunen selbst die Kollegen aus den Ingenieurwissenschaften, was mit einem Milligramm Gehirn und minimalem Energieeinsatz alles möglich ist“, schmunzelt Professor Alexander Borst vom Max-Planck-Institut für Neurobiologie in

Fliegenaugen sind aus Tausenden von Einzelaugen zusammengesetzt.



München. Er hat sich in einem Bernstein-Projekt mit Kollegen der Technischen Universität München zusammengetan. Gemeinsam wenden die Biologen und Ingenieure biologische Strategien auf technische Konzepte an. Das Ziel sind selbstfahrende Autos oder Überwachungskameras, die eigenständig zwischen Katze und Einbrecher unterscheiden können.

Gehirn als Schlüssel

„Dabei wollen wir jedoch nicht das Fliegenauge kopieren“, sagt Professor Georg Färber von der TU München, „da verfügen wir über sehr gute Kameras, mit einer hervorragenden Bildaufnahmetechnik, die empfindlicher ist als das Fliegenauge. Oder auch Infrarotkameras, die im Dunkeln sehen können, und somit das Fliegenauge übertreffen.“ Die Wissenschaftler interessiert die Bildverarbeitung im Fliegenhirn. Wie schafft es das Insekt, sich im Raum zügig zu bewegen und dabei stehenden und bewegten Hindernissen präzise auszuweichen?

„Wir sprechen hier von einem optischen Flussfeld“, erklärt Alexander Borst. „Wenn wir uns im Raum bewegen, zieht die nicht bewegte Umgebung gleichmäßig an uns vorbei. Die Art der Bildverschiebung hängt davon ab, wie wir uns bewegen. Andere bewegte Objekte erkennen wir, weil sie den gleichmäßigen Fluss stören.“ Fliegen verfügen über so genannte Facettenaugen. Ihre Augen sind, je nach Art, aus mehreren Tausend winzigen Einzelaugen zusammengesetzt. Saust die Fliegenklatsche heran, so berechnet das Fliegenhirn die Informationen aus jeweils benachbarten Einzelaugen und zieht die Einzelbilder voneinander ab – übrig bleibt das herannahende Unheil.

Im Fliegenhirn geht es dabei sehr geordnet zu. Hier gibt es Nervenzellen, die nur auf Objekte reagieren, die sich horizontal bewegen, andere reagieren auf vertikal bewegte Objekte. Wiederum andere sind für die Bildverarbeitung von Rotations-Flussfeldern zuständig. Und manche Nervenzellen sprechen ausschließlich auf ein „Expansions“-Flussfeld an, so wie es bei der Annäherung an ein Hindernis auftritt.

Kamera-Assistent

Ingenieure lernen von dieser Art der Bildverarbeitung. Wenn ihre Kameras Bewegungen erkennen sollen, werden benach-



barte Bildpunkte miteinander in Echtzeit verglichen und voneinander abgezogen. Das, was übrig bleibt, ist ein bewegtes Objekt. Auch die Richtung und Geschwindigkeit kann berechnet werden, wenn man (wie im Fliegenhirn) Richtungspräferenzen in das System einbaut. „Nun kann man dem Computer noch beibringen, die Objekte zu erkennen“, sagt Georg Färber. Menschen, Katzen, Rehe, Bälle, Kinder, Radfahrer und alles, was zum Beispiel im Straßenverkehr von Interesse ist. So ließe sich in Zukunft ein Kamerasystem für Autos konstruieren, das dem Fahrer assistiert. Ein paar zusätzliche Augen, die aufpassen, was rund ums Auto passiert. „Zudem muss der Rechner wissen, wie sich diese Objekte verhalten, um ein echtes Warnsystem zu entwickeln“, sagt Färber. Radfahrer fahren meist rechts vorbei und sind schneller als Kinder, Kinder sind unberechenbarer als Erwachsene, Rehe sind einfach plötzlich vor der Kühlerhaube – wie aus dem Nichts.

Sprechende Autos

„Aber zudem können wir dem Auto etwas beibringen, was der Mensch auch mit den besten Augen und Ohren nicht kann – sich mit anderen Autos zu unterhalten“, betont Färber. Eine Kommunikation zwischen Autos meldet rechtzeitig das Stauende hinter einer Kurve, ein Kind, das versteckt zwischen zwei geparkten Autos steht, einen Krankenwagen, der sich weiter hinten noch ungehört und ungesehen durch die Gasse zwängt. Durch eine Interaktion „sehender und verstehender“ Autos könnten all diese Situationen besser und sicherer als bisher bewältigt werden.

Alle Autokonzerne arbeiten an solchen Fahrerassistenz-Systemen. Schon heute ist ein Fahrspur-Assistent erhältlich. Seine Kamera verfolgt den Seiten- und Mittelstreifen. Verlässt der Fahrer plötzlich die Spur – wegen eines Sekundenschlafs oder weil er zu intensiv mit der Beifahrerin flirtet – wird er

gewarnt. Ein Ton oder ein Rütteln am Fahrersitz meldet den Fahrfehler. „Denkbar wäre auch ein automatisches Gegensteuern, was aber rechtlich und sicherheitstechnisch noch umstritten ist“, gibt Färber zu bedenken. „Wer hat Schuld, wenn das System versagt oder durch ein unangemessenes Eingreifen ein Unfall verursacht?“, fragt der Ingenieur. „Wo ist die Grenze zwischen Sicherheit und Bevormundung des Fahrers?“, fügt er an. Autos verkaufen sich oft wegen ihres sportlichen Images. „Ein Auto das ständig von alleine bremsst, wenn man zu dicht auffährt, oder piept und nörgelt, wenn man zu zügig von A nach B rauscht – ist ein solches Auto zu verkaufen?“, merkt Färber an.

Wird man auf einem Drehstuhl herumgewirbelt, und schließt die Augen, so weiss man trotzdem recht genau, um welchen Winkel man sich gedreht hat. Ganz anders verhält es sich beim gleichzeitigen Rückwärtszählen: Die Orientierung im Raum wird durch die Zusatzaufgabe sogar wie unmöglich.



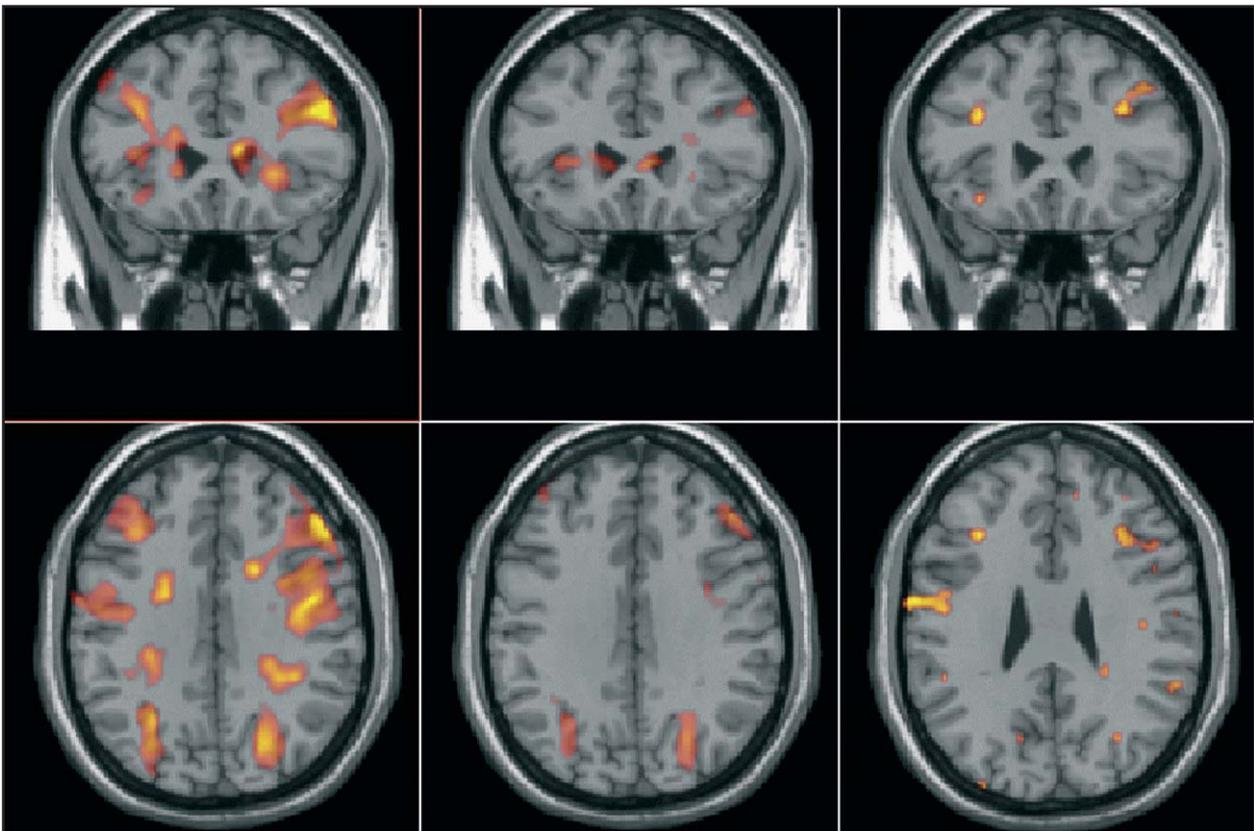
Sinne versagen

Hilfreich ist sicher die Einsicht der Fahrer, dass sie – auch bei bestem Fahrverhalten – oftmals ihren Sinnen nicht trauen sollten. „Ein schwarzes Auto vor einem weißen Hintergrund scheint schneller zu fahren, als ein graues Auto vor grauem Hintergrund“, nennt Professor Borst als Beispiel für eine typische optische Täuschung. „Der Kontrast unserer Umgebung bestimmt unsere Einschätzung für Geschwindigkeiten wesentlich mit“, gibt er zu bedenken. „Studien weisen darauf hin, dass man deshalb im Nebel meist zu schnell fährt“, sagt Dr. Stefan Glasauer vom Bernstein Zentrum München. „In der Nebelsuppe hätten wir also ein Gefühl von Langsamkeit, weil die Kontraste fehlen und würden daher instinktiv schneller fahren.“

Stefan Glasauer ist Ingenieur und arbeitet mit seinem Team an der Frage, wie das Gehirn Raum und Zeit verarbeitet. Erste Ergebnisse zeigen, dass Raum- und Zeit-Empfindungen im Gehirn eng gekoppelt sein müssen. „Wieso vergeht die Zeit schneller und erscheint uns die Distanz kürzer, wenn wir auf dem Fahrweg von Zuhause zur Arbeit im Radio eine spannende Dokumentation hören?“, fragt Glasauer. Er ließ Testpersonen eine vorgegebene Distanz mit geschlossenen Augen gehen. Die meisten waren dabei recht treffsicher. Sollten die Probanden aber bei ihrem Lauf gleichzeitig rückwärts zählen, war ihr Raum-Zeit-Empfinden gestört – die Probanden liefen alle zu weit, da ihnen nun die zurückgelegte Strecke kürzer vorkam. Ähnlich verhielt es sich bei einer Drehung. Bei voller Konzentration konnten die Probanden sehr genau reproduzieren, um welchen Winkel sie zuvor auf einem Drehstuhl herumgewirbelt wurden. Bei einer Zusatzaufgabe scheiterten alle an der eigentlich einfachen Aufgabe.

Wenn Denken leuchtet

„Die Frage ist, wieso und wo im Gehirn eine Zusatzaufgabe das Raum-Zeit-Empfinden stört“, sagt Glasauer. „Nimmt die Doppelaufgabe zuviel ‚Arbeitsspeicher‘ in Anspruch? Oder wird zuviel Aufmerksamkeit abgezogen?“ Aufschluss erwarten die Forscher von Untersuchungen, bei denen sie den Probanden beim Denken zuschauen. „Die funktionelle Magnet-



Die Magnet-Resonanz-Tomographie macht es möglich, das Gehirn beim Denken zu beobachten. Aktive Areale des Gehirns können lokalisiert und dargestellt werden. Die Bilder zeigen die Gehirnaktivierung eines Probanden, während er eine komplexe, starke Aufmerksamkeit erfordernde Aufgabe bearbeitet. Die obere Bilderreihe zeigt das Gehirn in einem Frontalschnitt (von vorne), die untere Bilderreihe einen Horizontalschnitt (von oben). Aktivierungen sind farblich gekennzeichnet. Gelb steht für die höchste Aktivierung, das Gehirn selbst ist grau dargestellt.

Resonanz-Tomographie eröffnet uns die Möglichkeit zu erkennen, wo im Gehirn die Raum- und Zeit-Empfindungen gekoppelt sind und wie eine Zusatzaufgabe das Zusammenspiel durcheinander bringt“, gibt Glasauer einen Ausblick auf sein Forschungsprogramm.

fMRT

Die funktionelle Magnet-Resonanz-Tomographie (fMRT) arbeitet ohne Röntgenstrahlung und kommt ohne Kontrastmittel aus. Sie arbeitet mit Magnetfeldern und Radiofrequenzen und macht sichtbar, welche Hirnbereiche aktiv arbeiten. Die Wissenschaftler können mit der fMRT den Sauerstoffverbrauch im Gehirn beobachten. Wo viel Aktivierung stattfindet, wird mehr Sauerstoff verbraucht und dann als leuchtender Punkt auf dem Computerbildschirm angezeigt.

Billionen Kontakte im ständigen Wandel – Das Geheimnis steckt in den Synapsen

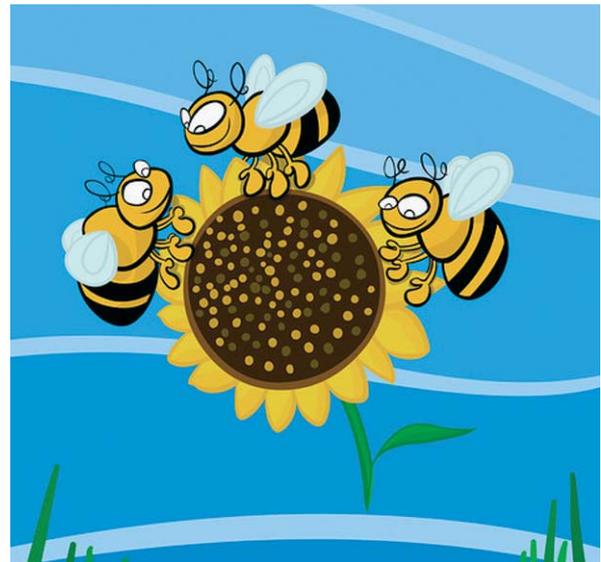
Um die Geheimnisse des Lernens entschlüsseln zu können, lassen Forscher des „Honda Research Institute“ in Offenbach als Teil des Bernstein Zentrums Freiburg virtuelle Bienen im Rechner fliegen. Die Insekten haben hier die Wahl zwischen einer blauen Blume mit Nektar und einer roten Blume ohne süßen Saft. Mit Hilfe dieses anschaulichen Computermodells sind die Wissenschaftler der Wandlungsfähigkeit des Gehirns auf der Spur.

„Damit auch Rechner und Roboter mit Hilfe von Erfolgserlebnissen lernen können, werden bestimmte Verknüpfungen im System verstärkt“, sagt Marc-Oliver Gewaltig vom Honda Institut. „Tauchen zwei Ereignisse, wie zum Beispiel die Farbe blau und die Erfolgsmeldung ‚Nektar‘, immer gemeinsam auf, wird diese Verbindung zwischen den Begriffen ‚blau‘ und ‚Nektar‘ im Rechner enger verknüpft“, fügt er an.

Billionen Kontakte

Im Gehirn bilden Synapsen solche Verknüpfungspunkte. Sie geben Informationen mittels chemischer Botenstoffe an die nächste Nervenzelle weiter. Jede Nervenzelle der menschlichen Großhirnrinde besitzt rund 10.000 Synapsen. Ein Kubikmillimeter Gehirngewebe enthält etwa 100.000 Nervenzellen, die dann gemeinsam über eine Milliarde Synapsen verfügen. Das gesamte Gehirn enthält rund 100 Milliarden Nervenzellen und etwa 100 Billionen Verknüpfungspunkte.

„Um zu verstehen, wie Nervenzellen in einem solch komplexen Netzwerk miteinander kommunizieren, haben wir zunächst einmal 100.000 Nervenzellen und ihre Verknüpfungen im Rechner nachgebaut“, berichtet Dr. Abigail Morrison vom Bernstein Zentrum Freiburg. Die Theoretikerin versah die einzelnen Verknüpfungen mit Eigenschaften, wie sie in Experimenten gefunden wurden: Pfade, die einer kausalen Abfolge entsprachen, wie dem Erblicken der Farbe blau und dem darauf folgenden Schmecken des Nektars, wurden verstärkt – nicht zusammen gehörende Ereignisse wurden



geschwächt. Das Ergebnis war ein recht stabiles Netz, das ruhig vor sich hin arbeitete. „Gaben wir aber ein zu starkes Störsignal in dieses Netz, erfolgte eine nicht mehr zu stoppende Synchronisations-Welle. Das System schaukelte sich auf, bis letztendlich alle Nervenzellen beteiligt waren – ähnlich der pathologischen Situation während eines epileptischen Anfalls“, berichtet Morrison.

Zu verstehen, wieso sich das künstliche Netz – und auch das lebende Gehirn – derart aufschaukeln kann, wird noch einige Forscherzeit in Anspruch nehmen. Neue Ergebnisse der Medizin vereinfachen die Aufgabe der Theoretiker nicht. So zeigte der Freiburger Professor Peter Jonas, dass Synapsen im Hippocampus – einer Hirnregion, die mit dem Gedächtnis in Verbindung gebracht wird – bei der nachgeschalteten Nervenzelle wahlweise eine länger anhaltende Reaktion hervorrufen oder eine kurze Botschaft übermitteln können.

Sind Ohrgeräusche hausgemacht?

Die Veränderung der Stärke von Synapsen könnte bei Ohrgeräuschen – dem Tinnitus – eine Rolle spielen. Wissenschaftler des Bernstein Zentrums Berlin prüfen die Hypothese, ob ein Tinnitus durch plastische Veränderungen im Hörsystem nach einem Hörverlust entsteht. Diese Annahme untersucht das Team von Dr. Richard Kempter mit Hilfe von Computer-



Jonglieren soll zu Änderungen in der Hirnstruktur führen: Es verknüpft sehr intensiv Sehen und Handeln.

Tinnitus – für viele Menschen eine ständige Belastung



simulationen: Nach einem Hörverlust werden die Signale vom Hörnerv schwächer. Wenn das Modell-Hörsystem sie nun wieder auf ein normales Maß verstärken will, so muss es die Synapsenstärken erhöhen. Dabei können die Synapsen jedoch so stark werden, dass auch Unsinniges, wie die Ruheaktivität des Hörnervs, hochgradig verstärkt und damit wahrnehmbar wird. Ein permanentes Ohrgeräusch ist die Folge. „Per Computer können wir nun auch Gegenmaßnahmen testen und so eventuell auf neue Ideen für eine effektive Therapie kommen“, bilanziert Kempster.

Wahrnehmen und Lernen

Kanten als Schlüssel zum Gehirn – Sehkarten zeigen den Umbau des Netzwerkes

Beim Schlaganfall versagen ganze Teile des Gehirns plötzlich den Dienst. Wer ihn überlebt, kämpft mit vielen Ausfällen: Arme und Beine können gelähmt, Sehen, Hören und Fühlen gestört sein, die Kommunikation ist eingeschränkt. Dass diese Funktionen mit der Zeit und intensivem Training wieder zurückkehren können, verdanken wir der Flexibilität unserer Neurone.

Fällt ein Teil der Großhirnrinde aus, kann ein anderer seine Funktion übernehmen. „Wenn wir diese Vorgänge auf Netzwerkebene besser verstehen, können wir Trainingsprozesse und Rehabilitationsmaßnahmen für solche neurologischen Störungen unterstützen“, erklärt Dr. Fred Wolf, Leiter der Forschungsgruppe Theoretische Neurophysik am Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation und einer der Initiatoren des Bernstein Zentrums Göttingen. Um zu durchschauen, wie Informationen im Gehirn dargestellt und damit eventuell auch beeinflusst werden können, konzentrieren

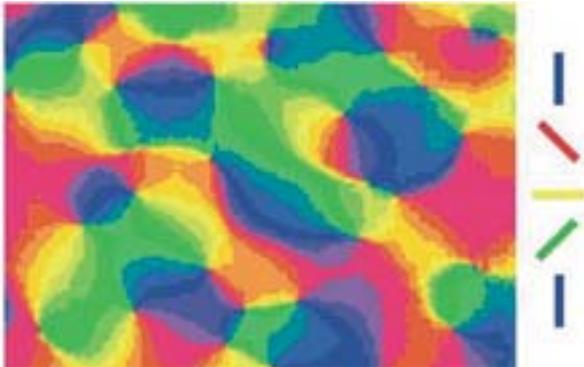
sich die Untersuchungen des Neurophysikers auf ein kleines Hirnareal an unserem Hinterkopf, den visuellen Kortex. Dort interessiert er sich für die Zellen, die in gesehenen Bildern auf Kanten anspringen und unserer Welt eine Form geben.

Neuronen zugeschaut

„Diese Informationsverarbeitung ist im visuellen Kortex leicht darzustellen, weil man die Reize gut definieren kann“, sagt Fred Wolf. Die Reize sind Striche in unterschiedlicher Ausrichtung. Der Weg vom Auge zum Verarbeitungszentrum im Gehirn ist kurz und zudem lassen sich die Neurone einfach bei der Arbeit beobachten.

Das funktioniert so: Etwa 100 Nervenzellen sind in der Großhirnrinde um ein Blutgefäß angesiedelt. Sind sie im visuellen Kortex gerade mit der Bildverarbeitung beschäftigt, verbrauchen sie viel Sauerstoff. Das Blut verliert mit dem Sauerstoff seine frische rote Farbe. Dieser Vorgang lässt sich optisch sogar durch die Schädeldecke hindurch messen. Das Ergebnis dieser Messungen ist verblüffend. Die Arbeitsteilung zwischen den Nervenzellen ist als Muster sichtbar, das an ein Leopardenfell erinnert. Und diese so genannten Orientierungskarten sind genauso individuell wie die Raubtierfelle. Sie bilden die Basis für die Göttinger Rechenmodelle.





Orientierungskarte aus einem am Bernstein Zentrum Göttingen entwickelten mathematischen Modell. Wie das lebende Gehirn kann es eine Vielzahl individuell verschiedener Strukturen hervorbringen.

„Die experimentellen Karten bekommen wir von unserer Kooperationspartnerin Professor Siegrid Löwel von der Universität Jena“, erzählt Fred Wolf, „und wir versuchen dann das Ausmaß ihrer Plastizität zu maximieren.“ Er analysiert die Karten von Katzengehirnen und sucht Stellen, an denen sich das eigentlich stabile System aus Nervenzellen zu Veränderungen „überreden“ lässt. Solche Stellen zu finden, haben Wolf und seine Mitarbeiter aus hunderttausenden von Computersimulationen gelernt, die etwas ermöglichen, das in Laborversuchen nie zu verwirklichen wäre: Das gleiche „Modellgehirn“ an tausenden von Orten probeweise zu stimulieren, um seine empfindlichsten Stellen zu bestimmen. Werden solche Punkte im wirklichen Gehirn elektrisch stimuliert, baut sich das Netzwerk über viele Millimeter hinweg um und zeigt eine für erwachsene Gehirne erstaunliche Wandlungsfähigkeit. Genau diese Fähigkeit ist erforderlich, damit ein geschädigtes Gehirn wieder einwandfrei funktioniert.

TMS

Bei der transkraniellen Magnetstimulation werden Bereiche des Gehirns mit starken Magnetfeldern stimuliert. Eine außen am Kopf angelegte Magnetspule erzeugt ein ultrakurzes Magnetfeld, das im Gehirn ein elektrisches Feld induziert. Die Folge: Die Neurone in dem stimulierten Bereich beginnen zu feuern.



Ob dieser spontane Umbau des visuellen Kortex einen Einfluss auf das Sehvermögen der Katzen hat? Niemand weiß es. Untersuchen wird es wohl auch niemand. Denn die Spezies Katze so zu trainieren, dass sie Verhaltensexperimente mitmacht, ist ein schwieriges Unterfangen. Die Tiere sind zu eigensinnig, lautet das Urteil der Verhaltensforscher.

Versuch und Irrtum

Aber es gibt Hinweise darauf, dass dieser Umbau der Orientierungskarten tatsächlich das Sehvermögen beeinflusst. Mit so genannter transkranieller Magnetstimulation (TMS, s. Kasten) am visuellen Kortex seiner menschlichen Probanden konnte Professor Hubert Dinse von der Ruhr-Universität Bochum zeigen, dass sich nach einer TMS-Behandlung das Orientierungssehen verbessern kann.

„Professor Walter Paulus und Professor Tobias Moser am Bernstein Zentrum Göttingen untersuchen, ob TMS eine mögliche Therapie für chronischen Tinnitus sein könnte“, sagt Fred Wolf – auch ein Beispiel für einen Eingriff in das Netz nach der Methode von „Versuch und Irrtum“. „Das Phänomen, dass es im Gehirn diese empfindlichen Stellen gibt und wir sie im Griff haben, kann schon in fünf Jahren einen großen Fortschritt bewirken“, schaut Fred Wolf voraus. „Da erwarte ich mir viel von der Zukunft.“

Neue Pfade für neue Informationen – Das Gehirn lernt lebenslang

Jahrzehntelang galt es als gesichert, dass sich im erwachsenen Gehirn keine neuen Nervenzellen bilden. Doch mittlerweile ist bewiesen, dass in zwei kleinen Bereichen des Gehirns lebenslang neue Neurone wachsen. Bisher ist allerdings unklar, ob diese wenigen neuen Zellen – im Vergleich zu den Milliarden vorhandenen – überhaupt eine Funktion haben. Forscher des Bernstein Zentrums Berlin belegen nun mit Hilfe mathematischer Modelle den Nutzen dieser neuen „Pfade“.

„Neue Nervenzellen zu produzieren ist für den Körper anstrengend und aufwändig. Wieso betreibt das Gehirn beispielsweise in der empfindlichen Lern-Schaltzentrale des Hippocampus lebenslang einen solch immensen Aufwand?“, fragt Dr. Gerd Kempermann vom Berliner Bernstein Zentrum. „Wenn sich die Natur so etwas ausdenkt, muss es einen Nutzen haben“, folgert der Wissenschaftler.

Neues lernen, altes behalten

Im Hippocampus werden Informationen aufgenommen, verarbeitet und in andere Gedächtnisregionen weitergereicht.



Täglich prasseln unterschiedlichste Eindrücke, Gefühle, Bilder, Worte, Geräusche oder Situationen auf uns ein – wichtige und unwichtige, alte und neue. Alle passieren sie diese kleine Gehirnregion. „Wie können lebenslang neue Informationen verarbeitet werden, ohne irgendwann alte Informationen zu verlieren?“, fragt Kempermanns Kollege, Dr. Laurenz Wiskott, der auf Computermodelle spezialisiert ist.

Gemeinsam haben die Berliner Forscher einen theoretischen Ansatz entwickelt um herauszufinden, welche tatsächlichen Vorteile neue Nervenzellen in diesem speziellen Netzwerk haben. „Einfach nur neue Nervenzellen ohne Plan in ein bestehendes Netz zu werfen, das ist wenig sinnvoll“, gibt Kempermann zu bedenken. „Die neuen Zellen müssen einen strategischen Nutzen bringen, sonst würde sich der Aufwand nicht lohnen.“

„Unsere Theorie hierzu ist, dass durch das gezielte Anlegen neuer Nervenzellen und Knotenpunkte das alte Netzwerk stabil laufen kann, aber gleichzeitig für neue Inhalte offen ist“, umschreibt Wiskott kurz den Forschungsansatz. Untermuert sehen die Wissenschaftler ihre Theorie durch eine biologische Tatsache: Im jungen Gehirn, das täglich viel Neues sieht und erlebt, werden pro Tag Tausende neuer Nervenzellen im Hippocampus angelegt. Im älteren Gehirn entsteht durchschnittlich nur noch eine Nervenzelle pro Tag.

„Das ältere Gehirn hat schon viel in seinem Leben gesehen“, skizziert Kempermann die Idee. „Es nutzt die vorhandenen Pfade, um beispielsweise neue Worte zu lernen, die aus





Nervenzellen leiten Informationen mit chemischen und elektrischen Signalen weiter.

bekanntesten Buchstaben bestehen. Will man aber eine neue Sprache lernen, die statt der bekannten lateinischen Buchstaben chinesische Schriftzeichen enthält, wird nach unserer Annahme ein neuer Knoten im Netzwerk der Nervenzellen notwendig.“

Um diese Theorie zu testen, entwickelte Laurenz Wiskott ein Computermodell, das unterschiedliche Lernstrategien nachstellt. Neue Informationen wurden zum einen mit einem Netzwerk konstanter Größe verarbeitet, während in einem anderen Szenario neue Informationspfade angelegt werden konnten. Es stellte sich heraus, dass ohne das Anlegen neuer Pfade bald alte Pfade und Inhalte überschrieben werden mussten, um neue Aufgaben zu lösen. Gab man dem Computer jedoch die Gelegenheit, einige wenige neue Pfade hinzuzufügen, lief das alte Netzwerk stabil und auch die neuen Aufgaben wurden bewältigt.

Langzeitprozesse entschlüsseln

„Ich bin ganz fasziniert von der Zusammenarbeit mit den Theoretikern im Bernstein Zentrum“, berichtet Neurobiologe Kempermann. „Denn meine Labormäuse kann ich nicht fragen, ob sie durch eine einzelne neue Nervenzelle im Gehirn klüger geworden sind. Das Computermodell hingegen liefert

uns präzise Antworten, wie viel ein einzelner neuer Informationspfad, strategisch sinnvoll platziert, an Leistungszuwachs bringt.“

Kempermann blickt gespannt in die Zukunft: „Wir halten mit diesem Modell nun ein Werkzeug in der Hand. Mit seiner Hilfe können wir entschlüsseln, was passiert, wenn die Entwicklung von neuen Nervenzellen im Hippocampus gestört ist.“ Bei Depressionen, Demenzen und auch bei Schizophrenie wird eine solche Störung vermutet. „Zunächst erscheint es nicht viel, wenn bei der Entwicklung von einer Nervenzelle pro Tag eventuell mal etwas schief geht“, sagt er, „aber über Jahrzehnte hinweg summiert sich das.“ Mit Hilfe eines noch komplexeren Computermodells wollen Wiskott und Kempermann nun testen, was sich in der Informationsverarbeitung des Hippocampus ändert, wenn man minimale Veränderungen vornimmt. Ähnlich wie bei Computermodellen zur Berechnung des Klimawandels müssen die Rechner in Berlin nicht Jahrzehnte laufen, um die Auswirkungen einzelner Störfaktoren zu verstehen. „Das ist der Vorteil von Computermodellen – wir sind in der Lage, schleichende Prozesse, die im wahren Leben 30 Jahre dauern, in wenigen Wochen zu berechnen“, fasst Kempermann zusammen.

Informations- und Kontaktadressen

Informationen rund um die Bernstein Zentren im Internet:

www.bernstein-zentren.de

Pressekontakt für alle vier Bernstein Zentren:

Dr. Katrin Weigmann
Bernstein Zentrum Göttingen
Bunsenstr. 10, D - 37073 Göttingen
Tel.: ++49 (0)551 5176 430
mail@k-weigmann.de

Bernstein Zentrum Berlin

Prof. Dr. Andreas V. M. Herz
Humboldt-Universität zu Berlin
Institut für Biologie
Invalidenstraße 43, D - 10115 Berlin
Tel.: ++49 (0)30 2093 9103
a.herz@biologie.hu-berlin.de
www.bccn-berlin.de

Bernstein Zentrum Freiburg

Prof. Dr. Ad Aertsen
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Biologie III
Schänzlestraße 1, D - 79104 Freiburg
Tel.: ++49 (0)761 203 9549
aertsen@biologie.uni-freiburg.de
www.bccn-freiburg.de

Bernstein Zentrum Göttingen

Prof. Dr. Theo Geisel
Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation
Bunsenstraße 10, D - 37073 Göttingen
Tel.: ++49 (0)551 5176 400
geisel@mpid.mpg.de
www.bccn-goettingen.de

Bernstein Zentrum München

Prof. Dr. Ulrich Büttner
Ludwig-Maximilians-Universität München
Klinik für Neurologie
Marchioninstraße 15, D - 81377 München
Tel.: ++49 (0)89 7095 2560
ubuettnr@nefo.med.uni-muenchen.de
www.bccn-muenchen.de

Informationen:**Schwindel und Gleichgewichtsstörungen:**

www.nefo.med.uni-muenchen.de/kontakte.shtml

Epilepsie:

Informationen und Kontaktadressen:
<http://skl14b.ukl.uni-freiburg.de/epilepsie/live/infos.html>
Deutsche Epilepsievereinigung e.V.: www.epilepsie.sh

Brain-Pong und EEG-Schreibmaschine:

www.first.fraunhofer.de

Zum „Fall“ Matthew Nagle:

www.cyberkineticsinc.com
www.wissenschaft-online.de/gehirn_geist/pdfs/frei/GuG_06_06_S022.pdf

Prothesen:

www.ottobock.com

Der laufende Roboter RunBot:

Video: www.cn.stir.ac.uk/~tgeng/research.html

Schwerhörigkeit:

www.hoerzentrum-oldenburg.de

Fahrerassistenz-Systeme:

Überblick: www.lti.uni-karlsruhe.de/fahrerassistenz.php

Tinnitus:

www.tinnitus-liga.de

Parkinson:

www.kompetenznetz-parkinson.de

Schlaganfall:

www.kompetenznetz-schlaganfall.de

Depression:

www.kompetenznetz-depression.de

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unentgeltlich abgegeben. Sie ist nicht zum gewerblichen Vertrieb bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerberinnen/Wahlwerbern oder Wahlhelferinnen/Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.

Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift der Empfängerin/dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Bundesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

