

Geistbes

PRÄPARIERTER HIRNSCHNITT

*Dieses Exponat stammt aus der Ausstellung „Körperwelten & Der Zyklus des Lebens“ und zeigt eine Frontalansicht des Gehirns.**



Europäische Wissenschaftler starten eines der ehrgeizigsten Projekte der Menschheitsgeschichte: Mit Milliardenaufwand wollen sie die Funktion des kompletten Gehirns entschlüsseln. In zehn Jahren soll eine originalgetreue Simulation des komplexesten Wunderwerks der

VON ALWIN SCHÖNBERGER

hWörnung

Natur am Computer laufen. Kann das klappen? Seriöse Forscher sind skeptisch. Doch zugleich gewinnen sie zurzeit faszinierende Einblicke in die Strukturen des menschlichen Denkkorgans – und verstehen immer besser, welche neuronalen Schaltkreise gravierende Leiden wie Depression, chronischen Schmerz und Autismus verursachen.



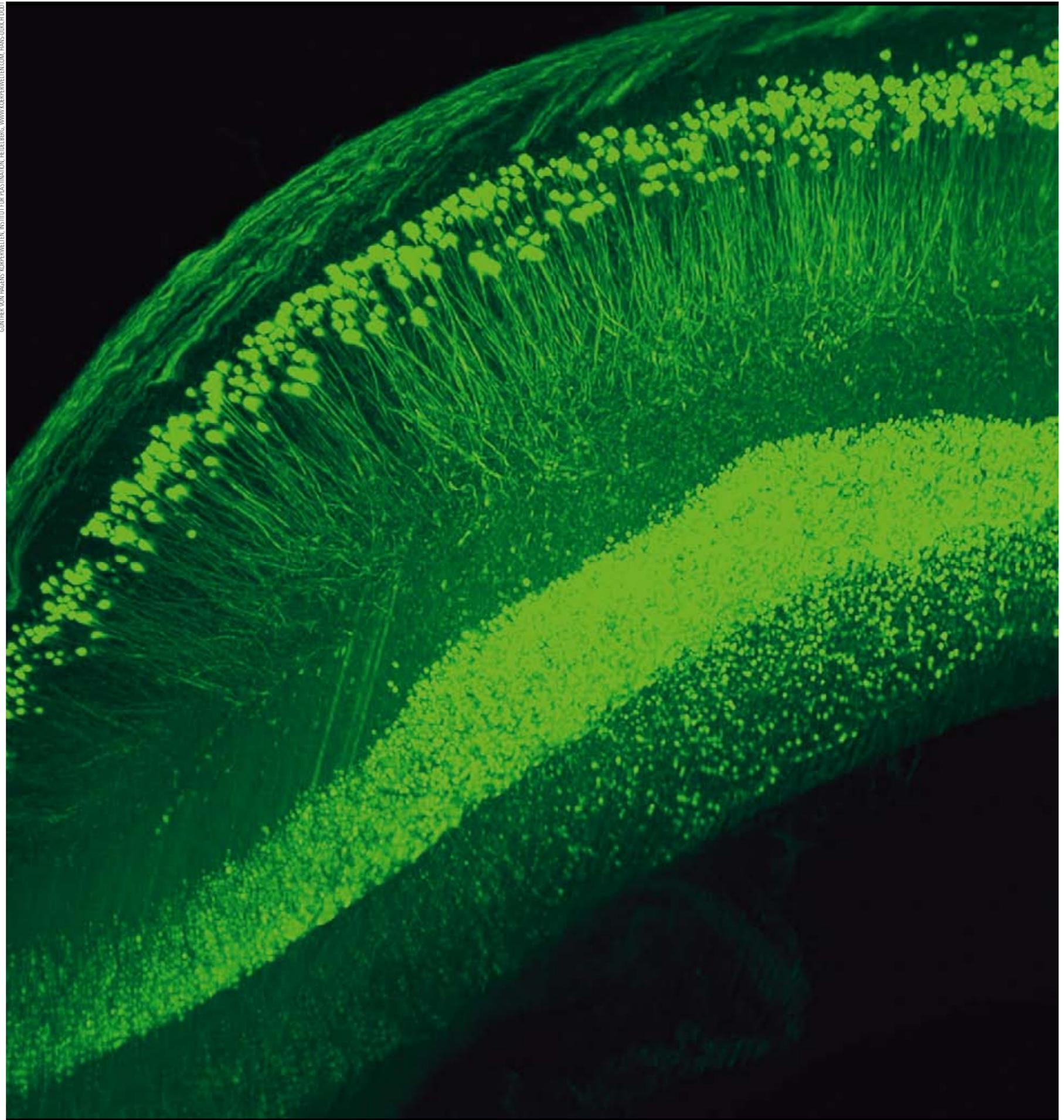
BLUT-FLUSS

Dieses Objekt zeigt eine Nachbildung des gesamten Blutgefäßsystems im Gehirn des Menschen.

MÄUSE-HIRN

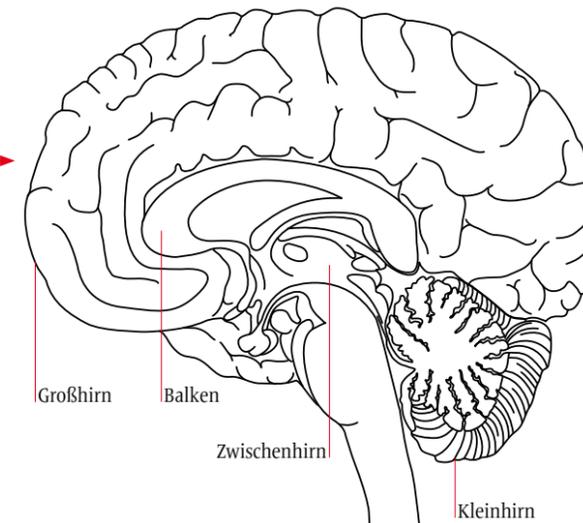
3D-Visualisierung des Wiener Hirnforschers Hans-Ulrich Dodt: Die grünen Punkte oben sind Kerne von Nervenzellen, das Fadengewirr darunter Dendriten. Die gesamte Struktur ist Teil des Gedächtnisareals Hippocampus.

GÜNTHER VON HINGENS / KÖRPERWELTEN, INSTITUT FÜR PLASTIKATION, HEIDELBERG, WWW.KÖRPERWELTEN.COM, HANS-ULRICH DODT



REISE INS GEHIRN

Die erste Grafik zeigt eine grobe Gliederung: Groß-, Zwischen- und Kleinhirn sowie den Balken, der an der Koordination der beiden Hemisphären des Hirns beteiligt ist.



Jüngsten Schätzungen zufolge besitzt der Mensch 86 Milliarden Nervenzellen mit etwa 100 Billionen Verbindungen. Hinzu kommen fast ebenso viele Hirnzellen, die keine Neuronen sind.

eder Schüler kennt den Effekt: Man träufelt ein paar Tropfen Salatöl auf ein Blatt Löschpapier, und die befeuchtete Stelle wird transparent. Ein sehr ähnliches Prinzip machte sich Hans-Ulrich Dodt zunutze, um ein durchsichtiges Gehirn zu erschaffen. Die Kreation dieses „Glass Brain“, wie es der Neurophysiologe am Zentrum für Hirnforschung der Medizinischen Universität Wien nennt, bedarf allerdings noch weiterer Feinheiten: Zunächst entzieht Dodt einem Mäusegehirn Wasser und legt es in eine ölige Flüssigkeit, um die gewünschte Transparenz zu erzielen. Der zweite Trick beruht darauf, dass Dodt mit besonderen Gehirnen hantiert – mit solchen klonierter Tiere, die das Protein einer grün leuchtenden Qualle tragen. Bestrahlt man die derart vorbereiteten Hirnpräparate mit blauem Licht, fluoreszieren die Nervenzellen in sattem Grün.

Dass man das Resultat dieser Spezialbehandlung auf einem konventionellen Bildschirm betrachten kann, ist zusätzlicher ausgefeilter Technik zu verdanken, die Dodt und die Laserphysikerin Saiedeh Saghafi entwickelt haben und die inzwischen auch patentiert ist: Dünne Schichten von Gehirn, nur ein paar Mikrometer stark, werden von der Seite mit einem Laser beleuchtet. Von oben fokussiert zudem ein Mikroskop auf die illuminierten Hirnschichten. Zellbündel für Zellbündel wird derart abgetastet, und per Kabelverbindung wandern die Bilder in einen Computer, der sie zu einer dreidimensionalen Animation verquickt. „Wir sind die Ersten, die Mikroskoptechnik mit einem transparenten Gehirn kombiniert haben“, sagt Dodt.

Das Ergebnis ist selbst für den Laien beeindruckend: Am Monitor absolviert er

gleichsam eine Wanderung durch das Gehirn, erkennt einzelne Abschnitte wie den geschwungenen, für Gedächtnisleistungen zuständigen Hippocampus. Das Auge des Betrachters dringt sogar ins Innerste einzelner Nervenzellen vor; sieht ein Meer von grünen Knöpfchen, wobei es sich um die Zellkörper der Neuronen handelt; bemerkt ein Gewirr hauchdünner Fäden – Dendriten, Fortsätze von Nervenzellen.

Die Gehirnvisualisierung der Wiener Forscher, ein Gemeinschaftsprojekt der Medizinischen und der Technischen Universität Wien, schaffte es bereits auf das Titelblatt der renommierten Fachzeitschrift „Nature“ und ist für die Pharmaindustrie von unschätzbarem Wert. Denn ebenso wie man Nervenzelle für Nervenzelle abzählen kann, ließe sich etwa die Menge von Plaques ermitteln – jener Ablagerungen im Gehirn, welche Alzheimer mitbedingen. Ohne auf biologische Präparate angewiesen zu sein, könnte man künftig an solch einer 3D-Simulation ablesen, ob ein bestimmtes Medikament die Zahl der fatalen Plaques senkt. Therapien könnten auf diese Weise rein virtuell erprobt werden. Ebenso lassen sich mit dieser Methode physiologische Strukturen wie Blutgefäße, das Rückenmark oder der Hirnstamm sichtbar machen, und selbst ein kompletter Mäuseembryo kann, dank 3D-Modell nach allen Seiten drehbar, begutachtet werden.

Dodts Gehirnmodell liefert nun auch wichtigen Input für eines der größten Forschungsvorhaben der Menschheitsgeschichte: das im Jänner beschlossene „Human Brain Project“ der Europäischen Union, welches das Ziel verfolgt, alles verfügbare Wissen über das Gehirn in eine zentrale Datenbank zu packen – und letzt-

lich ein realitätsgetreues digitales Abbild des menschlichen Denkkorgans zu formen. „Wir steuern im Wesentlichen anatomische Grundlagen bei“, so Dodt.

Die Vision hinter diesem Gehirntschlüsselungsprojekt klingt fast noch kühner als einst die Zielsetzungen bei der Dekodierung des humanen Erbguts: Ein Budget von knapp 1,2 Milliarden Euro soll im Lauf der kommenden Dekade mehr als 80 Forschungsinstitutionen in die Lage versetzen, all ihre Expertise in eine gewaltige Datenplattform einfließen zu lassen. Der eigentliche Plan des Projekts ist jedoch nicht nur eine monströse Forschungsbibliothek, sondern eine komplette, funktionstüchtige Simulation des Gehirns: Ein Computer soll die hochkomplexen, vielfach vernetzten und in steter Wandlung begriffenen Operationen des menschlichen Denkkorgans authentisch nachbilden, also ein gänzlich virtuelles Gehirn erzeugen.

„Die zehn Jahre sind sicher ein sehr ambitioniertes Ziel“, urteilt Peter Jonas, Professor für Hirnforschung am Institute of Science and Technology (IST Austria) in Klosterneuburg und einer der österreichischen Partner des Human Brain Project. „Das Verständnis des gesamten Gehirns ist aber gerade eine der wesentlichen Herausforderungen.“ Denn Ursachenforschung und Therapie in Bezug auf die gut 500 bekannten Hirnerkrankungen mit rund 180 Millionen Betroffenen allein in Europa sind eine dringliche Aufgabe, und die Entwicklung wirksamer Arzneien gilt als einer der wichtigsten Motoren des künftigen ökonomischen Wachstums. Zudem könne ein umfassenderes Verständnis der Gehirnfunktionen die Entwicklung völlig neuer Supercom-

puter nach menschlichem Vorbild beschleunigen, die ohnehin benötigt werden, um die geplante Hirnsimulation überhaupt zu realisieren – gegenwärtige Rechner wären damit heillos überfordert (siehe dazu Artikel ab Seite 52).

Die Europäer sind momentan in ihrem Forschungseifer keineswegs allein. Denn zeitgleich planen die USA mit Milliardenaufwand ein Unterfangen namens „Brain Activity Map“ zur Kartierung des kompletten Denkapparats. Außerdem startete die Amerikaner vor drei Jahren das „Human Connectome Project“, um all den Vernetzungen des Gehirns auf die Spur zu kommen. Und schon die 1990er-Jahre wurden als „Decade of the Brain“ definiert. „Man konnte damals in der Tat viele Fragen klären“, berichtet Jonas. „Aber in gleichem Maße sind immer neue entstanden.“

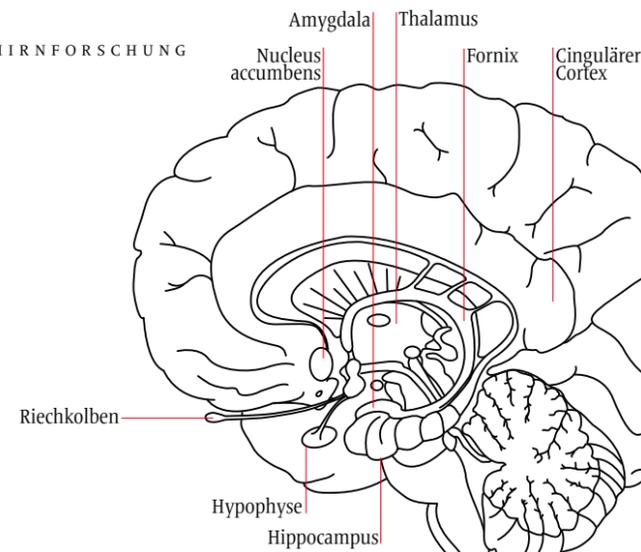
Ein ähnliches Schicksal prophezeien viele Experten dem aktuellen Brain Project. „Es ist ein sehr ehrgeiziges Ziel, ich halte es für unwahrscheinlich, dass das in zehn Jahren zu schaffen ist“, sagt Jürgen Sandkühler, Leiter des Zentrums für Hirnforschung der Medizinischen Universität Wien. „Allerdings: Wenn wir nur Dinge beginnen, von denen wir wissen, dass sie in zwei oder drei Jahren Erfolg haben werden, gibt es nie Fortschritte. Wir müssen auch Visionen verfolgen.“ Die Initiative unterstreiche überdies „den hohen Stellenwert der Neurowissenschaft in unserer Gesellschaft“, so Sandkühler.

Das Hauptproblem bei der angepeilten Simulation besteht darin, dass zwar eine Fülle teils hochspezialisierten Wissens über das Gehirn vorliegt, doch wie die anatomischen Bausteine im Detail zusammenwirken und das Denken formen, ist

weitgehend ein Rätsel. „Das Gehirn ist nach wie vor ein unverstandenes Wunderwerk von extremer Komplexität und Plastizität“, sagt Sandkühler.

Seit Jahrhunderten beschäftigen sich Naturforscher damit, den im Schnitt 1,5 Kilo schweren Klumpen im Schädel zu zerlegen und mit immer feineren Instrumenten zu analysieren. So wissen wir neueren Messungen zufolge, dass der Mensch rund 86 Milliarden Nervenzellen, die Neuronen, besitzt, die sich wiederum zu Subtypen mit blumigen Bezeichnungen wie etwa Pyramiden-, Kandelaber-, Korb-, Place- oder Grid-Zellen ordnen. Wir haben weiters Kenntnis davon, dass es im Gehirn fast ebenso viele Zellen gibt, die keine Neuronen sind – vor allem die Gliazellen, die an zahlreichen Hirnprozessen beteiligt sind.

Auch die innere Architektur der einzelnen Zelle ist kein Mirakel mehr: Sie besteht aus dem Zellkern, welcher den Grundbaustein der grauen Substanz bildet – weshalb der Volksmund von „grauen Zellen“ spricht – sowie aus zwei Arten von Fortsätzen: einer langen Verbindung namens Axon, die das Material für die weiße Substanz darstellt, sowie den feinen Dendriten. Über die Axonen bildet jedes Neuron überschaubare Gruppen mit weiteren Kollegen, die sich wiederum zu größeren Strukturen mit teils konkreten mentalen Funktionen formieren – etwa für das Sehen oder die Motorik. Die Sprache der Neuronen ist ebenfalls übersetzt: Sie basiert auf elektrischen Signalen, wobei ein Spannungsanstieg von etwa einer Millisekunde, das Aktionspotenzial, gleichsam eine Informationseinheit markiert, salopp „Feuern“ genannt – gefolgt von einem Spannungsabfall, was der pas-



GEFÜHLIS-WELT

Ein Überblick über bedeutende Steuerzentren und Kerne des Gehirns, die an der Verarbeitung und Speicherung zahlreicher Informationen, an Gedächtnisprozessen und Gefühlen wie Angst oder Wut beteiligt sind.

Mehr als 100 Hirnregionen sind heute bekannt. Ihnen werden Schlüsselfunktionen für die Wahrnehmung, das Gedächtnis und für den Emotionshaushalt zugeschrieben.

sionierte Neuroforscher als Refraktärzeit bezeichnet. An den Übergängen zwischen den Neuronen, den Synapsen, wird vorübergehend das Idiom gewechselt: von elektrisch zu biochemisch, wofür die Natur ein Arsenal von Botenstoffen ersonnen hat (siehe Artikel ab Seite 36).

Inzwischen musste allerdings manches Dogma in Bezug auf all diese Kabelstränge über Bord geworfen werden. So galt es praktisch als Allgemeinwissen, dass der Mensch mit einer bestimmten Zahl von Nervenzellen auf die Welt kommt und mit diesem Reservoir sein Auslangen finden muss. Völlig falsch, wie man heute weiß – permanent finden Neubildungen von Neuronen statt, etwa im Hippocampus, und schon allein durch Lernprozesse. Kürzlich zeigte eine Studie, dass bei Mäusen, die ihr Lebensumfeld besonders neugierig erkunden, mehr Neuronen sprießen als bei Artgenossen in identer Umgebung, die jedoch kaum Aktivität an den Tag legen. Und erst Mitte Juni wurde eine Schätzung publiziert, wonach im Laufe eines Menschenlebens etwa ein Drittel des Hippocampus neu entsteht, was rund 700 Neuronen pro Tag entspricht.

Nicht nur die Mikrowelt des Gehirns lässt sich immer besser erhellen, auch der grobe Atlas ist weitgehend kartiert: ganz oben unter der Schädeldecke die sechschichtige Großhirnrinde, jener graue Kortex-Mantel, der beim Menschen derart überdimensioniert ist, dass er nur in Faltungen, den Gyri, in den Kopf passt, und der in Areale wie Stirn-, Scheitel-, Schläfen- und Hinterhauptslappen gruppiert ist; unter dem Kortex weiteres graues Zellgewebe, die Basalganglien, die an der Steuerung von Bewegungen beteiligt sind; in tieferen Etagen das Zwischenhirn

mit dem Kernstück Thalamus sowie Hirnstamm, Brücke und Kleinhirn; zudem Strukturen wie das limbische System mit Komponenten wie der Amygdala, der Einfluss auf den Emotionshaushalt zugeschrieben wird.

Die Wissenschaft gewinnt auch immer feinere Einblicke in die Aufgabenteilung dieses biologischen Bausatzes. So scheint die Großhirnrinde keineswegs die alleinige Verantwortung für Wahrnehmung und kognitive Prozesse zu haben – ebenso beteiligt dürfte etwa das Kleinhirn sein. Wohl aber gilt als plausibel, dass der Kortex die Hoheit darüber besitzt, dass wir uns unserer Sinneseindrücke auch bewusst sind.

Am deutlichsten zeigen sich derlei Zusammenhänge, wenn im Gehirn etwas nicht funktioniert. Zu den verblüffenden Phänomenen zählt die Rindenblindheit. Ein davon betroffener Mensch sieht, weiß aber nicht, dass er sehen kann. Denn das Auge ist zwar intakt, und visuelle Reize gelangen ordnungsgemäß ins Gehirn – bloß die Verdrahtung in die Sehzentren im Kortex ist gestört, weshalb das Bewusstsein für visuelles Erleben fehlt. Bitet man Rindenblinde, auf ein bestimmtes Objekt zu zeigen, schaffen sie dies problemlos, obwohl sie steif und fest behaupten, es gar nicht zu sehen.

Schon Funktionen wie der Energiehaushalt des Gehirns sind verwirrend genug. Zwar verbraucht es bei lediglich zwei Prozent des Körpergewichts immerhin 20 Prozent der Ruheenergie. „Das Gehirn hat einen unverhältnismäßig hohen Grundumsatz“, erklärt Ewald Moser, Leiter der Abteilung MR Physik am Zentrum für Medizinische Physik und Biomedizinische Technik in Wien. „Es muss ständig in Be-

reitschaft sein und kann nicht erst bei Bedarf hochgefahren werden. Das Gehirn ruht nie.“ Bereits im 19. Jahrhundert demonstrierte der Italiener Angelo Mosso den Treibstoffbedarf des Hirns: Er legte einen Menschen auf eine Art Balkenwaage, wobei sich auf einer Seite Beine und Füße befanden, auf der anderen Oberkörper und Kopf. Zunächst schwebte die Waage in Balance, bis Mosso seinem Probanden eine Rechenaufgabe stellte – da sackte die Kopfseite nach unten. Der Körper hatte zwecks besserer Denkleistung mehr Sauerstoff und Zucker, das heißt mehr Blut, in den Kopf gepumpt.

Auch wenn der Energieverbrauch in Relation zum System Organismus hoch sein mag – objektiv betrachtet arbeitet das Gehirn bestechend effizient. Es benötigt nicht mehr als 20 bis 30 Watt, also das Äquivalent einer schwachen Glühbirne. Computerkonstrukteure können da neidisch werden: Hochleistungsrechner verheizen locker 100 Kilowatt pro Tag, ohne auch nur an die neuronale Komplexität heranzureichen. „Ein Stück Traubenzucker genügt zur Energieversorgung“, vergleicht Sandkühler. „Allein das zeigt, um wie viel leistungsstärker und effizienter als jede Technik die Biologie sein kann.“

Diese Perfektion lässt sich an vermeintlich simplen Beispielen ablesen: Woran erkennen wir, dass es sich bei einem bestimmten Gegenstand um einen Sessel handelt? Selbst ein völlig abstrakter Design-Stuhl, der nicht einmal über Beine verfügt, wird augenblicklich als Sitzgelegenheit identifiziert. Wir müssen offensichtlich nicht jedes Mal neu lernen, wozu ein Objekt dient, sondern kombinieren abgespeicherte Informationen mit neuen Eindrücken, visuelle Daten mit

Intelligenzbestien

Schlechte Nachrichten:

Mit hoher Wahrscheinlichkeit werden wir nicht mehr gescheiter.

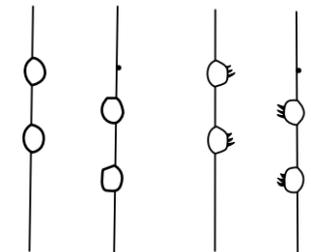
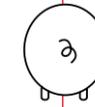
Können wir noch klüger werden? Oder schöpft der Mensch seine intellektuelle Kapazität bereits aus? Diese Frage stellt sich nicht nur, wenn halbbesotterische Mythen debattiert werden, wonach wir angeblich nur zehn Prozent unserer Hirnleistung nutzen. Auch ernsthafte Forscher befassen sich damit. So erörterte der Wissenschaftspublizist Douglas Fox in „Spektrum der Wissenschaft“, an welchen Schrauben man drehen könnte, um noch gescheiter zu werden.

Die wichtigsten Parameter: Gehirnmasse, Energiebedarf, Zahl, Dimension und Vernetzungsgrad der Neuronen. Zur Messung der Hirnkapazität wird heute – statt blanker Schädelgröße – der Enzephalisationsquotient (EQ) herangezogen. Eine Formel gibt an, welche Hirnmasse aufgrund des Gewichts einer Spezies zu gewärtigen wäre. Beim Menschen liegt der EQ um den Faktor 7,5 über dem erwartbaren Wert – der Homo sapiens ist damit ungeschlagener Meister.

Eine Steigerung der Masse erscheint kaum wünschenswert: Die Signalwege im Nervengeflecht würden länger, der Informationsaustausch würde gebremst, und wir würden schlicht langsamer denken. Vielleicht könnte man dann einfach mehr Nervenzellen ins Gehirn packen, indem man die Größe der Zellen reduziert? Dies hat leider den Nachteil, dass dadurch der sinnvoll austarierete Energieverbrauch steigt. Außerdem würden parallel dazu die Axonen dünner, die Verbindungen zu anderen Nervenzellen – Folge wäre eine Häufung neuronaler Übertragungsfehler.

Statt dessen eventuell den Vernetzungsgrad der Nervenzellen steigern oder die Signalwege verkürzen, um die Kommunikation im Hirn zu beschleunigen? Letztlich auch eine schlechte Idee: benötigt ebenfalls Energie und zudem mehr Platz. Das Gehirn ist schon jetzt das Organ mit dem höchsten Energieverbrauch. Fährt man den Spritverbrauch weiter hoch, stoßen wir sogar an thermodynamische Limits, wie Fox erläutert.

Fazit, so Fox: Wir haben die Grenzen des biologisch Sinnvollen wahrscheinlich erreicht. Jede Verbesserung auf einer Seite würde stets zu Einbußen auf einer anderen führen: „Die menschliche Intelligenz scheint sich an ihrem evolutionär möglichen Maximum zu befinden.“



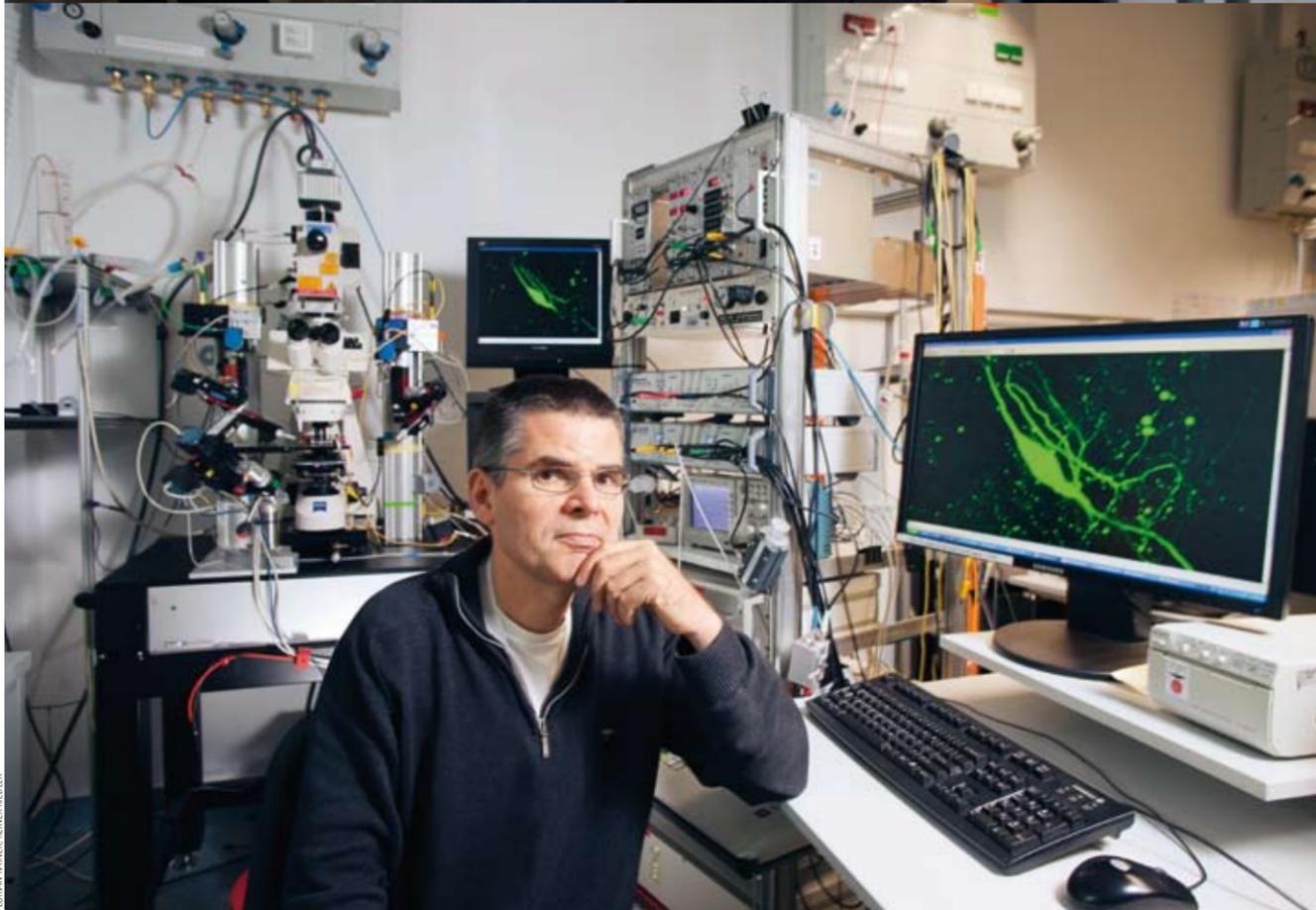
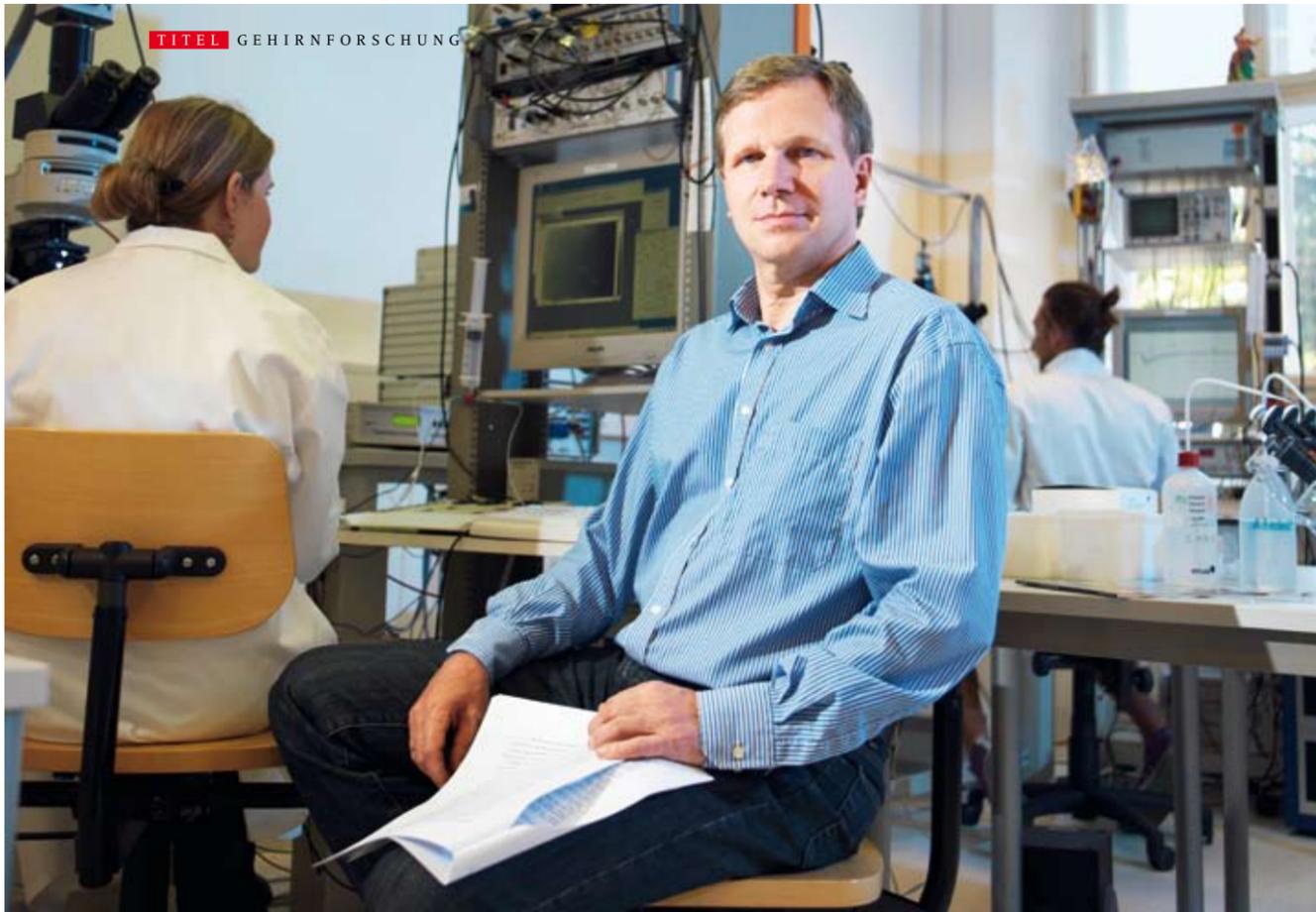
SCHWEIN & BÄR Ein Blick genügt, und das Gehirn erkennt und ergänzt selbst rudimentäre Muster.

funktionellen – und all dies im Bruchteil einer Sekunde.

Oder: Wie gelingt es uns, aus tausenden Gesichtern zielsicher genau jene unserer Freunde herauszulesen? Wieso kapiert man augenblicklich, wenn wir einen Kreis mit einem schwarzen Kringel darin sehen, dass es sich um die Karikatur eines Schweine-Hinterteils handelt? Eine Theorie besagt, dass es sich um ein evolutionäres Erbe handelt: Das Gehirn vervollständig blitzartig optische Schnipsel, um rasch eine passende Reaktion einzuleiten. Für unsere Vorfahren war es wohl ganz praktisch, schon die Flucht zu ergreifen, wenn aus einem Busch nur der Schwanz eines Löwen hervorlugte, und besser nicht zu warten, bis sie des ganzen Raubtieres ansichtig wurden.

Zudem ist das Gehirn mit seinen rund 30 visuellen Arealen nicht nur Großmeister in Mustererkennung und Objektvervollständigung, es interpretiert auch ständig – mit der Folge, dass wir nie die Realität sehen, sondern stets das, was das Hirn dafür hält. Ein Blick auf das doppelte Foto auf den Seiten 92/93 genügt, um diesen Umstand zu verdeutlichen: zwei Gesichter oder eine Vase? Ansichtssache.

Richtig komplex wird es bei höheren Fähigkeiten wie Sprache, Kultur, Empathie, Bewusstsein, Ich-Gefühl. Es sei förmlich „schwindelerregend“, wie der menschliche Geist „über die Bedeutung des Unendlichen nachdenken und sogar die eigene Stellung im Kosmos in Frage stellen“ könne, schwärmt der US-Hirnforscher Vilayanur Ramachandran. All dies erscheine völlig selbstverständlich, gänzlich mühelos – bis etwas im Hirn aus dem Tritt gerate. Wie kommt es, dass ein Mensch eines Morgens aufwacht und der festen



FLORIAN BÄHNER, BEHNER/REIDIER

HOCHKOMPLEX

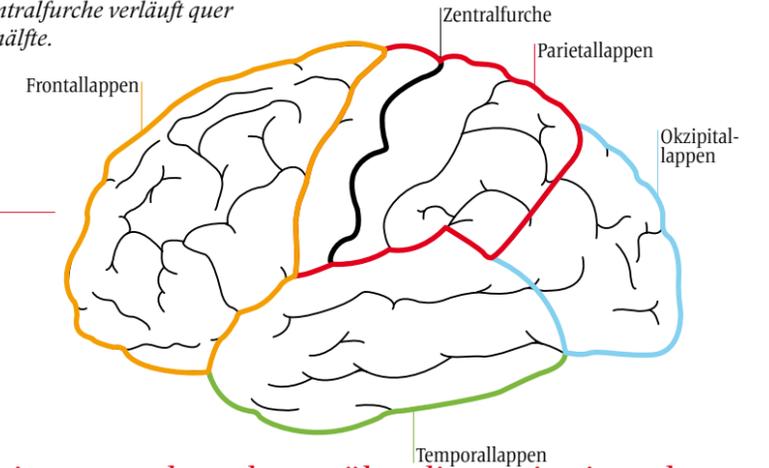
Hirnforscher Jürgen Sandkühler hat großen Respekt vor dem biologischen Wunderwerk und sagt: „Das Gehirn ist ein nicht-lineares, chaotisches System.“

ZIELGENAU

Hirnforscher Peter Jonas ist am Human Brain Projekt beteiligt und sagt: „In einer idealen Welt haben die Neurowissenschaften die gleiche Präzision wie Mathematik und Physik.“

LAPPEN-LAND

Hier sind die wichtigsten Areale der Großhirnrinde eingezeichnet. Die senkrechte Zentralfurche verläuft quer über die Hirnhälfte.



Das Großhirn ist beim Menschen derart überdimensioniert, dass es nur in Faltungen in den Kopf passt: Diese Erhebungen nennt man Gyri, die Furchen dazwischen heißen Sulci oder Fissurae.

Überzeugung ist, sein linkes Bein gehöre nicht zu ihm? Plötzlich scheinen sogar die sonst eindeutigen Grenzen des eigenen Körpers fraglich, die fixe Entität des angeblich unerschütterlichen Ich als ziemlich fragiles Gebilde.

Ramachandran schildert in einem neuen Buch viele solche Fälle *, etwa jenen eines Mannes, der nach einer Operation aus der Narkose erwacht und das Gesicht seiner Frau nicht mehr erkennt, ebenso wenig wie sein eigenes im Spiegel. Stimmen, Biografien, Erlebnisse – alles korrekt gespeichert, doch jede Gesichts- und Objekterkennung ist eliminiert.

Zu all diesen beängstigenden Phänomenen existieren Theorien. Doch eine valide Erklärung? Unterm Strich lassen sich zwar die Milliarden Neuronen samt ihren 100 Billionen Verknüpfungen abzählen, lässt sich die Hirnanatomie bis ins kleinste Detail sezieren. Wenn aber die Frage im Raum steht, wie der Reigen all der Bauklötchen tatsächlich funktioniert, muss die Neurowissenschaft passen. Nicht nur beim Menschen: Läppische 302 Neuronen besitzt der Fadenwurm *C. elegans*, und seit 20 Jahren ist jedes einzelne analysiert. Doch wie arbeitet sein Gehirn? Die ernüchternde Antwort: keine Ahnung.

„Nicht einmal die Informationsverarbeitung in einem Nervennetz von 30 bis 40 Zellen wird derzeit richtig verstanden“, sagt Jürgen Sandkühler. „Das Gehirn ist ein nicht lineares, chaotisches System.“ Bei aller Skepsis an der Umsetzbarkeit der Ziele des Human Brain Project im geplanten Zeitraum sieht er immerhin einen anderen großen Nutzen: die Bündelung von

Wissen. Die Neuroforschung sei heute „wie der Turmbau zu Babel. Wir generieren immer mehr isoliertes Fachwissen, aber der eine versteht die Sprache des anderen nicht mehr.“ Seine Hoffnung ruht daher auf einer riesigen, intelligenten und frei zugänglichen Datenbank mit sämtlichen Erkenntnissen der modernen Hirnforschung.

IST-Experte Jonas zählt zu jenen Wissenschaftlern, welche die Datensammlung füttern. Auch er unterstreicht die Diskrepanz zwischen dem Wissen um kleine neuronale Einheiten und dem Zusammenwirken des großen Ganzen. „Das Verständnis wird schwächer, je weiter nach oben man kommt“, befindet Jonas, der einen „Bottom-up-Ansatz“ vorschlägt und sich selbst auf die zelluläre und subzelluläre Ebene konzentriert. „Um ein Gesamtes zu konstruieren, ist es hilfreich zu wissen, wie die Einzelteile funktionieren.“

Gegenwärtig richtet er den Fokus auf Mikroschaltkreise im Hippocampus, jene Hirnstruktur, die Hans-Ulrich Dodt mit spezieller Technik visualisiert und die eine bedeutende Rolle für das Gedächtnis spielt. Eine Schädigung des Hippocampus geht mit einer Beeinträchtigung der Merkfähigkeit einher, wie etwa der Fall des 2008 verstorbenen Henry Molaison zeigt: Aufgrund epileptischer Anfälle wurde dem Mann der Hippocampus chirurgisch entfernt – mit dem Resultat anterograder Amnesie: Er konnte ab dem Zeitpunkt des Eingriffs nichts mehr Neues im Gedächtnis speichern. Bekannte begrüßte er jedes Mal, als würde er ihre Gesichter zum ersten Mal sehen.

Jonas befasst sich unter anderem mit inhibitorischen Synapsen des Hippocampus, welche den Botenstoff GABA aus-

schütten. Ziel der Forschung ist ein tieferes Verständnis der Kommunikation im Gedächtnisareal, in weiterer Folge aber auch die Analyse von Synaptopathien: einer gestörten Informationsübermittlung an den Übertragungsstellen der Nerven. Die langfristige Vision sei absolute Genauigkeit bei Diagnostik und Therapie: „In einer idealen Welt haben die Neurowissenschaften die gleiche Rigorosität und Präzision wie Mathematik und Physik.“

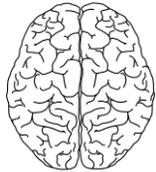
Beachtliche Fortschritte im Hinblick auf eine sehr konkrete Therapie konnten jüngst Forscher an Sandkühlers Institut vermelden: Sie spüren, ebenfalls tief im Mikrokosmos der Zellstrukturen, den Ursachen für chronischen Schmerz nach. „Schmerzen sind ein extremer Lebensbegleiter“, sagt Sandkühler: „Die Patienten kommen sich vor wie Folteropfer.“ Einer Arbeitsgruppe um Ruth Drdla-Schutting ist es gelungen, nicht nur die Mechanismen der Chronifizierung zu knacken, sondern vor allem eine wirksame Behandlung zu identifizieren – was dem renommierten Fachmagazin „Science“ eine Publikation wert war.

Heute ist evident, dass Schmerzen wie Gedächtnisbildung funktionieren, und zwar ganz im neurobiologischen Sinn: Der Patient erinnert sich nicht nur an seine Qualen, vielmehr entstehen gleichsam Kerben im Nervensystem. „Diese wirken als Schmerzverstärker, auch wenn die Ursache gar nicht mehr existiert“, so Sandkühler. „Das ist es, was man landläufig Schmerzgedächtnis nennt.“ An den Synapsen sprießen dabei vermehrt Rezeptoren, welche die Quelle dieses Erinnerungsvermögens darstellen. Sobald die im Übermaß vorhandenen Rezeptoren wirksam werden, ist eine Erregung von Ner-

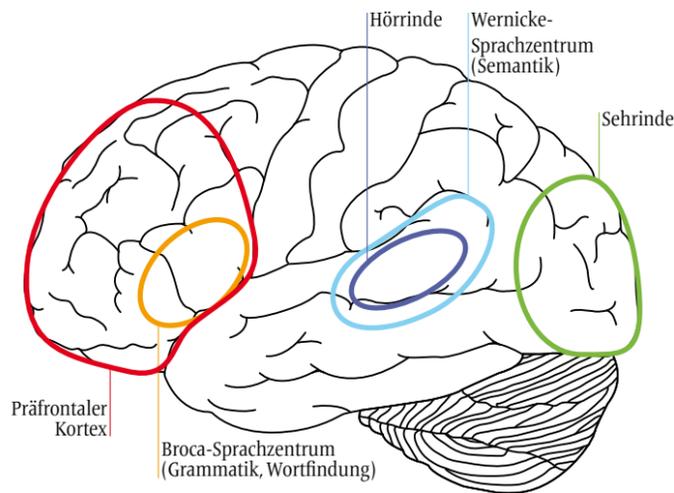
* V.S. Ramachandran: „Die Frau, die Töne sehen konnte“, Rowohlt 2013, 524 Seiten, EUR 24,95

WELT-SICHT

Der Präfrontalkortex im Stirnhirn ist wichtig für abstraktes Denken, die beiden Sprachareale sind für Inhalt sowie für Semantik zuständig.



Gehirn von oben mit den beiden Hemisphären



Wenn eines der Sprachzentren ausfällt, treten bizarre Effekte auf: Betroffene können kaum reden, verstehen aber alles. Oder sie bilden betörende Satzmonster ohne den geringsten Sinn.

venzellen die Folge – und eine Schmerz-wahrnehmung. Die Wissenschaft hat dafür einen Fachbegriff: synaptische Langzeitpotenzierung. Sandkühler: „Beim Lernen ist dies fundamental, aber auch bei Schmerz oder Angst. Man sagt ja auch, etwas brenne sich ins Gedächtnis ein.“

Drdla-Schutting und ihren Kollegen glückte das Kunststück, einen Weg zur Ausschaltung der überzähligen Rezeptoren zu finden: Im Tierversuch gelang es, den fatalen Prozess mit kurzen Gaben hochdosierter Opiode umzukehren. Die Präparate radierten die wild wuchernden Schmerzempfänger radikal aus. Die Frage ist nun, wie man diesen therapeutischen Ansatz auf den Menschen übertragen kann, ohne extreme Opioidmengen verabreichen zu müssen. Studien mit Probanden laufen mittlerweile, die zusätzlich auch der Frage nachgehen, ob bestimmte Patienten besonders anfällig für die Entstehung von Schmerzrezeptoren sind. Dies sei ein gelungenes Beispiel für den Sinn von Gehirnforschung, findet Sandkühler: „Wenn wir solche Zusammenhänge gut genug verstehen, können wir viel Gutes für die Patienten tun.“

Weniger evident ist oft der konkrete Nutzen einer Sparte, die jedoch zumeist die größte Aufmerksamkeit abschöpft. Die entsprechenden Medienmeldungen beginnen gern mit den Worten „Neuroforscher haben entdeckt, dass ...“ und sind meist dekoriert mit Gehirnaufnahmen voller bunter Flecken. Diese sollen farblich anzeigen, dass in einer Hirnregion Neuronen besonders aktiv sind, was wiederum als Indiz für die Reaktion des Gehirns auf einen bestimmten Reiz gewertet wird. Die Resultate dieses Forschungszweiges, der gleichsam eine Ebene höher

ansetzt – nicht bei einzelnen Zellen, sondern Zellverbänden, die funktionale Einheiten repräsentieren sollen –, sorgen oft für das gewisse Prickeln: Psychopathie und Empathie, Treue und Tendenz zum Seitensprung, Lüge und Laster, Sex und Sucht, Gott, Geld und Gewalt – all dies sollen Muster im Gehirn verraten.

Diese Welt der Hirnareale ist selbst für Fachleute verwirrend. Mehr als 100 solche Regionen sind heute katalogisiert. Sie heißen cingulärer Gyrus, dorsolateraler Präfrontalkortex, Nucleus caudatus oder ventrales Tegmentum. Bisweilen spüren Forscher in derartigen Hirnzentren durchaus überzeugende Wirkungsketten auf. So richtete sich ein hohes Maß an Interesse zuletzt auf den präfrontalen Kortex auf der Stirnseite, eine wichtige Steuerzentrale für Konzentration, Planung, Analyse und abstraktes Denken. Gerät der Mensch jedoch unter Stress, können Botenstoffkaskaden eine regelrechte Blockade dieses Areals bewirken. Sie schließen ihn gleichsam kurz, und das Gehirn schaltet um auf evolutionär alte und tendenziell archaischen Reaktionen gewidmete Strukturen wie den Hypothalamus. Gelegentlich mag so ein Knockout der Logik angehen – doch wer permanent unter Stress steht, riskiert das dauerhafte Verkümmern seines analytischen Denkzentrums.

Bemerkenswerte Regelkreise existieren auch in Bezug auf posttraumatische Belastungs-, auf Zwangsstörungen und Depressionen. Der Schlüssel zu Letzteren dürfte ein Zellhaufen namens „Area 25“ sein, gleichfalls im präfrontalen Kortex situiert und mit der Amygdala verbunden – einer Struktur, die mit Angstgefühlen assoziiert ist. Wer zu Depressionen neigt, ▶

Krücken fürs Gehirn

Neuroprothesen

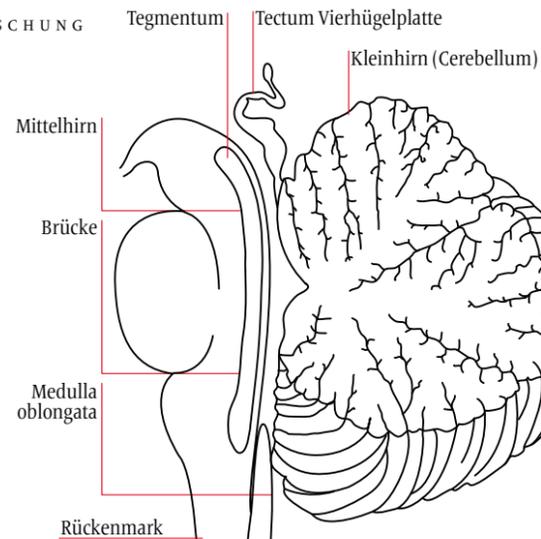
sollen, direkt im Schädel eingepflanzt, schwere Hirnleiden mittels elektrischer Impulse bekämpfen.

Es klingt wie Science-Fiction, ist aber in Ansätzen bereits Realität: Wenn etwas im Gehirn aus dem Takt gerät, pflanzt man ein Reparaturmodul ein: Sogenannte „Neural-Electrical Interfaces“ oder „Neuroprothesen“ sollen die Funktion defekter Sinnesorgane übernehmen und Krankheiten wie Alzheimer oder Parkinson positiv beeinflussen. Solche Implantate zur Hirnstimulation greifen regelnd in den Elektrizitätshaushalt des Gehirns ein.

Beispiel fokale Epilepsie: Ins Hirn eingesetzte Elektroden können einen hemmenden Effekt auf übererregte Areale ausüben. Das Hirngewebe toleriert derlei Manipulationen bisherigen Erfahrungen zufolge recht problemlos. Beispiel Sucht: Das Verlangen nach einer Droge entsteht, wenn das Belohnungssystem via Ausschüttung von Botenstoffen etwa auf Alkoholkonsum mit einem Erfolgserlebnis reagiert – und sofort mehr fordert. In deutschen Studien gelang es, durch Implantation von Elektroden in den Nucleus accumbens im limbischen System, das Verlangen nach Alkohol zu unterbinden. Auch bei Depressiven und Patienten mit Zwangsstörungen wird dieses Areal angesteuert. Bei Alzheimer hingegen dient elektrische Stimulation dazu, bestimmte Synapsen zu stabilisieren und dadurch nachlassende Gedächtnisleistung zu kompensieren.

Parkinson wiederum ist nicht nur ein Problem der Produktion des Botenstoffs Dopamin. Weiters wirkt irregeleitetes Feuern der Zellen in einem Areal namens Nucleus subthalamicus wie ein Störsender und beeinträchtigt die Motorik der Patienten. Als Gegenstrategie käme „Tiefe Hirnstimulation“ infrage: Elektroden werden dabei durch ein winziges Loch im Kopf minimalinvasiv in dieses Areal eingepflanzt, Kabel unter der Haut appliziert sowie ein Impulsgeber implantiert – im Grunde vergleichbar einem Herzschrittmacher im Gehirn.

VERKABELT Hauchfeine Drähte im Gehirn sollen Gruppen von Nervenzellen gezielt stimulieren.



MITTEL-BAU
Zwischen Großhirn und Rückenmark: die Kommando-zentralen dazwischen mit dem Kleinhirn und den Strukturen des Hirnstamms.

Die Großhirnrinde, der evolutionär jüngste Teil, ist keineswegs Alleinherrscher über unsere Sinneseindrücke – aber vermutlich exklusiv zuständig für das Bewusstsein von Wahrnehmung.

weist häufig eine verkleinerte, aber überaktive Area 25 auf. Das Leiden werde deshalb inzwischen „als neuronale Verschaltungsstörung“ betrachtet, erläutert der US-Psychiater Thomas Insel. Er meint, dass angesichts solcher Erkenntnisse die Neurowissenschaft „die rein psychologischen Vorgehensweisen des vorigen Jahrhunderts zu verdrängen“ beginne.

Doch abgesehen von manch soliden Daten ist das Universum der Hirnareale oft ein Reich der Spekulation. Seriöse Forscher bezweifeln heute sogar generell die Annahme, das Gehirn lasse sich in abgezielte Module ordnen. „Es gibt keine natürlichen funktionellen Grenzen, sondern schlicht vom Menschen definierte“, moniert Sandkühler. „Das Gehirn arbeitet nicht wie eine Behörde, wo eine Abteilung für Steuerfragen zuständig ist und eine andere für Reisedokumente. Es ist deutlich interaktiver.“ Dies zeige sich schon beim Ausfall eines Areals: Bis zu einem bestimmten Grad können andere Regionen einspringen, weshalb Sandkühler als besondere Leistungen des Gehirns „Plastizität und Redundanz“ lobt.

Selbst manch angebliche Gewissheiten müssen dezent revidiert werden. Lange galt die Annahme, der Mensch besitze zwei Zentren für Sprache: das für Grammatik und geschmeidige Wortproduktion zuständige Broca-Areal sowie das der Semantik gewidmete Wernicke-Areal. Bei einem Ausfall von einem der beiden treten tatsächlich bizarre Effekte ein: Betroffene büßen entweder ihre Sprechfähigkeit ein, ohne aber mit inhaltlicher Bedeutung Probleme zu haben, oder sie sondern betörende Satzmonster ab, die jedoch nicht den geringsten Sinn ergeben. Allerdings ist inzwischen erwiesen, dass

keineswegs nur die beiden Areale an der Sprachverarbeitung beteiligt sind, sondern auch andere, darunter der Thalamus. „Die Vorstellung von abgegrenzten Arealen wäre in gewisser Weise fast wie moderne Phrenologie“, urteilt Ewald Moser (siehe dazu auch Kasten Seite 28).

Er ist gemeinsam mit dem Radiologen Siegfried Trattinig Leiter des Exzellenzzentrums Hochfeld-Magnetresonanz – und betreibt jene Apparaturen, mit denen kognitive Neurowissenschaftler gerne Gehirne zum Leuchten bringen. Um die Aussagekraft all der Studien zu beurteilen, die angeblich das Gehirn beim Denken beobachten, muss man wissen, was die Technik leisten kann. Wichtigstes Werkzeug ist heute die funktionelle Magnetresonanz (fMRT), auch Kernspintomografie genannt (siehe dazu auch Geschichte ab Seite 48). In einem Seitentrakt des Wiener Allgemeinen Krankenhauses steht der Ferrari unter diesen Hightech-Maschinen: Stahlwände umgeben die gewaltige Sieben-Tesla-Röhre, die von einer Stahlbetonplatte getragen wird und an eine Heliumkühlung angeschlossen ist. Das Magnetfeld des Geräts, 140.000 Mal so stark wie jenes der Erde, flößt durchaus Respekt ein: Nähert man sich mit einem Schlüsselbund in der Hand, spürt man augenblicklich enormen Zug durch die Handfläche hindurch, und selbst die Gürtelschnalle strebt Richtung Röhre.

In ihrem Inneren werden drei Magnetfelder genutzt, um Körpergewebe sichtbar zu machen: Eines erzeugt die Röhre selbst, ein zweites generiert Spulen, die am darzustellenden Körperteil, etwa am Kopf, fixiert werden und sogenannte orthogonale Magnetfelder produzieren. Permanentes Umschalten dieser Felder ver-

ursacht die typisch hämmernden Geräusche. Drittens regen Hochfrequenzpulse Gewebeteilchen im Körper an, sich zum Magnetfeld auszurichten.

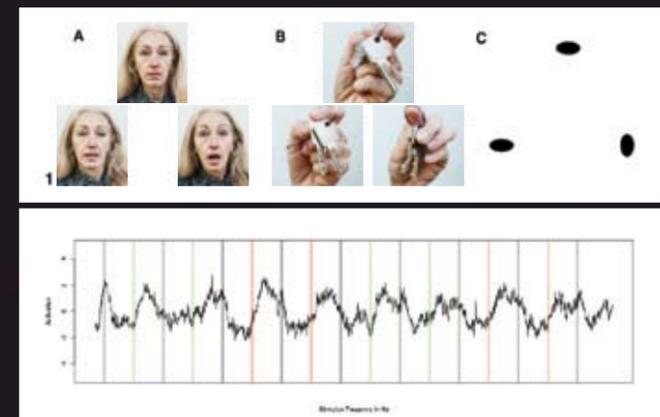
In der Hirnforschung werden kleine Gewebewürfel von rund zwei Millimeter Seitenlänge abgebildet, Voxel genannt, wobei der Scanner etwa alle zwei Sekunden ein Bild schießt. Aus dieser recht groben zeitlichen Auflösung resultiert das erste Problem der bunten Aufnahmen: Was die Neuronen innerhalb dieser Zeitfenster anstellen, bleibt im Dunkeln. Moser vergleicht dies mit einer topografischen Karte: Einzelne Erhebungen seien sichtbar, doch „der Bodennebel dazwischen wird nicht gelichtet“. Ein wesentliches Ziel sei deshalb, den Takt der Bildgebung zu erhöhen.

Die zweite Schwierigkeit ist die Messung der Hirnaktivitäten. Denn direkt ist das Feuern der Neuronen überhaupt nicht zu beobachten. Da das Hirn beim Denken Sauerstoff verbraucht, kann dessen Sättigung im Blut dabei von bis zu 98 Prozent auf etwa 40 Prozent absacken – und dieser Sauerstoffabfall liefert indirekt Indizien dafür, dass wir an einer bestimmten Stelle gerade Hirnschmalz einsetzen. Doch wird der Sauerstoff tatsächlich exakt in jenem Areal verbrannt, dem selbstbewusste Forscher mit großer Geste eine bestimmte Funktion zuschreiben? Schon eine winzige räumliche Abweichung könnte die Resultate, ganz im Wortsinn, auf den Kopf stellen: Womöglich feuern die Nervenzellen knapp daneben im Nachbarareal. Wenn also wieder einmal vermeldet wird, dass gerade etwa ein „Religions“-Modul geortet wurde, ist durchaus Skepsis angebracht. „Die Bildgebung ist momentan der große Boom“,

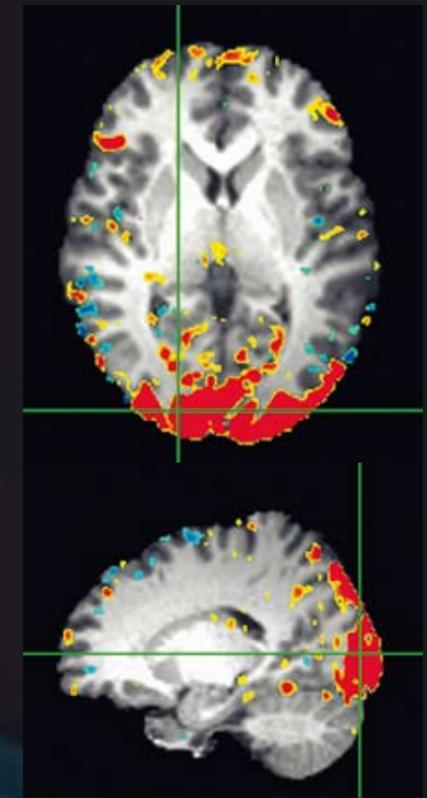
Yes, we scan

So entstehen bunte Gehirnaufnahmen: Die hier dargestellte Versuchsanordnung stammt von einem Experiment am Wiener Exzellenzzentrum für Hochfeld-MR.

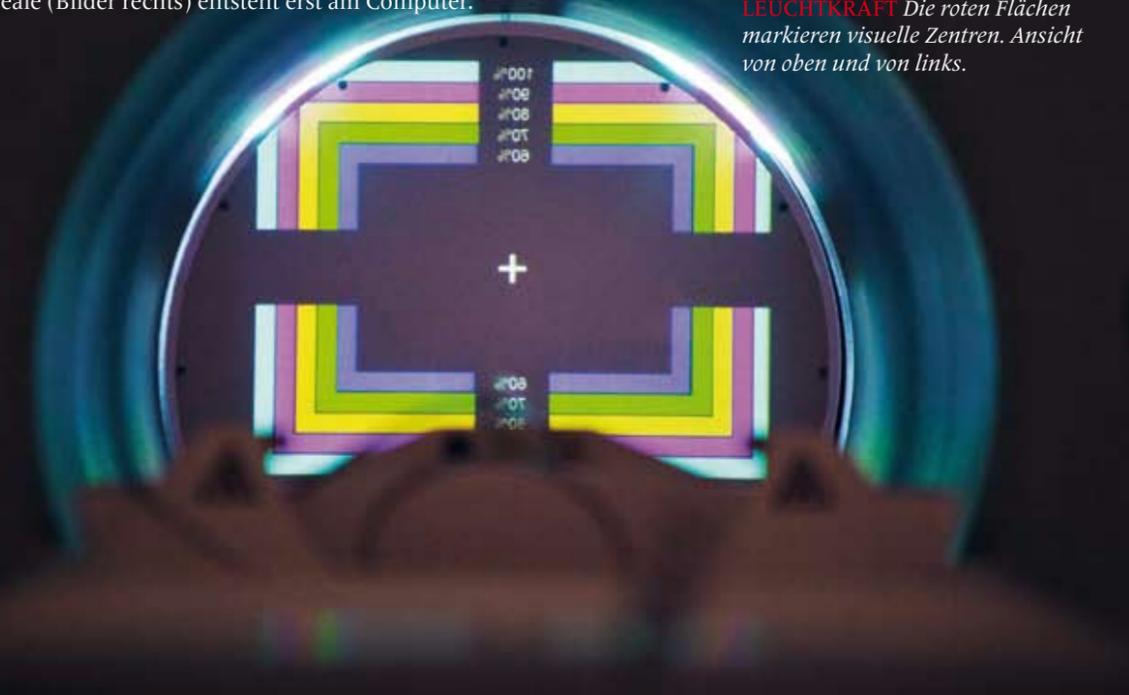
Die Versuchsperson liegt in einem Magnetresonanztomografen (MR) und kann einen Bildschirm betrachten (Foto unten). Auf diesen werden Bilder eingespielt, welche der Mustererkennung dienen: jeweils zwei sind einander ähnlich, eines weicht davon ab – ob Gesichtsausdrücke (A), ein Objekt (B) oder eine geometrische Form (C). Der Tomograf zeichnet über den Umweg



der Sauerstoffsättigung im Blut die Aktivität in den visuellen Hirnzentren auf. Eine Welle zeigt die Schwankungen der Sauerstoffsättigung aufgrund neuronaler Erregung (oben). Die rote Färbung der Areale (Bilder rechts) entsteht erst am Computer.



LEUCHTKRAFT Die roten Flächen markieren visuelle Zentren. Ansicht von oben und von links.



Helle Köpfe

Seit Jahrtausenden

interessieren sich Naturforscher für die Funktion des Gehirns. Ein historischer Abriss.



SCHÄDELÖFFNUNG Schon vor Tausenden wurden sogenannte Trepanationen durchgeführt.

- Schon vor rund 7000 Jahren wurden Schädelöffnungen, sogenannte Trepanationen, durchgeführt, wie Funde aus frühsteinzeitlichen Gräbern zeigen. Die Menschen, denen bis zu fünf Zentimeter durchmessende Löcher in die Köpfe gebohrt wurden, müssen die Eingriffe teils um Jahre überlebt haben. Dies belegen gut verheilte Wunden.
- Die erste bekannte Aufzeichnung über das Gehirn ist ein Papyrus aus dem 16. vorchristlichen Jahrhundert. Der Papyrus beschreibt unter anderem Diagnose und Therapie von Menschen mit Kopfverletzungen.
- Die griechischen Gelehrten Pythagoras, Hippokrates und Platon sahen im Hirn den edelsten Teil des Körpers – anders als Aristoteles, der das Herz als bedeutendstes Organ erachtete.
- Der Anatom Galen entdeckte im zweiten Jahrhundert nach Christus den Seh- und Hörnerv und postulierte, das Gehirn sei die Zentrale der Wahrnehmung. Galen beschrieb auch die Hohlräume des Gehirns, die Ventrikel.
- Im 16. Jahrhundert fertigte Andreas Vesalius anhand von humanen Hirnschnitten äußerst präzise anatomische Skizzen an.
- René Descartes befasste sich intensiv mit dem Nervensystem, wobei er einen durch den Körper strömenden Spiritus animalis annahm, dessen Fluss durch Nerven und

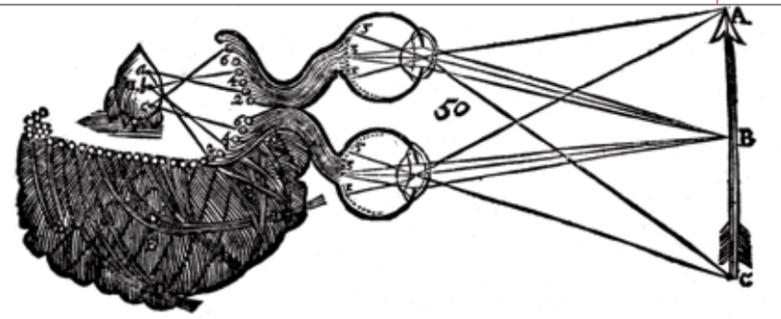
Ventrikel er darstellte. Er beschrieb das Sehsystem und sensorische Reize wie die Schmerzleitung. Besondere Bedeutung billigte er der Zirbeldrüse zu.

- Im 18. Jahrhundert führte der Italiener Luigi Galvani seine berühmten Versuche an Froschschenkeln durch. Er bewies damit, dass Nerven elektrisch reizbar sind.
- Die Idee, dass einzelne Hirnareale bestimmte Funktionen haben, geht wesentlich auf den Deutschen Franz Joseph Gall zurück – selbst Talente und Charakterzüge sollten im Gehirn zu verorten sein. Mit der Zeit geriet diese Schädellehre, die Phrenologie, jedoch immer mehr in Verfall.
- Um die Mitte des 19. Jahrhunderts entdeckte der Anatom Otto Deiters die beiden Fortsätze von Nervenzellen, heute als Dendriten und Axone bekannt. 1891 wurde die Bezeichnung „Neuron“ geprägt. Sechs Jahre später erhielten die Kontaktstellen der Neuronen den Begriff „Synapsen“. Schon zuvor waren dem Spanier Santiago Ramón y Cajal diese „Endknöpfchen“ an den Nervenzellen aufgefallen.
- Dem Chemiker Otto Loewi gelang im 20. Jahrhundert der Nachweis, dass Neuronen auch wirksame Substanzen ausschütten – heute als Neurotransmitter oder Botenstoffe bekannt.

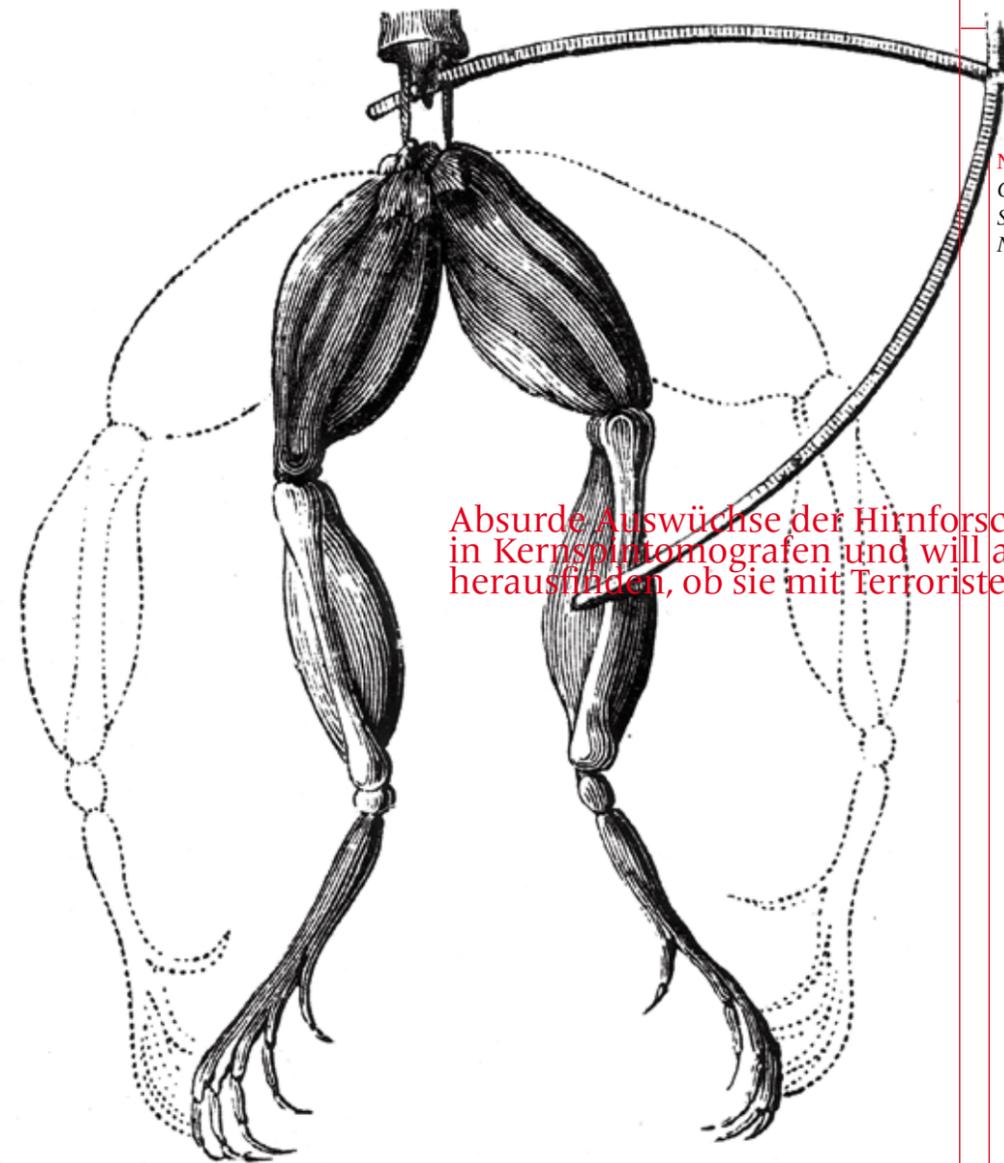
FRÜHE ANATOMIE Andreas Vesalius fertigte präzise Skizzen von Hirnschnitten an.



STARK VERNETZT René Descartes befasste sich mit dem Nervensystem, mit der Schmerzleitung und dem visuellen System. Hier seine Darstellung optischer Reizverarbeitung.



SCHÄDELBASIS Franz Joseph Gall gliederte das Gehirn in einzelne Funktionsbereiche, was später als Phrenologie in Verruf geriet. Rechts die Gall'sche Schädelammlung.



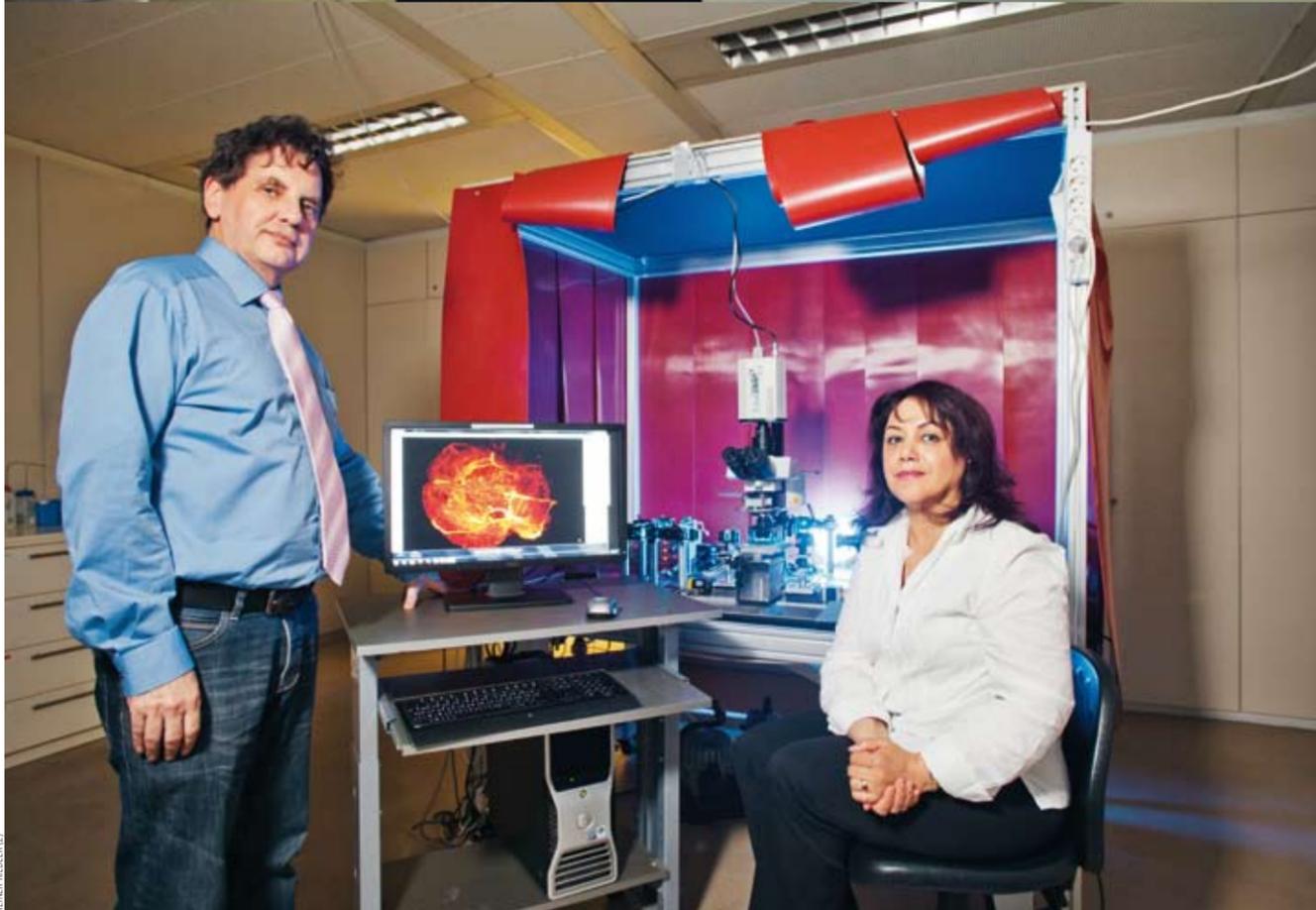
NERVENZUCKUNGEN Luigi Galvani bewies anhand von Studien an Froschschenkeln, dass Nerven elektrisch reizbar sind.

FIG. 397.—Contraction of the muscles of a frog. Repetition of Galvani's experiment.

konstatiert Moser. „Jetzt ist es aber Zeit für einen Realitycheck und eine Beurteilung, was der solide Kern des Ganzen ist.“ Denn zweifelsohne birgt die Bildgebung segensreiches Potenzial, und zwar nicht nur im Hinblick auf präzise Diagnostik wie etwa bei der Detektion von Hirntumoren. Moser berichtet von einer Studie an Zellen im Hypothalamus, die das Hormon Hypocretin ausschütten. Dieses ist unter anderem für den Muskeltonus verantwortlich, und eine Fehlfunktion kann bewirken, dass Menschen einfach zusammensacken oder in fatalen Sekundenschlaf fallen. Hier wäre ein tieferes Verständnis der Mechanismen zweifelsohne von medizinischem Nutzen.

Am anderen Ende der Skala stehen abstruse Vorhaben wie jenes, vermeintliche Terrorsympathisanten in Hirnscanner zu zwingen. Die Idee dahinter: Man zeigt den Verdächtigen Bilder von bärtigen Zeitgenossen und fragt, ob es sich um Bekannte handelt. Für den Fall, dass dies zutrifft, man die Bekanntschaft aber verbergen will, sollen angeblich Hirnareale aufleuchten, die der Unterdrückung dienen. Moser: „Das sind absurde Auswüchse.“

Dass damit brauchbare Ergebnisse zu erzielen sind, ist ebenso unwahrscheinlich wie die unheilvolle Vorstellung, mit moderner Technik Gedanken lesen zu können. „Das funktioniert bis heute nicht wirklich“, sagt Moser. „Deshalb braucht auch niemand Angst davor zu haben.“ Wenn von einschlägigen Experimenten die Rede ist, geht es stets darum, dass ein im Tomografen liegender Proband an eines von zwei Objekten denkt – zum Beispiel Auto oder Baum. Weil bei jedem Gedanken unterschiedliche Neuronenknäuel feuern, so die These, soll dies anhand



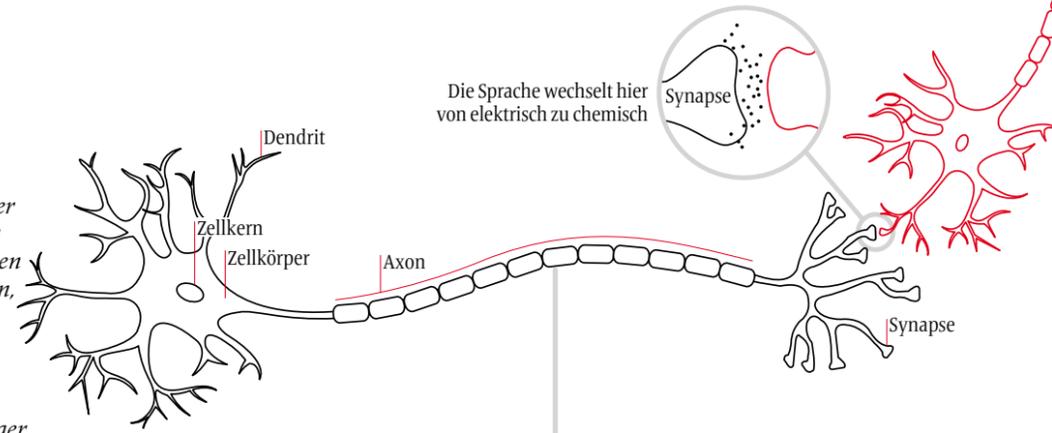
REINER REIER (2)

WEITBLICK

Der Medizinphysiker Ewald Moser sieht die moderne Hirnforschung auch kritisch und sagt: „Wir wollen mit dem eigenen Gehirn erkennen, wie unser Gehirn funktioniert.“

EINBLICK

Hans-Ulrich Dodt und Saiedeh Saghaei machen Gehirne mit kluger Technik dreidimensional sichtbar. So ermöglichen sie eine Wanderung durch das Gehirn.



Die innere Architektur der Nervenzellen: Neuronenkerne formen die Materie für die sprichwörtlichen „grauen Zellen“, die Axonen nehmen über Synapsen Kontakt zu weiteren Nervenzellen auf.

signifikanter Muster im Gehirn abzulesen sein. Die Zuverlässigkeit der Resultate ist allerdings strittig, und bisweilen lassen sich die Apparaturen von gewollten Gedankensprüngen der Versuchspersonen plump überlisten. Doch gerade das „Auslesen von Gedanken oder Emotionen ist jener Bereich der Hirnforschung, der bei vielen Menschen Unbehagen auslöst“, so Jürgen Sandkühler. Gleiches gelte für die Frage, „ob der freie Wille nur eine Illusion ist und ob wir deterministische Maschinen sind“ (siehe auch Seite 38).

Zugleich sind das die Themen mit dem höchsten Thrill-Potenzial: das Denken und den Geist als Ganzes zu verstehen, und zwar unter besonderer Berücksichtigung von mentalen Phänomenen, die als exklusiv menschlich gelten. Zwangsläufig schlittert man damit neuerlich ins Reich der Mutmaßung, und das Unterfangen entbehrt auch nicht einer satten Portion Ironie: „Wir wollen mit dem eigenen Gehirn erkennen, wie unser Gehirn funktioniert“, sagt Moser.

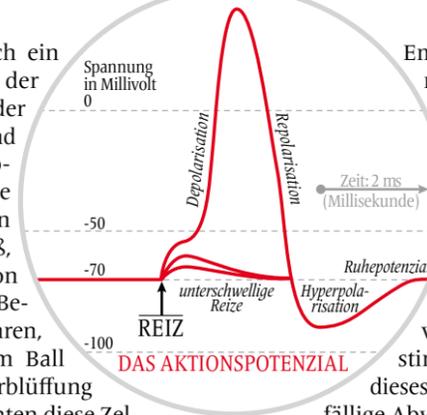
Gesichert ist zumindest, dass der Mensch im Verhältnis zur Körpergröße ein überdimensioniertes Gehirn besitzt; verbrieft ist auch, dass die Dichte an Neuronen darin überdurchschnittlich hoch ist. Aber verleiht uns das schon Fähigkeiten, die anderen Lebewesen nicht zu eigen sind? Ja, meinen Neuroforscher wie Ramachandran. Der Amerikaner räumt immerhin freimütig ein, dass auch er gern drauflos spekuliert, wenn er nach den Wurzeln für Abstraktion und Ästhetik, Kunst und Kreativität fahndet.

Es wäre ein aussichtsloses Vorhaben, all die Debatten auch nur anzuschneiden, die zurzeit geführt werden, um das neuronale Destillat des Humanen aufzuspü-

ren. Exemplarisch ein Beispiel: Einer der Dauerbrenner der Hirnforschung sind die Spiegelneuronen – spezielle Nervenzellen, von denen man weiß, dass sie in Aktion treten, wenn wir Bewegungen ausführen, etwa nach einem Ball greifen. Zur Verblüffung der Fachwelt geraten diese Zellen nicht nur in Aufruhr, wenn wir selbst handeln, sondern auch dann, wenn wir jemand anderen bei einer Handlung beobachten. Mental vollziehen wir dessen Aktion gewissermaßen nach. Zwar verfügen auch Primaten und andere Tiere über Spiegelneuronen, doch beim Menschen dürften sie besonders ausgereift sein.

Daran knüpft sich die Schlüsselfrage: Verleiht uns dieses Neuronensystem einige unserer ganz besonderen Eigenschaften? Wer im Geiste stets die Handlungen seines Gegenübers begleitet, kann sich vielleicht genau dadurch in andere hineinversetzen, ist womöglich erst aufgrund dieser Art von virtueller Realität im eigenen Hirn zu Anteilnahme und Mitgefühl fähig – und zu Nachahmung, einer Qualifikation, der wir wohl Errungenschaften wie Sprache und Kunst verdanken. Denn Lernen durch Imitation gilt als Turbo für die Ausprägung dieser Kompetenzen.

Erneut erscheinen die Argumente dann besonders plausibel, wenn man Menschen betrachtet, deren Verhalten der Norm zuwiderläuft. Als typische Symptome von Autismus kennen Ärzte einen Mangel an sozialer Kontaktfähigkeit und



Empathie, frühes Desinteresse am Spiel sowie die generelle Schwierigkeit, andere nachzuahmen oder sich in sie hineinzuversetzen. Womöglich ein Problem der Spiegelneuronen? In der Tat belegen Studien inzwischen anhand von EEG-Messungen bestimmter Hirnwellen, dass dieses System bei Autisten auffällige Abweichungen zeigt.

Ist es dagegen intakt, sollte der Mensch zur sogenannten „Theory of Mind“ in der Lage sein, gleichsam die Königsdisziplin des Geistes: Aufgrund des offenbar biologisch verankerten Einfühlungsvermögens kann man nicht nur die Welt vom Standpunkt eines anderen betrachten, man ist sich auch bewusst, dass der andere ebenso denkt und reflektiert – und kann Wortketten wie die folgende spinnen: Ich weiß, dass der andere weiß, dass ich weiß, dass er über mich nachdenkt. Im Umkehrschluss bedarf es dafür einer untrüglichen Grenzziehung zwischen zwei Personen, der klaren Unterscheidung zwischen „selbst“ und „fremd“ – was eine Basis für das „Ich-Gefühl“ des Menschen wäre.

Sollte das alles wirklich so banal sein? Ein Klumpen Neuronengewebe als Substrat des Selbst-Bewusstseins? Viel Spekulation eben, wie Ramachandran wiederholt konzidiert. Doch oft sei dies der erste Schritt zu einer handfesten Theorie, die sich im Idealfall experimentell nachprüfen lasse.

Man ist durchaus geneigt, ihm in der Tendenz beizupflichten.

Man wird ja noch denken dürfen. ■