

SPRECHENDE GEDANKEN

Meist sind wir heilfroh, dass niemand weiß, was uns gerade so durch den Kopf geht. Vollständig gelähmten Menschen bieten »Gedankenlesesysteme« jedoch die einzige Chance, wieder Kontakt mit ihrer Umwelt aufzunehmen.

VON NICOLA NEUMANN
UND NIELS BIRBAUMER

Die Agenten setzen sich mit Gewalt durch: Sie verabreichen dem Rebellenführer Morpheus eine Spritze und loggen sich in sein Gehirn ein – um endlich zu erfahren, wo sich die geheime Stadt Zion befindet. Dort leben die letzten Menschen, die der Herrschaft der Maschinen noch Widerstand entgegensetzen. Wenn das Wissen in Morpheus' Kopf den Gegnern in die Hände fällt, ist Zion verloren. Die Lage scheint aussichtslos. Doch kurz bevor die Feinde seinen neuronalen Code knacken, kann Morpheus fliehen.

Diese Szene aus dem Kinohit »Matrix« spielt zwar in der Zukunft, kokettiert aber mit einer schlimmen Befürchtung, die so mancher der modernen Neurowissenschaft schon heute entgegenbringt. Denn je besser Forscher die Funktionsweise unseres Gehirns verstehen, desto realistischer scheint die Vorstellung, dass bald auch die geheimsten Gedanken eines Menschen gegen seinen Willen gelesen und manipuliert werden könnten. Doch wie realitätsnah oder -fern ist diese Idee?

Würde man Hans-Peter Salzmann fragen, hätte er vielleicht gar nichts dagegen einzuwenden, dass jemand einige seiner Gedanken liest. Der 49-jährige Jurist ist nahezu vollständig gelähmt, sitzt im Rollstuhl und wird künstlich beatmet und ernährt. Seit 15 Jahren leidet er an amyotropher Lateralsklerose, einer unheilbaren degenerativen Erkrankung der Nervenzellen, die dazu führt, dass das

gesamte willkürliche motorische System nach und nach ausfällt. Am Ende sind die Betroffenen vollständig bewegungsunfähig, während sie weiterhin denken und fühlen können – ein funktionierender Geist, eingeschlossen in einen gelähmten Körper. Deshalb bezeichnet man diese Menschen auch als Locked-in-Patienten.

BUCHSTABEN-BLINZELN

Von diesem Zustand ist Hans-Peter Salzmann glücklicherweise noch ein Stück entfernt: Er kann seine Augen bewegen, und das ermöglicht ihm, mit seiner Umgebung zu kommunizieren. Allerdings ist er dabei auf einen Helfer angewiesen, denn Salzmann »spricht« mit Hilfe einer Tafel, auf der die Buchstaben des Alphabets in sechs Reihen und fünf Spalten aufgetragen sind. Sein Gegenüber fragt zunächst die Reihen, dann die Spalten ab. Für jeden Buchstaben muss Salzmann zweimal mit dem linken Auge blinzeln, einmal für die richtige Reihe, dann für den richtigen Buchstaben.

Dieses Verfahren kann langwierig sein und erfordert einen erfahrenen »Dolmetscher«. Manchmal ermüdet die schwache Augenbewegung auch und lässt sich dann kaum mehr deuten. Das Schlimmste: In aller Regel schreitet die Krankheit weiter fort und könnte Salzmanns Augenmuskeln eines Tages lähmen, womit er auch diese letzte Kommunikationsmöglichkeit verloren hätte. Seine einzige Möglichkeit, weiterhin mit der Außenwelt in Kontakt zu bleiben, wäre dann ein Gerät, das Gedanken erfasst und übermittelt.

Das klingt nach Sciencefiction, doch solche Systeme gibt es schon! Thought

Translation Device (TTD, »Gedankenübersetzungsapparat«) heißt das Gerät, das wir am Tübinger Institut für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie bereits seit einigen Jahren bei gelähmten Patienten einsetzen. Allerdings »liest« das TTD Gedanken nicht in dem Sinne, dass es sie direkt aus den hirn-elektrischen Vorgängen extrahiert. Vielmehr beruht das System auf dem Prinzip des Biofeedbacks. Bei dieser Methode wird ein normalerweise nicht wahrnehmbarer physiologischer Vorgang – etwa der Anstieg des Blutdrucks – gemessen und an den Patienten zurückgemeldet. Das Feedback gibt ihm dann die Möglichkeit zu lernen, wie er dieses körperliche Geschehen selbst beeinflussen und regulieren kann.

Unser »Gedankenübersetzungssystem« misst Hirnströme, genauer gesagt die so genannten langsamen corticalen Potenziale (LCP). Im Gegensatz zu den anderen charakteristischen Bestandteilen des Elektroencephalogramms (EEG) dauern diese Hirnstromwellen nicht Millisekunden, sondern bis zu zehn Sekunden. Außerdem müssen LCPs nicht unbedingt an konkrete Handlungen und Gefühle gebunden sein; sie entsprechen eher dem allgemeinen Aktivierungszustand unseres Denkkorgans.

Auf der Kopfhaut angebrachte Elektroden erfassen diese Hirnströme, die zunächst verstärkt, dann an einen Kontrollrechner mit Analog-Digital-Wandlerkarte und von da aus an ein Notebook weitergeleitet werden. Auf dessen Monitor kann der Patient den Verlauf seiner langsamen corticalen Potenziale als Cur-

IDEENKLAU-FIKTION

Das feindliche Anzapfen fremder Gedankenwelten bleibt vorerst noch Hollywood-Streifen wie »Matrix« vorbehalten.

sorbewegung beobachten: Negative Potenzialverschiebungen bewegen den Cursor nach oben, positive nach unten. Die Aufgabe besteht darin, ihn willentlich in eines der zwei Tore am oberen beziehungsweise unteren Bildschirmrand zu lenken. Trifft der Patient das gewünschte Tor, erhöht sich das Ergebnis um einen Punkt und ein Gesicht auf dem Bildschirm bestätigt den Treffer mit einem Lächeln – was den Lernerfolg nachweislich verbessert. Doch auch beim mentalen Fußballspiel gilt: Nur Übung macht den Meister. In jeder Sitzung müssen solche Aufgaben mehrere hundert Mal wiederholt werden. Nach einigen Wochen Training schaffen es viele Patienten, den Cursor mit 70- bis 80-prozentiger Treffsicherheit zu steuern.

Fragt man diese Menschen, wie sie ihre eigene Hirnaktivität kontrollieren, fallen die Antworten sehr unterschiedlich aus. Hans-Peter Salzmann hat seine individuelle Strategie mit Hilfe des Gedankenübersetzungssystems beschrieben. Im Endeffekt geht es darum, sein Gehirn in zwei verschiedene Aktivierungszustände zu versetzen. Den, der den Cursor nach oben (beziehungsweise nicht nach unten) bewegt, erreicht Salzmann, indem er versucht, gar nichts zu denken. Um den Cursor aktiv nach unten zu lenken, stellt sich der Jurist vor seinem inneren Auge eine Situation mit Spannungsaufbau und Spannungsabfall vor – beispielsweise das Umspringen einer Ampel von Gelb auf Grün oder den Start eines Sprinters in der Leichtathletikarena.

DIE GEDANKEN SIND FREI

Bei anderen Patienten funktioniert dieses Vorgehen nicht. Sie denken stattdessen an bestimmte Wörter oder führen Konzentrationsaufgaben durch. Offenbar gibt es keine allgemein anwendbaren kognitiven Strategien zum Steuern der LKPs. Jeder Mensch kann eigene Gedanken entwickeln, die es ihm erlauben, die benötigte Hirnaktivität zeitgenau und zuverlässig hervorzurufen. Manche denken auch gar nichts Besonderes, sondern bedienen den Cursor so, wie sie auch ihre Gliedmaßen benutzen würden, ohne bestimmte Vorstellungen damit zu verbinden.

Sobald Patienten die Regulation ihrer langsamen corticalen Potenziale hinrei-

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

chend sicher beherrschen, stellen wir das Training vom vergleichsweise einfachen Ansteuern der Tore auf schwierigere Aufgaben um. Die Palette der denkbaren Anwendungen reicht vom Bedienen eines Alarmknopfs oder einer Fernbedienung bis hin zum Schachspielen oder Internetsurfen.

Viele gelähmte Menschen haben jedoch vor allem einen Wunsch: Sie wollen wieder kommunizieren. Um ihnen dies zu ermöglichen, haben wir das mentale Fußballspiel ein wenig erweitert. Im unteren Bereich des Bildschirms befindet sich ein Feld mit mehreren Buchstaben. Ist das gewünschte Schriftzeichen dabei, gilt es, den Cursor durch die Erzeugung eines positiven Potenzials ins untere Tor zu lenken (Auswahl). Gehört es nicht dazu, muss der Gelähmte durch die Erzeugung eines negativen Potenzials deutlich machen, dass er das gerade angebotene Buchstabenfeld nicht auswählen

will (Ablehnung). Sobald er ein Sortiment ablehnt, bekommt er ein neues präsentiert, das er wiederum akzeptieren oder zurückweisen kann. Jedes ausgewählte Buchstabenfeld wird so lange halbiert, bis am Ende dann ein einziger Buchstabe übrig bleibt – der gesuchte.

Ergänzend enthält das System ein Verzeichnis, das Wortvorschläge macht, die der Patient übernehmen kann. Zwar dauert das Schreiben trotz dieser Software so lange, dass ein ausführlicher Brief einige Tage in Anspruch nimmt – doch allein die Möglichkeit, wieder ohne die Hilfe eines Dolmetschers zu kommunizieren, gibt den Betroffenen einen wertvollen Teil ihrer Privatsphäre zurück. Da das Verfahren aber die aktive Mitarbeit des Patienten verlangt, kann man nicht von Gedankenlesen im eingangs beschriebenen Sinne sprechen – und es ist vollkommen unmöglich, das TTD gegen den Willen eines Menschen ▶



HANS-PETER SALZMANN

MENTALE ÜBUNG

Patient Hans-Peter Salzmann beim Hirnstrom-Training

im Fanblock eines voll besetzten Fußballstadions vom Parkplatz aus mit einem Richtmikrofon zu belauschen. Wer würde da nicht eher einen Zuhörer in ihre unmittelbare Nähe setzen?

Genau das versuchen Miguel Nicolelis und seine Kollegen von der Duke University in North Carolina in der Hoffnung, auf diese Weise auch Gedanken im engeren Sinn erfassen zu können. Die Forscher implantierten so genannte Multi-Mikroelektrodenarrays in verschiedene Regionen der motorischen Hirnrinde von Eulenaffen. Dort sollten diese aus feinsten Mikrodrähten bestehenden elektronischen Bauteile die elektrische Aktivität jener Nervenzellen erfassen, die Bewegungsabläufe planen. Wie unsere gelähmten Patienten mussten die Äffchen auf einem Computermonitor den Cursor in ein Tor steuern. Dazu benutzten sie zunächst einen Joystick, den sie mit der Hand bedienten. Gleichzeitig maß Nicolelis mit den implantierten Elektrodenarrays die zu dieser Bewegung gehörenden Signale in 86 motorischen Neuronen. Dann wurde der Hebel inaktiviert und die Steuerung des Cursors auf die Nervenzellaktivität umgestellt. Mit Erfolg: Die Affen führten den Cursor ausschließlich kraft ihrer Gedanken – vermutlich indem sie sich die Bewegungsbahn vorstellten!

Ein erheblicher Fortschritt, schließlich gelang es den amerikanischen Forschern erstmals, das einer rein mentalen Vorstellung zu Grunde liegende neuronale Signal in eine zweidimensionale Bewegung zu übersetzen. Allerdings musste der Affe die erwünschte Handbewegung zuerst wieder und wieder durchführen, damit Nicolelis' Team einen mathematischen Algorithmus errechnen konnte, der die Aktivität der einzelnen Nervenzellen entsprechend gewichtet. Gedankenlesen wäre demnach möglich, indem man eine Person an etwas denken lässt und im selben Moment die entsprechende Hirnaktivität ableitet, um sie dann später wieder erkennen zu können. Doch wie viele der zahllosen Ideen, die uns tagtäglich durch den Kopf schießen, lassen sich anhand ihres Aktivierungsmusters identifizieren?

Grundsätzlich wird ein Gedanke im Gehirn nicht durch das Feuern einer einzelnen Nervenzelle abgebildet, sondern durch die Aktivität ganzer Zellverbände. Ein solches Neuronennetz fügt die einzelnen Aspekte einer Information zu ei-

▷ anzuwenden. Bei der Methode handelt es sich vielmehr um »Gedankenübersetzung« unter Umgehung des muskulären Systems.

Ein Gerät, das dem Gedanken »lesen« vielleicht etwas näher kommt, entwickelte unlängst der Psychologe Emanuel Donchin an der University of Illinois in Urbana-Champaign. Hier müssen Probanden ihre Aufmerksamkeit auf ein selbst ausgesuchtes Schriftzeichen in einer Buchstabenmatrix lenken. Während die einzelnen Reihen und Spalten der Matrix viele Male nacheinander kurz beleuchtet werden, soll die Versuchsperson mitzählen, wie oft ihr Buchstabe aufblitzt.

Das System macht sich die Tatsache zu Nutze, dass unser Gehirn auf einen Reiz, der sich von anderen Standardreizen unterscheidet – in diesem Fall der gewünschte Buchstabe im Gegensatz zu allen nicht gewünschten –, sichtbar anders reagiert. Das gedankliche »Der ist es!« erzeugt ein so genanntes P300-Potenzial, das sich mit Hilfe von Elektroden an der Kopfoberfläche messen lässt. Ein Computerprogramm vergleicht dann, welche Reihe und welche Spalte P300-Wellen induziert haben, und identifiziert so den gesuchten Buchstaben.

Donchins Konzept scheint durchaus viel versprechend. Die von ihm als Probanden ausgewählten Studenten schrieben bis zu acht »Anschläge« in der Minute, und das mit hoher Genauigkeit. Derzeit

testet der Forscher sein Brain-Computer-Interface (BCI) an gelähmten Patienten.

Donchins BCI kann also innerhalb einer vorgegebenen Kategorie – in diesem Falle Buchstaben – einen Gedanken erkennen, ohne dass der Proband dabei eine aktive Fertigkeit ausüben muss, wie die Selbstregulation seiner Hirnaktivität. Doch was ihm außerhalb dieser vorgegebenen Kategorien durch den Kopf geht, lässt sich mit dem Gerät nicht erfassen. Dasselbe gilt, wenn Probanden konkrete mentale Tätigkeiten ausüben, also beispielsweise im Geiste einen Text verfassen. Es gibt Systeme, die anhand des Aktivierungsmusters verschiedener Hirnareale zwar erkennen, dass die Testperson gerade schreibt, nicht aber was sie schreibt. Anders gesagt: Was die Agenten bei Morpheus versuchen, nämlich den exakten Inhalt seiner Gedanken zu entschlüsseln, erweist sich bis heute als unmöglich.

RICHTMIKROFONE AUF DER KOPFHAUT

Die bisher beschriebenen Systeme beruhen alle auf der Ableitung der Hirnströme von der Kopfoberfläche mit Hilfe des Elektroencephalogramms (EEG). Die im EEG gemessenen Potenziale spiegeln die Summe der Aktivitäten vieler Millionen Nervenzellen wider, was die Methode, wie manche Forscher kritisieren, wenig präzise macht. Sie sei vergleichbar ungenau wie der Versuch, einzelne Menschen

nem Gesamteindruck zusammen. Nehmen wir an, jemand geht in ein Café und bekommt Lust auf genau so einen dampfenden Cappuccino, wie er gerade auf dem Nachbartisch steht. Dieser Wunsch wird durch die synchrone Aktivität verschiedener Nervenzellen repräsentiert: Manche Neuronen reagieren auf den typischen Geruch des Kaffees, andere auf die Farbe und die Form der Tasse, wieder andere steuern die Erinnerung an unseren letzten Cappuccino bei.

CAPPUCCINO IM HIPPOCAMPUS

Um diesen Gedanken zu »messen«, reicht es nicht, zu erfassen, welche Nervenzellen gerade gemeinsam feuern und welche elektrochemischen Vorgänge damit einhergehen. Man müsste auch wissen, was diese Zellen bei der jeweiligen Person repräsentieren, also etwa, ob die Impulse von Neuronen des Hippocampus, dem Erinnerungsspeicher unseres Gehirns, für eine angenehme oder eine unangenehme Erinnerung an Cappuccino stehen. Dies erfordert, die Aktivitäten vieler Millionen einzelner Nervenzellen zu registrieren, und das ist auch mit den innovativsten bildgebenden und invasiven Messverfahren zurzeit nicht möglich.

Hans-Peter Salzmann wäre schon mit einer verbesserten Version des einfachen Gedankenübersetzungssystems zufrieden. Gegenüber invasiven Verfahren, wie den Multi-Mikroelektrodenarrays, bietet das TTD einen entscheidenden Vorteil: Die Patienten müssen sich keiner riskanten Hirnoperation unterziehen. Doch obwohl das von uns an der Universität Tübingen verwendete System keine Gefahren birgt, erreichen uns von vielen Seiten Einwände: Man würde ja nur die Leiden eines unheilbar Kranken unnötig verlängern, wenn man seine Entscheidung, unter künstlicher Beatmung weiterzuleben, positiv beeinflusst. Wie aber Studien zeigen, unterscheidet sich die subjektive Lebensqualität von künstlich ernährten und beatmeten Gelähmten langfristig nicht von jener Gesunder, sofern sie weiterhin die Möglichkeit besitzen zu kommunizieren. Frei von der Angst, auf ewig zu verstummen, können die Patienten dann auch gemeinsam mit Angehörigen und behandelnden Ärzten überlegen, ob und wie es weitergehen soll.

Um gelähmten Patienten jedoch tatsächlich die Möglichkeit zu geben, an einer spontanen Unterhaltung teilzunehmen, bedarf es noch vieler Verbesserungen. Zu diesem Zweck hat unsere Forschungsgruppe von der Universität Tübingen sich Anfang 2003 mit einem Team des New York State Department of Health in Albany zusammengeschlossen.

Die Wissenschaftler um Jonathan Wolpaw arbeiten nicht mit langsamen corticalen Potenzialen, sondern mit so genannten Mu-Wellen. Diese Hirnstromoszillationen treten auf, wenn der Mensch eine motorische Bewegung durchführt, aber auch, wenn er sie sich nur vorstellt. Unser gemeinsames Brain-Computer-Interface kombiniert die Vorzüge der einzelnen Systeme. Zum einen haben gelähmte Patienten so die Möglichkeit, das Signal zu wählen, das sie am zuverlässigsten kontrollieren können. Zum anderen lassen sich mit neuen Auswertungsprogrammen auch mehr als zwei Aktivierungszustände des Gehirns unterscheiden, die den Cursor dann beispielsweise zusätzlich nach links und rechts steuern. Emanuel Donchin's P300-Potenziale sind ebenfalls in unser BCI2000 integriert.

Auch das Buchstabiersystem kann weiter verbessert werden. Eine spezielle Software, ähnlich den SMS-Programmen in Handys, könnte Worte oder ganze Sätze automatisch ergänzen, die der Patient dann entweder annimmt oder ablehnt. Noch sind wir zwar nicht so weit, doch mit Hilfe all dieser kleinen Verbesserungen sollte es in nicht allzu ferner Zukunft möglich sein, dass Menschen wie Hans-Peter Salzmann ein Gedankenübersetzungssystem so selbstverständlich bedienen wie Gesunde eine Computertastatur. Im Gegensatz zu Morpheus in »Matrix« könnten die Patienten aber stets selbst entscheiden, was sie von ihrem Innenleben wirklich preisgeben möchten. ◀

Anzeige



NICOLA NEUMANN ist promovierte Psychologin und wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie der Universität Tübingen.



NIELS BIRBAUMER ist Direktor dieses Instituts und außerdem Professor am Zentrum für Kognitive Neurowissenschaften der Universität Trento, Italien.

Literaturtipps

Birbaumer, N. et al.: A Spelling Device for the Paralyzed. In: *Nature* 398 (1999). S. 297–98.

Neumann, N. et al.: Conscious Perception of Brain States: Mental Strategies for Brain-computer Communication. In: *Neuropsychologia* 41 (2003), S. 1028–36.

Wickelgren, I.: Tapping the Mind. In: *Science* 299 (2003), S. 496–499.

Parker, I.: Gedanken lesen I u. II. In: *G&G* 4/2003, S. 56–62 und 5/2003, S. 76–83.