

Jens Clausen

Ethische Aspekte von Gehirn-Computer-Schnittstellen in motorischen Neuroprothesen

Abstract:

Title: Ethical Aspects of Brain-Computer Interfacing in Neuronal Motor Protheses

Brain-Computer interfacing is a highly promising and fast developing field of modern life sciences. Recent advances in neuroscience together with progressing miniaturization in micro systems provide insights in structure and functioning of the human brain and enable connections of technical components to neuronal structures as well. This possibly offers a future therapy for paralysed patients through neuronal motor protheses. This paper identifies central ethical aspects which have to be considered in further progressing research in this scientific field and the development of neuronal motor protheses.

Agenda

Einleitung	26
Aufbau einer Gehirn-Computer-Schnittstelle.....	26
Die Input-Komponente	26
Decodierungs-Komponente	27
Output-Komponente	27
Ethische Aspekte von Gehirn-Computer-Schnittstellen	27
Ethische Aspekte bei der Informationsgewinnung.....	28
Ethische Aspekte bei der Informationsverarbeitung	29
Ethische Aspekte bei der Informationsumsetzung.....	30
Übergeordnete ethische Fragen der motorischen Neuroprothetik	30
Forschungsethik.....	30
Wie viel Technisierung verträgt der Mensch?	31
Zusammenfassung	32

Author:

Dr. Jens Clausen:

Albert Ludwigs Universität, Lehrstuhl für Bioethik, Stefan-Meier-Straße 26, 79104 Freiburg, Germany

☎ + 49 -761-203 5041, ✉ jens.clausen@uniklinik-freiburg.de,

🌐 <http://www.natur-des-menschen.uniklinik-freiburg.de/>

Relevant publications:

- Biotechnische Innovationen verantworten: Das Beispiel Klonen. Darmstadt. Wissenschaftliche Buchgesellschaft 2006.
- Zur Bedeutung der Natur des Menschen und seiner Verantwortung im Umgang mit Macht und Ohnmacht am Beispiel biotechnischer Innovationen. In: W. Veith & C. Hübenal (Hrsg.): Macht und Ohnmacht – Konzeptionelle und kontextuelle Erkundungen. Münster: Aschendorff 2005. 204-220.

Gehirn-Computer-Schnittstellen (Brain Computer Interface; BCI) sind ein viel versprechendes und hochinnovatives Forschungsfeld, das einerseits neue Erkenntnisse über Struktur und Funktion des menschlichen Gehirns eröffnet und andererseits die Entwicklung neuer Therapien in Form von motorischen Neuroprothesen möglich erscheinen lässt. In diesem Beitrag sollen die zentralen ethischen Fragen benannt werden, die bei der Erforschung und Entwicklung von BCIs geklärt und berücksichtigt werden müssen.

Einleitung

Motorische Neuroprothesen können als mögliche zukünftige Therapie für Patienten mit Querschnittslähmung angesehen werden. Sind die neuronalen Strukturen für die Übertragung und Weiterleitung der motorischen Signale zwischen dem zentralen Nervensystem, insbesondere dem motorischen Kortex, und den ausführenden Extremitäten durch einen Unfall, eine Verletzung oder eine Krankheit unterbrochen, führt dies häufig zu einer beträchtlichen Einschränkung oder gar dem völligen Verlust der entsprechenden motorischen Fähigkeiten dieses Menschen. Die gegenwärtigen therapeutischen Möglichkeiten zur Behandlung oder gar Heilung von Querschnittslähmungen sind sehr begrenzt. Große Hoffnungen werden daher in die immer weiter voranschreitenden Erkenntnisse der Neurowissenschaften über Struktur und Funktion des menschlichen Gehirns sowie die zunehmende Miniaturisierung technischer, insbesondere mikroelektronischer Bauteile gesetzt. Denn gemeinsam eröffnen sie die Möglichkeit einer Verknüpfung von neuronalen Gehirnstrukturen mit technischen Komponenten über eine Gehirn-Computer-Schnittstelle. Diese Entwicklungen sind für gelähmte Patienten sehr viel versprechend, weil sie eine neue prothetische Therapie möglich erscheinen lassen, die motorischen Neuroprothesen. Die Idee dieses Ansatzes ist, das verletzte neuronale Gewebe, in dem die Übertragung der motorischen Signale unterbrochen ist, durch technische Hilfsmittel zu überbrücken und die verlorenen motorischen Fähigkeiten durch die Ansteuerung einer künstlichen Gliedmaße, wie etwa eines Roboterarms, und als Fernziel möglicherweise sogar der eigenen, natürlichen Extremität wieder herzustellen.

Aufbau einer Gehirn-Computer-Schnittstelle

Um das therapeutische Ziel einer motorischen Neuroprothese realisieren zu können, ist zunächst die Entwicklung eines funktionalen BCI erforderlich, das geeignete neuronale Signale lesen kann, diese in einem zweiten Schritt mittels decodierender Algorithmen interpretiert, um die so gewonnenen Output-Signale zur Ansteuerung einer künstlichen Gliedmaße oder eines anderen Ausgabegerätes (z.B. Computer) zu verwenden.

Die Input-Komponente

Gehirn-Computer Schnittstellen werden seit einiger Zeit eingesetzt, um gelähmten Patienten vor allem solchen mit Locked-in-Syndrom, die Kommunikation zu erleichtern oder überhaupt erst zu ermöglichen. Dazu werden mit einem nicht-invasiven Verfahren mittels EEG Hirnströme abgeleitet und in einen Computer eingespeist. Diese Signale werden dazu verwendet, um einen Computercursor z.B. in einem Buchstabierprogramm zu steuern. Die Patienten lernen die zur Steuerung erforderlichen Signale gezielt zu erzeugen und können dann mit Hilfe dieser Gehirn-Computer-Schnittstelle wieder schriftlich in Form von Briefen oder E-Mails kommunizieren. Zwar ist es ein sehr langwieriger Prozess einen solchen Brief zu schreiben, allerdings kann dies gegenüber dem status quo, in dem oft nicht mehr als eine Ja-Nein Kommunikation mittels Augenblinzeln möglich war, dennoch als ein deutlicher Fortschritt angesehen werden¹.

Die Ansteuerung einer motorischen Neuroprothese wird allerdings wahrscheinlich eine Intervention in das menschliche Gehirn erfordern. Denn die mittels EEG zu erhaltenden Informationen sind sehr begrenzt und höchstwahrscheinlich nicht ausreichend für die dreidimensionale Ansteuerung einer artifiziellen Gliedmaße in Echtzeit². Auf der Suche nach dem am besten geeigneten neuronalen Signal für die Kontrolle einer motorischen Neuroprothese werden als Alternative zum EEG stärker invasive Methoden erforscht. Dazu gehören beispielsweise Elektroden, die direkt auf der Kortexoberfläche platziert werden, um neuronale Aktivität in besserer Qualität abzulei-

¹ Birbaumer: Nur das Denken bleibt: Neuroethik des Eingeschlossen-Seins.

² Nicoletti: Actions from thoughts.

ten³. Von diesen auf der Kortexoberfläche applizierten (epicortikalen) Elektroden sind diejenigen Mikroelektroden zu unterscheiden, die direkt in das Gewebe z.B. des motorischen Cortex implantiert werden⁴.⁵ Erste Studien, mittels solch intracortikal implantierter Elektrodenarrays beim Menschen motorische Signale abzuleiten, wurden von der Firma Cyberkinetics durchgeführt⁶.

Decodierungs-Komponente

Unabhängig davon, welches neurologische Signal mit welcher Ableitungsmethode für die Kontrolle einer motorischen Neuroprothese das am besten geeignete ist, wird es erforderlich sein, die erhaltenen neurologischen Potentiale zu interpretieren. Dazu werden die gewonnenen Informationen an einen als Decodierungs-Komponente fungierenden Computer übertragen. Dort werden aus den Inputsignalen mittels spezieller Algorithmen Prognosen über die antizipierte Bewegung errechnet. Auf der Basis der so berechneten Vorhersage werden dann elektrische Outputsignale generiert, um die prognostizierte Bewegung an der artifiziellen Extremität auszulösen.

Patienten müssen entsprechend lernen, diejenigen neuronalen Signale zu generieren, die tatsächlich die gewünschte Bewegung hervorrufen. Aufgrund der enormen Anpassungsfähigkeit und Plastizität des Gehirns sind Patienten dazu auch wirklich in der Lage, wie die bereits angesprochene Steuerung eines Computercursors oder bei Affen auch die Kontrolle ein Roboterarms belegen.

Output-Komponente

Als mögliche Output-Komponenten der motorischen Neuroprothese zur Behandlung von Gelähmten kommen unterschiedliche technische Geräte in Frage. Am längsten erprobt ist die Ansteuerung eines Computercursors, um beispielsweise ein

Buchstabierungsprogramm zu kontrollieren, mit dessen Hilfe die Patienten die Möglichkeit wieder erlangen, in schriftlicher Form zu kommunizieren, Briefe und auch E-Mails zu schreiben. Zu denken ist aber auch an die schon genannten artifiziellen Extremitäten z.B. in Form von Roboterarmen oder die Steuerung des eigenen Rollstuhls. Viele Forschungsprojekte zu Brain-Machine Interfaces sind ursprünglich von der amerikanischen Defense Advanced Research Projects Agency finanziert worden. In diesem Rahmen wurde als mögliches Ziel auch der Einsatz von BCIs zur direkten Ansteuerung militärischer Technik wie beispielsweise eines Kampffjets diskutiert⁷.

Ethische Aspekte von Gehirn-Computer-Schnittstellen

Neben der Bewältigung von technischen Herausforderungen sind bei Erforschung und Entwicklung von BCI-basierten motorischen Neuroprothesen eine ganze Reihe ethischer Fragen zu berücksichtigen, die von forschungsethischen Aspekten in Bezug auf die erforderlichen Humanexperimente über neuroethische Fragen bis zur Ethik der Informationstechnologie reichen und damit ein signifikant neues Set ethischer Fragen bilden. Bei der ethischen Beurteilung von BCI-basierten motorischen Neuroprothesen geht es im Sinne einer „innovativen Technikbewertung“ (Ropohl) darum, rechtzeitig erwünschte und unerwünschte Entwicklungen und Folgen zu identifizieren, um gegebenenfalls frühzeitig derart korrigierend eingreifen zu können, dass die Entwicklung eine ethisch vertretbare und gesellschaftlich erwünschte Richtung nehmen kann⁸. Die Gliederung der ethischen Fragestellungen orientiert sich an den drei Komponenten einer BCI-basierten motorischen Neuroprothese, der Input-Komponente, der Interpretationskomponente und der Output-Komponente. Abschließend werden dann die generelleren Fragen zur Forschungsethik und den Grenzen einer Technisierung des Menschen behandelt.

³ Ball et al.: Towards an implantable brain-machine interface based on epicortical field potentials.

⁴ Donoghue: Connecting cortex to machines: recent advances in brain interfaces; Schwartz: Cortical neural prosthetics.

⁵ Schwartz: Cortical neural prosthetics.

⁶ Duncan: Hirnimplantate: Fernsteuerung durch Gedanken.

⁷ Hoag: Remote control.

⁸ Clausen: Biotechnische Innovationen verantworten: Das Beispiel Klonen. 104-129.

Ethische Aspekte bei der Informationsgewinnung

Die invasiven Methoden zur Informationsgewinnung beispielsweise mittels epicortikaler (auf der Cortexoberfläche applizierter) Gitterelektrode oder direkt ins Kortexgewebe implantierter intracortikaler Elektroden bedürfen einer Öffnung des Schädels und letztere zusätzlich noch einer Implantation der Elektroden direkt in das Gewebe des motorischen Cortex oder anderer Hirnareale. Dauerhafte wie vorübergehende Implantationen erfordern ganz offensichtlich eine sorgfältige Nutzen-Risiko-Analyse dieser Interventionen in das menschliche Gehirn. Dabei sind zum einen die medizinischen Risiken des Eingriffs wie beispielsweise Operations- und Infektionsrisiko, mögliche hirnorganische Schädigungen sowie die offene Frage der Verträglichkeit bei Langzeitapplikationen gegen die zu erwartenden therapeutischen Effekte abzuwägen. Insofern allerdings das menschliche Gehirn als biologische Grundlage für zentrale Aspekte unseres menschlichen Selbstverständnisses angesehen werden kann, geht es bei der Nutzen-Risiko-Analyse darüber hinaus aber auch um grundsätzlichere ethische Fragen. In dieser Hinsicht sind mit der Implantation von Elektroden ins menschliche Gehirn als zentraler Punkt mögliche Auswirkungen auf Identität und Individualität des Patienten zu berücksichtigen, da das Gehirn sehr eng mit Bewusstseinsfähigkeit, Persönlichkeit und Identität zusammenhängt.

Medizinische Eingriffe zielen immer auf eine Veränderung des status quo beim Patienten. In diesem Kontext ist daher zum einen zu klären, welche Veränderungen identitätsrelevant sind und zum anderen, welche Veränderungen normatives Gewicht erlangen, und wie diese von den irrelevanten oder zumindest ethisch indifferenten Veränderungen unterschieden werden können. Dieter Birnbacher verwendet dabei die Unterscheidung zwischen zwei Formen von Identität, denen er unterschiedliche ethische Bedeutung zumisst⁹. Die Identität der Person unterscheidet er von der Identität der Persönlichkeit. Dabei spricht er erstere als numerische Identität an, bei der es nur ein Ja oder Nein geben könne, während er die zweite auch als psychologische Identität bezeichnet, bei der Abstufungen und graduelle Veränderungen möglich seien.

Die numerische Identität ist eine logische Relation zwischen einem Gegenstand A zum Zeitpunkt p und dem Zeitpunkt p'. Die numerische Identität ist dann gegeben, wenn der Gegenstand A zu den unterschiedlichen Zeitpunkten als ein und derselbe angesprochen werden kann, auch dann wenn er einige Veränderungen erfahren haben mag. Die numerische Identität habe laut Birnbacher besondere ethische Implikationen, da mit einer Veränderung in der numerischen Identität eine Person zu existieren aufhöre. Statt dessen entstehe dafür eine andere Person.

Weniger gravierend seien dagegen Veränderungen in der psychologischen Identität einzuschätzen, da sie als Persönlichkeitsveränderungen derselben Person anzusehen seien. Die psychologische Identität eines Menschen bezieht sich auf konkrete Ausprägungen von Gehirnfunktionen und Charaktereigenschaften, die sich z.B. durch äußere Einflüsse mit der Zeit verändern. Solche Persönlichkeitsveränderungen beeinträchtigen im Regelfall die numerische Identität nicht¹⁰. Es ist aber durchaus denkbar, dass die Veränderungen bestimmter Ausprägungen der psychologischen Identität so umfangreich sein können, dass damit auch eine Veränderung der numerischen Identität einhergehen würde. Das Verhältnis von psychologischer und numerischer Identität näher zu beleuchten, ist eine philosophisch sehr spannende Aufgabe. Da bei der Verwendung der hier besprochenen motorischen Neuroprothesen allerdings nicht mit einer Veränderung der numerischen Identität zu rechnen ist, haben die Fragen nach möglichen Veränderungen der Persönlichkeit und ihrer ethischen Bedeutung größere praktische Relevanz.

Wenn das Gehirn als materiale Grundlage für die dynamischen Prozesse von Identitätsfindung und -bewahrung im Sinne einer „strukturierten Prozessualität“¹¹ oder für die Identitätsausbildung im narrativen Vollzug einer Lebenserzählung angesehen wird, scheint es plausibel, dass Eingriffe und Veränderungen in die materiale Grundlage auch die der Identität zugrunde liegenden Prozesse beeinflussen können. Unabhängig davon, welches Identitätsverständnis herangezogen wird, gilt es Kriterien he-

⁹ Birnbacher: Hirngewebstransplantationen und neurobionische Eingriffe - anthropologische und ethische Fragen. 274f.

¹⁰ Galert: Inwiefern können Eingriffe in das Gehirn die personale Identität bedrohen?.

¹¹ Beckmann: Menschliche Identität und die Transplantation von Zellen, Geweben und Organen tierischer Herkunft.

rauszuarbeiten, mit deren Hilfe Identitätsveränderungen identifiziert sowie bedenkliche Eingriffe von unbedenklichen unterschieden werden können. Dabei ist insbesondere zu berücksichtigen, dass eine Veränderung der Persönlichkeit zwar ethisch zu berücksichtigen ist, aber kein Ausschlusskriterium darstellt. So können Persönlichkeitsveränderungen akzeptabel erscheinen, wenn sie beispielsweise als Folge eines therapeutischen Eingriffs auftreten, der dem Patienten die Interaktion mit seiner Umwelt wieder ermöglicht¹². Denn gerade die Interaktion mit anderen kann als ein wesentlicher Bestandteil von Identitätsbildungsprozessen angesehen werden. Für den Einsatz BCI-basierter motorischer Neuroprothesen ist daher zu klären, welche Gehirnfunktionen oder Kombinationen von Funktionen so bedeutsam sind, dass ihre Veränderungen zumindest in bestimmten Ausprägungen zu einer ethisch nicht vertretbaren Identitätsveränderung führen würden. Es ist zu erwarten, dass es sich um relationale Bestimmungen handeln wird, bei denen die ethische Bedeutung von Identitätsveränderungen in Abhängigkeit von den zu erwartenden therapeutischen Ergebnissen beurteilt wird.

Ethische Aspekte bei der Informationsverarbeitung

Die von den Decodierungsalgorithmen der Interpretationseinheit der motorischen Neuroprothese verlangten Signale zur Ansteuerung der Output-Komponente zu generieren, wird die neuronale Aktivität des Patienten verändern. Dies ist einerseits positiv zu bewerten, da es die Voraussetzung dafür ist, dass die Idee zu diesem therapeutischen Ansatz realisierbar ist. Andererseits ist dabei allerdings auch zu fragen, ob die veränderte neuronale Aktivität auch – als unerwünschten Nebeneffekt – spezifische Funktionen des Patientenhirns verändert. Wenn beim Erlernen der gezielten, kontrollierten Steuerung der motorischen Neuroprothese andere Hirnfunktionen verändert werden, ist sorgfältig zu untersuchen, welche Funktionen dies sind, um anschließend zu bestimmen, welche Veränderungen in welchem Ausmaß akzeptabel sind und welche möglicherweise nicht. Die in diesem Zusammenhang zu beantwortenden ethischen Fragen sind denjenigen zur Identitätsproblematik, die im vorherigen Abschnitt behandelt wurden, sehr ähnlich.

Anders gelagert sind dagegen die normativen Implikationen, die mit der Möglichkeit einer falschen Bewegungsprognose durch die Interpretationskomponente verbunden sind. Durch die implizite Prognoseunsicherheit ist es möglich, dass die künstliche Extremität in eine andere als die beabsichtigte Richtung bewegt wird, also z.B. fälschlicher Weise nach rechts statt links. Da sich leicht Szenarien ausmalen lassen, in denen dies schwerwiegende Konsequenzen auch für Dritte hätte, ist die Frage nach der Verantwortlichkeit für solche Handlungen zu klären. Werden mittels motorischer Neuroprothesen Handlungen ausgeführt, die auf falschen Interpretationen der abgeleiteten Signale beruhen, ist zunächst fraglich, wer für die resultierenden Folgen verantwortlich ist. Wird die Prothese als integraler Bestandteil des Patienten angesehen, wird man auch bei fehlerhafter Interpretation der Informationen den Patienten für verantwortlich und haftbar halten müssen. Es ist allerdings auch denkbar den Hersteller der Prothese oder den Programmierer des nur bedingt zuverlässigen Algorithmus für verantwortlich für die entsprechende Aktion zu halten. Der technische Imperativ, die Prothese mit allen ihren Komponenten und auch des Decodierungsalgorithmus' so zuverlässig zu gestalten wie möglich, ist selbstverständlich. Daraus resultiert die Aufforderung, den am besten geeigneten Ableitungsort zu identifizieren. Um etwaige kognitive Kontroll- und Vetoinstanzen bei der Signalgenerierung und -modulation durch die Prothese nicht zu umgehen, sondern im Gegenteil gerade so umfangreich wie möglich mit zu berücksichtigen, könnte es erforderlich sein, so „tief“ wie möglich im Hirn abzuleiten. Die Elektroden müssten dann an Stellen platziert werden, die hinter diesen Regulierungsmechanismen liegen und nach Möglichkeit nur noch den motorischen Impuls elektrisch kodieren. Allerdings wäre es illusorisch, vollständige Fehlerfreiheit zu fordern. Zu fragen ist daher, wie mit der verbleibenden Unsicherheit umzugehen ist. Mögliche Fehlfunktionen sind allerdings kein Spezifikum von Neuroprothesen, sondern bei technischen Geräten prinzipiell unvermeidbar. Ein etabliertes Verfahren mit möglichen technischen Fehlfunktionen und der damit verbundenen Gefährdung umzugehen, ist die Einführung einer Versicherungspflicht, wie sie bei Kraftfahrzeugen realisiert ist, um drohende negative Auswirkungen soweit wie möglich abfedern zu können. Neben der technischen Optimierung der Geräte, die allerdings Unsicherheit nicht vollständig beseitigen kann, ist zu klären, welche Gefahren vom Einsatz der Prothesen und deren möglichen Fehlfunktionen ausgehen und ob sie als so gravierend eingeschätzt werden, dass eine solche Pflichtversicherung angebracht erscheint. Ist beispielsweise die körperliche

¹² Stier: Ethische Probleme in der Neuromedizin: Identität und Autonomie in Forschung, Diagnostik und Therapie.

Integrität oder sogar das Leben Dritter durch den Einsatz BCI-basierter Neuroprothesen bedroht?

Ethische Aspekte bei der Informationsumsetzung

Damit die abgeleiteten und interpretierten bioelektrischen Signale für die Steuerung und Kontrolle einer Output-Komponente verwendet werden können, müssen diese Informationen zum Endgerät übertragen werden. Die wohl komfortablere und auch weniger infektionsanfällige Variante einer kabellosen Übertragung beinhaltet ein gewisses Missbrauchspotential. Mittels einer Fernbedienung mit den entsprechenden Frequenzbereichen könnte es für Fremde möglich sein, die Prothese über externe Impulse ohne Autorisierung anzusteuern, um die resultierende Aktion fälschlicher Weise dem Patienten zuzurechnen. Dass dies dem Respekt vor der Selbstbestimmung des Patienten widerspricht, liegt auf der Hand. Eine technische Lösung, einem solchen möglichen Missbrauch vorzubeugen, könnte sein, bestimmte Frequenzbereiche für Funkverbindungen in medizinischen Anwendungen zu reservieren.

Für die ethische Beurteilung einer militärischen Nutzung von BCIs ist zu klären, in wie weit sich die Wissenschaft zum Komplizen militärischer Zielsetzungen macht, wenn die Forschung aus dem Verteidigungsetat oder von Rüstungsunternehmen finanziert wird. Die Ansteuerung militärischer Geräte verweist allerdings auch auf die im Kontext der Informationsumsetzung zentrale Frage, welche Geräte überhaupt als ausführende Komponente vertretbar sind.

Als ein erstes mögliches Unterscheidungskriterium kann auf unterschiedliche Zielsetzungen rekurriert werden, die mit der artifiziellen Extremität erreicht werden sollen. Die (partielle) Wiederherstellung verlorener motorischer Funktionen, erscheint für den Einsatz von BCI-basierten motorischen Neuroprothesen dabei als eine ethisch unstrittige Zielsetzung, die mit dem ärztlichen Auftrag zu heilen und zu helfen abgedeckt wäre. Es ist allerdings zu erwarten, dass der Einsatz der Technik für Ziele, die über die Therapie hinaus weisen und eine Verbesserung der menschlichen Konstitution über ihr Normalmaß hinaus anstreben, sei es durch die Steigerung bereits vorhandener Fähigkeiten, oder durch die Einführung völlig neuer, spezie-untypischer Fähigkeiten, zu einer ähnlich kontroversen Diskussion führen wird, wie dies in anderen Handlungsfeldern des Enhancements bereits der Fall ist. Daher wird auch für die Ausgestaltung von artifiziellen Extremitäten

und anderen Ausgabegeräten, die in motorischen Neuroprothesen eingesetzt werden könnten, zu klären sein, wie diese zu konzipieren sind und wo die Grenze zwischen vertretbarem und nicht mehr vertretbarem Einsatz zu ziehen sein wird¹³.

Übergeordnete ethische Fragen der motorischen Neuroprothetik

Neben den besprochenen ethischen Aspekten, die sich den einzelnen Komponenten einer BMI-basierten Neuroprothese attribuieren lassen, gilt es zusätzlich auch Fragen zu klären, die sich nicht einer einzelnen Komponente zurechnen lassen, da sie die motorische Neuroprothese als Ganzes betreffen. Dazu gehören insbesondere der Fragenkomplex zur Forschungsethik, der die Voraussetzungen für die Vertretbarkeit einer Erforschung der BMI-basierten motorischen Neuroprothesen behandelt, so wie derjenige zur Grenzziehungsfrage, wie viel Technisierung der Mensch überhaupt verträgt.

Forschungsethik

Zu den zentralen Fragen der Forschungsethik gehört, wer überhaupt als Versuchsperson für die Erforschung dieser medizintechnischen Innovationen in Frage kommen würde. Die Überlegungen zu den komponentenspezifischen Fragestellungen machen sehr deutlich, dass sich dieser innovative Forschungszweig noch mit sehr vielen offenen Fragen konfrontiert sieht. Die in der Grundlagenforschung im Tierexperiment gewonnenen Ergebnisse lassen auf einen möglichen medizinischen Nutzen hoffen, allerdings sind die damit verbundenen Risiken noch nicht hinreichend untersucht. Aufgrund der unklaren Risikolage und den möglichen physiologischen und funktionalen Veränderungen durch den Eingriff ist von einer Erprobung invasiver Verfahren bei gesunden Probanden abzusehen. Eine besondere Problemkonstellation ist bei Patienten mit Locked-in-Syndrom zu berücksichtigen. Dieses Patientenkollektiv gehört zwar zu der Hauptzielgruppe, für die motorische Neuroprothesen überhaupt entwickelt werden, allerdings ist hier die mangelnde Einwilligungsmöglichkeit der ausschlaggebende Aspekt. Durch die vorhandenen kognitiven Fähigkeiten, wird

¹³ Inwiefern die Natur des Menschen dabei behilflich sein kann vgl. Clausen: Verbesserung der menschlichen Natur zwischen anthropologischer Konstante und Transzendierung des Humanum.

man Locked-in-Patienten kaum als *einwilligungsunfähig* bezeichnen können, da ihnen aber bei entsprechend weit fortgeschrittenem Krankheitsbild die *Kommunikationsfähigkeit* fehlt, ist es für diese Patienten unmöglich, eine etwaige Einwilligung oder Ablehnung mitzuteilen. Ein möglicher technischer Ausweg wäre, diesen Patienten mittels nicht-invasiver Ableitungen und der Ansteuerung eines Buchstabierprogramms ein gewisses Maß an Kommunikationsfähigkeit zu ermöglichen, um dann auf diesem Wege die Einwilligungsfrage klären zu können. Da auch für diese Maßnahme die Zustimmung des Patienten erforderlich ist, er diese aber nicht selber geben kann, sollten auch nicht-invasive Ableitungen nur dann durchgeführt werden, wenn sie dem mutmaßlichen Willen des Patienten entsprechen. Anschließend ist dann eine direkte Kommunikation mit dem Patienten über bereits erfolgte und etwaige weitere Eingriffe möglich.

Allerdings erscheint die Erprobung auch bei wiederhergestellter Kommunikationsfähigkeit nicht unproblematisch. Wie bei anderen gelähmten Patienten auch ist hier ihre Vulnerabilität besonders zu beachten und bei der Frage nach der Freiwilligkeit einer Entscheidung zu berücksichtigen. Zwar schließen diese Überlegungen eine Erforschung der hier diskutierten motorischen Neuroprothesen nicht grundsätzlich aus, allerdings erscheint ein anderes Patientenkollektiv zum gegenwärtigen Stand der Entwicklung besser geeignet. Zu denken ist hier an Patienten, die aus anderen, beispielsweise diagnostischen Gründen, ohnehin eine Elektrode implantiert bekommen müssen¹⁴. Diese Patienten scheinen derzeit die am besten geeigneten Versuchspersonen zu sein. Denn ihnen würde durch die Teilnahme an einem Experiment zur Erforschung motorischer Neuroprothesen wohl das geringste zusätzliche Risiko entstehen. Zwar ist die Gruppe dieser Patienten sehr klein, aber für die Klärung der ersten aktuellen Fragen sind diese Patienten – ihre aufgeklärte und freiwillige Zustimmung vorausgesetzt – am besten geeignet. Allerdings ist in diesem Kontext zu klären, ob die in Kapitel „Ethische Aspekte bei der Informationsverarbeitung“ angesprochene veränderte neuronale Aktivität und die damit möglicherweise verbundene Veränderung spezifischer Funktionen des Gehirns für diese Patienten ohnehin gilt. Wenn die Veränderung der neuronalen Aktivität bei diagnostischem Einsatz der Elektrode nicht zu beobachten ist sondern nur aus der spezifischen Anwendung

in motorischen Prothesen resultiert, ist auch für diese Patienten ein erhöhtes Risiko zu bedenken, über das sie zumindest aufgeklärt werden müssen.

Wie viel Technisierung verträgt der Mensch?

Abschließend sollen zukunftsweisende Überlegungen zu einer möglichen Grenzziehung angestellt werden. Zwar nutzt der Mensch seit jeher technische Hilfsmittel, um sich gegen die aus den Umgebungsbedingungen resultierenden Widrigkeiten zu behaupten¹⁵. Motorische Neuroprothesen fügen sich in dieser Hinsicht bruchlos in diese Linie technischer (Um-) Weltgestaltung ein. Allerdings stellen sie darüber hinaus auch einen weiteren Schritt hin zu einer unmittelbareren Verbindung zwischen Mensch und Technik dar, in dem die Technik dem Menschen immer näher kommt und sogar im biologischen Gewebe implementiert wird. Die Grenze zwischen Mensch und Technik war bisher scheinbar klar zu ziehen, sie verliert allerdings zunehmend ihre Konturen, wenn Mensch und Technik immer enger ineinander greifen. Die Frage, wie viel Technisierung der Mensch verträgt, thematisiert eine mögliche Grenze für die Technisierung des Menschen, und wie diese gegebenenfalls gefunden werden kann. Für diese Fragestellung gilt es, eine Krieriologie zu entwickeln, mit deren Hilfe sich die Frage nach einer möglichen Grenzziehung hinsichtlich der Technisierung konkreter adressieren ließe. Dabei ist es unwahrscheinlich, dass die Quantität, die reine Anzahl verwendeter implantierter technischer Geräte dafür ausschlaggebend sein kann. Ob eine Grenzziehung über das Kriterium der Qualität der technisch ersetzten Funktionen aussichtsreicher ist, bedarf weiterer Untersuchungen. Dabei ist ein Rekurs auf unser Konzept, was ein menschliches Wesen ist, und was zur Natur des Menschen gehört ein viel versprechender Zugang für diese Grenzziehungsfrage. Dabei ist insbesondere die zentrale Einsicht der philosophischen Anthropologie des 20. Jahrhunderts (Scheler, Plessner, Gehlen) in den Doppelcharakter¹⁶ des Menschen zu berücksichtigen. Dem Menschen ist seine Natur nicht nur vorgegeben, sondern er ist von ‚Natur‘ ein Kulturwesen, dem seine Natur gleichzeitig aufgegeben ist. Was diese Einsicht im

¹⁴ Ball et al.: Towards an implantable brain-machine interface based on epicortical field potentials. 757.

¹⁵ Clausen: Zur Bedeutung der Natur des Menschen und seiner Verantwortung im Umgang mit Macht und Ohnmacht am Beispiel biotechnischer Innovationen.

¹⁶ Engels: Natur und Menschenbilder in der Bioethik des 20. Jahrhunderts. 19f.

Kontext der Technisierung des Menschen an normativem Gehalt entwickeln kann, ist näher zu untersuchen. Denn die Grenzziehungsfrage scheint ohne den Bezug auf ein normatives Menschenbild und die Konkretisierung derjenigen Aspekte des Menschen, die als werthaft erachtet werden nur schwer beantwortbar zu sein.

Zusammenfassung

Die Entwicklung einer funktionalen Gehirn-Computer-Schnittstelle zur Ansteuerung artifizierender Extremitäten erscheint als ein innovativer Forschungszweig, der große Hoffnungen auf die Realisierung einer motorischen Neuroprothese zur Behandlung gelähmter Patienten weckt. Die im Kontext von Erforschung und Entwicklung zu klärenden ethischen Aspekte, verstehen sich keineswegs als grundsätzliche Kritik, sondern sollen vielmehr diejenigen Fragen benennen, die im Zuge des technischen Innovationsprozesses zu berücksichtigen sind, um eine möglichst nachhaltige, ethisch vertretbare Etablierung von BMI-basierten motorischen Neuroprothesen zu ermöglichen. In diesem Sinne erscheint die Entwicklung von Gehirn-Computer-Schnittstellen als ein sehr viel versprechender Ansatz, der mit Blick auf die möglichen Therapieoptionen weiter erforscht werden sollte. Daher sollte die Forschung in diesem Bereich mit Bedacht, unter Berücksichtigung der genannten ethischen Fragen weiter vorangebracht werden.

References

- Ball, T. et al.: *Towards an implantable brain-machine interface based on epicortical field potentials*. *Biomedizinische Technik* Vol. 49, 2004, 756-759.
- Beckmann, J. P.: *Menschliche Identität und die Transplantation von Zellen, Geweben und Organen tierischer Herkunft*. *Jahrbuch für Wissenschaft und Ethik* Vol. 5, 2000, 169-182.
- Birbaumer, N.: *Nur das Denken bleibt: Neuroethik des Eingeschlossen-Seins*. In: E.-M. Engels & E. Hildt (Hrsg.) *Neurowissenschaften und Menschenbild*. Paderborn: Mentis 2005, 77-94.
- Birnbacher, D.: *Hirngewebe-transplantationen und neurobionische Eingriffe - anthropologische und ethische Fragen*. In: D. Birnbacher (Hg.) *Bioethik zwischen Natur und Interesse*. Frankfurt: Suhrkamp 2006, 273-293.
- Clausen, J.: *Zur Bedeutung der Natur des Menschen und seiner Verantwortung im Umgang mit Macht und Ohnmacht am Beispiel biotechnischer Innovationen*. In: W. Veith & C. Hübenal (Hrsg.) *Macht und Ohnmacht: Konzeptionelle und kontextuelle Erkundungen*. Münster: Aschendorff 2005, 119-132.
- Clausen, J.: *Biotechnische Innovationen verantworten: Das Beispiel Klonen*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 2006.
- Clausen, J.: *Verbesserung der menschlichen Natur zwischen anthropologischer Konstante und Transzendierung des Humanum*. In: T. Runkel et al. (Hrsg.) *Jenseits der Therapie*. 2007.
- Donoghue, J. P.: *Connecting cortex to machines: recent advances in brain interfaces*. *Nature Neuroscience* Vol. 5 Suppl, 2002, 1085-1088.
- Duncan, D. E.: *Hirnimplantate: Fernsteuerung durch Gedanken*. *Technology Review* Vol., 2005, 72-78.
- Engels, E.-M.: *Natur und Menschenbilder in der Bioethik des 20. Jahrhunderts*. In E.-M. Engels (Hg.) *Biologie und Ethik*. Stuttgart: Reclam 1999, 7-42.
- Galert, T.: *Inwiefern können Eingriffe in das Gehirn die personale Identität bedrohen?* In: A. Bora et al. (Hrsg.) *Technik in einer fragilen Welt: Die Rolle der Technikfolgenabschätzung*. Berlin: Edition Sigma 2005, 91-99.
- Hoag, H.: *Remote control*. *Nature* Vol. 423, 2003, 796-798.
- Nicolelis, M. A. L.: *Actions from thoughts*. *Nature* Vol. 409, 2001, 403-407.
- Schwartz, A. B.: *Cortical neural prosthetics*. *Annual Review of Neuroscience* Vol. 27, 2004, 487-507.
- Stier, M.: *Ethische Probleme in der Neuromedizin: Identität und Autonomie in Forschung, Diagnostik und Therapie*. Frankfurt: Campus 2006.