

NEUROPROTHETIK

Der aufgerüstete Mensch

Gelähmte sollen wieder gehen können – dank eines Chips im Gehirn, der »Gedanken« liest. Nachdem die ersten Versuche am Menschen viel versprechend verliefen, warnen Kritiker vor den ethischen Risiken.

VON VERENA AHNE

An der Highschool war er ein Footballstar. Seit dem 3. Juli 2001 rührt Matthew Nagle keinen Finger mehr. An jenem Abend machte er sich gerade von einem Feuerwerk am Strand in der Nähe von Boston auf den Heimweg – als er beobachtete, wie einer seiner Freunde in eine Rauferei geriet. Was weiter geschah, weiß Matthew nur aus Zeugenaussagen. Er selbst erinnert sich nicht: nicht, dass er aus dem Auto sprang, um dem Freund beizustehen. Nicht, wie der Gegner plötzlich ein Messer zückte und es ihm in den Hals rammte, knapp unter dem linken Ohr. Die Klinge fuhr dem 21-Jährigen ins Rückenmark und verletzte ihn lebensgefährlich. Als er aus dem Koma erwachte, teilten ihm die Ärzte mit, er werde für den Rest seines Lebens vom Hals an abwärts gelähmt sein.

Wie so viele andere, die nach Verletzungen, Schlaganfällen oder durch andere Erkrankungen bewegungsunfähig geworden sind, war Matthew verzweifelt. »Ich wollte sterben«, erinnert er sich. »Es gab einfach nichts, worauf ich mich noch hätte freuen können.« Bis er von einer Studie

in Rhode Island erfuhr, für die Probanden gesucht wurden. Bald darauf schrieb Matthew Wissenschaftsgeschichte.

Im Rahmen der Untersuchung sollten fünf Querschnittgelähmte einen Chip ins Gehirn implantiert bekommen, der es ihnen – wenn alles nach Plan verlief – erlauben würde, einen Computer kraft ihrer Gedanken zu steuern. Bei Affen war das Verfahren bereits erfolgreich angewandt worden; nun hatte die oberste Zulassungsbehörde der USA, die Food and Drug Administration (FDA), der Forschergruppe um den Neurowissenschaftler John Donoghue genehmigt, ihren Chip auch an Menschen zu testen.

SCIENCEFICTION WAR GESTERN

Donoghue ist nicht der Einzige, der hofft, die alte Sciencefiction-Vision der Mensch-Maschine in die Realität umzusetzen. Verschiedene internationale Forschergruppen arbeiten fieberhaft an der Entwicklung von Neuroprothesen. Schon jetzt ist es möglich, die Gespräche der Neuronen durch direkt ins Gehirn implantierte Chips zu belauschen und von Computern in Signale übersetzen zu lassen, die einen Bildschirmcursor oder Prothesen steuern – und vielleicht auch bald

die eigenen Gliedmaßen. Doch die Manipulationen im Gehirn sind nicht unumstritten. Ethiker sehen hier weit gehende Eingriffe ins menschliche Bewusstsein heraufdämmern. In fernerer Zukunft könnten Menschen mit invasiven »Brain Computer Interfaces (BCIs)« – also Mensch-Maschine-Schnittstellen, basierend auf Hirnimplantaten – zu wahren Cyborg-Superhelden auffrisiert werden: zu künstlich aufgerüsteten Mischwesen, die leistungsfähiger sind als Normalsterbliche und über Bilder im Kopf sogar Maschinen steuern – Waffen vielleicht und Flugzeuge, wie das amerikanische Militär hofft, das die BCI-Forschung in den USA mit bedeutenden Summen fördert.

Auch John Donoghue ist Nutznießer dieser Gelder. Der heutige Leiter der neurologischen Abteilung der Brown University in Providence, Rhode Island, hatte bereits Anfang der 1980er Jahre den präfrontalen Cortex – zuständig für die Handlungsplanung – bei Ratten und Affen mit feinen Drähten verkabelt, um das Klicken und Klacken der Neurone mit den Bewegungen der Tiere in Verbindung zu bringen. Was sein Rechner damals aufzeichnete, hatte freilich noch keine klare Kontur: Die Information von

nur ein oder zwei Neuronen ergab noch kein aussagekräftiges Bild davon, was im Kopf eines Äffchens geschieht, wenn es den Arm ausstrecken will.

Auf der Suche nach besseren Methoden traf Donoghue 1992 den an der University of Utah in Salt Lake City beschäftigten Bioingenieur Richard Normann. Der auf Hirnimplantate spezialisierte Tüftler hatte gerade einen besonderen Chip entwickelt: nur vier mal vier Millimeter groß, bestehend aus 100 haarfeinen Mikroelektroden mit platinverbrämten Spitzen, die jeweils die Signale von ein oder zwei Neuronen aus dem Gehirn ableiten konnten (siehe Bild S. 28, unten).

Donoghue implantierte Normanns Chip in den motorischen Cortex von Affen und verband ihn per Kabel mit einem Computer. Die Tiere waren darauf trainiert, per Joystick einen Bildschirmcursor zu steuern und damit einen ▷

KEIN SCHRÄUBCHEN LOCKER

Es mutet gespenstisch an, wie das Implantat in Matthew Nagles Gehirn über ein Gewinde an einen Computer angeschlossen wird.

Aus urheberrechtlichen Gründen können wir Ihnen die Bilder leider nicht online zeigen.

AUF EINEN BLICK

Auf dem Weg zur Mensch-Maschine?

1 Ins Gehirn implantierte Silikonchips mit feinen Elektroden eröffnen Gelähmten und Locked-in-Patienten neue Bewegungs- und Kommunikationsmöglichkeiten. Gehirn-Computer-Schnittstellen erlauben es beispielsweise, einen Bildschirmcursor oder eine Handprothese per »Gedankenkraft« zu steuern.

2 Die therapeutischen Chancen der Neuroprothetik werden von ethischen Risiken überschattet. Beispielsweise dürften die teuren Eingriffe die Kluft in der medizinischen Zwei-Klassen-Gesellschaft weiter vertiefen.

3 Kritiker sehen zudem eine wachsende Gefahr eines Missbrauchs der Technologie. Denn je nachdem, wo die Implantate im Gehirn sitzen, könnten sie auch dazu genutzt werden, den Chipträger zu manipulieren.

▷ vorgegebenen Punkt auf der Mattscheibe zu treffen. Bei jeder ihrer Handbewegungen, jedem Rechts, Links, Auf und Ab beim Manövrieren des Cursors, feuerten die Neurone im verkabelten Affenhirn in ganz bestimmten Mustern, die das Computerprogramm herausfilterte. Es zeigte sich, dass die Signale von gerade einmal sieben bis maximal 30 Neuronen ausreichten, um daraus die Bewegung der Affenhand abzuleiten und die Position des Cursors punktgenau vorherzusagen – und das, obwohl bei jeder kleinsten Aktion im Gehirn Millionen von Neuronen aktiv sind.

Jetzt wurde es wirklich interessant: Was würde passieren, wenn die Wissenschaftler die Verbindung von Joystick zu Bildschirm kappten und stattdessen die Signale aus dem Chip für die Bewegung des Cursors verwendeten? Das Unglaubliche geschah: Die Tiere begriffen nach kurzer Zeit, wie sie sich weiterhin die Belohnung sichern konnten, die ihnen zuvor das Joystick-Manöver eingebracht hatte. Sie steuerten den Cursor – mental! Donoghue war die Gedankenübertragung von Affe auf Maschine gelungen.

Das war im Jahr 2002. Zeitgleich unternahmen zwei andere US-amerikanische Forscher sehr ähnliche Experimente: Miguel Nicolelis von der Duke University in North Carolina und Andrew Schwartz, heute an der University of Pittsburgh. Der aus Brasilien stammende Nicolelis und sein Team spickten den

motorischen Cortex ihrer Versuchstiere mit Dutzenden feiner Drähte, die die Signale sehr vieler Neuronen an unterschiedlichen Orten des Gehirns abgreifen – die überlegene Methode, wie der Forscher glaubt, da sich die Menge der gewonnenen Information damit dramatisch erhöhe.

Wie Donoghue fütterte Nicolelis zunächst ein Programm mit den neuronalen Aktivitätsmustern bei Handbewegungen, die seine Äffchen – ebenfalls mit dem Joystick – ausführten. Auch er entfernte in der zweiten Versuchsphase das Hilfsmittel. Anders als bei Donoghue steuerte das Computerprogramm, in das die Elektrodensignale jetzt flossen, aber keinen Cursor, sondern einen künstlichen Arm, der an einem Tisch nebendran angebracht war. Dachten die Nachtaffen sich eine Rechtsbewegung, wanderte die Prothese nach rechts, bei Gedanken an eine Linksbewegung – nach links.

FÜTTERUNG DURCH WILLENSKRAFT

In North Carolina hatten derweil die Äffchen von Andrew Schwartz schon Komplizierteres gelernt: Sie schafften es, mit einem per Gedankenkraft bewegten, in ihrer Nähe installierten künstlichen Arm sich selbst mit Obststücken zu füttern. Nicolelis zog schnell nach und ließ beispielsweise zwei Makaken über Gedankenbefehle eine Kunsthand bewegen, während er ihnen in Form von Hautreizungen Feed-back darüber gab, wie fest

die Prothese zupackte: je heftiger das Kribbeln, umso fester der Griff. Die Tiere sollten lernen, die Stärke des Zupackens über die Hautreizung zu regulieren, das zu ergreifende Objekt also weder zu zerquetschen noch es fallen zu lassen. »Sie benutzen diesen dritten Arm, als wäre er ihr eigener«, zeigte sich Nicolelis begeistert darüber, wie selbstverständlich die Gehirne seiner tierischen Probanden die künstliche Erweiterung des Körpers mitsteuerten. Mit dieser Technologie, so hofft der Forscher, lassen sich hochsensibel agierende Prothesen für Menschen entwickeln.

Donoghue ging einen anderen Weg. Keine Detailarbeit an Kunstarmen, sagt er sich – bevor nicht klar ist, ob ein Hirnimplantat bei bewegungsunfähigen Menschen überhaupt funktioniert: In jahrelangen Versuchen hatte sein Team den von Normann entwickelten Chip optimiert. »Anfangs kam es bei den Versuchstieren immer wieder zu Abstoßungsreaktionen, und wir konnten auch nicht immer Signale ableiten«, erzählt Gerhard Friehs, Neurochirurg an der Brown University. Zusammen mit John Donoghue und zwei weiteren Kollegen hatte er 2001 die Firma CyberKinetics gegründet, die den Chip testet und auch möglichst bald auf den Markt bringen will. Donoghue sicherte sich damals vorsichtshalber auch gleich die Exklusivrechte an Normanns Chip, indem er dessen Firma Bionic Technologies übernahm.

Der Chip – Markenname BrainGate, das »Tor zum Gehirn« – enthält mittlerweile kaum noch Metall und ist deutlich besser verträglich als die ersten Modelle: Einer der Affen lebt bereits seit fünf Jahren ohne Nebenwirkungen mit dem Implantat. »Wir haben das Verfahren zehn Jahre lang an Tieren getestet«, erklärt Friehs. »Die Zeit war reif für einen Versuch am Menschen. Das hat auch die FDA so gesehen.«

Auch andernorts fieberte man dem Versuch entgegen: in der Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), jener Institution des Pentagons, die für das Militär laufend Hightech-Projekte entwickelt und den Fortschritt der invasiven BCI-Technologien in den Staaten finanziell unterstützt. Natürlich geht

es hier auch um Geld – in einer inoffiziellen Marktanalyse schätzte die DARPA 2002 die Einnahmen durch alle Arten von Neuroprothesen für 2005 auf 1,5 Milliarden Dollar. Doch als die Abteilung Nicoletis' Projekten vor wenigen Jahren 26 Millionen Dollar zusprach, Schwartz und Donoghue immerhin noch ein paar Millionen, stand dahinter vor allem handfestes militärisches Interesse: nicht weniger als die Entwicklung eines Supersoldaten, der ultimativen Kampfmaschine.

Haltlose Verschwörungstheorie? Mitnichten. »Unser Programm Enhanced Human Performance (verbesserte menschliche Leistungsfähigkeit) zielt darauf ab, den Menschen nicht zum schwächsten Glied im US-Militär werden zu lassen«, erklärte DARPA-Direktor Anthony Tether 2003 in einer Rede vor dem Repräsentantenhaus. »Wir nutzen die Erkennt-

nisse der Life Sciences dazu, den einzelnen Soldaten stärker, wachsender und ausdauernder zu machen und ihn mit besseren Selbstheilungskräften auszustatten.« Nur eines von vielen ähnlichen Statements, die auf der DARPA-Homepage öffentlich zugänglich sind. Der bis vor Kurzem für das BCI-Programm zuständige Eric Eisenstadt etwa freut sich dort nicht nur auf eine Zukunft, in der Soldaten Infrarot- oder UV-Licht sehen oder selbst auf dröhnenden Flugzeugträgern noch jedes akustische Detail hören und verstehen können. Dank der Erfolge der von ihm geförderten BCI-Labors wären seiner Ansicht nach die Berufskämpfer wahrscheinlich auch bald in der Lage, telepathisch miteinander zu kommunizieren, mit computerhaftem Gedächtnis jede wahrgenommene Einzelheit abzuspeichern oder Flugzeuge und Präzisionswaffen rein gedanklich zu steuern. Auf ei-

nem Kongress im Jahr 2004 illustrierte Eisenstadt die Erfolge seines »aggressiv vorangetriebenen BCI-Programms« – mit Tabellen und Grafiken von Nicoletis sowie mit Details von BrainGate. Und mit den von dem Bioingenieur Sanjiv Talwar an der State University von New York kreierten »Roborats«: Ratten, die sich durch elektrische Impulse – über Fernsteuerung ins Gehirn übertragen – willenslos manövrieren lassen.

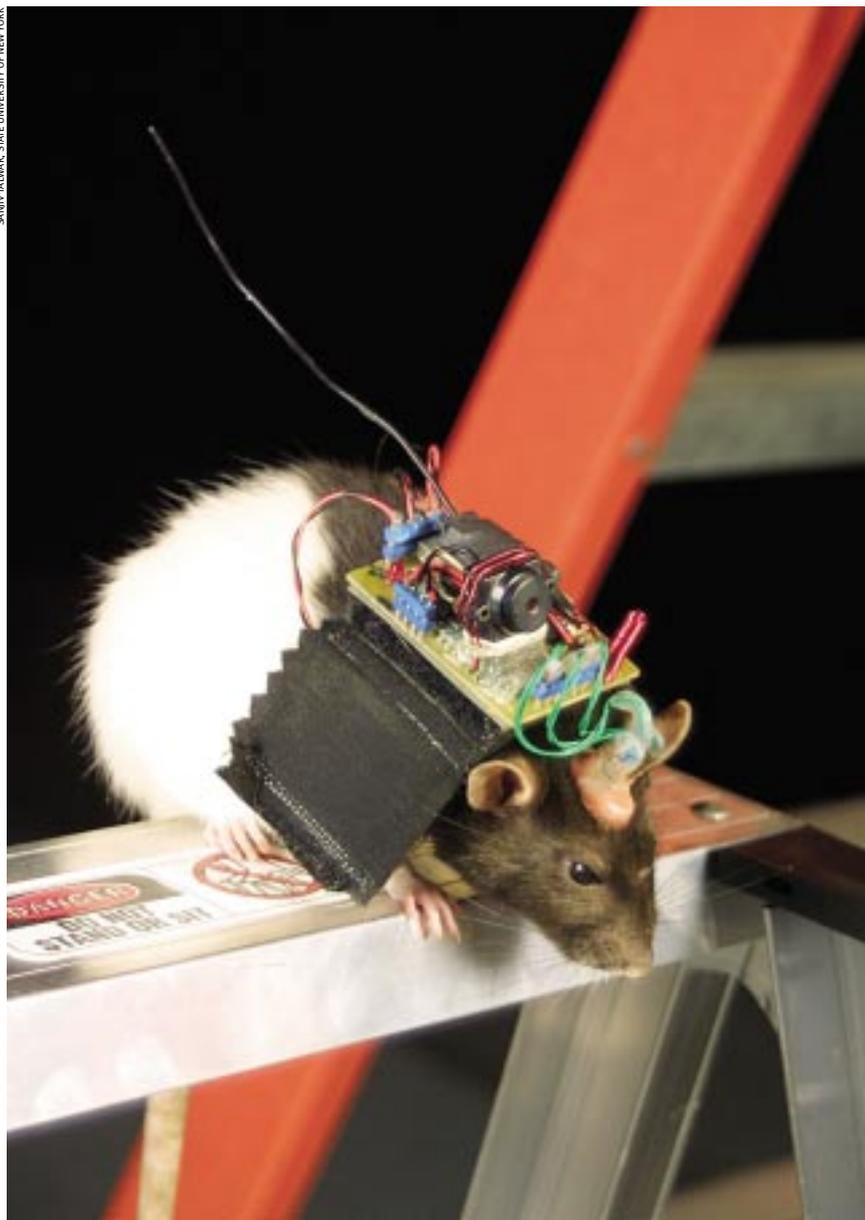
DIE ANTASTBARKEIT DES MENSCHLICHEN GEISTES

Etliche Wissenschaftler warnen vor der Zweischneidigkeit derart gesponserter Forschung. »Das kann nur und muss durch ständige Beobachtung, Kontrolle und Demokratie in Schach gehalten werden«, fordert etwa Niels Birbaumer, Neuropsychologe an der Universität Tübingen und einer der Vorreiter nichtinvasiver BCIs – steht derzeit doch nicht weniger als die Integrität und Unantastbarkeit des menschlichen Geistes und Bewusstseins auf dem Spiel. Auch die »Europäische Gruppe für Ethik in Naturwissenschaften und Neuen Technologien« bei der Europäischen Kommission verweist in einer Stellungnahme aus dem Frühjahr 2005 auf die Dringlichkeit einer breit geführten gesellschaftlichen und politischen Diskussion zu elektronischen Implantaten aller Art. Vor allem jene Anwendungen müsse man im Auge behalten, »die auf eine Verbesserung menschlicher Fähigkeiten oder eine Überwachung abzielen«.

Während die Forschung auf Hochtouren läuft, bleiben viele Fragen ungeklärt: Hört ein Mensch auf, er selbst zu sein, wenn Teile seines Körpers – vor allem seines Gehirns – durch Implantate ersetzt ▷

FERNGESTEUERT

Zwei implantierte Elektroden stimulieren bei dieser Ratte Hirnareale, die normalerweise Signale von den Tasthaaren erhalten. Folgt das Tier dem per elektrischem Impuls gegebenen Hinweis »rechts«, beziehungsweise »links«, verschafft ihm eine dritte Elektrode im Belohnungszentrum Glücksgefühle.



SANJIV TALWAR, STATE UNIVERSITY OF NEW YORK

▷ oder ergänzt werden? Bedrohen sie seine Autonomie? Schaden sie Körper oder Psyche? Und: Ist die Perfektionierung des Menschen überhaupt ethisch vertretbar?

Schon jetzt verändern und erweitern therapeutische Neuroimplantate die Hirnrätigkeit, wie Cochlear-Implantate, die Gehörlose wieder hören machen (dazu mehr in der nächsten Ausgabe von Gehirn&Geist). Auch die ersten Retina-Implantate für Blinde befinden sich in der Erprobung (siehe Interview auf S. 30). Die Stimulation des Vagusnervs – des zehnten der zwölf Hirnnerven – verringert bei Epileptikern die Zahl der Anfälle und verhilft schwer depressiven Menschen zu einer besseren Stimmung. Bei Parkinson reduziert die tiefe Hirnstimulation mittels einer Elektrode mitten im Gehirn die typischen Schüttel-Symptome. Und sogar ein – DARPA-geförderter – »Hirnschrittmacher« ist in Entwicklung, der die Erinnerungsfähigkeit des Hippocampus bei degenerativen neurologischen Erkrankungen wie Alzheimer übernehmen soll.

Dass mit der Verfügbarkeit solcher Methoden ohne eine unabhängige Kontrolle ethische Grenzen nur allzu schnell überschritten werden, zeigen Versuche in den USA der 1950er, 1960er und wahrscheinlich noch der 1970er Jahre. Ein bekannter Forscher jener Tage war beispiels-

weise der Yale-Physiologe seine Elektroden aber auch Psychiatriepatienten. Und was er anschließend mit ihnen anstellte, kam der Idee der Gedankenkontrolle bereits gefährlich nahe: Einmal brachte ein elektrisches Signal ein eben noch friedlich dasitzendes Mädchen dazu, aufzuspringen und in unbändiger Wut ihre Gitarre an der Wand zu zerschmettern. Und in seinem 1969 erschienenen Buch »Physical Control of the Mind – Towards a Psychocivilized Society« beschreibt Delgado freimütig mehrere Fälle, in denen ihm Frauen und auch ein heterosexueller Mann nach künstlich induzierten Lustgefühlen erotische Avancen machten.

WER SCHÜTZT VOR MANIPULATION?

Im Vergleich zu den damals verhältnismäßig simplen Manipulationsmethoden eröffnen die heutigen invasiven BCIs vermutlich weit dramatischere Möglichkeiten: Denn auch hier kann die Information theoretisch nicht nur aus dem Hirn herausgeholt, sondern auch von außen eingespeist werden. Aber wer schützt den Chipträger vor Manipulation? Und wenn ein Implantat die Sehkraft verbessert – wer zieht dann die Grenze zwischen Behandlung und Lifestyle? Die Vision, dass Cyborgs »Nichtbechipte« in den Schatten stellen könn-

ten, rückt für einige Wissenschaftler in greifbare Nähe. So warnt die EU-Ethikgruppe, dass sich damit abermals die Kluft zwischen jenen, die sich eine »Verbesserung« ihres Körpers leisten können, und weniger Bemittelten vergrößert oder sogar eine neue Form des Rassismus entstehen könnte.

Gerhard Friehs, wohlwissend, dass die Ethiker seiner Firma bereits Stellung bezogen haben: Man kann es nicht verantworten. Nur weiß niemand, wer die immensen Kosten der Behandlung dann tragen soll. Ob tatsächlich das erwartete Potenzial im Minichip BrainGate steckt, muss freilich erst noch ergründet werden. Die Firma hat bis heute nur zwei Teilnehmer gefunden, die nicht nur die Kriterien der Studie erfüllen – eine »hohe« Querschnittslähmung vom Hals an abwärts, zwischen 18 und 60 Jahre alt, Personen, die sprechen können, an keiner anderen Krankheit leiden, psychisch in guter Verfassung sind und bereits alle anderen Möglichkeiten ausgeschöpft haben –, sondern auch dann noch bereit waren, sich den Kopf aufsagen zu lassen, nachdem sie alle Details über das Projekt gehört hatten.

Matthews Kompromisslosigkeit machte ihn zum geeigneten Kandidaten Nummer eins. Nichts konnte ihn von seinem Entschluss abbringen: Weder die Gefahr einer Hirnblutung während der Operation noch das Risiko einer späteren Infektion, die ihn sein Denkvermögen oder gar das Leben kosten könnte; weder die Vorstellung, einen Chip im Kopf herumzutragen, der seine »Gedanken« lesen würde, noch die Tatsache, dass es bei diesem ersten Versuch um prinzipielle Machbarkeit und Sicherheit des Eingriffs gehen würde, nicht aber darum, Matthews Lebensqualität zu verbessern. »Was habe ich schon zu verlieren?«, erklärte er den besorgten Eltern, und den Wissenschaftlern: »Ihr könnt mit mir machen, was ihr wollt – nur fangt schon endlich damit an!«

Friehs implantierte den Chip am 22. Juni 2004: Per Magnetresonanztomografie bestimmte er exakt den Ort im motorischen Cortex, der die linke Hand und den linken Arm des Linkshänders Matthew steuert. Dann schnitt er die Kopfhaut auf, bohrte ein münzgroßes Loch in den Schädelknochen, setzte auf das frei gelegte Gehirn den 16 Quadratmillimeter großen Chip und trieb ihn mit einem Luftdruckgerät exakt 1,5 Millimeter unter die Oberfläche. Er verschloss die Öffnung im Schädel mit dem zuvor herausgefrästen Knochenstück bis auf ein winziges Loch, aus dem die 100 Gold-

Die Vision, dass Cyborgs jeden »Nichtbechipten« in den Schatten stellen könnten, rückt für einige Wissenschaftler in greifbare Nähe

weise José Delgado mit seinem »Stimulator«: einer ins Gehirn gepflanzten Elektrode, mit der der Wissenschaftler auf Knopfdruck Gefühle wie Angst, Aggression oder Lust hervorrufen konnte. In seinem berühmtesten Versuch verwandelte er einen rasend auf ihn zustürmenden Stier in letzter Sekunde in Ferdinand, den Sanften. Als er den Knopf betätigte, blieb das Tier zwei Schritte vor ihm stehen, blickte sich um und trabte davon.

Im Rahmen des ursprünglich geheimen CIA-Projekts MK-ULTRA implan-

ten, rückt für einige Wissenschaftler in greifbare Nähe. So warnt die EU-Ethikgruppe, dass sich damit abermals die Kluft zwischen jenen, die sich eine »Verbesserung« ihres Körpers leisten können, und weniger Bemittelten vergrößert oder sogar eine neue Form des Rassismus entstehen könnte.

Ein Problem, um das auch die Macher von BrainGate wissen: »Wenn unser Vorhaben gelingt – wie wäre es zu verantworten, die Methode jemandem zu verwehren, der sie braucht?«, fragt

PRO CYBER-MEDIZIN

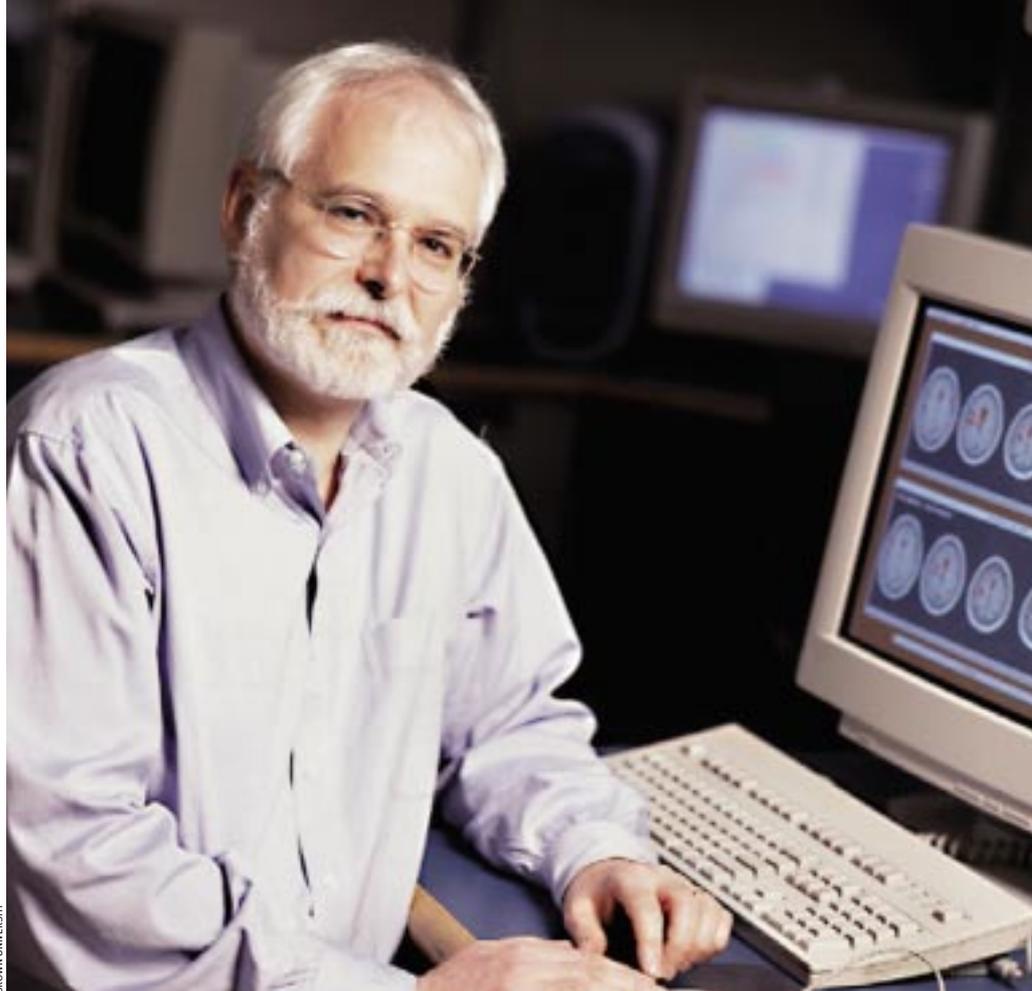
Nach Ansicht von John Donoghue, Neuroforscher an der Brown University und Gründer von CyberKinetics, gehört Hirnimplantaten die Zukunft.

drähte der Elektroden nach außen ragten. Schließlich verband er sie mit einem Metallsockel, der auf Matthews Kopf angebracht wurde – hier würde später ein Adapter für die Leitungen zum Computer angeschraubt. Die Operation verlief ohne Komplikationen und war nach zweieinhalb Stunden abgeschlossen. Matthew erholte sich rasch und konnte nach wenigen Wochen mit den Tests beginnen.

Ein Sciencefiction-Szenario? Dem jungen Mann im Rollstuhl wird ein grauer Apparat in der Größe eines Computer-Adapters auf den Kopf geschraubt. Ein daumendickes Kabel verbindet das Kästchen mit dem Rechner. Bunt gezackte Linien flimmern über Bildschirme – jede Linie die Botschaft einer Elektrode.

Davor verharren die Forscher, aufs Äußerste angespannt: Wird Matthews motorischer Cortex noch entzifferbare Signale abgeben, obwohl sich der Mann – im Unterschied zu den gesunden Äffchen – seit drei Jahren nicht mehr bewegt hat? »Niemand wusste, ob das nach derart schweren Verletzungen überhaupt funktioniert«, schildert Donoghue die Momente des Wartens. »Dann baten wir Matthew, sich die Bewegung vorzustellen – und wir bekamen Signale! Ich stand nur da und war überwältigt, wie wunderschön die Zellen noch immer arbeiten.«

Der Neurologe Philip Kennedy, damals an der Emory University in Atlanta, hatte allerdings schon 1998 bewiesen, dass motorische Neurone übersetzbare Signale liefern, auch wenn die betroffene Person seit Jahren bewegungsunfähig ist. Kennedy hatte so genannten Locked-in-Patienten – Personen, die bei vollem Bewusstsein in ihrem bewegungsunfähigen Körper eingeschlossen sind – eine bleistiftspitzengroße Mikroelektrode ins Gehirn gepflanzt. Die kegelförmige Glas-hülle enthielt einen Wachstumsfaktor, der ein Neuron dazu stimuliert, in den Kegel hineinzuwachsen und an die Elektrode anzudocken. Nach mehreren Mo-



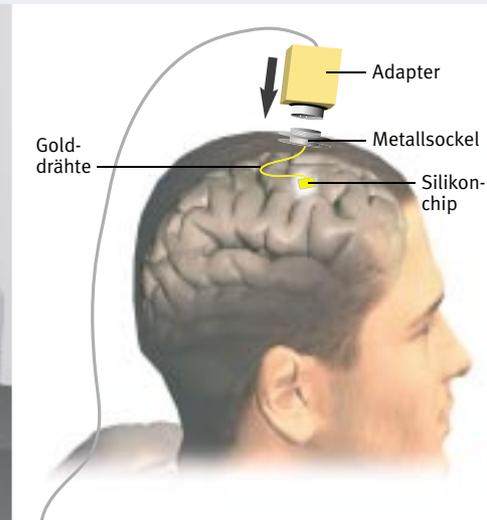
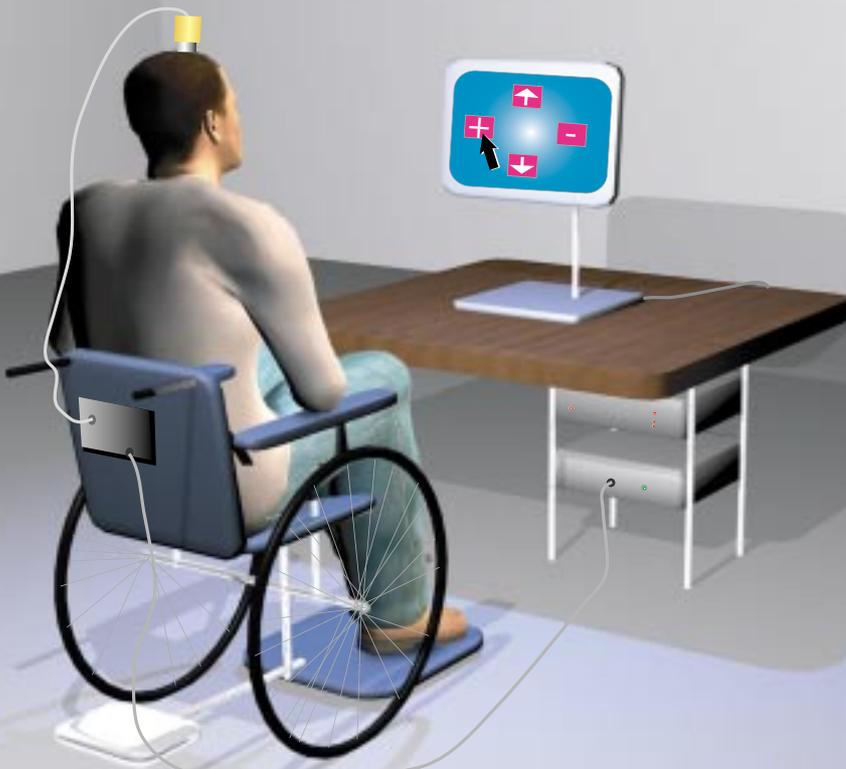
natem Training war einer von Kennedys Patienten, der seit einem Schlaganfall gelähmte Johnny Ray, in der Lage, einfache Texte zu buchstabieren. »See you later. Nice talking with you«, war sein Lieblingssspruch. Die von nur einem Neuron abgeleiteten simplen Ja-Nein-Signale erlaubten ihm allerdings nur ein Schreibtempo von maximal drei Buchstaben pro Minute.

AUF DER ÜBERHOLSPUR

Bei Matthew ging alles viel schneller. Er lernte in nur wenigen Tagen, einen Cursor über den Bildschirm zu bewegen, virtuell Pingpong zu spielen, E-Mails abzurufen oder den Fernsendeder zu wechseln. Das Forscherteam ließ ihn auch eine Handprothese mittels gedanklicher Vorstellungskraft öffnen und schließen, und an guten Tagen gelang es dem Patienten sogar, näherungsweise einen Kreis zu zeichnen. Allerdings berichteten die Journalisten, die Matthew zu sich lud, »um Querschnittgelähmten Hoffnung zu geben«, öfter von mühsamen Versuchen und Aussetzern als von einer großartigen Performance – daran änderte auch ein Jahr Training nicht viel.

So manchen Donoghue-Konkurrenten beeindruckten Matthews Kunststücke denn auch nur mäßig. »Selbst bei den offiziellen Präsentationen der Firma wirkt das alles wackelig und schwierig für den Patienten«, meint etwa Andrew Schwartz. »Wer weiß, wie gut und wie oft er das tatsächlich hinbekommt? Manchmal hat man den Eindruck, sie sagen nicht alles, weil die Resultate gar nicht so gut sind, wie sie gerne glauben machen.«

»Um das zu erreichen, muss man nicht ins Gehirn gehen«, stichelt auch Nicolelis. »Das bringen Forschergruppen mit nichtinvasiven Techniken genauso gut zu Stande.« Tatsächlich gibt es bereits mehrere EEG-Systeme, mit denen Locked-in-Patienten einen Cursor über einen Bildschirm bewegen oder Texte schreiben können, ohne dass ihnen dafür ein Implantat verpasst werden muss (Gehirn&Geist 3/2004, S. 70). Und erst im Herbst zeigte die BCI-Gruppe um Kurt Pfurtscheller von der Technischen Universität in Graz auf einer Konferenz, dass eine Handprothese über außen vom Schädel abgenommene Gehirnströme geöffnet, geschlossen und so- ▷



SIGMUND / GEHIRN&GEIST

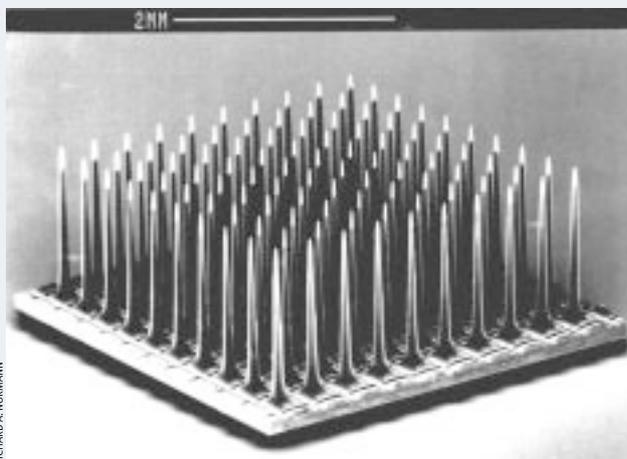
GELÄHMTE oder ganz in ihren Körper »eingeschlossene«, vollkommen bewegungsunfähige Locked-in-Patienten sollen sich über das BrainGate-System wieder bewegen oder mit ihrer Umgebung kommunizieren können. Bei diesem invasiven BCI (Brain-Computer Interface) wird ein Chip direkt ins Gehirn implantiert, der die Signale der Nervenzellen ableitet und nach außen sendet. Der 16 Quadratmillimeter große Mikrochip wird mit einer kleinen Luftdruckpistole genau eineinhalb Millimeter tief unter die Hirnoberfläche gedrückt. Die 100 Golddrähte des Chip ragen durch ein winziges Loch in der Schädeldecke nach außen, wo sie mit einem

Metallsockel verbunden sind, der dauerhaft auf den Kopf montiert wird (siehe Bild rechts oben).

Ein Adapter, der an den Metallsockel auf den Kopf geschraubt wird, verbindet die Drähte mit einem Computer. Dieser wertet die vom Patienten willentlich erzeugte Neuronenaktivität aus. Das erlaubt, anhand der gewonnenen Information beispielsweise einen Cursor auf dem Bildschirm, eine Handprothese und in Zukunft möglicherweise auch Arm- oder Beinprothesen allein durch Gedankenkraft zu steuern.

Für komplexe Bewegungsabläufe und hochempfindliche Prothesen könnte es allerdings notwendig sein, deutlich mehr Signale zu gewinnen. Denkbar wäre hier etwa die Implantation mehrerer Chips an verschiedenen Stellen des Gehirns.

Da jede Öffnung im Knochen ein potenzielles Infektionsrisiko darstellt, wird derzeit an voll implantierbaren Chips gearbeitet, welche Infrarotsignale nach außen senden. Ähnlich einem Herzschrittmacher könnten sie dauerhaft im Körper verbleiben.



RICHARD A. NORMANN

KOSTBARES NADELKISSEN

Auf dem vier mal vier Millimeter großen Silikonchip sitzen 100 Elektroden mit Platinspitze, an denen jeweils eine Nervenzelle andockt. Feinste Golddrähte leiten die vom Gehirn abgeleiteten Signale zu einem Adapter außerhalb des Schädels.

▷ gar gedreht werden kann – der Probandin wurde dazu lediglich eine Art Badehaube mit Elektroden aufgesetzt.

»Ich bewerte die Erfolge meiner früheren Kollegen in Graz sehr positiv«, meint Friehs dazu. »Aber das Problem aller nichtinvasiven Methoden ist, dass die Signale zu schwach und höchst störanfällig sind. Immer wieder haben uns Patienten berichtet, dass sie es deshalb aufgaben, die Systeme zu benutzen.« Selbst bei höchster Konzentration und nach monatelangem Training könne es manchmal Minuten dauern, bis ein richtiger Buchstabe gewählt sei. Und dass von der Kopfoberfläche abgenommene Hirnströme als Information jemals ausreichen könnten, um mit eigenen oder künstlichen fremden Gliedmaßen komplexere Bewegungen auszuführen, erscheint dem Neurochirurgen völlig unmöglich. »Hier müssen wir direkt am Gehirn arbeiten, sonst sind die Signale zu schwach«, glaubt Friehs.

ALLER GRUND ZUR HOFFNUNG

Er selbst ist zufrieden mit den bisherigen Resultaten von BrainGate. »Wir haben bei Matthew mehr als ein Jahr lang wunderbare Signale bekommen. Wenn das bei den anderen vier Probanden genauso gut klappt – und auch der zweite Patient, der in Chicago operiert wurde, gibt uns allen Grund zur Hoffnung –, können die Versuche ausgeweitet werden.« Im Herbst 2005 hat die FDA die Genehmigung erteilt, das Implantat auch an Pati-

enten zu testen, die an der gefürchteten amyotrophen Lateralsklerose (ALS) leiden, bei der nacheinander alle Muskeln ihren Dienst versagen. Die Rekrutierung von Versuchsteilnehmern läuft gerade.

In einem nächsten Schritt soll der Chip vollständig implantierbar gemacht werden, da jede noch so kleine Öffnung im Kopf ein Infektionsrisiko birgt. Das neue Implantat, von dem bereits ein Prototyp existiert, soll laut Friehs über Infrarot mit einem Verstärker kommunizieren, der am Körper getragen wird und die Neuronensignale kabellos weiterleitet.

»Weitere Studien werden dann zum Ziel haben, dass Personen per Gedanken einen Rollstuhl oder ein Auto kontrollieren können«, freut sich der Hirnchirurg auf die nahe Zukunft – denn dass das nicht mehr lange dauern wird, davon ist Friehs überzeugt. »Schon in den nächsten fünf Jahren werden wir Patienten sehen, die in der Lage sind, ihre eigenen Arme wieder zu bewegen, in den nächsten zehn Jahren solche, die wieder gehen können – auch wenn das anfangs sicher noch sehr unnatürlich aussehen wird.«

Auch Matthew gibt sich optimistisch. Ende Oktober 2005 wurde plangemäß sein Chip wieder entfernt: Der auf ein Jahr anberaumte Versuch war abgeschlossen, es hätte für ihn keine Veränderungen mehr gegeben. Doch das stört den mittlerweile 26-Jährigen nicht. Er bemüht sich bereits um die Teilnahme an anderen Studien. »Egal wie – ich will meine Arme wieder bewegen, meine

Finger, meine Beine«, sagt er. Möglich, dass er sogar an einer Folgestudie von BrainGate teilnimmt. Es scheint Matthews größter Wunsch, für immer ein Cyborg zu werden – und wer könnte es ihm verdenken? ◀



VERENA AHNE ist Sozialwissenschaftlerin und lebt als freie Wissenschaftsjournalistin in Wien.

Literaturtipps

Friehs, G. M. et al.: Brain-Machine and Brain-Computer Interfaces. In: Stroke 35 (Suppl. 1), 2004, S. 2702 – 2705.

Lal, T. N. et al.: Methods Towards Invasive Human Brain Computer Interfaces. In: Advances in Neural Information Processing Systems 17, 2005, S. 737 – 744.

The European Group on Ethics in Science and Technologies to the European Commission: Opinion on the Ethical Aspects of ICT Implants in the Human Body. 16. März 2005.

Links zu diesen Literaturtipps unter www.gehirn-und-geist.de/artikel/832490

Weblink

www.bci-info.org

Forschungsportal mit umfangreicher Literaturliste zum Thema

delta am 1. Juni 2006, 21.00 Uhr in 3sat Das gedopte Hirn – Neuroprothesen und ihre Zukunft

Die Versprechen sind groß: Blinde sollen wieder sehen, Amputierte sich mit künstlichen Gliedmaßen wieder bewegen können und das Gehirn selbst soll durch Psychopharmaka und „molekulare Prothesen“ schneller und funktionsfähiger gemacht werden. Manches davon ist bereits Wirklichkeit, anderes klingt wie ein Science-Fiction-Schreckensszenario. Wie beeinflussen ans Gehirn angeschlossene Maschinen die Persönlichkeit? Wie stark dürfen wir durch Neurodoping in das menschliche Bewusstsein eingreifen? Und welche ethischen Fragen stellen sich bei der neuronalen Manipulation des „neuen Menschen“?

Darüber diskutiert Gert Scobel mit Gästen in delta am Donnerstag, den 1. Juni, um 21.00 Uhr in 3sat.

