

Jens Clausen

Neurotechnologien interdisziplinär: Anthropologische und ethische Überlegungen¹

1. Einleitung

Fortschritte in den Neurowissenschaften eröffnen ein zunehmend besseres Verständnis des menschlichen Gehirns. Gemeinsam mit einer fortschreitenden Miniaturisierung mikroelektronischer Bauteile wird daher die direkte Verbindung zwischen dem menschlichen Gehirn und Computern möglich.

Neurotechnologien sind seit einigen Jahren im klinischen Einsatz. Besonders bekannt sind die Cochlea-Implantate und die Tiefenhirnstimulation. Bei ersteren werden für die Behandlung von Gehörlosigkeit Elektroden zur Stimulation des Hörnervs in das Innenohr implantiert. Bei der Tiefenhirnstimulation werden die Elektroden dagegen in eng umgrenzte Bereiche direkt im Gehirn implantiert. Sie werden bei schweren Formen von Morbus Parkinson im Endstadium zur Behandlung der motorischen Dysfunktionssymptome eingesetzt.

Jüngeren Datums sind dagegen ableitende Verfahren wie der Einsatz von Gehirn-Computer-Schnittstellen zur Ansteuerung motorischer Neuroprothesen. Diese Geräte befinden sich gegenwärtig im Übergang von der Phase der tierexperimentellen Grundlagenforschung zu ersten Einsätzen beim Menschen (Hochberg et al., 2006).

Alle diese neurotechnischen Innovationen werfen zahlreiche ethische Fragen auf, die in der Erforschung dieser viel versprechenden Technologien zu berücksichtigen sind. Diese reichen von den klassischen Fragen der Nutzen-Risiko-Abwägung und des Informed Consent über forschungsethische Fragen, wer eigentlich als Proband für die erforderlichen Versuche in Frage kommt, bis hin zu den geeigneten und ethisch vertretbaren Einsatzgebieten der Neurotechnologie. Die ethischen Fragen werden für ableitende Systeme – wie die motorischen Neuroprothesen (Clausen, 2006; Clausen, 2008a; Tamburrini, 2009) – und stimulierende Verfahren – wie die tiefe Hirnstimulation (Bell et al., 2009; Glannon, 2009; Clausen, 2010a) – oft getrennt diskutiert. Es finden sich aber auch immer wieder übergreifende Diskussion unterschiedlicher Neurotechnologien (Decker & Fleischer, 2008; Clausen, 2009a; Clausen, 2009b; Schermer, 2009; Clausen, 2010b).

Die künftige Etablierung moderner Neurotechnologien wird aber auch eine Herausforderung für klassische Begrifflichkeiten und unser Verständnis des Menschen darstellen. Denn schon jetzt

1 Der Beitrag geht auf einen Vortrag im Rahmen der Tagung „Wissenschaft und Innovation“ im Produktionstechnischen Zentrum der Technischen Universität Berlin am 27. und 28. März 2009 zurück. Er ist ursprünglich unter dem Titel „Innovative Neurotechnologien: Ethische und anthropologische Implikationen“ im Jahrbuch Wissenschaftsforschung 2010 „Interdisziplinarität und Institutionalisierung der Wissenschaft“ hrsg. von K. Fischer, H. Laitko, H. Parthey, S. 239-249, erschienen und wurde leicht überarbeitet und aktualisiert.

ist abzusehen, dass die weiter fortschreitende Annäherung von Mensch und Technik die Grenzen der klassischen aristotelischen Unterscheidung zwischen Natur und Technik mehr und mehr verschwimmen lässt. Wird die Technik ein Teil des Selbstkonzepts des Menschen, wenn sie in das Gehirn implantiert und funktional integriert wird? Welche Bedeutung hätte dies für unser Verständnis von moralischem Handeln, Zurechnungsfähigkeit, Verantwortung und Selbstbestimmung?

Der vorliegende Beitrag konzentriert sich auf ethische und anthropologische Aspekte derjenigen Technologien, die Hirnaktivität ableiten, um die neuronalen Signale zur Ansteuerung externer Geräte zu verwenden. Diese Geräte werden als Gehirn-Computer-Schnittstellen (Brain-Computer-Interface, BCI) oder – meist bei invasiven Signalableitungen – als Brain-Machine-Interface (BMI) bezeichnet. Anhand dieser technischen Ansätze werden die ethischen und anthropologischen Fragen innovativer Neurotechnologien paradigmatisch betrachtet. Der auf diese Einleitung folgende zweite Abschnitt stellt in einer knappen Übersicht Aufbau und Funktionsweise dieser Geräte vor. Anschließend (im Abschnitt 3) werden anthropologische Fragen entwickelt, die mit dem technischen Zugriff auf das menschliche Gehirn verbunden sind. Im Zentrum stehen dabei die Unterscheidung zwischen Natur und Technik sowie der Werkzeugbegriff. Der abschließende vierte Abschnitt diskutiert dann die mit den anthropologischen Herausforderungen verbundenen ethischen Fragen. Er konzentriert sich auf die Aspekte von Autonomie und Selbstbestimmung sowie die Frage nach der Verantwortung bei der Nutzung dieser innovativen Neurotechnologien.²

2. Der technische Zugriff auf das Gehirn

Gehirn-Computer-Schnittstellen bestehen in der Regel aus drei Komponenten, dem internen Interface, der zentralen Recheneinheit sowie dem externen Interface. Diese sind je nach Anwendungsbereich dann unterschiedlich gestaltet. Das *interne Interface* stellt die Verbindung des Geräts zum Gehirn her, hier werden die Signale zwischen Gehirn und Technik übertragen. In der *zentralen Recheneinheit* laufen die Informationen zusammen. Hier werden sie verarbeitet, so dass diese Komponente letztlich das BCI als Ganzes kontrolliert und koordiniert. Das *externe Interface* stellt die Verbindung zur Außenwelt her. Dies kann beispielsweise über ein Computerprogramm geschehen oder auch durch eine künstliche Extremität, die dann als BCI gesteuerte Prothese fungiert. Auch stimulierende Neurotechnologien – wie das Cochlea-Implantat oder der Tiefenhirnstimulator – sind prinzipiell aus diesen drei Komponenten aufgebaut.³ Während bei stimulierenden Systemen die Signale extern generiert werden, um dann spezifische neuronale Strukturen zu erregen, verläuft der Informationsfluss bei den ableitenden Verfahren genau umgekehrt: Am internen Interface werden Hirnsignale abgeleitet, an die zentrale Recheneinheit zur Weiterverarbeitung geleitet, die dann Outputsignale generiert, um das jeweils angeschlossene externe Interface zu steuern.

Ableitende Gehirn-Computer-Schnittstellen werden bereits seit den 1990er Jahren bei Patienten zur Ansteuerung externer Effektoren eingesetzt. Gelähmten Patienten beispielsweise mit Locked-In-Syndrom kann auf dieses Weise eine Möglichkeit zur Kommunikation eröffnet werden (Birbaumer et al., 1999). Dazu wird ein nicht-invasives Verfahren eingesetzt, das mittels Elektroenzephalogramm (EEG) Hirnströme ableitet (Pfurtscheller et al., 2005). Diese werden dann in einen Computer eingespeist, um ein Buchstabierungsprogramm zu bedienen. In einem oft langwierigen

2 Die nachfolgenden Überlegungen gehen zurück auf (Clausen, 2008b).

3 Siehe dazu beispielsweise (Clausen, 2009b).

Prozess lernen die Patienten, neuronale Signale gezielt so zu erzeugen, dass sie unter Verwendung der Gehirn-Computer-Schnittstelle wieder schriftlich kommunizieren können, indem sie Buchstabe für Buchstabe einen Brief oder eine E-Mail schreiben. Die Möglichkeit mit Freunden und Familie wieder Kontakt aufzunehmen kann für die Lebensqualität der Patienten von enormer Bedeutung sein. Denn Freunde und Familie sind die wichtigste Komponente der Lebensqualität von ALS-Patienten (Kübler et al., 2006).

Für Querschnittsgelähmte besteht die Hoffnung, künftig ähnlich konstruierte Systeme als motorische Neuroprothesen einsetzen zu können. Dafür würden die abgeleiteten neuronalen Signale zur Steuerung eines Roboterarms eingesetzt werden. Als Fernziel gilt die Ansteuerung des eigenen, natürlichen Arms. Aktuelle Versuche an Affen zeigen, dass BMI gesteuerte motorische Prothesen ein Übergangsstadium dieser Technologien sein könnten. Denn dem Team von Eberhard Fetz aus Washington ist einem Proof-of-Principle-Experiment der Nachweis gelungen, dass Affen tatsächlich mittels BCI den eigenen (im experimentellen Setting vorübergehend pharmakologisch gelähmten Arm) zu bewegen (Moritz et al., 2008).

Auf Gehirn-Computer-Schnittstellen gestützte motorische Neuroprothesen werden derzeit zwar vorwiegend tierexperimentell erforscht (Velliste et al., 2008), erste Studien werden allerdings auch schon am Menschen durchgeführt (Hochberg et al., 2006). Die Ableitung der Signale erfolgt dabei meist durch intrakortikale Elektroden, die direkt in den Kortex implantiert werden. Denn die mittels EEG zu erhaltenden Informationen sind begrenzt und können die für die Ansteuerung eines Roboterarms erforderliche Genauigkeit wohl nicht erreichen (Nicoletti, 2001).

Mit direkt in die Gehirnsubstanz implantierten Einzelelektroden oder Elektrodenarrays von bis zu Hundert Elektroden lässt sich zwar eine größere Auflösung erzielen, allerdings besteht bei der Implantation die Gefahr, Hirngewebe zu verletzen.⁴ Daher werden in jüngster Zeit epikortikale Gitterelektroden erforscht, die auf der Oberfläche des Kortex platziert werden. Auf diese Weise können Hirnoberflächensignale (epikortikale Feldpotentiale) abgeleitet werden, die wesentliche motorische Informationen enthalten und für den Einsatz in motorischen Neuroprothesen geeignet erscheinen (Pistohl et al., 2008). Bei diesem Verfahren muss zwar der Schädel geöffnet werden, allerdings wird in das Gehirn selbst nicht eingedrungen, so dass die Verwendung von epikortikalen Elektroden graduell weniger invasiv ist, als die Verwendung intrakortikaler Elektroden.

3. Innovative Technik und tradierte Begrifflichkeiten

Bei technischen Innovationen ist nicht von vornherein klar, dass die tradierten Begrifflichkeiten ohne weiteres auf diese anwendbar sind. Da die direkte Steuerung und Kontrolle von technischen Geräten mittels abgeleiteter Hirnsignale eine grundlegende Neuerung in Technologie und Werkzeuggebrauch darstellt, soll der folgende Abschnitt zunächst klassische Begrifflichkeiten in Bezug auf Gehirn-Computer-Schnittstellen klären. Sind die traditionellen Begrifflichkeiten wie die Unterscheidung zwischen Natur und Technik geeignet, diese innovativen Technologien angemessen zu beschreiben und zu erfassen? Wo treten semantische Spannungen auf? Ist die Verwendung von Gehirn-Computer-Schnittstellen konzeptionell vergleichbar mit dem traditionellen Werkzeuggebrauch?

4 Zu den technischen Anforderungen an die Konstruktion von implantierbaren Elektroden siehe beispielsweise (Stieglitz, 2008).

3.1 Natur oder Technik; Mensch oder Maschine?

Die Nutzung von Technik ist ein Charakteristikum des Menschen als homo faber: Menschen konstruieren und nutzen seit jeher Werkzeuge, um ihr Überleben zu sichern. Durch die immer elaboriertere Gestaltung technischer Werkzeuge nähern sich Mensch und Technik allerdings immer weiter an, und bei der direkten Verbindung von Technik mit dem menschlichen Gehirn über Gehirn-Computer-Schnittstellen beginnen schließlich die Grenzen zwischen Natur und Technik zu verschwimmen. Da das Gehirn die organische Grundlage für zentrale Aspekte unseres menschlichen Selbstverständnisses ist, sind mit der funktionalen Integration von technischen Komponenten in Hirnprozesse fundamentale anthropologische Herausforderungen verbunden. Denn die Technik ist nicht mehr nur ein getrennt vom Menschen zu betrachtendes Werkzeug, sondern wird zu einem integralen Bestandteil seines Selbstkonzepts.

Beim Einsatz von Gehirn-Computer-Schnittstellen wird die Unterscheidung zwischen Natur und Technik schwierig. Im lebensweltlichen Alltag lassen sich Natur und Technik zumeist noch sehr gut voneinander unterscheiden. Eine Pflanze wird der Natur zugerechnet, ein Werkzeug der Technik. Dieser alltäglichen Klassifikation liegt die aristotelische Unterscheidung zwischen Natur und Technik zugrunde. In dieser Gegenüberstellung von Natur und Technik gehört der Mensch ganz klar zur Natur. Denn Natur ist alles das, was „in sich selbst einen Anfang von Veränderung und Bestand“ hat (Aristoteles, Physik 192b 13). Künstliche Dinge sind dagegen durch technische Konstruktion vom Menschen erschaffen worden. Als Artefakte haben sie „keinerlei innewohnenden Drang zur Veränderung“ und der Anfangsgrund ihrer Herstellung liegt außerhalb ihrer selbst (Aristoteles, Physik 192b 20ff). Damit scheint aus aristotelischer Perspektive eine klare Einteilung möglich: Der Mensch ist Teil der Natur und die von ihm geschaffene Technik, die Gehirn-Computer-Schnittstelle ist ein Artefakt. Bei genauerem Hinsehen ist bei den hier besprochenen Neurotechnologien eine klare Zuordnung zu einer der beiden Seiten allerdings nicht mehr ganz so eindeutig. Denn Gehirn-Computer-Schnittstellen fordern diese strikte Dichotomisierung auf spezifische Weise heraus. Die direkte Verbindung zwischen Technik und menschlichem Gehirn lässt die Grenzen zwischen Mensch und Technik verschwimmen.

Zwar lassen sich aus einer externen Beobachterperspektive Mensch und Technik materiell relativ gut von einander separieren. Selbst wenn es manchmal etwas aufwendiger ist, Implantate zu detektieren, die Elektroden, Kabel und Computer sind noch leicht als Artefakt erkennbar. Auch wenn ein in seinem Äußeren der natürlichen Extremität nachempfundener Roboterarm einer BMI-basierten motorischen Prothese bei flüchtigem Hinsehen zunächst als natürlicher Arm angesehen würde, ließe sich dies bei näherem Hinsehen schnell als Irrtum erkennen.

Auf einer anderen Ebene wird diese Unterscheidung allerdings sehr viel schwieriger. Denn die Elektroden der hier diskutierten Systeme sind nicht nur physisch mit dem Gehirn verbunden und teilweise auch in das Organ implantiert. Sie sind auch – und vor allem – funktional in die elektrophysiologischen Prozesse des Gehirns und die damit verbundenen neuronalen Funktionen integriert. Die Technik als das ursprünglich Andere rückt auf diese Weise immer näher an den Menschen selbst heran und kann sogar Teil des Menschen selbst werden. Das in materieller Hinsicht klar vom Menschen abgrenzbare Artefakt wird funktionell in neuronale Prozesse des Menschen integriert, und damit zu einem integralen Bestandteil seines Selbstverständnisses.

Dies ist keine akzidentielle Eigenschaft der Gehirn-Computer-Schnittstellen, die sich gegebenenfalls umgehen ließe. Die funktionale Integration in die neuronalen Prozesse ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, dass diese Technologien überhaupt wie gewünscht arbeiten und die mit ihnen angestrebten Ziele erreichen können. Die willentliche Ansteuerung externer Effektoren kann

nur gelingen, wenn das technische System funktional mit den entsprechenden Hirnprozessen gekoppelt ist.

Ist die Integration von Gehirn-Computer-Schnittstellen in das Selbstkonzept des Menschen vergleichbar mit der Integration von herkömmlichen Artefakten, die der Mensch als Werkzeug nutzt? Ein Blick auf den Gebrauch von herkömmlichen Werkzeugen ist dafür unerlässlich.

3.2 Nutzung von Gehirn-Computer-Schnittstellen und Werkzeuggebrauch

Nach der „Extended Mind“ Theorie von Andy Clark und David Chalmers ist die Integration in das Selbstkonzept kein Spezifikum von Gehirn-Computer-Schnittstellen. Sie behaupten, dass jedes Gerät, das der Mensch als Werkzeug nutzt, in sein Selbstkonzept integriert wird (Clark & Chalmers, 1998). Eines ihrer prominenten Beispiele ist das Notebook. Indem das Notebook – beispielsweise zum Schreiben dieses Textes – benutzt wird, bleibt es nicht einfach ein externes Gerät, sondern wird in das Selbstkonzept des Nutzers integriert und wird ein Teil seiner geistigen Prozesse. Durch die Nutzung des Notebooks werden die geistigen Prozesse des Nutzers erweitert, daher sprechen die beiden vom „extended mind“. Auch externe Prozesse, die außerhalb des Schädels ablaufen, können Teil des „extended mind“ sein, denn dieser beinhaltet alle Mechanismen und Ressourcen, die wir zum Denken verwenden. Die Benutzung von Taschenrechner und Notebooks erweitert dieses Denken daher auf spezifische Weise. Insofern unsere kognitiven Prozesse teilweise auf externen Geräten beruhen, handelt es sich nach dieser Theorie um einen „extended mind“. Grundlegender und unabhängig von kognitiven Prozessen, geht Clark davon aus, dass auch der Gebrauch von ganz einfachen Werkzeugen auf einer virtuellen Integration in das Körperkonzept beruht, die zu einer Erweiterung des Handelnden selbst führt, zu einem „extended agent“ (Clark, 2007: 265).⁵ Technik wird virtuell in das Körperkonzept integriert und erweitert ihn dadurch zu einem „extended body“. Auch ein Stock werde auf eine Weise inkorporiert, dass es sich so anfühlt als ob wir die Erde am Ende des Stocks berühren und für gewöhnlich nicht so, dass wir den Stock mit der Hand berühren (Clark, 2007: 264). Die Möglichkeit der Inkorporation beruht auf einem Konzept vom Menschen, in dem die Plastizität eine essentielle Rolle spielt. Menschen sind weder in Bezug auf ihren Körper noch in Bezug auf Ihren Geist fixiert und festgelegt, vielmehr sind sie sehr flexibel und offen. „Human minds and bodies are essentially open to episodes of deep and transformative restructuring, in which new equipment (both physical and “mental”) can become quite literally incorporated into the thinking and acting systems that we identify as minds and persons.“⁶

Die Offenheit und Plastizität des Menschen, die Clark hier betont, ist ein zentraler Aspekt, der dem Menschen Lernen ermöglicht. Ohne diese systemische Plastizität wäre es einem Menschen nicht einmal möglich, gehen zu lernen. Die Inkorporation von Artefakten in motorische Prozesse und Fortbewegung wird besonders anschaulich am Erlernen von Fahrradfahren oder Skifahren. Zunächst bedarf es einer mehr oder weniger langen Phase des Einübens, die darauf abzielt, die neuen Geräte ganz bewusst zu steuern und zu beherrschen. Richtig Fahrradfahren oder Skifahren kann man aber erst, wenn man nicht mehr über jede einzelne Bewegung nachdenken und sie ganz bewusst ausführen muss, sondern wenn diese quasi automatisch ablaufen, wenn der Entschluss nach rechts zu fahren zu den entsprechenden Gewichtsverlagerungen und Bewegungen führt, die dann tatsächlich in der Fahrt nach rechts resultieren. Dies wäre dann ein Fall von Integration der Arte-

5 Clark, A., Re-Inventing Ourselves: The Plasticity of Embodiment, Sensing, and Mind. - In: Journal of Medicine and Philosophy. 32(2007)3, S. 263-282, hier: 265.

6 Ebd.

fakte in das Selbstkonzept des Nutzers. Clark nennt das dann „Inkorporation“.

Die Besonderheit der Inkorporation liegt nach Clark darin begründet, dass sie mit Veränderungen in der Aktivität bestimmter als bimodal bezeichneter Neuronen einhergeht, die zu einer Ausweitung des rezeptiven Feldes führen (Maravita & Iriki, 2004). Clarks Beschreibung zur Inkorporation und die naturwissenschaftlichen Belege zu den damit verbundenen Veränderungen in der neuronalen Aktivität sind sehr erhellend und überzeugend. Jeder Werkzeuggebrauch des Menschen ist mit entsprechender Übung eine Inkorporation, die mit einer Ausweitung des rezeptiven Feldes verbunden ist. Folgerichtig sieht Clark in einer Gehirn-Computer-Schnittstelle nichts anderes als ein Werkzeug, das wie alle anderen Werkzeuge auch – wie der schon angesprochene Stock – in das Körperkonzept inkorporiert werden kann: „This discussion has emphasized the potential for new forms of human-machine (or brain-machine) interface [...]. They may augment and alter mind, sensing and body. But whatever the form, the key to successful integration and assimilation looks to be the same: the creation of new forms of rich, feedback-driven agent-world circuits, with sensing and acting under active intentional control.” (Clark, 2007: 280)

Die Auseinandersetzung mit der Umwelt unter aktiver, intentionaler Kontrolle setzt allerdings einen eigenständigen Akteur voraus. Clarks Konzeption beruht auf der Eigenständigkeit eines Akteurs, der in intentionaler, aktiver Auseinandersetzung mit der Umwelt und technischen Hilfsmitteln, diese in sein Selbstkonzept integrieren kann. Das Werkzeug bleibt im Gegensatz dazu passiv.⁷

Soweit zu sehen, gibt es zwar noch keine naturwissenschaftliche Studie zu den Fragen, ob und inwiefern die Nutzung von Gehirn-Computer-Schnittstellen das rezeptive Feld erweitert, wie Maravita und Iriki dies für andere Werkzeuge nachgewiesen haben. Allerdings gibt es indirekte Hinweise aus Experimenten an Affen, die eine Integration der BMI-gesteuerten motorischen Prothese in das Selbstkonzept nahe legen. Denn Andy Schwartz und seine Mitarbeiter konnten im Tierexperiment zeigen, dass ein Affe lernte, seine neuronalen Signale zu kontrollieren, dass er mittels BMI eine motorische Prothese steuern konnte. Ihm war es möglich, nach Futter zu greifen und dieses zum Mund zu führen, um sich selbst damit zu füttern (Velliste et al., 2008).

Aus dieser Perspektive lässt sich die Verwendung von Gehirn-Computer-Schnittstellen also als Werkzeuggebrauch ansehen, der zwar ungewohnt ist, aber aus der Perspektive der „extended mind“-Theorie keine prinzipiellen Verwerfungen mit sich bringt. Neu ist allerdings, dass die externen Geräte direkt durch die vom Gehirn abgeleiteten neuronalen Signale gesteuert werden und nicht wie gewöhnlich durch die natürlichen Extremitäten, die Arme und Hände des Nutzers.

4. Ethische Herausforderungen für Verantwortung und Autonomie

Der technische Zugriff auf das menschliche Gehirn wirft vielfältige ethische Fragen auf, die in Abhängigkeit vom Einsatzbereich der Geräte variieren.⁸ Hier werde ich mich allerdings auf die Fra-

7 Die Eigenständigkeit des Akteurs und die Passivität des Werkzeugs bei der Integration in das Selbstkonzept kann aber zumindest teilweise gerade verloren gehen, wenn Aktivität und Auseinandersetzung selbst unter technischem Einfluss stehen und durch Gehirntechnologien jedenfalls ein Stück weit gesteuert sind. Bei der Tiefenhirnstimulation kann man beispielsweise nicht mehr von einem passiven Werkzeug ausgehen. Denn durch die Stimulation werden die neuronalen Prozesse durch das Gerät ja gerade aktiv beeinflusst und der Nutzer ist ihnen gegenüber passiv.

8 Selbstverständlich müssen die Fragen je nach Gerät unterschiedlich akzentuiert und spezifiziert werden.

gen nach Verantwortung und Autonomie konzentrieren. Denn beim Einsatz von motorischen Prothesen, die über eine Gehirn-Computer-Schnittstelle gesteuert werden, ist die Verantwortungsfrage keineswegs so eindeutig zu beantworten wie bei herkömmlichem Werkzeuggebrauch. Der externe Effektor kann nicht direkt durch die abgeleiteten neuronalen Signale angesteuert werden. Die Signale werden zunächst in einem Computer über Decodierungsalgorithmen interpretiert, um daraus eine Bewegungsprognose zu errechnen. Schließlich generiert der Computer dann entsprechend dieser Prognose Signale, um beispielsweise einen Roboterarm gezielt anzusteuern. Letztlich wird die artifizielle Extremität also durch den Computer gesteuert, zwar auf der Basis von Signalen, die aus dem Gehirn abgeleitet wurden, allerdings werden diese nicht direkt weitergeleitet sondern intensiv bearbeitet, um eine sinnvolle Ansteuerung zu ermöglichen.

Die auf den Dekodierungsalgorithmen beruhenden Bewegungsprognosen, sind allerdings genau dies, nämlich Prognosen und damit irrtumsanfällig. Im Tierversuch sind allerdings dennoch beeindruckende Ergebnisse erzielt worden (wie im oben angesprochenen Affenversuch). Dennoch ist mit Blick auf einen künftigen Einsatz beim Menschen natürlich zu fragen, wer für die Handlungen mit einer solchen motorischen Prothese eigentlich verantwortlich ist, insbesondere dann, wenn es um solche geht, die aus den möglichen Fehlinterpretationen resultieren.

Wenn die neuronale Motorprothese als ein Werkzeug angesehen wird, ist der Nutzer dieser Prothese für alle intentionalen Aktionen mit diesem Gerät verantwortlich. Für Aktionen, die auf einer Fehlfunktion des Systems beruhen, allerdings nicht. Das entspricht unserem Alltagsverständnis vom Umgang mit Technik. Ein Verkehrsunfall, der durch einen Fahrfehler verursacht wurde, ist dem Fahrer zuzurechnen. Geht er allerdings auf einen technischen Defekt oder einen Konstruktionsfehler zurück, kann bei entsprechender Sorgfaltspflicht des Fahrzeughalters auch der Hersteller verantwortlich sein.

Wie bei jeder andern Technik auch besteht selbstverständlich der technische Imperativ, die Gehirn-Computer-Schnittstelle so sicher wie möglich zu konstruieren. Eine vollständige Fehlerfreiheit wäre zwar wünschenswert, aber nicht realisierbar. Die verbleibende Unsicherheit könnte auf einer ganz pragmatischen Ebene über eine Versicherungspflicht – vielleicht auch durch einen Führerschein für Neurotechnologien – abgedeckt werden, um negative Auswirkungen für etwaig betroffene Dritte möglichst auffangen zu können (Clausen, 2006).

Um die Zuverlässigkeit dieser Geräte zu steigern, werden Machine-Learning-Algorithmen implementiert, so dass der Mensch sich nicht mehr an starre Dekodierungsalgorithmen anpassen muss, sondern das System gleichzeitig selbst lernt, die vom Nutzer generierten Signale adäquat zu interpretieren (Blankertz et al., 2008). Eine lernende Maschine zu nutzen – auch wenn sie zuverlässiger arbeitet als ein nicht-lernendes System – bedeutet allerdings, die Kontrolle über das Ergebnis teilweise an das Gerät abzugeben. Der Nutzer des Systems teilt sich die Kontrolle mit dem System selbst. Wenn also das System selbst einen Teil der Kontrolle ausübt, kann dann der Nutzer überhaupt noch verantwortlich sein für die Ergebnisse? Guglielmo Tamburrini hat in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, dass der Hersteller nicht mehr garantieren kann, wie sich sein System in unterschiedlichen Situationen verhalten wird, weil es sich ja dynamisch an die neuronalen Vorgänge im Gehirn des Nutzers anpasst (Tamburrini, 2009). Diese sind aber höchstens zum Teil prognostizierbar. Zwar kennen wir auch heute schon Situationen, in denen wir für Handlungsergebnisse verantwortlich sind, die wir allenfalls höchst eingeschränkt kontrollieren können, wie beispielsweise bei der Verantwortung von Eltern für den Unfug ihrer Kinder. Ob und unter welchen Voraussetzungen dies ein geeignetes Modell für die Verantwortungszuschreibung bei der

Nutzung von Gehirn-Computerschnittstellen ist – wie Tamburrini vorschlägt – bleibt allerdings noch zu klären.

Ein weiterer Aspekt, den es unbedingt zu klären gilt, bezieht sich auf den bereits seit knapp 20 Jahren praktizierten Einsatz dieser Geräte zur Steuerung eines Buchstabierungsprogramms bei schwerstgelähmten Patienten. Niels Birbaumer hat auf die schwierige Sterbehilfeproblematik in diesen Fällen aufmerksam gemacht, wenn eine Patientenverfügung existiert, aber unklar ist, ob die gegenwärtig existierenden technischen Möglichkeiten überhaupt bekannt waren (Birbaumer, 2005). In Anbetracht der gerade diskutierten Unsicherheit in Bezug auf die Zuverlässigkeit der Systeme stellt sich allerdings noch eine weitergehende Frage: Wie ist die Autonomie der Patienten zu schützen, wenn Sie mittels BCI-gesteuertem Buchstabierungsprogramms den Wunsch zu sterben äußern würden?⁹

Literatur

- BELL, E.; MATHIEU, G.; RACINE, E. (2009): Preparing the ethical future of deep brain stimulation. *Surgical Neurology* 72 (6): 577-586; discussion 586
- BIRBAUMER, NIELS (2005): Nur das Denken bleibt: Neuroethik des Eingeschlossen-Seins. In: EVE-MARIE ENGELS & ELISABETH HILDT (Hrsg.): *Neurowissenschaften und Menschenbild*. Paderborn: Mentis, S. 77-94
- BIRBAUMER, NIELS; GHANAYIM, N.; HINTERBERGER, T.; IVERSEN, I.; KOTCHOUBEY, BORIS; KUBLER, ANDREA; PERELMOUTER, J.; TAUB, E.; FLOR, H. (1999): A spelling device for the paralysed. *Nature* 398 (6725): 297-298
- BLANKERTZ, B.; LOSCH, F.; KRAUEDAT, M.; DORNHEGE, G.; CURIO, G.; MULLER, K. R. (2008): The Berlin Brain-Computer Interface: accurate performance from first-session in BCI-naive subjects. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 55 (10): 2452-2462
- CLARK, ANDY (2007): Re-Inventing Ourselves: The Plasticity of Embodiment, Sensing, and Mind. *Journal of Medicine and Philosophy* 32 (3): 263-282
- CLARK, ANDY; CHALMERS, DAVID (1998): The extended mind. *Analysis* 58 (1): 7-19
- CLAUSEN, J. (2008a): Moving minds: ethical aspects of neural motor prostheses. *Biotechnology Journal* 3 (12): 1493-1501
- CLAUSEN, J. (2009a): Man, machine and in between. *Nature* 457 (7233): 1080-1081
- CLAUSEN, JENS (2006): Ethische Aspekte von Gehirn-Computer-Schnittstellen in motorischen Neuroprothesen. *International Review of Information Ethics* 5 (9): 25-32
- CLAUSEN, JENS (2008b): Gehirn-Computer-Schnittstellen: Anthropologisch-ethische Aspekte moderner Neurotechnologien. In: JENS CLAUSEN, OLIVER MÜLLER & GIOVANNI MAIO (Hrsg.) *Die »Natur des Menschen« in Neurowissenschaft und Neuroethik*. Würzburg: Königshausen & Neumann, S. 39-58

9 Ausführlicher hierzu und zu vielen weiteren Implikationen des technischen Zugriffs auf das menschliche Gehirn siehe (Clausen, 2010b)

- CLAUSEN, JENS (2009b): Ethische Aspekte konvergierender Technologien: Das Beispiel Gehirn-Computer-Schnittstellen. *Technikfolgenabschätzung - Theorie und Praxis* 18 (2): 20-29
- CLAUSEN, JENS (2010a): Ethical brain stimulation – neuroethics of deep brain stimulation in research and clinical practice. *European Journal of Neuroscience* 32 (7): 1152-1162
- CLAUSEN, JENS (2010b): Technik im Gehirn: Ethische, theoretische und historische Aspekte moderner Neurotechnologie. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag
- DECKER, M.; FLEISCHER, T. (2008): Contacting the brain – aspects of a technology assessment of neural implants. *Biotechnology Journal* 3 (12): 1502-1510
- GLANNON, W. (2009): Stimulating brains, altering minds. *Journal of Medical Ethics* 35 (5): 289-292
- HOCHBERG, LEIGH R.; SERRUYA, MIJAIL D.; FRIEHS, GERHARD M.; MUKAND, JON A.; SALEH, MARYAM; CAPLAN, ABRAHAM H.; BRANNER, AALMUT; CHEN, DAVID; PENN, RICHARD D.; DONOGHUE, JOHN P. (2006): Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia. *Nature* 442 (7099): 164-171
- KÜBLER, ANDREA; WEBER, CORNELIA; BIRBAUMER, NIELS (2006): Locked-in – freigegeben für den Tod. Wenn nur das Denken und Fühlen bleibt – Neuroethik des Eingeschlossenseins. *Zeitschrift für medizinische Ethik* 52: 57-70
- MARAVITA, A.; IRIKI, A. (2004): Tools for the body (schema). *Trends in Cognitive Sciences* 8 (2): 79-86
- MORITZ, CHET T.; PERLMUTTER, STEVE I.; FETZ, EBERHARD E. (2008): Direct control of paralysed muscles by cortical neurons. *Nature* 456 (7222): 639-642
- NICOLELIS, MIGUEL A (2001): Actions from thoughts. *Nature* 409 (6818): 403-407
- PFURTSCHELLER, GERT; NEUPER, CHRISTA; BIRBAUMER, NIELS (2005): Human Brain-Computer Interface. In: ALEXANDRA RIEHLE & EILON VAADIA (Hrsg.); *Motor Cortex in Voluntary Movements – A Distributed System for Distributed Functions*. New York: CRC Press, S. 367-401
- PISTOHL, T.; BALL, T.; SCHULZE-BONHAGE, A.; AERTSEN, A.; MEHRING, C. (2008): Prediction of arm movement trajectories from ECoG-recordings in humans. *Journal of Neuroscience Methods* 167 (1): 105-114
- SCHERMER, MARTJE (2009): The Mind and the Machine. On Conceptual and Moral Implications of Brain-Machine Interaction. *Nanoethics* 3 (3): 217-230
- STIEGLITZ, THOMAS (2008): Neuroprothesen als Schnittstellen zum peripheren und zentralen Nervensystem - Ein- und Aussichten aus dem Blickwinkel der biomedizinischen Technik. In: JENS CLAUSEN, OLIVER MÜLLER & GIOVANNI MAIO (Hrsg.); *Die »Natur des Menschen« in Neurowissenschaft und Neuroethik*. Würzburg: Königshausen & Neumann, S. 59-77
- TAMBURRINI, GUGLIELMO (2009): Brain to Computer Communication: Ethical Perspectives on Interaction Models. *Neuroethics* 2 (3): 137-149
- VELLISTE, MEEL; PEREL, SAGI; SPALDING, M. CHANCE; WHITFORD, ANDREW S; SCHWARTZ, ANDREW B (2008): Cortical control of a prosthetic arm for self-feeding. *Nature* 453: 1098-1101

[20.03.11]

Anschrift des Autors:

Dr. Jens Clausen
Universität Tübingen
Institut für Ethik und Geschichte der Medizin
Gartenstr. 47
D – 72074 Tübingen
jens.clausen@uni-tuebingen.de