

# Gläserne Gehirne?

## Neurotechnologie und Ethik

Wenn ein **Locked-in-Patient** dank Neuroimplantat und Sprachsynthesizer wieder sprechen kann, ist das eine tolle Sache. Falls künftig aber Hirn-Computer-Schnittstellen für jedermann in Mode kommen, könnte das die Gesellschaft verändern. Loggt Facebook dann unsere Gedanken mit?

Ein Gedanke genügt, und Christopher surft durchs Internet. Blitzschnell lädt er sich Informationen direkt in sein Gehirn herunter. Nun aber hat sich Christopher ausgeklinkt und ist auf der Flucht. Die anderen „Upgrader“ jagen ihn und wollen ihn wieder in das Netzwerk integrieren. Denn sie alle tragen einen Chip im Kopf, der es ihnen erlaubt, sogar ihre Gehirne direkt miteinander zu vernetzen. Die Gemeinschaft funktioniert wie ein einziges Bewusstsein, das mit tausenden Augen sieht und auf sämtliche Informationen des Internets Zugriff hat. Dabei war deren *Brain-Computer-Interface* (BCI) ursprünglich entwickelt worden, um Prothesen zu steuern und gelähmten Patienten die Kommunikation zu ermöglichen. Doch auch der Neurologe, der diesen Chip mit den besten Absichten entwickelt hatte, musste untertauchen und versteckt sich vor den „Upgradern“.

Das oben skizzierte Abenteuer stammt aus der Feder des *Science-Fiction*-Autors Andreas

Eschbach. „*Black Out*“ lautet der Titel des Romans. Eine Technologie wird zunächst für medizinische Zwecke entwickelt und dann von einer Untergrund-Szene als Lifestyle-Gimmick zweckentfremdet. Am Ende gerät der Chip, der Lahme zum Gehen und Sprechen bringen sollte, zu einer Bedrohung für die gesamte Menschheit. Auf lange Sicht wollen die „Upgrader“ nämlich jeden in ihr Metabewusstsein integrieren. Damit wirft Eschbach in seiner Geschichte auch ethische Fragen auf, mit denen sich tatsächlich Neurowissenschaftler, Juristen und Philosophen beschäftigen.

### Von der *Fiction* zur *Science*

BCIs greifen Informationen ab, die direkt aus dem menschlichen Gehirn stammen. Ein sinnvolles Prinzip, wenn ein paralysierter Patient dadurch wieder kommunizieren und sich über ein Roboter-Assistenzsystem selbst versorgen kann. Wie aber steht es

um das Persönlichkeitsrecht und den Datenschutz, wenn dieser Datenstrom zwischen Gehirn und den technischen Einheiten mitgelesen werden kann? Verändert ein BCI womöglich auch die Identität des Patienten? Und wer haftet, wenn bei der Steuerung eines Assistenzsystems ein menschlicher Pfleger verletzt wird und man gar nicht genau rekonstruieren kann, ob der Patient diesen Zwischenfall verschuldet hat oder ob ein technischer Fehler vorlag? Und nicht zuletzt: Was, wenn solche Hirn-Computer-Schnittstellen auch für Computerspiele und die Online-Kommunikation in Mode kommen – nicht, weil jemand als Patient darauf angewiesen wäre, sondern einfach weil es schick ist?

Und so waren es im November letzten Jahres keine *Science-Fiction*-Autoren sondern Neurowissenschaftler, die hierzu einen Kommentar in *Nature* veröffentlicht haben – „*Four ethical priorities for neurotechnologies and AI*“ lautet der Titel des Beitrags (551(7679): 159-63).

Ein Blick ins Innere - Wie leicht können unsere Hirn-Daten und Gedanken mitgelesen werden?  
Foto: iStock / erhui1979



Junge Patientin mit einer EEG-Kappe.  
Foto: iStock / fotografixx

Bevor wir aber auf die Anregungen der Autoren näher eingehen, widmen wir uns einer kurzen Bestandsaufnahme: Was ist in Sachen BCI heute möglich? Und was ist Zukunftsmusik und womöglich gar nicht praktisch realisierbar? Gehen wir also zunächst einmal den Schritt von Eschbach in die Neurotechnologie, von der *Fiction* in die *Science*.

Neuroimplantate sind längst keine Zukunftsmusik mehr, sie sind Realität. Seit über 25 Jahren setzt man sie für die Tiefe Hirnstimulation ein, zum Beispiel gegen Parkinson, heute aber auch, um schwere Depressionen oder das Tourette-Syndrom zu behandeln. Die ins Gehirn eingesetzten „Schrittmacher“ wirken über elektrische Signale auf die Neuronen und modulieren so Informationsverarbeitung oder Bewegungsplanung. Idealerweise sollte solch eine implantierte Einheit nicht nach einem starren Schema die Neuronen stimulieren oder inhibieren, sondern nur dann, wenn das Gehirn gerade suboptimal arbeitet. Man spricht von einem *Closed-Loop-System*, wenn das Gerät die neuronale Aktivität über geeignete Biomarker misst und über diesen Input eigenständig entscheidet, wann es einen Impuls generiert. Solche Feedback-Systeme will man natürlich weiter optimieren, doch schon heute ist die direkte Kommunikation zwischen Neuronen und Implantat Teil der klinischen Realität (*J. Neuroeng. Rehabil.* 14(1): 79).

## Vernetzte Affen-Hirne

Mehr noch: Neuroforscher der *Duke University* in Durham, North Carolina, haben bereits Gehirne miteinander „vernetzt“ (*Sci. Rep.* 5: 10767). Arjun Ramakrishnan *et al.* präparierten den motorischen und sensomotorischen Cortex von Rhesusaffen mit Multielektroden-Arrays, um die Aktivität mehrerer hundert Neurone abzugreifen. Anschließend sollten die Tiere allein über ihre kortikale Aktivität eine Avatar-Hand steuern und hin zu einer kreisförmigen Markierung bewegen. In einem der Versuche ließ sich die künstliche Hand durch alle drei Raumdimensionen (x, y und z) bewegen. Je einer von insgesamt drei Affen konnte dabei aber nur die Bewegung entlang einer Ebene beeinflussen: Ein Tier bestimmte die Position entlang der x- und der y-Achse, ein anderes Tier x und z und der dritte Affe schließlich beeinflusste die Hand in z- und y-Richtung.

Jeder Affe bekam über ein visuelles Feedback die aktuelle Position der Hand gezeigt. Weil die Tiere in getrennten Räumen saßen und sich gegenseitig nicht sehen konnten, mussten sich ihre Hirnsignale aufeinander einspielen, um die Hand steuern zu können.



Nun teilten sich je zwei Tiere eine der Raumachsen – zum Beispiel wirkte sich die neuronale Aktivität sowohl von Affe eins als auch von Affe drei auf die x-Koordinate der Hand aus. Trotzdem gelang es den Tieren schließlich, die Avatar-Hand zu kontrollieren.

Die Forscher aus Durham bezeichnen ihr System als „Brainet“ und scheinen damit erschreckend nah an Eschbachs Roman-Idee heranzurücken. Natürlich sind invasive Systeme, die Informationen aus dem Gehirn abgreifen, keine Massenware. Beim Menschen dürften sich Einheiten, die auf oder in das Gehirn implantiert sind, bis auf weiteres auf wenige sehr gut begründbare Fälle mit klinischer Indikation beschränken.

## Roboter kopfgesteuert

Doch wie sieht es aus mit nicht-invasiven Methoden? Schließlich reicht schon ein simples Elektroenzephalogramm (EEG), um Informationen über die neuronale Aktivität im Gehirn aufzuzeichnen. Klar, die räumliche Auflösung ist schlecht, und es müssen schon ganze Neuronen gleichzeitig ein ausreichend starkes Signal produzieren, um aus dem Rauschen hervorstechen und die Schädeldecke zu durchdringen. Trotzdem gibt es zahlreiche Experimente, in denen Probanden gelernt haben, Computer oder andere Geräte auf diesem Weg zu steuern. All das ist keine Hexerei, sondern lediglich eine Sache des Trainings. Über Biofeedback lernt der Proband zunächst, mithilfe eigener Imaginationen spezifische Signale zu generieren, die stark genug sind, um im EEG aufzufallen. Später kann ein Computer diese Signale als Steuerungsbefehle interpretieren.

Forscher aus Freiburg haben diese Idee weiterentwickelt. Ein Team um Wolfram Burgard arbeitet an einem Roboter-Assistenzsystem, das vollständig gelähmten Patienten helfen könnte, sich selbst zu versorgen. Die Probanden in den Versuchsreihen steuern

den Roboter mithilfe einer EEG-Kappe. Aktuelle Ergebnisse hierzu haben die Freiburger im November vorab auf *arXiv* veröffentlicht (1707.06633v3) und eine Video-Demonstration findet man auf Youtube ([youtu.be/Ccor\\_RNHUAA](https://youtu.be/Ccor_RNHUAA)). Zum Beispiel kann man den Roboter instruieren, ein Getränk in einen Becher einzuschenken, den Becher zum Probanden zu bringen und ihm diesen Becher zum Trinken an den Mund zu halten.

Es wäre eine langwierige Prozedur, solch komplexe Anweisungen über simple Befehle wie „links-rechts“ und „oben-unten“ zu realisieren. Stattdessen wählt der Proband in einem Menü die gewünschte Handlung direkt aus. Das Roboter-Assistenzsystem bekommt also nur einen *High-Level-Befehl* wie „Schenk Flüssigkeit ein“ oder „Führ mir das Glas zum Mund“. Diese Anweisungen setzt der Roboter dann eigenständig um und erkennt dabei auch Objekte in seiner Umgebung.

## Gedankenleser

Hier braucht es also keinen Chip, der ins Gehirn verpflanzt wird, sondern lediglich ein paar Elektroden am Kopf. Der Weg von der Medizin zum Entertainment scheint hier gar nicht mehr so weit. Und in der Tat investieren Unternehmen wie Facebook und Google in die Entwicklung von BCIs. Wird die EEG-Signatur beim Einloggen ins soziale Netzwerk in zehn Jahren vielleicht so alltäglich wie heute die Standortlokalisierung am Smartphone? Und wissen Google und Co. dann auch, was wir gerade denken?

„Man kann derzeit einen Computer zu einem gewissen Grad darauf trainieren, aus Kernspin- oder EEG-Signalen Gedanken aus der Hirnaktivität auszulesen“, erklärt John-Dylan Haynes vom *Bernstein Center for Computational Neuroscience* an der Berliner Charité. Sein Team versucht, in den Gehirnen der Probanden „zu lesen“. So können die Berliner mit- »



Neuroimplantate sind keine Zukunftsmusik mehr – doch hier nur kreativ im Modell verbaut. (Foto: iStock / Nikola Nastasic)

tels Magnetresonanztomographie (MRT) beispielsweise erkennen, ob sich eine Testperson für die Subtraktion oder Addition zweier Zahlen entschieden hat (*Curr. Biol.* 17(4): 323-8). In der Literatur findet man diverse Beispiele unterschiedlicher Autoren, wonach Experimentatoren die Gedanken ihrer Probanden per MRT „gelesen“ haben – und beispielsweise an der Grafik mit den bunten Klecksen erkennen, ob die Testperson gerade an einen Tisch oder ein Auto denkt.

Der Schritt vom „Brain Reading“ zum „Thought Reading“ ist trotzdem nicht leicht. „Wir können die Hirnaktivität nur mit begrenzter Auflösung messen“, nennt Haynes eine Einschränkung nicht-invasiver Verfahren. Außerdem ist jedes Gehirn individuell und hat eigene Aktivitätsmuster, die bestimmte Gedanken oder Gefühle repräsentieren. Ein Computer, der „Gedanken lesen“ soll, muss also zunächst für jeden Probanden individuell trainiert werden. „Dafür brauchen wir auch Daten darüber, was eine Person gerade denkt, während sie im MRT liegt“, so Haynes.

## Expertise zu Privatwirtschaft

Die hier genannten Möglichkeiten zum „Gedankenlesen“ sind derzeit also nur unter aufwändigen Laborbedingungen realisierbar. Der normale Internetnutzer hingegen wird sich wohl nicht zum Surfen ins MRT legen. Womöglich könnte man aber schon aus EEG-Daten persönliche Informationen ziehen. Ein Algorithmus, der lernt, wie die individuellen Hirnströme zu deuten sind, könnte vielleicht auch erkennen, welche Werbung den Nutzer anspricht; oder ob er sich eher zu Frauen oder Männern hingezogen fühlt. Falls solche Technologien einmal so selbstverständlich werden wie der Tablet-PC, dann muss man sich auch über Persönlichkeitsrechte und Datenschutz Gedanken machen. Und vor allem müssen natürlich die Rechte körperlich beeinträchtigter Patienten geschützt werden, die solche Technologien nicht zum reinen Ver-

gnügen nutzen, sondern um überhaupt mit ihren Mitmenschen kommunizieren oder einen selbstbestimmten Alltag leben zu können.

Kommen wir zurück zum eingangs erwähnten Kommentar, den Neuroforscher unlängst in *Nature* veröffentlicht haben. Die Autoren nennen darin Szenarien, in denen Neurotechnologien künftig mit Persönlichkeitsrechten und dem Datenschutz in Konflikt geraten könnten, und die auch ethische Fragen aufwerfen. Sie wollen damit auf künftige Herausforderungen im Umgang mit diesen Technologien hinweisen. Mitgeschrieben hat Philipp Kellmeyer, der an der Universität Freiburg im *Translational Neurotechnology Lab* forscht. „Das Besondere an Hirndaten ist ja, dass sie die einzige Art von Daten sind, die eine direkte Repräsentation der Vorgänge im Gehirn darstellen“, beschreibt Kellmeyer den Unterschied zu anderen persönlichen Daten, wie man sie über Bewegungsprofile, Payback-Zahlungen oder das Surfverhalten ermittelt. „Wenn es technische Fortschritte in Sachen Signalqualität gibt und sich *Deep-Learning*-Systeme individuell an den Nutzer anpassen, dann wird man eine ganze Reihe neuer Anwendungen sehen“, ist sich Kellmeyer sicher und vermutet: „Auch das konventionelle EEG wird künftig verbessert werden, um Hirnzustände in hoher Genauigkeit auszulesen.“

Hier zeigt sich Kellmeyer besorgt über das Engagement von Internetfirmen für die Entwicklung von BCI-Technologien. „Derzeit wandert Expertise zur Akquise und Analyse von Hirndaten systematisch von der öffentlichen Forschung in die Privatwirtschaft ab.“ Bislang dürfte es nämlich schwer absehbar sein, was sich aus einem EEG tatsächlich alles herauslesen lässt, wenn man Signalverarbeitung und Datenauswertung künftig verbessert und mit anderen *Big-Data*-Archiven verknüpft. „In den Hirndaten stecken ja möglicherweise auch Informationen über bislang nicht bekannte Krankheitszustände“, nennt Kellmeyer ein Beispiel. Vielleicht kann eine private Krankenversicherung sich bald in sozialen Netz-

werken über die neuronalen Signaturen eines Anwärters informieren – und diesen dann ablehnen, falls der einen bestimmten Schwellenwert für das Parkinson- oder Alzheimer-Risiko überschreitet.

Im Artikel werfen die Autoren außerdem ein, dass das Zusammenspiel zwischen Gehirn und Technik auch die Persönlichkeit verändern könnte. Weiterdenken ließe sich dieses Beispiel, wenn künftige Implantate Hirnfunktionen auf der Platine nachbilden – vielleicht, um durch einen Schlaganfall zerstörte Regionen funktionell zu ersetzen. Kommt der wesentliche Impuls für eine Entscheidung dann vom Menschen oder von einem technischen Gerät? Der Patient wäre sich darüber womöglich selbst gar nicht bewusst. Inwiefern sich BCIs auf das Handlungserleben und Autonomie-Empfinden eines Patienten auswirken können, sei kaum untersucht, so Kellmeyer: „Man braucht mehr empirische Forschung, um diese Effekte überhaupt erstmal zu verstehen.“

## Spezialfall Neurorecht?

Schon bei einem System wie dem Roboter-Assistenten aus Freiburg stellt sich die Frage nach der Verantwortung. Beispielsweise falls ein menschlicher Pfleger durch das Gerät verletzt werden sollte. Ein solches Szenario spielen die Autoren des Positionspapiers als Eingangsbeispiel durch. Man könnte hier die Schuld beim Patienten suchen, der wissen müsste, wie der Roboter auf seine neuronalen Eingaben reagiert. Oder man argumentiert, dass die „Gedanken frei“ seien und stellt stattdessen die Algorithmen des Roboters zur selbstständigen Handlungsplanung in Frage; technische Sicherheitsvorkehrungen müssten einen solchen Zwischenfall ja schließlich verhindern.

Konfrontiert uns die Neurotechnologie nun also mit gänzlich unregulierten Bereichen? Könnte die Technik die Gesellschaft überrollen, bevor der Gesetzgeber reagieren kann? Rechtsanwältin und Jura-Professorin Tade Spranger beruhigt an dieser Stelle, denn es gebe sehr wohl rechtliche Regelungen, die auch für BCI und Co. greifen. Sprangers Lehrstuhl an der Universität Bonn ist auf Themen wie Biotechnologie, Bioethik und Technikrecht spezialisiert. „Von der Neuroethik zum Neurorecht?“ lautet etwa der Titel eines Buches aus dem Jahre 2009, das er gemeinsam mit zwei Fachkollegen verfasst hat (ISBN 978-3-525-40414-0).

So sei der hypothetische Fall einer Pflegekraft, die von einem neuronal gesteuerten Roboter-Assistenten verletzt wird, aus juristischer Sicht nichts Besonderes. „Das ist ganz





Gehören Hirndaten fest verschlossen?  
Foto: iStock / erhui1979

profanes Haftungsrecht, und dabei geht es immer um Kausalitäten“, so Spranger. Man müsse demnach über Gutachten vor Gericht klären, ob der Bediener die alleinige Schuld trägt, ob der Hersteller des Roboters oder der Programmierer des Chips verantwortlich ist oder womöglich ein Hackerangriff die Ursache war. „Das sind Fragen, mit denen Juristen jeden Tag zu tun haben!“

Dass Hirnscandaten sensible Informationen enthalten können, betont auch Spranger. Gesetzeslücken sieht er hier aber nicht. „Alle Daten, die im Rahmen der Hirnforschung generiert werden, sind personenbezogene Daten im Sinne des geltenden Datenschutzrechts“, erklärt Spranger und nennt hierzu Gesetze und Richtlinien sowohl auf Bundes- als auch EU-Ebene. Und diese Regelungen seien wahrscheinlich das weltweit schärfste Datenschutz-System.

## Freiheit vs. Menschenwürde

Demnach müsste auch ein soziales Netzwerk EEG-Daten seiner Nutzer als persönliche Daten schützen und entsprechend darüber aufklären. Der Nutzer muss also zunächst seine Einwilligung zur Nutzung oder Speicherung dieser Daten geben. Und diese Zustimmung, so führt Spranger aus, sei nur wirksam, sofern der Nutzer vollständig über die Datennutzung aufgeklärt worden ist. „Auch ich sehe hier ein Missbrauchspotential“, räumt der Jurist ein, „doch das ist ein Vollzugsproblem und kein Mangel an Gesetzen.“

Die gesellschaftliche Diskussion über die ethischen Auswirkungen von Neurotechnologien hält auch Spranger für wichtig. So sei es denkbar, dass wir tatsächlich einmal ein

„Neurogesetz“ brauchen, um bestimmte Aspekte zur Anwendung von Neurotechnologien zu regulieren. Insbesondere sei der Staat in der Pflicht, sich schützend vor die Grundrechte der Bürger zu stellen und hierzu bei Bedarf auch Gesetze zu erlassen. Allerdings müsse es dafür immer einen wichtigen Grund geben.

Angenommen der Gesetzgeber wollte das Programmieren von Algorithmen verbieten, die EEG-Daten verrechnen, damit daraus nicht irgendwann einmal Technologien entstehen, die die Menschenwürde verletzen. „Wenn ich von diesem Gesetz jetzt betroffen bin, weil ich auf dem Gebiet forsche, könnte ich nach Erschöpfen des Rechtswegs zum Bundesverfassungsgericht gehen und die Verfassungsverletzung rügen“, so Spranger. Denn auch die Forschungsfreiheit ist in unserer Verfassung verankert, und die dürfe man nicht aus einem unkonkreten Bauchgefühl heraus einschränken.

Natürlich wäre es gegen alle ethischen Grundsätze, falls jemand – wie in Eschbachs Roman – gesunden Menschen gegen ihren Willen Platinen ins Gehirn pflanzt. Andererseits kann ein vollständig gelähmter Patient aber sogar Anspruch darauf haben, dass man ihm BCI-Technologien zugänglich macht. „Wenn es technische Möglichkeiten gibt, die es Menschen mit Mehrfachbehinderung ermöglichen, ihren Willen nach außen hin kundzutun, dann sollen die tunlichst genutzt werden“, fasst Spranger die Rechtssprechung des Bundesverfassungsgerichts zusammen, wenn es um das Verfassen eines Testaments geht, das eigentlich handschriftlich erfolgen muss. Man wird Neurotechnologien demnach wohl kaum pauschal verbieten können.

Es ist sicher richtig und wichtig, eine öffentlich breite Diskussion zu neuen Techno-

logien am Laufen zu halten und deren Entwicklung kritisch zu beobachten. Nur dann kann der Gesetzgeber rechtzeitig reagieren, sofern sich eine ethisch bedenkliche Entwicklung abzeichnet. Da der Gesetzgeber aber immer die Waage finden muss zwischen allen Grund- und Freiheitsrechten, wären rein ideologisch geprägte Debatten kontraproduktiv. Umso besser, dass auch Neurowissenschaftler wie Philipp Kellmeyer kritisch mitdiskutieren und das Feld nicht allein Firmenlobbyisten auf der einen und dogmatischen Technikgegnern auf der anderen Seite überlassen. So oder so können die Paragraphen am Ende aber nicht die Eigenverantwortung des Verbrauchers ersetzen. Man bedenke, wie viele vertrauliche Daten wir auch jetzt schon freiwillig über Rabattkarten, Webprofile und Einstellungen am Smartphone preisgeben und dabei ausdrücklich auf Privatsphäre verzichten, die der Gesetzgeber uns eigentlich zugesteht.

Mario Rembold

**BIOSYNTH**<sup>®</sup>  
CHEMISTRY & BIOLOGY

BIOCHEMIKALIEN AUS DER SCHWEIZ

## ÄS SCHNÄPPLI\* IM BIOSYNTH EU FACTORY OUTLET

### Bio- und Chemilumineszenz

L-8280 - L-Luciferin, K salt	10mg	€56,50
C-7001 - Coelenterazine, native	1mg	€21,90

### Antibiotika und andere Medienzusätze

G-2420 - Gentamycin sulfate	1g	€22,80
R-6000 - Rifampicin	1g	€29,10

### Enzymsubstrate

B-7200 - Magenta-beta-D-Gal	50mg	€18,50
-----------------------------	------	--------

### Detergenzien und andere Basis-Biochemikalien

D-3200 - Digitonin	500mg	€95
G-8100 - Guanidine thiocyanate	100g	€16,90

EU  
OUTLET

\*[Schweizerdeutsch]: Schnäppchen, super-günstig