

Schalter für die Sinne

Gegenwärtige und zukünftige Möglichkeiten der Neurowissenschaft

BRYAN CHRISTIE



INNENOHR-IMPLANTATE



speisen Hörreize über den Hörnerv ins Gehirn ein.

CYBORG-OHR



Forscher in Princeton haben mit dem 3-D-Drucker ein mit Elektronik versehenes Ohr aus echten Zellen hergestellt, das auch Ultraschall hören kann.

NEUER SINN



Forscher in North Carolina haben einer Ratte beigebracht, mit ihren Schnurrhaaren Infrarotlicht zu sehen. Bei Affen leiten die Wissenschaftler entsprechende Reize an die für die Fingerspitzen zuständigen Hirnzellen.

CYBORG-GEWEBE



Harvard-Forscher haben Gewebe hergestellt, das von Nanodrähten und Nanotransistoren durchzogen ist. Damit könnten Transplantate elektronisch verstärkt oder überwacht werden.

TIEFENHIRN-STIMULATION



Tief ins Gehirn eingeführte Elektroden lindern Krankheiten, beispielsweise Parkinson.

OPTOGENETIK



Gentechnisch werden Lichtschalter ins Erbgut bestimmter Nervenzellen geschleust. Ihre Aktivität lässt sich über ins Gehirn führende Glasfasern steuern.

HIRN-COMPUTER-INTERFACE



Elektroden messen Reize im Kortex und senden Steuerungssignale an einen Roboter oder einen Computer-Cursor.

HIRNVERSCHALTUNG



Forscher haben die Gehirne von zwei Ratten in den USA und in Brasilien miteinander verschaltet. Diese lösten auf diese Weise gemeinsam Probleme und lernten durch wechselseitigen Hirnkontakt voneinander.

FALSCHER ERINNERUNG



MIT-Forscher pflanzten Mäusen mit Hilfe der Optogenetik Erinnerungen ein, die sie nie hatten. Könnte zum Löschen oder Überschreiben von Traumata dienen.

DER SPIEGEL



Die Hirningenieure

Die Ära der Maschinenmenschen bricht an: Forscher beginnen damit, neuronale Schaltkreise zu manipulieren. In Zukunft wollen sie kranke Gehirne reparieren wie Autos. Im Affenversuch testen sie bereits eine Gedächtnisprothese.

Im Schädel der Patientin Jan Scheuermann stecken zwei Bolzen. Zwei runde, metallisch glänzende Sockel mit angeschraubten grauen Kabeln, durch die die Gedanken der Frau direkt aus ihrem Gehirn fließen.

Der Vorschlag der Forscher, ihren Schädel zu öffnen, flößte der 52-jährigen Pittsburgerin keine Angst ein. „Wieso? Bei so einer Chance hätte ich doch gar nicht nein sagen können“, sagt sie. „Für mich ist das so aufregend wie Achterbahnfahren oder Fallschirmspringen.“

Scheuermann ist seit mehr als zehn Jahren gelähmt; sie kann weder Arme noch Beine bewegen. „Nicht einmal mit den Schultern kann ich zucken“, sagt sie. Deshalb sei es so überwältigend, dass sie jetzt wieder ein Glas heben, einen Stift greifen, eine Hand schütteln könne.

All das ist möglich, weil ein Roboterarm den Befehlen gehorcht, die aus ihrem Gehirn strömen.

Denn in ihren Motorkortex, jene Hirnregion, die für die Steuerung von Bewegungen zuständig ist, haben Forscher zwei erbsengroße Chips montiert. Jeder von ihnen ist mit 96 hauchfeinen Sensoren bestückt. Diese horchen das elektrische Geplauder der Neuronen ab und senden es über die Kabel in Scheuermanns Schädel an einen armförmigen Hightech-Roboter.

Etwas ruckend zwar, zunächst ein bisschen unentschlossen, doch dann recht zielsicher bewegt sich Hektor, wie Scheuermann ihre Prothese getauft hat. „Anfangs musste ich konzentriert denken: ‚Vorwärts, weiter rechts, jetzt das Gelenk drehen, dann zupacken‘“, erzählt sie. Aber inzwischen gehe es wie von selbst: „Es ist, als wäre Hektor ein Teil von mir.“

Gut 15 Jahre ist es her, dass Jan Scheuermann, damals eine lebhaftes Kriminal-schriftstellerin mit dunkelblond gelocktem Haar, vor einer Fernsehkamera witzelte: „Ich habe mehr als 250 Menschen getötet und laufe immer noch frei herum.“ Sie ahnte nicht, wie bald es vorbei sein würde mit dem freien Herumlaufen: Kurz nach ihrem Fernsehauftritt spürte sie, wie ihr Gehirn die Kontrolle über ihre Beine verlor. Zwei Jahre dauerte es,

dann hatte eine degenerative Nerven-erkrankung die Verbindung zwischen Gehirn und Körper zerstört. Einzig die Gesichtsmuskeln blieben verschont.

Ihr größter Wunsch sei es, so sagte sie den Pittsburger Forschern, wieder selbstständig Schokolade essen zu können. Hektor hat ihr diesen Wunsch erfüllt: Allein kraft ihrer Gedanken griff die Roboterhand nach einer Tafel Milchsokolade und führte diese zu ihrem Mund.

Die Krankheit hat ihre Sprache stockend gemacht, den Humor hat sie ihr nicht ausgetrieben. „Ein – kleines Häppchen – für eine Frau, ein – großer Bissen – für die Wissenschaft“, verkündet sie, während sie stolz auf der Schokolade kaut.

Der Scherz hat einen wahren Kern: Zwar sind die Apparaturen noch zu klobig, die Kabel im Schädel zu lästig und Hektors Bewegungen zu stockend, um wirklich alltagstauglich zu sein. Dennoch stellt die Verkabelung von Scheuermanns Gehirn eine Zäsur dar: Nervensystem und Computer verschmelzen miteinander. „Die Cyborg-Ära hat begonnen“, verkündet das Wissenschaftsblatt „Science“.

„Wir sind schon immer eine Nation von Träumern und Abenteurern gewesen.“

Barack Obama

„Ich würde nicht behaupten, dass wir das Gehirn decodiert haben“, meint Reha-Spezialist Michael Boninger, einer der beteiligten Forscher. „Aber wir sind auf dem Weg dorthin.“

Aufbruchstimmung hat die Neuro-wissenschaften erfasst. Lange Zeit hatten die Biologen nur einzelne Nervenzellen untersucht, sie hatten jeden einzelnen Ionenkanal in der Zellmembran studiert und waren dem Pfad jedes Botenstoffs gefolgt. Jetzt haben sie ganze Schaltkreise von Neuronen ins Visier genommen. Sie beginnen zu verstehen, wie im Wechselspiel vieler Zellen Gedanken entstehen.

Eine Fülle neuer Methoden erleichtert ihnen die Arbeit. Mit Fluoreszenzfarbstoffen, Laserlicht, magnetischen Sonden

und Einheiten aus Hunderten dichtgepackter, mikrometerfeiner Elektroden erkunden sie das Nervengewebe wacher Versuchstiere.

Die Operation Gehirn ist zum fachübergreifenden Großprojekt geworden. Und das Wichtigste dabei: Nach den Medizinern, den Genetikern, den Physikern und Biochemikern sind nun auch die Ingenieure zur Schar der Hirnkundler gestoßen. Kaum eine amerikanische Eliteuniversität, die nicht Lehrstühle oder ganze Institute für „Neuroengineering“ oder „Neurotechnology“ gegründet hätte: Die Manipulation von Hirnen ist zu einer Ingenieursaufgabe geworden.

Noch allerdings zählen Eingriffe ins Schaltwerk unter der Schädeldecke lediglich bei Parkinsonkranken und Patienten mit anderen motorischen Störungen zur klinischen Routine; und auch hier sind die Verfahren recht unpräzise, etwas willkürlich, und niemand weiß so recht, warum sie eigentlich funktionieren.

Bei vollem Bewusstsein der Patienten stoßen die Ärzte dabei in deren Denkorgan vor. Sirrend fräst sich der Bohrer zunächst durch die Schädeldecke. Geleitet von Aufnahmen eines Kernspin- oder Computertomografen, dirigiert der Chirurg dann eine Art Nadel durch die weiche Neuronenmasse.

Erst durchstößt er die graue Nervenzellschicht, die den Kortex bildet, dann schiebt er die Elektrode durch die weiße Substanz der neuronalen Leitungsbahnen, bis er schließlich sein Ziel im Zwischenhirn erreicht: den subthalamischen Nucleus, eine linsenförmige Ansammlung von Nervenzellen, die in viele motorische Teile des Hirns ihre Ärmchen aussenden.

Noch während der Operation schicken die Ärzte kleine Elektroschocks durch ihre Sonde und testen, wie ihr Patient reagiert: Wie flüssig kann er seinen Arm, seine Hand, seine Finger bewegen? Wie gut kann er die Beugung seiner Knie kontrollieren? Oft macht es einen gewaltigen Unterschied, ob die Elektrode um eine Haaresbreite weiter rechts oder links verankert wird.

Was allerdings genau geschieht, wenn eine Elektrode den subthalamischen Nu-

cleus kitzelt, weiß niemand. Solch eine Nadel ist riesig, gemessen an der Dimension einer einzelnen Nervenzelle. Die Ärzte setzen also ein beträchtliches Areal unter Strom, Tausende Neuronen sind betroffen. Von einem wirklich zielgenauen Eingriff in wohlverstandene Schaltkreise ist die sogenannte Tiefenhirnstimulation noch weit entfernt.

Doch mag das Wissen noch so lückenhaft sein, die Forscher probieren bereits fleißig herum mit der Methode. Sie piksen Wolfram-, Silizium-, Platin-Iridium- oder Stahlelektroden in unterschiedlichste Areale des Denkorgans; sie testen verschiedene Frequenzen und Stromstärken, um Magersüchtige zum Essen zu bewegen oder Patienten zwanghafte Ängste auszutreiben.

Eine Region namens Brodmann Area 25, einer der emotionsverarbeitenden Teile des Kortex, gilt als heißer Kandidat für die Behandlung von Depressionen. Epileptieexperten wiederum testen, ob sich mit Hilfe implantierter Elektroden Anfälle frühzeitig vorhersehen lassen. Den Patienten könnte schon dies das Leben erheblich erleichtern.

Und doch vermitteln all diese Eingriffe ins Hirn nur eine Vorahnung dessen, was noch kommen wird. Die Phantasie der Vordenker des Neuroengineering reicht weit darüber hinaus.

Das offenbarte ein Treffen, zu dem sich im Juni eine handverlesene Schar von Experten im New Yorker Lincoln Center zusammenfand. Der russische Unternehmer Dmitry Itskov hatte beschlossen, sein in der Technologiebranche verdientes Geld zu investieren, um internationale Fachleute über die Welt in 30 Jahren fabulieren zu lassen.

„2045 – Globaler Zukunftskongress“ lautete großspurig der Titel der Konferenz, und großspurig waren auch viele der Thesen, die zu hören waren. Die meisten der geladenen Gäste waren sich einig: Innerhalb der nächsten Jahrzehnte werde die Neurotechnik die Welt grundlegend verändern. Die Vorträge waren durchdrungen vom Glauben, dass der Mensch sich von den Fesseln seiner Biologie werde befreien können. Von Avataren war die Rede, in deren elektronischen Hirnen sich das Bewusstsein und die Persönlichkeit einzelner Menschen hochladen ließen. Und selbst das Ende der Spezies Mensch wurde prophezeit.

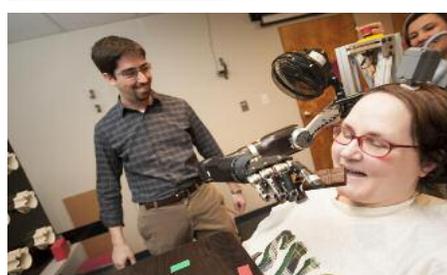
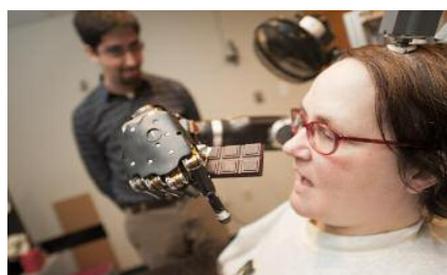
Es war eine illustre Gesellschaft, die sich da versammelt hatte: Der brillante britische Mathematiker Roger Penrose beschwor die Quantennatur des menschlichen Bewusstseins. Der Weltraumvisionär Peter Diamandis sprach von der „Verwandlung der Menschheit in eine unsterbliche planetare Meta-Intelligenz“. Und der Futurist und Google-Vordenker Ray Kurzweil kündigte an, bis zum Jahr 2045 werde sich der Unterschied zwi-

schen Mensch und Maschine aufgelöst haben.

Alles nur Unfug? So leicht es fallen mag, diese Ideen als technikvernarnte Spinnerei abzutun, so machte es doch den Reiz der New Yorker Veranstaltung aus, dass sich auch namhafte Wissenschaftler mit bahnbrechenden Erfolgen aus ihren Labors zu Wort meldeten.

So berichtete der kalifornische Hirnforscher Theodore Berger, wie er Rhesusaffen eine Art Gedächtnisprothese eingepflanzt habe. Er brachte den Tieren ein Bilderkennungsspiel bei und zeichnete jedes Mal, wenn sie die Aufgabe bewältigten, die Aktivität bestimmter Neurone auf. Anschließend verabreichte er den Affen Drogen, die sie das Gelernte vergessen ließen. Als Berger ihnen dann aber die richtigen Antworten über seine Elektroden ins Hirn speiste, fiel es ihnen plötzlich wieder ein.

Gewiss, meint der Forscher, noch sei das Verfahren viele Jahre davon entfernt, Alzheimer- oder Schlaganfallpatienten helfen zu können. Im Prinzip aber hält



Hirnprothesen-Patientin Scheuermann
„Aufregend wie Achterbahnfahren“

er die Entwicklung elektronischer Prothesen, die dem Gedächtnis auf die Sprünge helfen könnten, für machbar.

Oder George Church: Der Harvard-Professor gilt als einer der führenden Köpfe der Genetik. In New York nun verkündete er seine Vision, die gesamte Hirnaktivität zu vermessen. Das Vorhaben, das noch vor wenigen Jahren als spinnert verachtet worden wäre, ist inzwischen zum erklärten Ziel der amerikanischen Forschungspolitik geworden – und Church hat maßgeblichen Anteil daran.

Alles begann vor zwei Jahren, als er sich in London mit einigen Koryphäen der Neurowissenschaften traf. Sie schwärmten ihm so lange von den neuen Methoden vor, die ihr Fach revolutionieren könnten, bis er erklärte: „Gut. Ich habe jetzt ausführlich gehört, was ihr alles tun könnt, aber ich habe nicht gehört, was ihr wirklich tun wollt.“ Die Gelehrten beschlossen, einen Plan zur Totalmessung der Hirnaktivität zu schmieden.

Doch war das nicht ein aberwitziges Unterfangen? Wie sollte es je möglich sein, das elektrische Geflacker von rund hundert Milliarden menschlichen Nervenzellen zu erfassen? Wie sollte es je gelingen, all die hundert Billionen Verbindungen zu verfolgen, über die diese Nervenzellen miteinander kommunizieren?

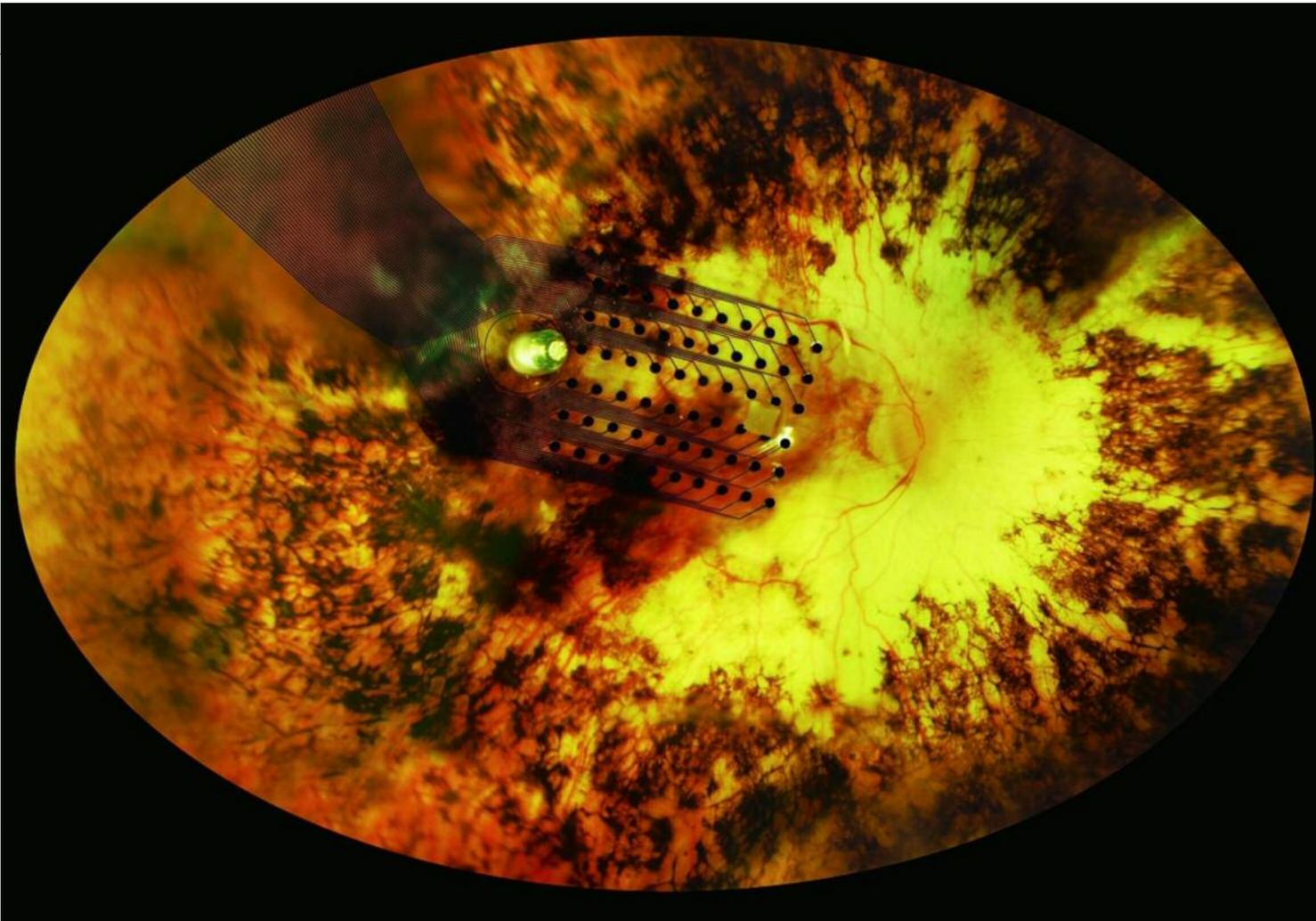
Church hat es sich zur Regel gemacht, „nichts für unmöglich zu erklären, was nicht den Naturgesetzen widerspricht“. Die Erfahrung in der Genetik hat ihn gelehrt, wie schnell die rasante Miniaturisierung und Automatisierung zur Routine machen kann, was gerade noch als undenkbar galt. Auch in der Hirnforschung rechnet er damit, dass neue Methoden den Fortschritt enorm beschleunigen werden. Mit Hilfe von Nanosonden oder molekularen Lichtantennen, so spekuliert er, ließe sich die Fähigkeit, neuronale Aktivität zu messen, dramatisch steigern.

Unerschrocken trieben er und fünf seiner Mitstreiter ihr utopisch anmutendes Projekt voran – und schon im Frühjahr dieses Jahres, nicht einmal ein Jahr nachdem die visionären sechs ihr Manifest veröffentlicht hatten, machte sich US-Präsident Barack Obama ihren Plan zu eigen: Eine „Brain Initiative“ erklärte er zum „nächsten großen amerikanischen Projekt“. Das Ziel soll es sein, die Werkzeuge bereitzustellen, die eine Kartierung des gesamten neuronalen Funkverkehrs möglich machen sollen.

„Wir sind schon immer eine Nation von Träumern und Abenteurern gewesen“, verkündete Obama seinem Volk. Deshalb will er jetzt seine große Hirn-Offensive zum symbolträchtigsten und ehrgeizigsten Forschungsprojekt seiner Regentschaft machen.

Zwar stellte Obama zunächst nur ein eher bescheidenes Budget von hundert

FOTOS: BRYAN CHRISTIE (S.120); UPN/C



Netzhaut eines Menschen mit Implantat „Argus II“: Chirurgen tackern einen Chip aus 60 Elektroden auf die beschädigte Retina

Millionen Dollar bereit. Doch das hindert die Expertenkommission, die jetzt die Einzelheiten ausarbeiten soll, nicht daran, die „Brain Initiative“ mit dem „Apollo“-Mondlandeprogramm zu vergleichen. „Wir befinden uns an einem einzigartigen Punkt in der Geschichte der Neurowissenschaft“, heißt es im ersten Zwischenbericht. „Eine Revolution in unserem Verständnis des Gehirns“ wird angekündigt.

„In den Neunzigern haben wir uns das Alphabet erarbeitet“, so beschreibt Kommissionsmitglied John Donoghue von der Brown University in Providence den Forschungsstand, „seither haben wir das Niveau eines Lexikons erreicht, aber jetzt machen wir uns daran, die Wörter zu sinnvollen Romanen zusammenzufügen.“

In einem neuen Brückenschlag sieht er die große Herausforderung seines Fachs: Die Forscher wüssten zwar viel über das Verhalten einzelner Nervenzellen, und auch ganze Hirne hätten sie tomografisch durchleuchtet. Dazwischen aber, auf der Ebene der Neuronenschaltkreise, betrete die Wissenschaft Terra incognita. Hier, meint Donoghue, liege der Schlüssel zum Rätsel des Denkens, des Fühlens und des Erinnerens verborgen.

Und noch einen weiteren Punkt benennt die Kommission als maßgeblich für

die anstehende Revolution: Statt die Aktivität der Nervenzellen nur zu vermessen, sei es zunehmend möglich, sie auch zu manipulieren. Die Neuroingenieure wagen sich an Reparaturarbeiten im Oberstübchen heran.

Autismus, Schizophrenie, Depression – all die seelischen Leiden, an deren Behandlung die psychiatrische Kunst bisher allzu oft scheitert, könnten neuen Formen von Behandlung zugänglich werden. Ja, ei-

„Wir hoffen, die Pharmafirmen wieder zurück in unser Feld zu holen.“

Robert Desimone

nige der Experten deuten gar unverhohlen an, dass sich auch die geistigen Fähigkeiten gesunder Menschen mit technischer Hilfe steigern lassen könnten.

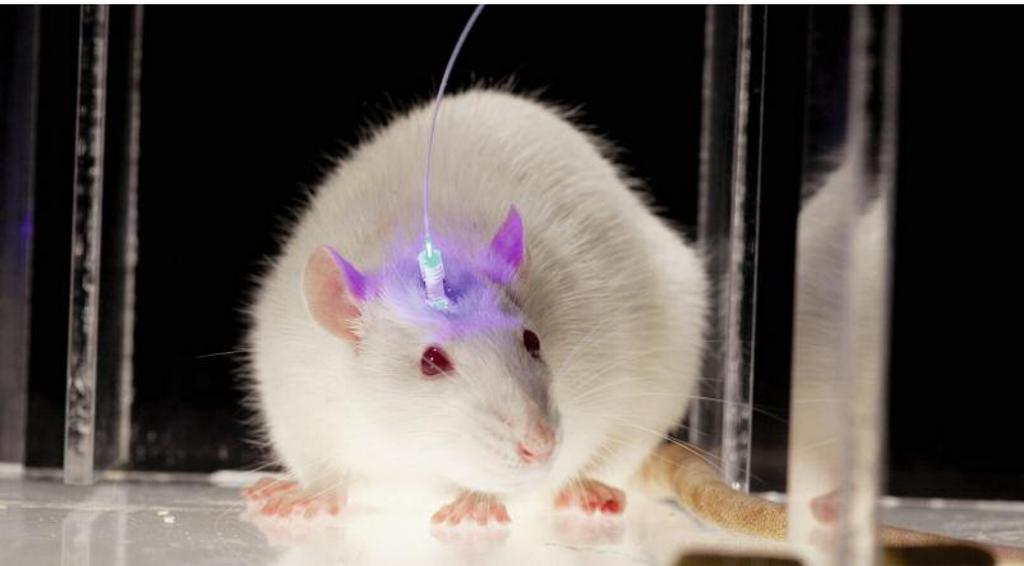
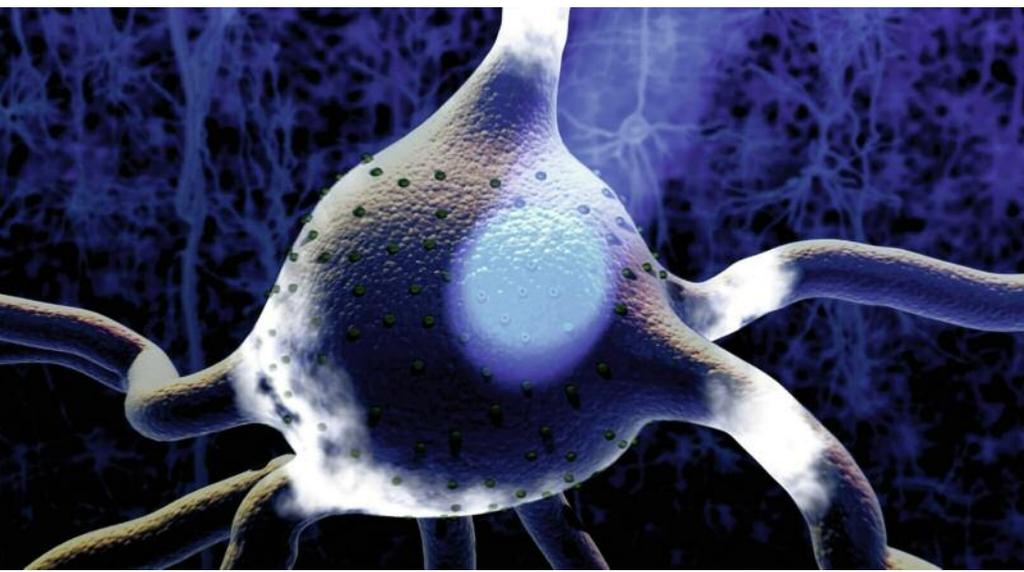
Und die Forscher begnügen sich nicht mit Versprechen. Vier staunenswerte Experimente, allesamt in diesem Jahr präsentiert, geben einen Vorgeschmack auf eine Zukunft, die gar nicht mehr so weit in der Ferne liegt:

► Wissenschaftler der Duke University in North Carolina statteten Ratten mit einem zusätzlichen Sinn aus: Sie befes-

tigten einen Helm mit einem Infrarotsensor auf dem Kopf der Tiere und sandten dessen Signale über Elektroden ins Gehirn – und zwar an jenes Areal, das normalerweise für die Verarbeitung der Tastreize durch die Schnurrhaare zuständig ist. Tatsächlich lernten die Ratten daraufhin, mit ihren Tasthaaren Infrarotlicht zu erkennen.

► Neurobiologen am Massachusetts Institute of Technology (MIT) pflanzten Versuchsmäusen Erinnerungen an Dinge ein, die nie passiert waren. Mit Hilfe von ins Gehirn geleiteten Lichtimpulsen machten sie die Tiere glauben, sie hätten in einer bestimmten Kammer elektrische Schocks erlebt, obwohl ihnen dies nie widerfahren war. Die Forscher glauben, auf ähnliche Weise könnten sich auch beim Menschen traumatische Erinnerungen löschen oder überschreiben lassen.

► Chemiker der Harvard University haben, wie sie selbst sagen, die Science-Fiction-Idee vom Cyborg auf die Spitze getrieben: Sie entwickelten Herz-, Muskel- und Nervengewebe, das von hauchfeiner Elektronik durchwoben ist. Sie konstruierten dazu zunächst ein Maschenwerk aus Nanodrähten und besiedelten dieses sodann mit Zellen. Irgendwann, so meinen die Wissen-



Während in den Nachbarlabors hier am Media Lab die Roboter seiner Kollegen umherrollen und mit ihren Sensoraugen die Flure erkunden, tüftelt er eben an etwas anders gearteten Maschinen herum: an Nervenzellen.

Vor Fernsehkameras, auf Technologie-messen und auf den Kongressen der Neurowissenschaftler beschwört Boyden seine Vision einer Zukunft, in der sich das Gehirn wird reparieren lassen wie ein Radio oder ein Automobil.

Boydens Zuversicht ist verständlich. Schließlich hat er schon einmal die Neurowissenschaft erschüttert. Gerade einmal 24 Jahre war er alt, als er in der Nacht zum 4. August 2004 erstmals blaue Lichtblitze auf genetisch veränderte Mäuseneuronen richtete. Prompt erwachten die Nervenzellen zum Leben und feuerten elektrische Pulse: Boyden hatte erfolgreich Lichtschalter in Zellen verankert. Die sogenannte Optogenetik war aus der Taufe gehoben.

„Müde, aber erregt“: So meldete er am Ende der durchwachten Nacht seinen Triumph per E-Mail seinem Mitstreiter Karl Deisseroth. „Das ist großartig!!!!“, kam es postwendend zurück.

Kaum zehn Jahre später arbeiten Forscher in mehr als tausend Labors mit optogenetischen Methoden. Und für Boyden selbst tat sich ein Forschungsfeld auf, wie geschaffen, seinen Spieltrieb zu befriedigen. Denn dank der Schalter im Erbgut konnte er fortan jede beliebige Gruppe von Neuronen im Mäusehirn durch Licht an- oder abschalten.

Nicht nur in Schlaf versetzte er seine Mäuse, er trieb ihnen auch Ängste aus, oder er weckte in ihnen Gelüste. Die Mäuse waren zu einem Spielgerät geworden, das er mit Licht fernsteuern konnte.

Aber um seinen Tatendurst zu stillen, reicht ihm die Optogenetik längst nicht mehr aus. Ihn treibt es, neue Wege zu ersinnen, das Geplauder der Neuronen noch genauer abzuhorchen.

So hat er einen Roboter entwickelt, der mikrometerdünne Pipetten durch das Geflecht der Neuronenärmchen navigieren kann. Mit einer Art elektrischem Echolot manövriert das Gerät durch den Wirrwarr der Nervenzellen. Am Ziel angekommen, durchsticht der Roboter die Zellmembran, um den Stromfluss zu messen.

Ob Boyden auf diese Weise auch mehrere Neuronen gleichzeitig abhören könne? Einen kurzen Moment lang hält der Fluss seiner Worte inne, nur sein Kopf fährt fort mit dem Nicken. Nein, sagt er dann, dafür entwickle er gerade eine andere Methode. Und schon sprudelt es weiter, diesmal spricht er von winzigen Diamantkügelchen, die er als Magnetsensoren an einzelne Nervenzellen heften will.

Wenn alles klappt, wie Boyden es sich vorstellt, dann wird er schon bald Mäusehirne mit seinen Minidiamanten fluten können. Regt sich dann elektrische Akti-

Optogenetische Anregung eines Neurons, einer Ratte: „Es klappt immer, zu 100 Prozent“

schaffler, lasse sich mit diesem Verfahren vielleicht künstliche Haut mit elektronischen Zusatzsinnen herstellen.

► Einen Durchbruch anderer Art melden Forscher aus Wien. Sie züchteten aus menschlichen Stammzellen linsengroße Miniehirne, die nun das Studium der Hirnentwicklung in der Petrischale möglich machen sollen. Es gelang ihnen sogar, in dem Retortenorgan eine Erbkrankheit auszulösen, die sich so besser als je zuvor untersuchen lässt.

In einem Labor ganz oben unter dem Dach des berühmten Media Lab des MIT ist die Zukunft schon angebrochen. Hier residiert Ed Boyden, einer der erstaunlichsten Neuropioniere. Wenn er von Gehirnen spricht, dann klingt es, als spräche ein kleiner Junge von einem Baukasten, mit dem sich tolle Dinge machen lassen.

Da ist zum Beispiel die Sache mit den narkoleptischen Mäusen. Auf Knopfdruck kann der Forscher sie einschlafen lassen, ganz gleichgültig, wie munter sie gerade noch waren. Ein weiterer Knopfdruck, und sie erwachen wieder. „Es klappt immer, zu 100 Prozent“, versichert Boyden begeistert.

Der Trick ist ein Lichtschalter, den die Forscher im Erbgut ganz bestimmter Nervenzellen der Tiere verankert haben. Die liegen tief im Innern des Gehirns, im Hypothalamus, und sie steuern den Schlaf der Tiere. Mit Hilfe eines durchs Schädel-dach führenden Glasfaserkabels kann Boyden den Schalter betätigen. „Ein Lichtblitz, und sie schlafen ein“, sagt er.

Boyden spricht mit rasender Geschwindigkeit. Immer wieder überschlägt sich seine Stimme, während er das Feuerwerk seiner Gedanken abbrennt. Mit ständigem Kopfnicken versucht er dabei, seinen Ideen Nachdruck zu geben. Denn schließlich hat er nicht alle Zeit der Welt. Es gibt so viel, was er noch zu tun hat.

Zum Beispiel sein Forschungsfeld umzukrempeln. Viel zu lange hätten sich die Hirnforscher gegen die Einführung neuer Techniken gesperrt. Das aber habe sich gründlich verändert. „Ich bin gelernter Physiker und Ingenieur“, sagt Boyden. Und was schließlich sei das Gehirn anderes als ein – wenngleich recht kompliziertes – elektrisches Gerät?

Messroboter, Mikrobenproteine, Nanosensoren – Boyden sprüht vor Ideen.

JOHN B. CARMICHAEL / POPULAR SCIENCE / GETTY IMAGES (U.); ED BOYDEN (O.)

vität in einer Zelle, reagiert die diamantene Wanze in der Zellmembran durch einen Lichtblitz. Theoretisch, meint Boyden, sei der Anzahl von Nervenzellen, die sich auf diese Weise abhören ließen, keine Grenze gesetzt. Es gelte nur noch, das Flackern der Diamanten auszulesen.

Und natürlich hat Ed Boyden auch dafür längst ein Verfahren zur Hand. Er bestückt dazu einen Satz hauchfeiner Nadeln mit aneinandergereihten Fotodioden. Diese filigrane Anordnung will er dann in Mäusehirne senken, um damit dreidimensional Lichtblitze registrieren zu können. „Bisher hat mir noch niemand einen Grund sagen können, warum es nicht funktionieren sollte“, sagt er.

Wie im Rausch scheint der Forscher dem Gehirn seine Geheimnisse entreißen zu wollen. Und doch stellt sich die Frage: Wird all das wirklich denen helfen, die Hilfe brauchen? Werden am Ende Therapien für die seelisch Kranken stehen?

Dringend notwendig wäre das. Denn um die Seelenheilkunde steht es schlecht. Die Psychiatrie steckt in einer Krise.

So eifrig die Hirnforscher auch das Denkorgan durchleuchten, so gründlich sie das Genom durchforsten, so viele Mäuse und Ratten sie für die Pharmaforschung opfern – der Ertrag für die Klinik war bisher niederschmetternd. Stetig und unaufhaltsam steigt der Konsum von Psychopillen, inzwischen schluckt sie bereits jeder fünfte US-Amerikaner.

Doch die Menschen werden nicht gesünder, sondern kränker. Binnen fünf Jahren ist die Zahl psychosozialer Interventionen bei älteren Patienten in Deutschland um das Sechsfache gestiegen. Der Anteil psychisch als krank diagnostizierter Kinder ist innerhalb der vergangenen 20 Jahre sogar auf das 35fache geklettert.

Zwar steht den Ärzten ein Arsenal aus Dutzenden psychoaktiven Substanzen zur Verfügung, die sie ihrer seelisch kranken Klientel verschreiben können. Doch die meisten davon sind, bei Markteinführung als revolutionäre Neuerung verkauft, in Wirklichkeit kaum mehr als geringfügig veränderte Varianten alter Ladenhüter. Sechs der in den USA gängigen Antidepressiva beruhen auf ein und demselben Wirkmechanismus. Bei den sogenannten atypischen Neuroleptika sind es sogar zehn.

Seit mehr als 30 Jahren kam kaum eine wirklich neue Psychopille mehr aus den Pharmalabors. Hinzu kommt, dass sämtliche Durchbrüche Zufallsentdeckungen zu verdanken sind. Nicht einmal wies, allem Milliardenaufwand zum Trotz, die Hirnforschung den Weg.

Das haben auch die Strategen der Pharmaindustrie eingesehen. So gewaltig die Umsätze sein mögen, die bei erfolgreich vermarkteten Psychopillen locken, noch größer sind die Entwicklungskosten. Allzu oft sind schon Hunderte Millionen Euro investiert, wenn sich herausstellt, dass eine neue Substanz eben doch nicht

besser wirkt als ein Placebo. Frustriert zogen sich vor drei Jahren GlaxoSmithKline und AstraZeneca aus der Entwicklung von Psychopharmaka zurück. Novartis, Pfizer, Sanofi und Merck forschen nur noch auf Sparflamme.

In der Krise äußert sich eine Reihe von Grundproblemen, vor denen die Zunft der Psychiater steht. Denn gleichgültig ob Autismus, Psychosen, Angststörungen oder Depressionen – keines der großen Leiden ist auch nur annähernd verstanden. Was da im Hirn schief läuft? Die Ärzte wissen es nicht.

Allzu leicht haben sie sich mit der Vorstellung zufriedengegeben, seelische Krankheit beruhe auf einem chemischen Ungleichgewicht im Denkorgan. Weil Substanzen, die in den Serotonin-Haushalt eingreifen, Depressiven zu helfen scheinen, erklärte man die Schwermut zur Serotonin-Stoffwechselstörung. Und für Schizophrenie machten die Experten mit ähnlichen Argumenten den Botenstoff Dopamin verantwortlich.

Bewiesen sind diese Hypothesen jedoch mitnichten. Der gleichen Logik folgend könnte man aus der Tatsache, dass Alkohol soziale Hemmungen lindert, schlussfolgern, dass Schüchternheit eine Folge von Alkoholmangel wäre.

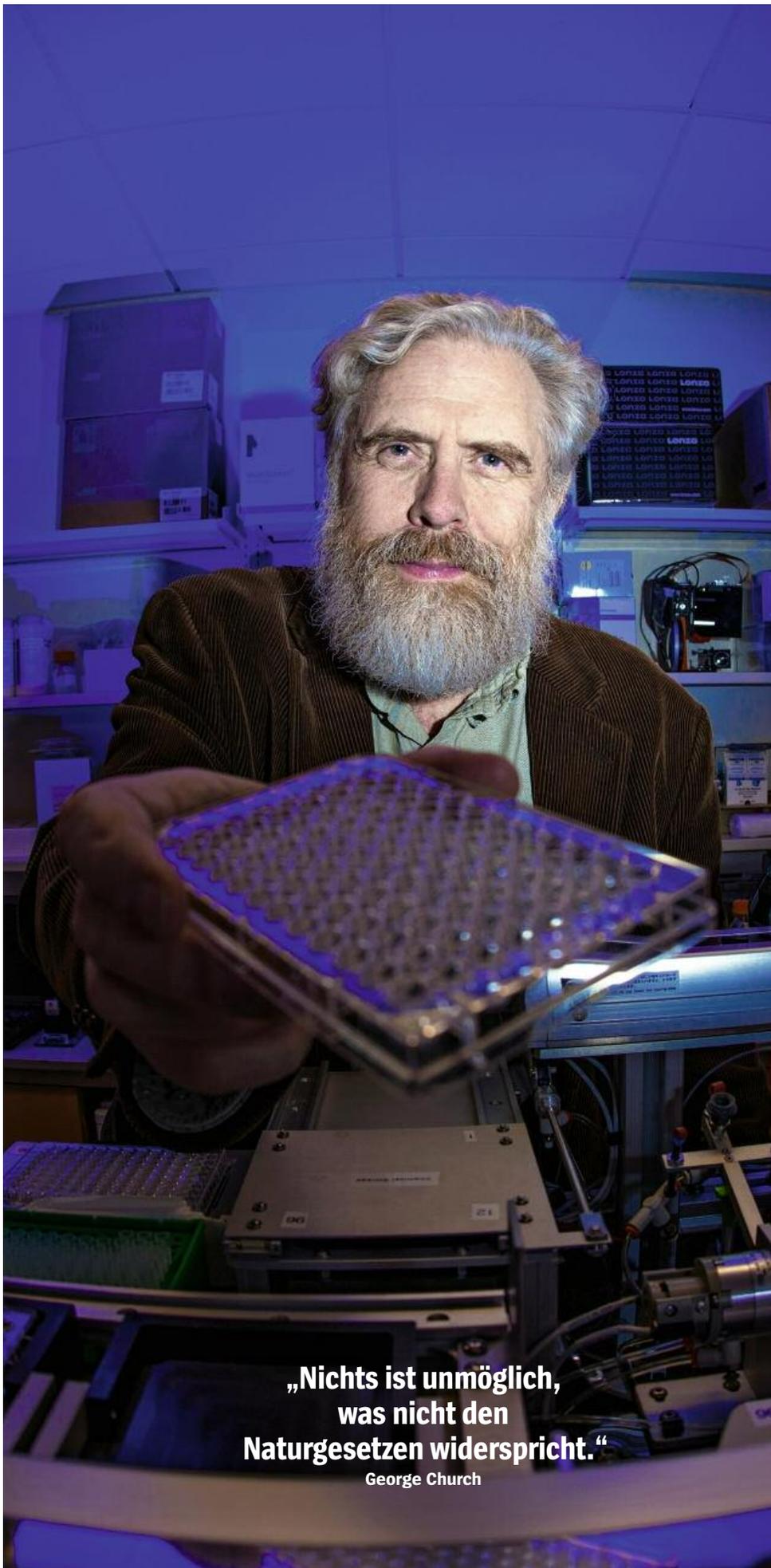
Vergebens haben die Forscher bisher nach einem Verfahren gesucht, mit dem sich eines der seelischen Leiden nachweisen ließe. Weder im Blut noch in der



„Was ist das Gehirn anderes als ein, wenngleich kompliziertes, elektrisches Gerät?“

Ed Boyden

DOMINICK REUTER / MIT NEWS



**„Nichts ist unmöglich,
was nicht den
Naturgesetzen widerspricht.“**
George Church

Hirnflüssigkeit oder in den Zacken des EEGs konnten sie eindeutige Anzeichen psychischer Erkrankungen finden. Solange aber ein solcher biologischer Marker fehlt, sind die Ärzte, wenn sie die Wirkung eines neuen Medikaments testen wollen, auf die notorisch unzuverlässige Methode der Patientenbefragung angewiesen.

Und noch ein weiteres Hindernis steht der Entwicklung neuer Wirkstoffe im Wege: Der Aussagewert von Tierversuchen ist in der Psychiatrie unklarer als in anderen medizinischen Fachdisziplinen. Denn was genau ist eine schizophrene oder eine autistische Maus?

Eine der großen Herausforderungen der „Brain Initiative“ wird darin bestehen, all diese Schwierigkeiten zu überwinden. „Wir hoffen, die Pharmafirmen wieder zurück in unser Feld zu holen“, meint Robert Desimone, der Direktor des McGovern Institute für Hirnforschung am MIT. Die Leute seien es satt, immer nur Mäuse zu heilen.

Desimone glaubt, in der Industrie einen dringenden Bedarf an Primaten ausgemacht zu haben. Denn gerade wenn es um geistige Fähigkeiten geht, seien diese dem Menschen ungleich ähnlicher als Nagetiere.

Deshalb haben Desimone und seine Kollegen beschlossen, am MIT eine Art Primaten-Sanatorium einzurichten: eine Kolonie, in der Affen mit unterschiedlichsten seelischen Leiden hausen sollen.

Möglich macht dies eine in den Genlabors entwickelte Methode, die nach Desimones Einschätzung die Kunst der Genmanipulation revolutionieren dürfte. Mit diesem sogenannten CRISPR/Cas-Verfahren wird künftig bei Tieren jedweder Art möglich sein, was bisher nur mit Mäusen gelungen war: Gene fast nach Wunsch auszutauschen, zu entfernen oder mutieren zu lassen.

Gerade erst verkündeten die Forscher einen entscheidenden Erfolg: Sie schleusten ein beim Menschen mit Autismus in Zusammenhang stehendes Gen in die Eizelle eines Makaken. Innerhalb der kommenden Wochen muss sich nun zeigen, ob auch die nächsten Schritte bis zur Herstellung eines lebendigen, gentechnisch veränderten Tieres klappen. „Ich bin zuversichtlich“, sagt Desimone.

Schon bald sollen dann am MIT mutierte Seidenäffchen einziehen, denen die Forscher unterschiedliche seelische Leiden ins Erbgut geschrieben haben. Ein ähnliches Projekt in China, das sich auf Makaken spezialisiert, ist in der Planung sogar schon etwas weiter fortgeschritten.

Die Affenmutanten, beteuert Desimone, seien weit besser als Mäuse geeignet, Fehlschaltungen im Hirn dingfest zu machen. Und wenn dies erst gelungen sei, würden die Forscher auch in diese Schaltkreise eingreifen können.

RICK FRIEDMAN

Überhaupt glauben die Vorkämpfer der jetzt ausgerufenen Hirn-Offensive, dass die Ärzte, um therapeutische Erfolge zu erreichen, gezielter in den Nachrichtenaustausch der Nervenzellen eingreifen müssten. „Bei der klassischen Pharmatherapie wird das ganze Gehirn in Wirkstoff gebadet“, spottet der Neurotechnologe Boyden. „Kein Wunder, dass der Effekt kein sehr spezifischer ist.“

Genau hier sollen die neuartigen Werkzeuge der Neuroingenieure ansetzen. Und dass eine direkte Kommunikation mit dem Nervensystem durchaus möglich ist, dass die Neuronen elektronische Hilfestellung sogar bereitwillig annehmen, beweist ein Gerät, das schon vor knapp 30 Jahren Eingang in die klinische Praxis fand: das Cochlea-Implantat.

Bei bislang weltweit rund 300 000 gehörlosen Patienten frästen Chirurgen einen Kanal durch das Felsenbein, um dann ein kleines Loch in die darin verborgene Hörschnecke zu bohren. Durch diesen Kanal wird sodann ein Bündel aus bis zu 22 Elektroden gefädelt, die den Hörnerv mit elektrischen Signalen aus einem hinter dem Ohr montierten Mikrofon versorgen.

Anfangs klagten die Implantat-Träger zwar oft über blecherne Klänge oder Comic-Stimmen, doch die meisten gewöhnen sich daran – und dies ist ein staunenswerter Erfolg. Denn dass das Gehirn dem elektrischen Knistern von nicht einmal 22 Elektroden fast so viel Sinn wie den 16 000 Haarzellen im Innenohr eines Gesunden zu entnehmen vermag, offenbart eine geradezu spektakuläre Flexibilität des Nervengewebes.

Auf ebendieser wundersamen Eigenschaft der Neuronen beruht auch eine zweite, wesentlich jüngere Sinnesprothese: Seit 2011 darf das Netzhaut-Implantat „Argus II“ ins Auge von Blinden mit

degenerierter Retina montiert werden. Dazu tackern die Ärzte eine Elektrode aus 60 Messführlern auf die beschädigte Netzhaut. Die Signale sendet drahtlos eine Videokamera, die in einer Sonnenbrille versteckt ist.

Das genügt dem Gehirn, um zumindest grobe Kontraste und Schwarzweißkonturen erkennen zu können. Sogar die Projektion von Blindenschrift gelang Ende vergangenen Jahres bei einem französischen Patienten.

Der Erfolg von „Argus II“ ist umso bemerkenswerter, als die in dem Implantat verwendete Computertechnik keineswegs auf dem letzten Stand ist. Denn die Zulassungsprozedur dauerte über ein Jahrzehnt – ein Zeitraum, der ausreicht,

„Es ist an der Zeit, auf das Niveau der Schaltkreise vorzudringen.“

Xue Han

um jede noch so ausgefeilte Digitaltechnik veralten zu lassen.

Mit solchen Problemen muss sich Michael McAlpine von der Princeton University nicht herumschlagen. Seine Kreationen sind experimenteller Art. Er erkundet, welchen Weg die Prothetik in der Zukunft einmal nehmen könnte.

Sein Ziel war ein naturechtes Organ, „dessen Fähigkeiten über das hinausgehen, was die Natur uns liefert“. Er entschied sich, ein Ohr zu bauen, welches das menschliche übertreffen sollte.

Er nutzte dazu eine Methode, von der sich viele eine Revolution der Fertigungstechnik versprechen: das 3-D-Druckverfahren. Sein Team nutzte dazu dreierlei Tinte: Mal druckte er Silizium, dann wieder ein Komposit mit Silber-Nano-

partikeln, sein dritter Werkstoff aber waren menschliche Zellen. Aus dem Drucker kamen sogenannte Chondrozyten, aus denen sich Knorpel bildet.

So entstand ein lebensecht erscheinendes Ohr, in dessen Innerem jedoch eine spiralförmige Antenne verborgen ist. Und diese registriert sogar Ultraschall, den Menschen nicht hören können.

Klinische Versuche seien nicht geplant, erklärt McAlpine. Theoretisch aber lasse sich sein Cyborohr durchaus an den Hörnerv anschließen, genau wie ein Cochlea-Implantat – der Träger könnte dann hören wie eine Fledermaus.

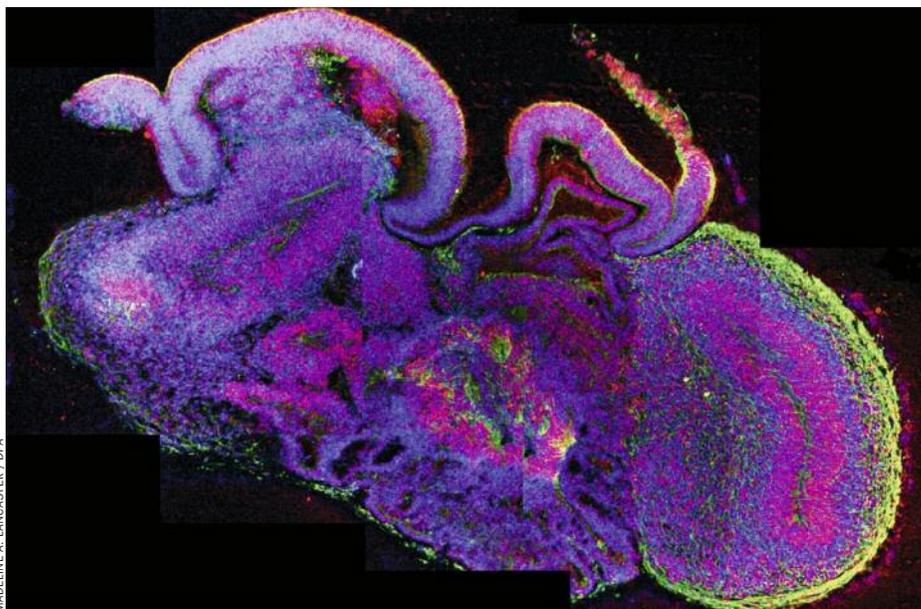
Schwieriger noch als ein Auge zu ersetzen oder ein Ohr zu verbessern sind Reparaturarbeiten direkt im zentralen Nervensystem. Doch auch das haben die Forscher in Angriff genommen.

„Wir stehen an einem Punkt in der Geschichte der Neurowissenschaften, wo wir über das bloße Baden des Hirns in psychoaktiven Substanzen hinausgehen können“, erklärt die Biophysikerin Xue Han von der Boston University. „Es ist an der Zeit, auf das Niveau der Schaltkreise vorzudringen.“

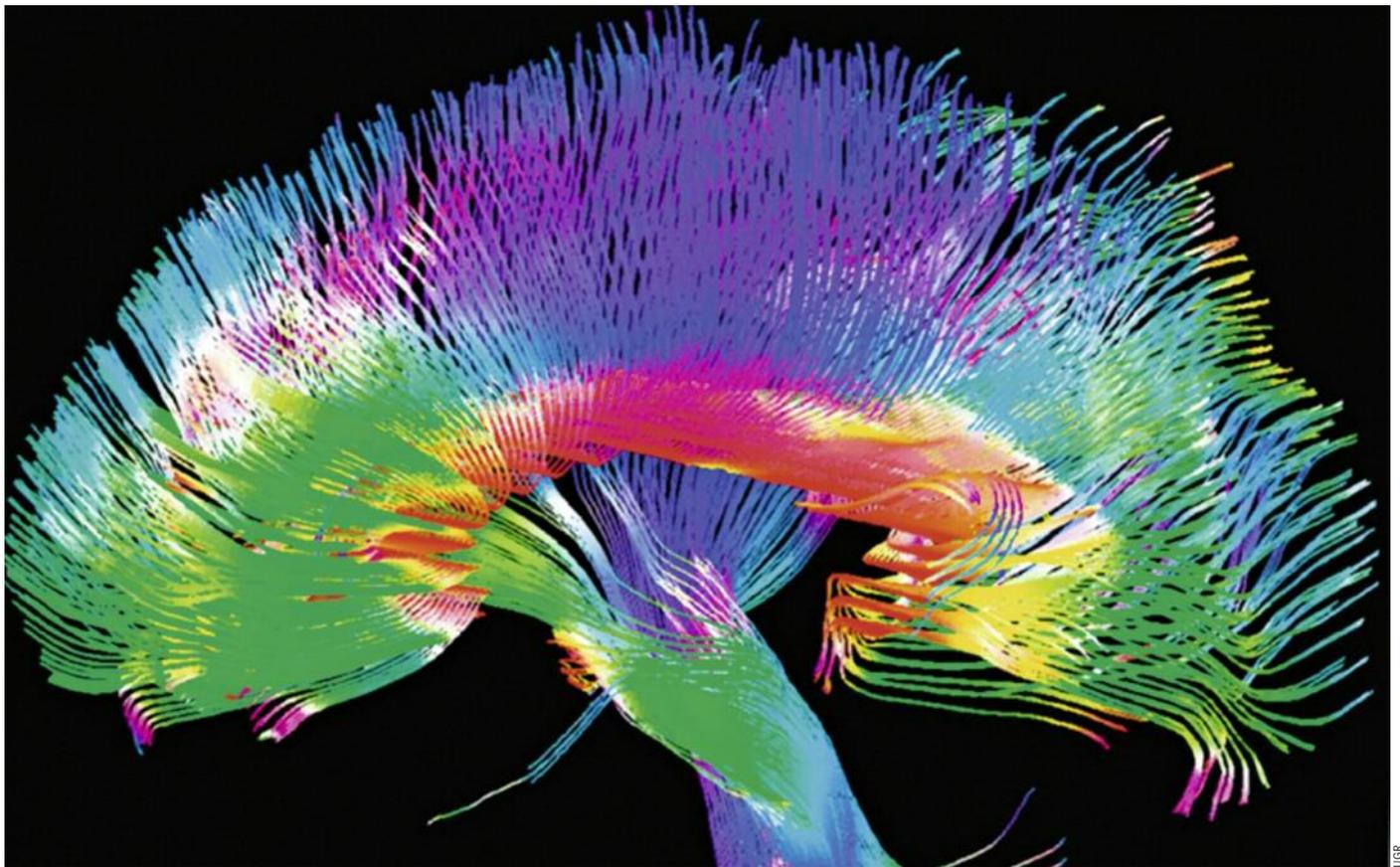
Ein Gefühl dafür, wohin das führen könnte, vermittelt das Labor von Miguel Nicolelis an der Duke University in Durham, US-Bundesstaat North Carolina.

Der Besucher muss sich auf Absonderlichkeiten gefasst machen, wie es sie nirgendwo sonst auf der Welt zu sehen gibt: So üben Affen, im Rollstuhl zu fahren, ohne dabei auch nur einen Finger zu rühren. Andere tauschen sich über ein Kabel aus, das ihre Hirne direkt miteinander verbindet. Wieder andere lernen, mit ihren Fingerspitzen Infrarotlicht zu sehen.

Mit seinem Vollbart, der lässigen Kleidung und seiner fülligen Figur mag Nicolelis wie ein gemütlicher Zeitgenosse



Aus Stammzellen gezüchtetes Minihirn, künstliches Ohr aus dem 3-D-Drucker: Heimwerker im Oberstübchen



Hirn-Durchleuchtung*: „Stellen Sie sich vor, Sie könnten die Erinnerungen Ihrer Vorfahren von einer Gedankenbank herunterladen“

wirken. Wenn er sich jedoch erst einmal in Fahrt geredet hat, dann offenbart sich der feurige Brasilianer.

Ungeniert lässt er seiner Phantasie freien Lauf: „Wie wäre es, wenn man auf der Oberfläche eines anderen, viele Millionen Kilometer entfernten Planeten spazieren könnte? Oder stellen Sie sich vor, Sie könnten von einer Gedankenbank die Erinnerungen und Erfahrungen Ihrer Vorfahren herunterladen!“ All das, meint Nicolelis, werde irgendwann nicht mehr nur dem Reich der Science-Fiction angehören.

Manch einer belächelt den Forscher für solche Gedankenspiele. In seinem Heimatland aber haben sie ihn zum vielleicht populärsten Wissenschaftler überhaupt gemacht. Um Brasilien in Sachen Neurobiologie an die Weltspitze heranzuführen, hat er in der im Nordosten des Landes gelegenen Stadt Natal einen „Hirn-Campus“ mit Schwerpunkt Neurotechnologie gegründet. Regelmäßig jettet er nun dorthin.

Wie es sich für einen Brasilianer gehört, ist Nicolelis leidenschaftlicher Fußballfan. Und als solcher hat er erkannt, dass die WM im kommenden Jahr eine einmalige Chance bietet, für die Sache der Neuroingenieure zu werben. Sein kühner Plan: Den Anstoß im Eröffnungsspiel, so Nicolelis, werde ein Querschnittsgelähmter mit einer Art Ganzkörperprothese ausführen.

Viel Zeit bleibt nicht mehr, aber Nicolelis glaubt, sein Versprechen halten zu können. Die Zustimmung der Ethikkommission habe er schon, sagt er. Und mit dem Exoskelett, das der gelähmte Fußballer tragen soll, trainiert bereits ein Rhesusaffe. Gespickt ist das an der TU München entwickelte Gerät mit Mikrosensoren, die dem Gehirn jederzeit die Beschaffenheit des Bodens und die genaue Geschwindigkeit und Haltung des Körpers melden sollen.

Am liebsten würde der Forscher seinem Probanden auch eine ganze Batterie von Elektroden ins Hirn implantieren. Die dazu nötigen Sensoren, bestückt mit jeweils bis zu tausend winzigen Messfühlern, sind bereits entwickelt. Aber das war den Zulassungsbehörden dann doch nicht geheuer. Nicolelis wird sich also damit begnügen müssen, nur von außen mit Hilfe elektromagnetischer Felder mit dem Gehirn seines Robo-Spielers zu kommunizieren. „Auch das wird gehen“, sagt er voller Zuversicht.

Auch für die Zeit nach der WM hat der Forscher bereits vorgesorgt. Sein nächstes großes Projekt ist längst in der Mache: Nicolelis will die Gehirne verschiedener Individuen miteinander vernetzen.

Bei Ratten hat er das schon geschafft. Er brachte einem Tier bei, beim Aufleuchten eines Lämpchens stets einen bestimmten Schalter zu drücken. Anschließend leitete er Signale aus dessen Hirn in dasjenige einer zweiten Ratte. Diese wusste dann, ohne die Lampe zu sehen, welchen Schalter sie zu betätigen hatte. Sie hatte also die Nachricht aus dem fremden Ge-

hirn zu empfangen und richtig zu deuten vermocht.

Ein ähnliches Experiment mit Rhesusaffen läuft derzeit in Nicolelis' Labor. Und wieder scheint die Hirn-zu-Hirn-Kommunikation gut zu klappen. Schon bald will der Forscher die Ergebnisse der Öffentlichkeit vorstellen.

Leuchtende Lämpchen erkennen, Punkte auf einem Bildschirm verfolgen, bunte Knöpfe drücken – es sind sehr einfache Aufgaben, welche die miteinander verschalteten Hirne bisher lösen. Aber das, meint Nicolelis, sei ja nur der Anfang. Um Szenarien, die dem Feld eine spektakuläre Zukunft voraussagen, ist der Visionär aus Brasilien nicht verlegen.

Dereinst, davon gibt er sich überzeugt, würden die Gehirne aller Menschen zu einem mit Bewusstsein begabten Netz zusammenwachsen. Und so wie das Internet, kaum war es einmal erfunden, im Handumdrehen den ganzen Planeten Erde umwoben hat, so werde sich auch diese Idee „wie eine Supernova“ in der menschlichen Gesellschaft verbreiten.

Welche Rolle in einer solchen kollektiven Neuro-Welt noch dem Einzelnen zukomme, das kann selbst Nicolelis nicht beantworten: „Gut möglich, dass die Individuen dann dem, was wir heute die menschliche Rasse nennen, sehr unähnlich sein werden.“

JOHANN GROLLE



Video: Wie das Hirn Maschinen steuert

spiegel.de/app492013hirn
oder in der App DER SPIEGEL

* Aufnahme eines Diffusionstensor-Magnetresonanztomogrammen.