

SCHWERPUNKT

of the United States of America 103/45 (2006), S. 17007–17012

Sinclair, J. et al., 2006: A biohybrid dynamic random access memory. In: Journal of the American Chemical Society 128/15 (2006), S. 5109–5113

Smith, P.F.; Darlington, C.L.; Zheng, Y., 2009: Move it or lose it-Is stimulation of the vestibular system necessary for normal spatial memory? In: Hippocampus [in print]

Stickgold, R., 2006: Neuroscience: a memory boost while you sleep. In: Nature 444/7119 (2006), S. 559–560

Stix, G., 2008: Jacking into the brain. In: Scientific American 299/5 (2008), S. 56–61

Suner, S. et al., 2005: Reliability of signals from a chronically implanted, silicon-based electrode array in non-human primate primary motor cortex. IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering 13/4 (2005), S. 524–541

The National Commission for the Protection of Human Subjects of Biomedical and Behavioral Research, 1979: The Belmont Report – Ethical Principles and Guidelines for the Protection of Human Subjects of Research. Office of the Secretary of the U.S. Department of Health, education, and welfare

van der Staay, F.J. et al., 2008: The novel selective PDE9 inhibitor BAY 73-6691 improves learning and memory in rodents. In: Neuropharmacology 55/5 (2008), S. 908–918

White, R.J., 1999: Brain chips: postpone the debate. In: The Hastings Center report 29/6 (1999), S. 4

Kontakt

Prof. Dr. med. Steffen Rosahl
 HELIOS Klinikum Erfurt
 Klinik für Neurochirurgie
 Nordhäuser Str. 74, 99089 Erfurt
 E-Mail: steffen.rosahl@helios-kliniken.de

« »

Ethische Aspekte konvergierender Technologien Das Beispiel Gehirn-Computer- Schnittstellen

von Jens Clausen, Universität Tübingen

Im Forschungsfeld Gehirn-Computer-Schnittstellen konvergieren so unterschiedliche Technologien wie Mikroelektronik, Nano-, Informations- und Biotechnologie. Die ethischen Fragen bei der Erforschung und Anwendung von konvergierenden Technologien stellen sich bei den Gehirn-Computer-Schnittstellen auf mindestens vier unterschiedlichen Ebenen: der Ebene des Individuums, der Ebene der Gesellschaft, der Ebene des Menschenbildes und der Ebene der Forschungsethik.

1 Einleitung

Gehirn-Computer-Schnittstellen (Brain-Computer Interfaces, BCIs) verbinden das (menschliche) Gehirn mit einem Computer. Die Schnittstellen leiten entweder neuro-elektrische Signale aus dem Gehirn ab, oder sie stimulieren spezifische Hirnareale mittels künstlich generierter elektrischer Impulse. Solche Verbindungen zum Signalaustausch zwischen dem Zentralorgan des Menschen und technischen Geräten wecken große wissenschaftliche und therapeutische Hoffnungen. Das zugehörige hochinnovative Forschungsfeld zielt zum einen auf ein besseres Verständnis des Gehirns, seiner Funktionen und der zugrunde liegenden physiologischen Prozesse. Die so gewonnenen Erkenntnisse münden zum anderen dann gegebenenfalls in die Entwicklung neuer medizinischer Verfahren und Geräte für Diagnostik und/oder Therapie.

Der Einsatz von Gehirn-Computer-Schnittstellen ist mit einer ganzen Reihe von ethischen Fragen verbunden, die von Beginn an – so meine These – in Forschung und Entwicklung dieser Geräte berücksichtigt werden müssen. Da in diesen Geräten so unterschiedliche Forschungsgebiete wie die Mikrosystemtechnik, die Informations-, Bio- und Nanotechnologie sowie Neurophysiologie und Anatomie konvergieren, sind Gehirn-Computer-Schnittstellen besonders geeignet, an ihnen die ethischen Aspekte

te konvergierender Technologien exemplarisch zu diskutieren.¹ Viele dieser Fragen mögen keine kategorial neuen Probleme benennen, sondern sind teilweise sicher auch aus anderen Kontexten der biomedizinischen Ethik bereits bekannt. Dies schmälert allerdings nicht die Dringlichkeit, diese Fragen schon im Vorfeld eingehend zu reflektieren (Clausen 2009c).

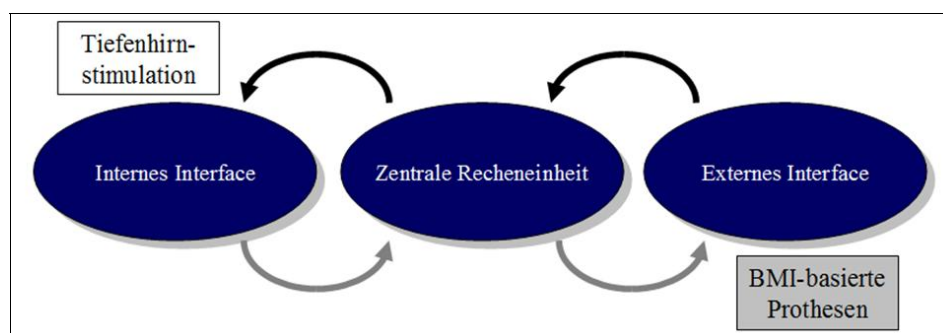
2 Was sind Gehirn-Computer-Schnittstellen?

Gehirn-Computer-Schnittstellen dienen dem Austausch von elektrischen Signalen zwischen dem Gehirn und technischen Komponenten. Dieser Austausch erfolgt über Elektroden, die je nach Verwendungszweck unterschiedliche neuronale Strukturen kontaktieren. Bedingt durch die unterschiedlichen Zielsetzungen und Einsatzbereiche existieren eine ganze Reihe unterschiedlicher Systeme.² Im grundsätzlichen Aufbau unterscheiden sich die Geräte allerdings nicht. Sie bestehen in der Regel aus drei Komponenten: einer zentralen Recheneinheit, einem internen Interface und einem externen Interface (siehe Abb. 1).

Die *zentrale Recheneinheit* koordiniert die elektronische Steuerung durch Computeralgorithmen, die je nach Gerät entweder abgeleitete Signale dekodieren und weiterverarbeiten oder aber zur Stimulation geeignete Signale generieren. Das *interne Interface* stellt den Kontakt zu den neuronalen Strukturen her, an denen der

Austausch der Signale erfolgt. Dies sind in der Regel Elektroden, die entweder extern am Kopf platziert werden wie beim Elektroenzephalogramm (EEG) oder invasiv direkt in das neuronale Gewebe implantiert werden. Das *externe Interface* stellt den Kontakt zur Außenwelt her. Dieser Kontakt erfolgt entweder rezeptiv (beispielsweise durch eine Kamera oder ein Mikrofon) oder aber durch einen externen Effektor, der durch die zentrale Recheneinheit gesteuert ist (beispielsweise ein Computerprogramm oder ein Roboterarm). Das externe Interface ist also eine optionale Komponente, die nur in denjenigen Geräten erforderlich ist, die Kontakt zur Außenwelt herstellen müssen. Wenn der Computer als zentrale Recheneinheit lediglich ein Zwischenglied zur Ansteuerung eines anderen Gerätes ist, werden diese Systeme oft auch Brain-Machine-Interface (BMI) genannt (Lebedev, Nicolelis 2006). Um die Vielfalt der Systeme zu strukturieren werden unterschiedliche Kriterien verwendet. Häufig werden sie hinsichtlich der Signalrichtung (Donoghue 2002) oder der Invasivität unterschieden (Grunwald 2008, S. 229).³ Bei den meisten Systemen werden die elektrischen Signale nur in eine Richtung weitergeleitet. Daher sind ableitende Systeme von stimulierenden zu unterscheiden, wobei in beiden Fällen der Kontakt zu den neuronalen Strukturen am internen Interface sowohl invasiv als auch nicht-invasiv erfolgen kann.

Abb. 1: Grundsätzlicher Aufbau von Gehirn-Computer-Schnittstellen*



* Graue Pfeile: Verfahren, die Signale aus dem Gehirn ableiten, um unterschiedliche externe Effektoren wie Prothesen oder Computerprogramme zu steuern; schwarze Pfeile: Verfahren, die neuronale Strukturen stimulieren, um Sinneseindrücke zu induzieren (wie beim Cochlea-Implantat) oder motorische Symptome zu unterdrücken (wie bei der Tiefenhirnstimulation für fortgeschrittene Stadien der Parkinsonschen Erkrankung).

Quelle: Eigene Darstellung

2.1 Ableitende Systeme

In ableitenden Systemen werden neurophysiologische Signale am internen Interface aufgenommen, an die zentrale Recheneinheit übermittelt und die weiterverarbeiteten Signale dann zur Steuerung eines externen Gerätes verwendet (graue Pfeile in Abb. 1). Solche Geräte befinden sich seit den 1990er Jahren in der klinischen Erforschung bei schwerstgelähmten Patienten, die an dem Locked-in-Syndrom (LIS) leiden. Im voll ausgeprägten Krankheitsbild dem „complete LIS“ (cLIS) können die Patienten keinerlei willentliche Bewegungen mehr durchführen – weder Motorik der Extremitäten noch Mimik oder Sprache sind möglich (Laureys et al. 2005). Sie sind bei vollem Bewusstsein in Ihrem bewegungslosen Körper eingeschlossen. In einer etwas schwächeren Form ist eine minimale Restbewegungsfähigkeit vorhanden, so dass diese Patienten zumindest die Augen bewegen oder Blinzeln können.

Bereits 1969 publizierte Eberhard Fetz bahnbrechende Erkenntnisse über die Konditionierung des Entladeverhaltens von Einzelneuronen. Mittels operanter Konditionierung lernten Affen die Aktivität einzelner Neuronen gezielt zu steuern (Fetz 1969). Auf der Basis dieser Erkenntnisse entwickelte Niels Birbaumer mit seinem Team ein System, das es LIS-Patienten nach einiger Übung ermöglichte, ihre Hirnaktivität gezielt zu beeinflussen. Mittels EEG-Ableitungen konnten Patienten auf diese Weise ein Computerprogramm ansteuern, mit dessen Hilfe sie einen Teil ihrer Kommunikationsfähigkeit wiedererlangten und kurze Briefe buchstabierten (Birbaumer et al. 1999). Auf diese Weise können die LIS-Patienten Kontakt zu Freunden und Familie aufnehmen, was von größter Bedeutung für die Lebensqualität dieser Patienten ist (Kübler et al. 2006). Alle Versuche, mit Patienten im vollständigen Locked-in-Zustand die BCI-basierte Kommunikation einzuüben, schlugen bisher allerdings fehl (Birbaumer et al. 2008). Von den Buchstabierprogrammen profitieren gegenwärtig also nur Patienten, die auch auf andere Weise noch kommunizieren können. Dies war beispielsweise bei Jean-Dominique Bauby der Fall, der sein bewegendes Buch „Schmetterling und Taucherglocke“ per Augenblinzeln diktierte (Bauby 1997). Denjenigen LIS-Patienten aller-

dings, die am dringendsten diese technische Unterstützung brauchen könnten, nutzt diese Technik nicht, jedenfalls noch nicht. Möglicherweise ließe sich hier Abhilfe schaffen, indem andere Ableitungsmethoden verwendet werden oder die Geräte für diese spezielle Situation anderweitig modifiziert werden (Birbaumer, Cohen 2007, S. 626).⁴ Eine Berliner Arbeitsgruppe entwickelt ein EEG-basiertes BCI, das mittels Maschinenlernen den Probanden und Patienten ermöglicht, das Gerät innerhalb weniger Minuten zu kontrollieren (Blankertz et al. 2007). Ob dieses Gerät auch für Patienten im kompletten Locked-in-Status geeignet ist, muss sich allerdings noch zeigen.

Im Tierversuch sind sehr vielversprechende Ergebnisse mittels invasiver Ableitungen erzielt worden. Rhesusaffen lernten, ihre neuronale Aktivität so zu kontrollieren, dass sie über ein Brain-Machine-Interface einen Roboterarm als motorische Prothese bedienen konnten. Die dreidimensionale Echtzeitkontrolle war so präzise, dass sie mit der Prothese nach Futter griffen und sich selbst damit fütterten (Velliste et al. 2008). Diese Ergebnisse wecken große Hoffnungen, querschnittsgelähmten Personen einen Teil ihrer selbstbestimmten Interaktionsmöglichkeiten mit der Umgebung, die sie durch einen Unfall oder Schlaganfall verloren haben, mittels BMI-gesteuerter Prothesen zu ersetzen. Ein Patient, der durch einen Messerstich schon drei Jahre querschnittsgelähmt war, erhielt in einem Pilotversuch ein solches Implantat in den motorischen Kortex. Er lernte, seine Gehirnströme so zu beeinflussen, dass er über spezielle Computerprogramme etwa die Raumbelichtung und eine Stereoanlage steuern konnte. Es war ihm sogar möglich über diese Schnittstelle ein E-Mail-Programm zu bedienen. Eine Greifprothese konnte er öffnen und wieder schließen (Hochberg et al. 2006). Diese Ergebnisse sind zwar noch weit von der dreidimensionalen Echtzeitkontrolle einer motorischen Prothese mit mehreren Freiheitsgraden entfernt. Allerdings belegen sie, dass im motorischen Kortex auch nach mehreren Jahren der erzwungenen Inaktivität noch Signale generiert werden können, die zur BMI-basierten Steuerung externer Effektoren geeignet sind.

Jüngste Versuche deuten darauf hin, dass die motorische Prothetik zur Ansteuerung von künstlichen Extremitäten ein Übergangsstadi-

um in diesem Forschungszweig sein könnte. Denn das Team von Eberhard Fetz konnte Affen so trainieren, dass es dem Tier möglich war, über die Gehirn-Computer-Schnittstelle den eigenen, vorübergehend gelähmten Arm zielgerichtet zu bewegen (Moritz et al. 2008).

2.2 Stimulierende Systeme

In stimulierenden Systemen werden die Signale hingegen in die andere Richtung geleitet. Informationen aus der Umwelt, die am externen Interface aufgenommen wurden, werden in der zentralen Recheneinheit verarbeitet und zur Stimulation dann an das interne Interface weitergeleitet (schwarze Pfeile in Abb. 1). Solche Geräte finden sich als Sinnesprothesen bereits im klinischen Einsatz. Das Cochlea-Implantat (CI) nimmt akustische Signale aus der Umwelt durch ein Mikrofon auf (externes Interface), im Sprachprozessor (zentrale Recheneinheit) werden die aufgenommenen Signale gefiltert, weiterverarbeitet und schließlich in elektrische Impulse umgewandelt, die mittels einer in die Gehörschnecke (Cochlea) implantierten Elektrode (internes Interface) den Hörnerv stimulieren. Auf diese Weise können Gehörlose einen Teil ihrer akustischen Wahrnehmung wiedererlangen (Clark 2006). Wenn allerdings der Gehörnerv selbst geschädigt ist, führt eine Stimulation in der Cochlea nicht zum gewünschten Erfolg. Einen Ausweg bieten dann auditorische Hirnstammimplantate. Sie sind ähnlich konstruiert wie das CI, unterscheiden sich jedoch darin, dass die Elektrode des internen Interfaces im Hirnstamm implantiert ist. Diese Geräte befinden sich derzeit in der klinischen Erforschung (Rauschecker, Shannon 2002).

Die direkte Stimulation tiefer Hirnstrukturen im Bereich der Basalganglien, die entsprechend als Tiefenhirnstimulation (deep brain stimulation, DBS) bezeichnet wird, erzielt bei Patienten mit Morbus Parkinson im weit fortgeschrittenen Stadium gute Ergebnisse in der Kontrolle der schweren motorischen Symptome. Die Implantation der Elektroden (internes Interface) erfolgt in der Regel bilateral in den subthalamischen Kern durch stereotaktische Neurochirurgie (Nikkhah 2008).⁵ Über jeweils vier, separat ansteuerbare Kontakte kann die Stimulation räumlich sehr präzise platziert werden. Die ge-

naue Frequenz und Amplitude der Stimulation an den einzelnen Kontakten wird am Impulsgenerator (zentrale Recheneinheit) eingestellt. Er ist im Brust- oder Bauchbereich implantiert und über subkutan verlegte Kabel mit den Elektroden verbunden. Die DBS hält die fortschreitende Neurodegeneration zwar nicht auf, allerdings können motorische Symptome kontrolliert und in der Folge die Medikation und die mit ihr verbundenen Nebenwirkungen reduziert werden. Im Vergleich zur medikamentösen Therapie ist neben der Kontrolle der Motorik auch eine verbesserte Lebensqualität zu beobachten, allerdings geht dies auch mit einer höheren Wahrscheinlichkeit schwerer Nebenwirkungen einher (Deuschl, Franke 2007; Weaver et al. 2009).

3 Ethische Aspekte von Gehirn-Computer-Schnittstellen

Die ethischen Aspekte bedürfen für jedes dieser unterschiedlichen Geräte sicher jeweils einer eigenen, separaten Untersuchung, um die jeweiligen Spezifika angemessen berücksichtigen zu können.⁶ Da ein solches Unternehmen diesen Beitrag sprengen würde, liegt der Fokus hier auf einer Strukturierung der ethischen Fragestellungen, die bei einer eingehenden Diskussion zu berücksichtigen sind. Die ethische Diskussion über die Vertretbarkeit von Gehirn-Computer-Schnittstellen muss auf mindestens vier Ebenen erfolgen.

3.1 Die Ebene des Individuums

Auf der Ebene des individuellen Patienten, der ein solches System nutzt, sind selbstverständlich zunächst die Fragen nach der Patientensicherheit und einem akzeptablen Nutzen-Risiko-Verhältnis zu stellen. Invasive Eingriffe sind generell mit einem Blutungs- und Infektionsrisiko verbunden. Bei einem Eingriff ins Gehirn können diese generellen Komplikationen allerdings sehr schwerwiegende Folgen haben. Denn der knöchernen Schutz durch den Schädel begrenzt bei Schwellungen die Ausdehnung, so dass der entstehende Druck auf das Gehirn schnell fatale Auswirkungen auf kognitive Funktionen entwickeln und sogar zum Tod des Patienten führen kann. Diese Eingriffsrisiken sind allerdings relativ gering (Rosahl 2007, S. 134).

Da das Gehirn die organische Grundlage für zentrale Aspekte des menschlichen Selbstverständnisses ist, gelten Eingriffe in dieses Organ als besonders brisant. Bewusstsein, Selbstbewusstsein, Autonomie und Moralfähigkeit finden hier ebenso ihre organische Entsprechung wie Sprach- und Erinnerungsvermögen. Da Veränderungen in diesen zentralen Eigenschaften die individuelle Person und ihre Persönlichkeit berühren würden, zieht sich die Diskussion zur normativen Bedeutung von personaler Identität und Persönlichkeitsveränderungen im Grunde durch die ethische Reflexion aller Eingriffe ins menschliche Gehirn (Merkel et al. 2007, S. 189ff.; Stier 2006).

Schon die frühen Stimulationsexperimente aus der Mitte des 20. Jahrhunderts belegen die praktische Relevanz dieser vornehmlich philosophischen Überlegungen. Denn mittels Hirnstimulation konnten bei Patienten Bewegungen und Laute induziert werden, die sie nicht willentlich ausgeführt hatten (Penfield 1975). Teilweise waren sie sich der Evozierung durch die Stimulation nicht einmal bewusst, sondern erfanden Gründe dafür, warum sie sich gerade so verhalten hatten (Delgado 1969). Die im Vergleich dazu sehr viel zielgenauere und präzisere Tiefenhirnstimulation ruft zusätzlich zur Beherrschung der motorischen Symptome in einigen Fällen kognitive (Frank et al. 2007) und psychiatrische Nebenwirkungen wie Depressionen oder Psychosen (Deuschl et al. 2006) hervor. Oft sind die Nebenwirkungen vorübergehend oder sie lassen sich durch Anpassen der Stimulationsparameter beheben, dies ist allerdings nicht immer der Fall (Leentjens et al. 2004).

Letztendlich geht es bei der Tiefenhirnstimulation also – wie so oft bei medizinischen Eingriffen – um eine Abwägung des individuellen Nutzens gegen die zu erwartenden Risiken. Da die Risikobereitschaft und damit das Ergebnis dieser Abwägung von Patient zu Patient unterschiedlich ausfallen, muss der Patient die Entscheidung – freilich nach gründlicher Aufklärung durch den behandelnden Arzt – eigenverantwortlich treffen. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Wirksamkeit der DBS in Bezug auf neurologische Parameter nicht unmittelbar mit einem Nutzen für den Patienten gleichgesetzt werden darf (vgl. Synofzik, Schlaepfer 2008, S. 1514f.). Trotz objektiver Effektivität des Eingriffs hinsichtlich

Besserung der motorischen Symptome und einer gesteigerten Lebensqualität waren einige Patienten sehr unzufrieden mit dem Ergebnis der Behandlung. Michael Schüpbach und Kollegen stellten in einer offenen Interviewstudie fest, dass Patienten über Schwierigkeiten mit der sozialen Integration berichteten. Die Beziehungen zu sich selbst, dem jeweiligen Partner, ihren Familien und dem beruflichen Umfeld waren davon betroffen (Schüpbach et al. 2006).

Auch ableitende Verfahren könnten mit subtilen Persönlichkeitsveränderungen einhergehen. Denn die Patienten müssen trainieren, die zur Ansteuerung der Prothese erforderlichen Signale zu generieren. Dies könnte auch mit leichten Veränderungen beispielsweise der Stimmung oder des Gedächtnisses einhergehen. Auch wenn die Persönlichkeitsveränderungen bei den ableitenden Verfahren wahrscheinlich weniger deutlich ausfallen, sind auch hier die Abwägungen zwischen persönlichem „Benefit“ und den möglichen Risiken erforderlich.

3.2 Die Ebene der Gesellschaft

Zusätzlich zur individuellen Nutzen-Risiko-Abwägung sind auf der gesellschaftlichen Ebene die Gehirn-Computer-Schnittstellen zusätzlich hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Verantwortung, Autonomie und Zurechnungsfähigkeit zu diskutieren.

Zu den Nebenwirkungen der DBS gehören auch Manien und hypomane Zustände.⁷ In Einzelfällen wird von Patienten berichtet, die in Folge der DBS eine Spielsucht (Smeding et al. 2007) zeigten oder in eine Hyponomie versetzt wurden, die sie selbst nicht wahrgenommen haben (Mandat et al. 2006).⁸ Die Ehefrau eines Patienten berichtete, dass der Patient am helllichten Tag auf offener, belebter Straße in ein Auto eingebrochen sei. Er selbst zeigte keinerlei Reue oder Angst vor dem Gerichtsverfahren, er fühlte sich unbesiegbar. Die Ärzte passten die Stimulationsparameter an und konnten so eine Kontrolle der motorischen Symptome ohne den ungewollten hypomanen Zustand erreichen. Wenn die Tiefenhirnstimulation als unerwünschte, manchmal vom Patienten selbst nicht einmal wahrgenommene Auswirkung, das Verhalten in einem vorher nicht gekannten Sinne beeinflusst, wer ist dann eigentlich für die resul-

tierenden Handlungen verantwortlich? Muss der Patient für den Autoeinbruch genau so zur Rechenschaft gezogen werden wie jemand ohne Hirnstimulator? Die Antworten auf diese Fragen hängen zu einem wesentlichen Teil ganz offensichtlich von der Zurechnungsfähigkeit ab. Die mehrtausendjährige Erfahrung mit dem Konsum von Alkohol und seiner eintrübenden Wirkung auf Wahrnehmungs- und Entscheidungsfähigkeit hat zu der Einführung von Schwellenwerten geführt; diese drücken aus, ab welcher Blutalkoholkonzentration Fahruntüchtigkeit, Schuldunfähigkeit oder Vernehmungsunfähigkeit einsetzen. Wie mit unerwünschten Auswirkungen der DBS auf das Verhalten verfahren werden sollte, ist derzeit noch nicht geregelt und muss im Einzelfall entschieden werden. Daher ist es dringend erforderlich, diesen Bereich in den Blick zu nehmen und die Fragen nach Zurechnungs- und Schuldfähigkeit in den Grenzfällen der DBS näher zu beleuchten.

Bei ableitenden Verfahren zur Ansteuerung einer motorischen Prothese stellt sich die Verantwortungsfrage in einer anderen Form. Da der Roboterarm letztlich durch die in der zentralen Recheneinheit generierten Steuerungsimpulse kontrolliert wird, können falsche Berechnungen und Fehlinterpretationen der abgeleiteten neuroelektrischen Signale zu Bewegungen führen, die der Patient gar nicht ausführen wollte.⁹ Wer wäre gegebenenfalls für daraus resultierende Schäden verantwortlich? Der klassische Zugang zur Verantwortlichkeit bei der Benutzung gefährlicher Gerätschaften wie beispielsweise Kraftfahrzeugen besteht in der Klärung, ob der Nutzer noch korrigierend hätte eingreifen können und ob er seine Sorgfaltspflichten vernachlässigt hat. Wenn beides verneint wird, trägt der Nutzer auch keine Verantwortung. Zu klären bliebe noch, ob es auch für BMI-basierte motorische Prothesen (oder auch die entsprechende Ansteuerung des natürlichen Arms) ähnlich wie bei Kraftfahrzeugen einen Führerschein und eine Pflichtversicherung geben sollte, vielleicht auch Nutzungseinschränkungen (Clausen 2006b; Clausen 2008c).

In den „disability studies“ werden Prothesen in der Hinsicht diskutiert, dass sie einen Druck zur Normalisierung generieren würden. Besonders intensiv wurde diese Diskussion im Zusammenhang mit den Cochlea-Implantaten geführt. Ein Teil der Gehörlosengemeinschaft

vertritt die Auffassung, Gehörlosigkeit sei keine Krankheit, die behandelt werden müsse, sondern eine Lebensform unter vielen, die so zu respektieren sei. Cochlea-Implantate, insbesondere ihr Einsatz bei Kindern, wird als Zwang zur Anpassung an eine als gesellschaftliche Norm deklarierte Normalität angesehen (Silvers 1998).

Norman Daniels orientiert sich an einer statistischen Normalität des Menschen, dem speziestypischen Funktionieren („species-typical functioning“), um die gerechtfertigten Ansprüche eines Individuums an solidarfinanzierte Gesundheitsleistungen zu begründen (Daniels 2008). Auf diese Weise sollte es möglich sein, berechnete Ansprüche zu begründen und Prothesen als eine mögliche Option unter anderen anzubieten. Die Betroffenen können dann frei entscheiden, ob und welche Option sie annehmen bzw. ablehnen, ohne sich einer sozialen Erwartung anpassen zu müssen.

3.3 Die Ebene des Menschenbildes

Dem technischen Zugriff auf das menschliche Gehirn liegt eine mechanistische Deutung des Menschen und seines Zentralorgans zugrunde. Dies muss nicht bedenklich sein. Wenn der Reduktionismus des mechanistischen Zugangs im Bewusstsein bleibt, kann er – im Sinne eines *methodischen* Reduktionismus – für therapeutische Verfahren sehr segensreich sein. Man kann die neuroelektrischen Prozesse des Gehirns erforschen und versuchen, sie therapeutisch zu nutzen, ohne das menschliche Gehirn als bloßen Kohlenstoff-basierten Computer zu verstehen. Problematisch wird es erst, wenn die mechanistische Deutung als *metaphysischer* Reduktionismus mit einem Alleinvertretungsanspruch auftritt und kein anderes Verständnis mehr zulässt.¹⁰

Ethische Argumentationen, die direkt auf ein Menschenbild oder die „Natur des Menschen“ rekurrieren, sind notorisch problematisch, weil die Verständnisse dessen, was der Mensch sei, was ihn ausmache, sehr vielfältig sind (Clausen 2008a). Daher kommt es vor allem darauf an, sorgfältig zu deklarieren, was man unter der „Natur des Menschen“ versteht und was an ihr normativ gehaltvoll ist, wenn sie für ethische Diskussionen herangezogen werden soll.¹¹

3.4 Die Ebene der Forschungsethik

Die bisher genannten ethischen Fragen beziehen sich vor allem auf die Anwendung von Gehirn-Computer-Schnittstellen. Viele dieser Geräte befinden sich allerdings noch in der Entwicklung und mit fortschreitenden Erkenntnissen über das menschliche Gehirn sowie immer weiterer Miniaturisierung technischer Bauteile sind zusätzliche innovative Zielsetzungen zu erwarten. Damit diese Geräte in der Klinik therapeutisch eingesetzt werden können, sind zahlreiche Experimente erforderlich, die auch Forschungen am Menschen einschließen. Da diese Experimente den Versuchsteilnehmern selbst oft keinen Nutzen bringen, besteht die Gefahr, die Versuchspersonen einem Risiko auszusetzen, von dem allenfalls andere vielleicht einmal profitieren. Um einer Ausbeutung von Patienten in der klinischen Forschung vorzubeugen, sind daher eine Reihe von Richtlinien entwickelt worden. Auf der Grundlage dieser nationalen und internationalen Anforderungen haben Ezekiel Emanuel und Kollegen sieben Kriterien herausgearbeitet, die erfüllt sein müssen, damit klinische Forschung ethisch vertretbar ist (Emanuel et al. 2000). Diese Kriterien sind: Wertschöpfung, wissenschaftliche Validität, faire Auswahl der Versuchspersonen, akzeptables Nutzen-Risiko-Verhältnis, unabhängige Prüfung, aufgeklärte Zustimmung und Respekt für die Versuchsteilnehmer.¹² Die forschungsethischen Kriterien können unterschiedlich gewichtet werden.

Wird der Schutz der Studienteilnehmer vor forschungsbedingten Risiken in den Vordergrund gestellt, ist die Erforschung invasiver BCIs an Gesunden aufgrund der Eingriffsrisiken und ungeklärten Langzeitwirkungen ethisch auch dann nicht zu rechtfertigen, wenn der Proband einwilligungsfähig ist und in Kenntnis der Situation seine freiwillige und aufgeklärte Einwilligung gäbe. Selbst für Querschnittsgelähmte und LIS-Patienten wäre unter dem Gesichtspunkt der Schadensvermeidung eine Versuchsteilnahme ethisch bedenklich, solange es andere Patienten gibt, die ohnehin schon eine Elektrode beispielsweise für diagnostische Zwecke implantiert bekommen haben.

Bei einer stärkeren Gewichtung der Autonomie, können dagegen auch Gelähmte als Versuchspersonen in Frage kommen – insbesondere

dann, wenn sich die Fragestellungen nur an ihnen erforschen lassen. Beispielsweise war bis zum Versuch von Hochberg unklar, ob nach mehrjähriger Lähmung der motorische Kortex überhaupt noch ein geeigneter Ableitungsort für die BMI-basierte Ansteuerung externer Geräte ist. Bei der Beteiligung vulnerabler Patientengruppen erhält das Aufklärungsgespräch eine gesteigerte Bedeutung. Denn es ist hier besonders Augenmerk darauf zulegen, dass die Patienten ihre Zustimmung nicht auf unrealistisch übersteigerten Hoffnungen, beispielsweise einem therapeutischen Missverständnis gründen.

Über die Erforschung dieser Geräte und ihren therapeutischen Einsatz hinaus, ist es allerdings durchaus denkbar, dass diese auch einmal für die Verbesserung kognitiver Leistungen eingesetzt werden können. Die einschlägigen Erfahrungen mit der Off-label-Nutzung von Psychopharmaka, lassen eine solche Entwicklung wahrscheinlich erscheinen. Daher plädiert Steffen Rosahl in seinem Beitrag in diesem Heft für eine rechtzeitige und nüchterne Diskussion der ethischen und gesellschaftlichen Aspekte eines solchen Einsatzes, auch wenn er technisch noch nicht realisierbar ist.

Die Risiken von Hirnimplantaten sind allerdings gravierend. Während sie bei schwer leidenden Patienten durch den therapeutischen Benefit überwogen werden können, ist dies für verbessernde Maßnahmen an Gesunden gegenwärtig nicht der Fall. Dies muss allerdings nicht so bleiben. Daher fordert Rosahl zu Recht eine rechtzeitige Diskussion der ethischen Aspekte ein. Dabei werden – wenn die Verfahren tatsächlich einmal sicher sein sollten – die Fragen nach den Auswirkungen auf den Menschen und sein Selbstverständnis eine zentrale Rolle spielen. Allerdings darf ein möglicher Missbrauch dieser Verfahren nicht zu einer pauschalen Ablehnung dieser Verfahren führen. Dies würde der Verantwortung für die Patienten, die von diesen Geräten einmal profitieren könnten und teilweise ja schon jetzt profitieren nicht gerecht werden.

Anmerkungen

- 1) Die konvergierenden Technologien werden oft im Zusammenhang mit der Steigerung menschlicher Fähigkeiten jenseits von therapeutischen Maßnahmen, über das für einen Menschen nor-

- male Maß hinaus diskutiert (Roco, Bainbridge 2002). Dieser Beitrag konzentriert sich dagegen auf den therapeutischen Einsatz von Gehirn-Computer-Schnittstellen und den damit verbundenen ethischen Fragen. Für die ethische Diskussion des Enhancements durch solche Geräte siehe Rosahl in diesem Heft und auch Grunwald 2008 (insbes. S. 227ff.).
- 2) Für einen strukturierten Überblick siehe beispielsweise Decker, Fleischer 2008; Fiedeler 2008.
 - 3) Für eine tabellarische Darstellung, die beide Kriterien miteinander kombiniert, siehe Clausen 2008b, S. 41.
 - 4) In diesem Beitrag präsentieren die Autoren auch einen Überblick über die unterschiedlichen Varianten ableitender BCIs und ihre vielfältigen klinischen Anwendungsmöglichkeiten, die vom Einsatz bei Epilepsiepatienten zur Unterdrückung von Anfällen, über die Wiederherstellung motorische Fähigkeiten nach Schlaganfall bis hin zum Training von Psychopathen reichen, die ihre zentralen Defizite mittels Neurofeedback reduzieren lernen.
 - 5) Beim Verfahren der Tiefenhirnstimulation wird üblicherweise in beiden Hirnhälften jeweils eine Elektrode im Bereich der Basalganglien implantiert, um an dieser Stelle einen relativ eng eingegrenzten Bereich des Gehirns zu stimulieren. Dadurch werden krankhaft veränderte neuronale Erregungsmuster technisch so beeinflusst, dass die motorische Symptomatik in der Regel deutlich gebessert werden kann.
 - 6) Einen Überblick über die unterschiedlichen ethischen Dimensionen dieser Technologien geben beispielsweise Clausen et al. 2008; Engels, Hildt 2005; Merkel et al. 2007; Müller et al. 2009.
 - 7) Unter Hypomanie wird eine abgeschwächte Form der Manie verstanden, bei der die Symptome einer Manie geringer ausgeprägt sind. Die Hypomanie ist i. d. R. mit gehobener Grundstimmung und gesteigertem Antrieb verbunden, die zu übertriebenem Selbstbewusstsein und verstärkter Risikobereitschaft führen können.
 - 8) Einer etwas ausführlichere Diskussion mit weiteren Beispielen findet sich in Clausen 2008b, S. 52ff.
 - 9) Die Zuverlässigkeit der Computer gestützten Prognosen liegt bei etwa 80 % (Carmena et al. 2003).
 - 10) Zum Problem des metaphysischen Reduktionismus siehe Clausen 2006a, S. 398ff.
 - 11) Wie die „Natur des Menschen“ Orientierung bei Eingriffe ins Gehirn geben kann und welche Anforderungen an die Argumentation zu stellen sind, kann hier allerdings nicht entwickelt werden. Siehe dazu Clausen 2009b.

- 12) An anderer Stelle bin ich ausführlicher auf diese Kriterien und die ihre Bedeutung für die Erforschung von Gehirn-Computer-Schnittstellen eingegangen (Clausen 2009a). Zur experimentellen Ausweitung des Indikationsspektrums der DBS auf psychiatrische Erkrankungen und frühere Stadien von M. Parkinson siehe auch Clausen 2009d.

Literatur

- Bauby, J.-D.*, 1997: Schmetterling und Taucherglocke. Wien
- Birbaumer, N.; Cohen, L.G.*, 2007: Brain-Computer Interfaces: Communication and Restoration of Movement in Paralysis. In: *The Journal of Physiology* 579/Pt 3 (2007), S. 621–636
- Birbaumer, N.; Ghanayim, N.; Hinterberger, T. et al.*, 1999: A Spelling Device for the Paralyzed. In: *Nature* 398/6725 (1999), S. 297–298
- Birbaumer, N.; Murguialday, A.R.; Cohen, L.*, 2008: Brain-Computer Interface in Paralysis. In: *Current Opinion in Neurology* 21/6 (2008), S. 634–638
- Blankertz, B.; Dornhege, G.; Krauledat, M. et al.*, 2007: The Non-Invasive Berlin Brain-Computer Interface: Fast Acquisition of Effective Performance in Untrained Subjects. In: *Neuroimage* 37/2 (2007), S. 539–550
- Carmena, J.M.; Lebedev, M.A.; Crist, R.E. et al.*, 2003: Learning to Control a Brain-Machine Interface for Reaching and Grasping by Primates. In: *PLoS Biology* 1/2 (2003), S. E42
- Clark, G.M.*, 2006: Review. The Multiple-Channel Cochlear Implant: The Interface between Sound and the Central Nervous System for Hearing, Speech, and Language in Deaf People – A Personal Perspective. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 361/1469 (2006), S. 791–810
- Clausen, J.*, 2006a: Die „Natur des Menschen“: Geworden und gemacht – Ethische Überlegungen zum Enhancement. In: *Zeitschrift für medizinische Ethik* 52/4 (2006), S. 391–401
- Clausen, J.*, 2006b: Ethische Aspekte von Gehirn-Computer-Schnittstellen in motorischen Neuroprothesen. In: *International Review of Information Ethics* 5/9 (2006), S. 25–32
- Clausen, J.*, 2008a: Die „Natur des Menschen“: Ihre notorische Vieldeutigkeit und ihre Bedeutung für die biomedizinische Ethik. In: *Wiesing, U.; Michl, S. (Hg.): Pluralität in der Medizin. Freiburg*, S. 165–194
- Clausen, J.*, 2008b: Gehirn-Computer-Schnittstellen: Anthropologisch-ethische Aspekte moderner Neurotechnologien. In: *Clausen, J.; Müller, O.; Maio, G. (Hg.): Die „Natur des Menschen“ in Neurowissenschaft und Neuroethik. Würzburg*, S. 39–58

- Clausen, J.*, 2008c: Moving Minds: Ethical Aspects of Neural Motor Prostheses. In: *Biotechnology Journal* 3/12 (2008), S. 1493–1501
- Clausen, J.*, 2009a: Etablierung neuroelektrischer Systeme und Ausweitung ihres Anwendungsbereichs: Forschungsethische Aspekte des technischen Zugriffs auf das menschliche Gehirn. In: Müller, O.; Clausen, J.; Maio, G. (Hg.): *Das technisierte Gehirn: Neurotechnologien als Herausforderung für Ethik und Anthropologie*. Paderborn, S. 217–230
- Clausen, J.*, 2009b: Ethische Fragen aktueller Neurowissenschaften: Welche Orientierung gibt die „Natur des Menschen“? In: Hildt, E.; Engels, E.-M. (Hg.): *Der implantierte Mensch: Therapie und Enhancement im Gehirn*. Freiburg (im Druck)
- Clausen, J.*, 2009c: Man, Machine and in Between. In: *Nature* 457/7233 (2009), S. 1080–1081
- Clausen, J.*, 2009d: Tiefenhirnstimulation: Wo liegen die Grenzen der ethischen Vertretbarkeit? In: *Ärztblatt Baden-Württemberg* 64/5 (2009), S. 203–206
- Clausen, J.; Müller, O.; Maio, G. (Hg.)*, 2008: Die „Natur des Menschen“ in Neurowissenschaft und Neuroethik. Würzburg
- Daniels, N.*, 2008: *Just Health: Meeting Helth Needs Fairly*. Cambridge
- Decker, M.; Fleischer, T.*, 2008: Contacting the Brain – Aspects of a Technology Assessment of Neural Implants. In: *Biotechnology Journal* 3/12 (2008), S. 1502–1510
- Delgado, J.M.R.*, 1969: *Physical Control of the Mind: Toward a Psychocivilized Society*. New York
- Deuschl, G.; Franke, S.*, 2007: Tiefe Hirnstimulation bei fortgeschrittener Parkinson-Erkrankung – Deep Brain Stimulation in the Therapy of Advanced Parkinson’s Disease. In: *Nervenheilkunde* 26/4 (2007), S. 251–255
- Deuschl, G.; Schade-Brittinger, C.; Krack, P. et al.*, 2006: A Randomized Trial of Deep-Brain Stimulation for Parkinson’s Disease. In: *New England Journal of Medicine* 355/9 (2006), S. 896–908
- Donoghue, J.P.*, 2002: Connecting Cortex to Machines: Recent Advances in Brain Interfaces. In: *Nature Neuroscience* 5/11s (2002), S. 1085–1088
- Emanuel, E.J.; Wendler, D.; Grady, C.*, 2000: What Makes Clinical Research Ethical? In: *JAMA* 283/20 (2000), S. 2701–2711
- Engels, E.-M.; Hildt, E. (Hg.)*, 2005: *Neurowissenschaften und Menschenbild*. Paderborn
- Fetz, E.E.*, 1969: Operant Conditioning of Cortical Unit Activity. In: *Science* 163/870 (1969), S. 955–958
- Fiedeler, U.*, 2008: Stand der Technik neuronaler Implantate. *Wissenschaftliche Berichte des Forschungszentrums Karlsruhe* Nr. 7387. Karlsruhe
- Frank, M.J.; Samanta, J.; Moustafa, A.A. et al.*, 2007: Hold Your Horses: Impulsivity, Deep Brain Stimulation, and Medication in Parkinsonism. In: *Science* 318/5854 (2007), S. 1309–1312
- Grunwald, A.*, 2008: *Auf dem Weg in eine nanotechnologische Zukunft: Philosophisch-ethische Fragen*. Freiburg
- Hochberg, L.R.; Serruya, M.D.; Friebs, G.M. et al.*, 2006: Neuronal Ensemble Control of Prosthetic Devices by a Human with Tetraplegia. In: *Nature* 442/7099 (2006), S. 164–171
- Kübler, A.; Weber, C.; Birbaumer, N.*, 2006: Locked-in – freigegeben für den Tod. Wenn nur das Denken und Fühlen bleibt – Neuroethik des Eingeschlossenseins. In: *Zeitschrift für medizinische Ethik* 52 (2006), S. 57–70
- Laureys, S.; Pellas, F.; Van Eeckhout, P. et al.*, 2005: The Locked-in Dyndrome: What is it Like to be Conscious but Paralyzed and Voiceless? In: *Progress in Brain Research* 150 (2005), S. 495–511
- Lebedev, M.A.; Nicolelis, M.A.*, 2006: Brain-Machine Interfaces: Past, Present and Future. In: *Trends in Neurosciences* 29/9 (2006), S. 536–546
- Leentjens, A.F.; Visser-Vandewalle, V.; Temel, Y. et al.*, 2004: Manipulation of mental Competence: An Ethical Problem in Case of Electrical Stimulation of the Subthalamic Nucleus for Severe Parkinson’s Disease. In: *Nederlands Tijdschrift Voor Geneeskunde* 148/28 (2004), S. 1394–1398
- Mandat, T.S.; Hurwitz, T.; Honey, C.R.*, 2006: Hypomania as an Adverse Effect of Subthalamic Nucleus Stimulation: Report of Two Cases. In: *Acta Neurochirurgica* 148/8 (2006), S. 895–897; discussion 898
- Merkel, R.; Boer, G.; Fegert, J.M. et al.*, 2007: *Intervening in the Brain: Changing Psyche and Society*. Berlin
- Moritz, C.T.; Perlmutter, S.I.; Fetz, E.E.*, 2008: Direct Control of Paralyzed Muscles by Cortical Neurons. In: *Nature* 456/7222 (2008), S. 639–642
- Müller, O.; Clausen, J.; Maio, G. (Hg.)*, 2009: *Das technisierte Gehirn: Neurotechnologien als Herausforderung für Ethik und Anthropologie*. Paderborn
- Nikkhah, G.*, 2008: Funktionelle Neurochirurgie für neurodegenerative Erkrankungen im Wandel der Zeit: Von den destruktiven hin zu den rekonstruktiven Verfahren. In: Clausen, J.; Müller, O.; Maio, G. (Hg.): *Die „Natur des Menschen“ in Neurowissenschaft und Neuroethik*. Würzburg, S. 93–103
- Penfield, W.*, 1975: *The Mystery of the Mind: A Critical Study of Consciousness and the Human Brain*. Princeton
- Rauschecker, J.P.; Shannon, R.V.*, 2002: Sending Dound to the Brain. In: *Science* 295/5557 (2002), S. 1025–1029

Roco, M.C.; Bainbridge, W.S., 2002: Converging Technologies for Improving Human Performance. Virginia

Rosahl, S.K., 2007: Medicine and Society: Neuroprosthetics and Neuroenhancement: Can we Draw a Line? In: Virtual Mentor 9/2 (2007), S. 132–139

Schüpbach, M.; Gargiulo, M.; Welter, M.L. et al., 2006: Neurosurgery in Parkinson Disease: A Distressed Mind in a Repaired Body? In: Neurology 66/12 (2006), S. 1811–1816

Silvers, A., 1998: A Fatal Attraction to Normalizing: Treating Disabilities as Deviations from “Species-Typical” Functioning. In: Parens, E. (Hg.): Enhancing Human Traits: Ethical and Social Implications. Washington, D.C., S. 95–123

Smeding, H.M.; Goudriaan, A.E.; Foncke, E.M. et al., 2007: Pathological Gambling After Bilateral Subthalamic Nucleus Stimulation in Parkinson Disease. In: Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry 78/5 (2007), S. 517–519

Stier, M., 2006: Ethische Probleme in der Neuromedizin: Identität und Autonomie in Forschung, Diagnostik und Therapie. Frankfurt

Synofzik, M.; Schlaepfer, T.E., 2008: Stimulating Personality: Ethical Criteria for Deep Brain Stimulation in Psychiatric Patients and for Enhancement Purposes. In: Biotechnology Journal 3/12 (2008), S. 1511–1520

Velliste, M.; Perel, S.; Spalding, M.C. et al., 2008: Cortical Control of a Prosthetic Arm for Self-Feeding. In: Nature 453 (2008), S. 1098–1101

Weaver, F.M.; Follett, K.; Stern, M. et al., 2009: Bilateral Deep Brain Stimulation vs Best Medical Therapy for Patients With Advanced Parkinson Disease: A Randomized Controlled Trial. In: JAMA 301/1 (2009), S. 63–73

Kontakt

Dr. rer.nat. Jens Clausen
 Universität Tübingen
 Institut für Ethik und Geschichte der Medizin
 Gartenstraße 47, 72074 Tübingen
 Tel.: +49 (0) 70 71 / 29 - 7 80 31
 Fax: +49 (0) 70 71 / 29 - 51 90

« »

Die Konvergenz der Governance von Wissenschaft und Technik mit der Governance des „Ableism“

von Gregor Wolbring, University of Calgary, Kanada

ins Deutsche übertragen von Michael Rader, ITAS¹

Die alten Griechen verwendeten den Begriff „techné“ (τέχνη), um die Konvergenz von bestimmten Disziplinen, Fähigkeiten und Wissen zu bezeichnen. In diesem Sinn fasst sich dieses Papier mit der Konvergenz von Disziplinen wie Natur- und Technikwissenschaften einerseits und dem zugehörigen Wissen, welche Fähigkeiten von Gesellschaften und gesellschaftlichen Gruppen gewollt werden andererseits; aber gleichzeitig betrifft diese Konvergenz auch die Fähigkeit, Wissenschaft und Technik im Rahmen des Wissens über präferierte Fähigkeiten und des zur Schau gestellten „Ableism“ einzuschätzen. Ableism ist in diesem Kontext ein zentrales Konzept des Autors, das im Verlauf des Aufsatzes näher erläutert wird.

1 Einleitung

Das Thema Konvergenz ist nicht neu. Die alten Griechen verwendeten den Begriff techné (τέχνη), eines von zwei griechischen Wörtern, die an den Wurzeln des Begriffs „Technologie“ liegen, um die Konvergenz von bestimmten Disziplinen, Fähigkeiten und Wissensbeständen zu bezeichnen. In jüngerer Zeit erreichte der Begriff „Konvergenz“ seine größte Sichtbarkeit im Umfeld der Beschreibung des Zusammenflusses verschiedener Wissenschaften und Technologien (1). Besonders einflussreich war der Workshop (2), der im Jahr 2001 von der National Science Foundation und dem Department of Commerce der USA organisiert wurde: „Nanotechnology, Biotechnology, Information technology and Cognitive science (NBIC): Converging Technologies for Improving Human Performance“. Dieser führte das Konzept der Konvergenz verschiedener Wissenschaften und Technologien unter dem Schirm der Nanoskala ein. Der Bericht zu „Converging Technologies