



**Hochschule für Technik  
und Wirtschaft Berlin**

**University of Applied Sciences**

# **Gehirn-Computer-Schnittstellen in Neuroprothesen**

21. Juni 2018

Fachbereich: 4 (Informatik, Kommunikation und Wirtschaft)  
Studiengang: Angewandte Informatik (SoSe2018)  
Seminar: B15 Gesellschaftliche Aspekte der Informatik  
Dozentin: Prof.-Dr. Christin Schmidt

Gruppe: 5

Gruppenmitglied	Matrikelnummer	Kapitel
Louis Knorn	566546	1
John-Kevin Gold	566538	2
Jeremy Etienne Seipelt	566847	3
Kathrin Klocke	514403	4

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Die Funktion der Sensorik eines Brain-Computer-Interfaces</b>	<b>2</b>
2.1	Aufbau des Brain-Computer-Interface . . . . .	2
2.2	Was sind non-invasive Sensoren . . . . .	2
2.2.1	Elektroenzephalogramm (EEG) . . . . .	2
2.2.2	Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) . . . . .	3
2.2.3	Magnetenzephalographie (MEG) . . . . .	3
2.3	Was sind invasive Sensoren . . . . .	3
2.3.1	Vorgang der Implantierung . . . . .	3
2.4	Vor und Nachteile . . . . .	4
2.4.1	fMRT . . . . .	4
2.4.2	MEG . . . . .	4
2.4.3	EEG . . . . .	4
2.5	Fazit . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Funktionsweise der Gerätetechnik von Gelenkarmrobotern</b>	<b>6</b>
3.1	Einführung . . . . .	6
3.2	Kinematik . . . . .	8
3.3	Aktorik . . . . .	10
3.4	Sensorik . . . . .	10
3.5	Fazit . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Anwendungsmöglichkeiten für BCIs in nicht-medizinischen Bereichen</b>	<b>12</b>
4.1	Einleitung . . . . .	12
4.2	Datengewinnung . . . . .	12
4.2.1	Entscheidungshilfe . . . . .	12
4.2.1.1	Neuromarketing . . . . .	13
4.2.1.2	Qualitätssicherung . . . . .	13
4.2.2	Benutzerstatus . . . . .	13
4.2.2.1	Pädagogisch Anwendungen . . . . .	13
4.2.2.2	Arbeitswelt . . . . .	14
4.2.2.3	Unterhaltung . . . . .	14
4.3	Peripherie . . . . .	14
<b>5</b>	<b>Ethische Aspekte und Einstellung zu Human Enhancement und Gehirn-Computer-Schnittstellen</b>	<b>15</b>
5.1	Einleitung . . . . .	15
5.2	Der Trend Human Enhancement . . . . .	15
5.3	Ethische Aspekte zu Human Enhancement und zu Gehirn-Computer-Schnittstellen	16
5.4	Umfrage im Zuge der Semesterarbeit . . . . .	16
5.5	Zusammenfassung . . . . .	20
<b>6</b>	<b>Schluss teil</b>	<b>22</b>
	<b>Literatur</b>	<b>23</b>
	<b>Anlagenverzeichnis</b>	<b>25</b>

## Abbildungsverzeichnis

1	Knickarmrobotersteuerung durch Kopfbewegungen . . . . .	6
2	Einteilung von Handhabungsgeräten . . . . .	8
3	Translation (a) und Rotation (b) . . . . .	9
4	KR AGILUS sixx . . . . .	9
5	Diagramm zu den Antworten der Frage: „Wie wichtig ist es Ihnen, sich selbst zu verbessern und zu optimieren?“ . . . . .	17
6	Diagramm zu den Antworten der Frage: „Würden Sie für therapeutische Zwecke eine invasive Gehirn-Computer-Schnittstelle wählen ...?“ . . . . .	18
7	Diagramm zu den Antworten der Frage: „Würden Sie für nicht-therapeutische Zwecke eine invasive Gehirn-Computer-Schnittstelle wählen ...?“ . . . . .	19
8	Akzeptanz einer invasiven BCI für nicht-therapeutische Zwecke nach Altersgruppe . . . . .	19
9	Akzeptanz einer invasiven BCI für nicht-therapeutische Zwecke nach Technikvorerfahrung . . . . .	20

# 1 Einleitung

Sind wir auf dem Weg zum Cyborg und werden in Zukunft mit unseren Gedanken Exoskelette, Autos und Haushaltsgeräte steuern oder Videospiele ohne Controller „zocken“? Die Semesterarbeit, erarbeitet in einer Gruppe, befasst sich mit der technischen Voraussetzung dafür: Gehirn-Computer-Schnittstelle oder engl. als Brain-Computer-Interface, abgekürzt BCI, bezeichnet. Diese wird an der Großhirnrinde angebracht und nimmt mittels Elektroden die Gehirnwellen auf.

Ziel der Arbeit ist es, die Funktionsweise von BCIs sowie damit verbundenen Roboterarmen zu erläutern, zukünftige Anwendungen zu schildern und auf ethische Aspekte der Verwendung einzugehen. Im ersten Teil wird erklärt, wie der technische Aufbau einer BCI und die konkrete Funktionsweise der Schnittstelle ist, sowie die Implantierung am Menschen durchgeführt wird. Dazu wurde das Onlinearchiv PMC genutzt um einen Überblick auf Neuroimplantate zu geben.

Darauf folgend soll die Gerätetechnik von Gelenkarmrobotern beschrieben werden. Guittet u. a. beschreiben in ihrer Fallstudie „The Spartacus telethesis: manipulator control studies“ aus dem Jahre 1979, dass diese Art von Roboter u.a. als Teleoperator für Querschnittsgelähmte genutzt werden kann und auch heute finden sich viele Artikel bei denen z.B. BCI mit Gelenkarmrobotern kombiniert werden. Da sich neuronale Verfahren zur Bewegungssteuerung und -regelung in diesem Bereich tendenziell noch in der Forschung befinden und Quellen nur schwer zugänglich sind, werden die Themen Steuerung und Programmierung im Rahmen der Belegarbeit nicht weiter behandelt.

Anschließend wird auf andere Anwendungsgebiete der BCIs eingegangen, darunter die Verwendung für Bereiche außerhalb der Medizin und für die Menschen im Allgemeinen und in welchen Bereichen bereits aktiv geforscht wird. Im letzten Kapitel werden die ethischen Aspekte und die Akzeptanz der Verwendung von BCIs untersucht. Dazu wird zunächst auf das Thema Human Enhancement als Oberbegriff zur Selbstoptimierung, für therapeutische und nicht therapeutische Zwecke, eingegangen beziehungsweise auf einen Artikel von O. Bendel in „TATuP – Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis“. Zur Betrachtung der ethischen Aspekte von Gehirn-Computer-Schnittstellen wird ein Beitrag von J. Clausen für die Zeitschrift „IRIE - International Review of Information Ethics“ herangezogen. Um herauszufinden, wie aktuell die Einstellung zu Human Enhancement und zur Nutzung einer Gehirn-Computer-Schnittstelle ist, wurde eine Umfrage erstellt und durchgeführt. Abschließend werden die Ergebnisse der Umfrage vorgestellt und analysiert.

## **2 Die Funktion der Sensorik eines Brain-Computer-Interfaces**

Das Thema dieser Arbeit ist der Aufbau und die Funktion der Sensorik, welche in Brain-Computer-Interfaces, zur Nutzung von Neuroprothesen, angewandt wird. Dazu wird die invasive von den non-invasiven Methoden unterschieden, einerseits in der Präzision, als auch in der praktischen Handhabung. Ziel dieser Arbeit ist es, verschiedene Möglichkeiten der Erfassung von Gehirnaktivitäten zu beschreiben. Dabei werden die Vor- und Nachteile von non-invasiven Methoden aufgezeigt und erläutert warum die invasive Methode, trotz hoher Gesundheitsrisiken wie Infektionen oder Hirnschäden, eine höhere Nutzungsfrequenz im Bezug auf Neuroprothesen hat. Es wird wie folgt vorgegangen. Zunächst wird der grobe Aufbau der Neuroprothesensteuerung erklärt. Daraufhin wird die Funktion der Arten der Sensorik beleuchtet um ein grundlegendes Verständnis für den Vorgang der Aufzeichnung der Hirnaktivität zu erhalten. Abschließend werden Vor- und Nachteile verglichen.

### **2.1 Aufbau des Brain-Computer-Interface**

Das Brain-Computer-Interface (deutsch, Gehirn-Computer-Schnittstelle) ist eine spezielle Mensch-Maschine-Schnittstelle die es ermöglicht mittels des Nervensystems im Gehirn, eine Neuroprothese zu steuern. Das geschieht wie folgt: Zunächst muss der Mensch sich vorstellen die Prothese zu bewegen, um eine Reaktion im Gehirn auszulösen. Diese Reaktion wird nun von einem Sensor, invasiv oder non-invasiv, aufgezeichnet. Diese Signale werden nun per Kabel an die Schnittstelle (über einen Analog-Digital-Konverter) geleitet und analysiert. Mit genügend Übung sind Mensch und Schnittstelle dazu in der Lage, klare Signale zu geben und auszuführen. Sollte die Schnittstelle das Signal verstehen, wird der Befehl zu der Neuroprothese geleitet und ausgeführt. (o. V. 2018c,a)

### **2.2 Was sind non-invasive Sensoren**

Unter non-invasive Methoden versteht man ein Messverfahren, dass Gehirnaktivitäten von Außen mittels Elektroden an einen Verstärker leitet um Spannungsschwankungen sichtbar zu machen. Im Falle des Brain-Computer-Interfaces (BCI) werden acht non-invasive Methoden genutzt. Nur die drei häufigst genutzten werden hier erklärt. (o. V. 2018b)

#### **2.2.1 Elektroenzephalogramm (EEG)**

Das Elektroenzephalogramm (EEG) ist die häufigst genutzte Methode. Es misst die elektrischen Signale ausgehend aus den Nervenzellen des Gehirns. Die Signale werden allerdings nur mit 5-100 Mikrovolt gemessen, was dazu führt dass ein Verstärker vonnöten ist. Um Störungen der Spannungen zu vermeiden wird ein Differenzverstärker mit einer Gleichtaktunterdrückung genutzt. Die gemessenen Signale werden nun digitalisiert und für eine spätere Auswertung gespeichert. (o. V. 2018d)

### **2.2.2 Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT)**

Das zweite Messverfahren ist die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT). Die funktionelle Magnetresonanztomographie wird meist genutzt um aktive Hirnareale bildlich darzustellen. Anders als bei einem EEG zum Beispiel, werden hier nicht die elektronischen Signale gemessen. Das fMRT misst erhöhte Mengen an sauerstoffhaltigem Blut. Diese Veränderungen des Sauerstoffgehalts entstehen durch den erhöhten Stoffwechsel, der bei der Nutzung der Kortexareale herbeigeführt wird. (o. V. 2018e)

### **2.2.3 Magnetenzephalographie (MEG)**

Bei der Magnetenzephalographie werden die, ähnlich wie bei dem EEG, die magnetischen Aktivität via „SQUIDS“ gemessen. SQUIDS (superconducting quantum interference device) sind Sensoren die für die präzise Messung von sehr schwachen Magnetfeldern genutzt werden. Ein SQUID besteht aus einem supraleitendem Ring der mit normalleitendem Material unterbrochen wird. Die Unterbrechung muss aber so dünn sein, dass die supraleitenden Elektronenpaare noch hindurch kommen. Dieser Kontakt wird als Josephson-Kontakt bezeichnet. (o. V. 2018f)

## **2.3 Was sind invasive Sensoren**

Als invasive Methode bezeichnet man das Eindringen eines Sensors in den Neokortex. Der Grund dafür ist, dass der Neokortex der motorische Teil des menschlichen Gehirns ist. Somit ist der Sensor in der Lage jeden Bewegungsbefehl direkt aus dem Hirn zu entnehmen. (o. V. 2018a,b)

### **2.3.1 Vorgang der Implantierung**

Das Einpflanzen des Sensors verläuft in 4 Schritten. Zunächst muss die Schädelplatte nahe dem Neokortex geöffnet werden. Nun wird der Chip, der mit mehreren Hundert Sensoren ausgestattet ist, mit einer Art Luftdruckpistole wenige Millimeter in die Großhirnrinde geschossen. Dabei muss besondere Vorsicht geboten werden, da bei Fehlern die Chance auf eine Hirnblutung sehr hoch ist. Nun muss der Sensor mit der Schnittstelle verbunden werden (per Kabel oder Funk). Zu guter Letzt wird die Schädelplatte wieder an den Kopf angebracht. Ein weiteres Problem ist, es kann vorkommen dass die Sensoren nachjustiert werden müssen. Das führt dazu dass die Schädeldecke weitere male geöffnet werden muss, was wiederum die Chance auf eine Infektion im Gehirn erhöht.o. V. 2018a

## **2.4 Vor und Nachteile**

### **2.4.1 fMRT**

Da die funktionelle Magnetresonanztomographie den Sauerstoffgehalt in aktiven Gehirnarealen misst, ist die fMRT auf den erhöhten Blutfluss angewiesen. Dadurch entsteht folgendes Problem. Die Messung der Reaktion im Gehirn ist zwar präzise was den Ort angeht, hat jedoch eine zeitliche Verzögerung und Ungenauheiten bei kurzen Bewegungen. Das bedeutet, man kann einfache Befehle wie „Arm hoch“ oder „Arm runter“ geben. Man verliert durch die Verzögerung allerdings das Gefühl für das kontrollieren der Prothese.

### **2.4.2 MEG**

Die Magnetenzephalographie misst, wie das Elektroenzephalogramm, die elektromagnetischen, von den Hirnzellen ausgehenden, Signale. Das hat den Vorteil, dass es nicht wie bei der funktionellen Magnetresonanztomographie zu Verzögerungen kommt. Durch den Einsatz der „SQUIDS“ kann die Schnittstelle außerdem mit relativ präzisen Befehlen versorgt werden. Der größte Nachteil ist jedoch, dass die Geräte nicht nur statisch sind, sondern auch sehr teuer. Zusätzlich benötigt man für den Dauerbetrieb ca. 400l flüssiges Helium pro Monat zur Kühlung. Das heißt, diese Geräte können für die Forschung der Neuroprothesen genutzt werden, haben jedoch keine Zukunft für die praktische Anwendung.

### **2.4.3 EEG**

Das Elektroenzephalogramm ist das meist genutzte non-invasive Messverfahren im Bezug auf Neuroprothesen. Die Gründe dafür sind, dass ein Elektroenzephalogramm vergleichsweise günstig ist. Eine Art Badekappe, einige Sensoren und Kabel sind alles was benötigt wird um eine relativ präzise Messung vorzunehmen. Dies reicht häufig aus, um simple Neuroprothesen einigermaßen gut zu steuern. So verbreitet das Elektroenzephalogramm auch ist, allein dadurch, dass es außerhalb des Gehirns angebracht wird, fehlt es dem EEG an Präzision um genug Informationen für feinmotorische Aktionen zu liefern. Für diese Aktionen wird ein, im Gehirn angebrachter Sensor benötigt. Nur so (beim derzeitigen technischen Stand) ist man dazu in der Lage mit intensivem Training eine Neuroprothese verlässlich zu kontrollieren. Die einzigen Nachteile dabei sind erstens, das Problem, dass der Sensor weiterhin eine Kabelverbindung benötigt. Die Forschung für eine Funkverbindung ist allerdings bereits im Gange. Zweitens, die medizinischen Risiken, die sich auf Hirnblutung während der Implantierung und Infektionen durch wiederholtes Öffnen der Schädeldecke beziehen.

## 2.5 Fazit

Zum Schluss lässt sich nurnoch sagen, dass die Sensorik noch zu wünschen lässt. Sowohl in der Genauigkeit der Daten, als auch in Handhabung und gesundheitlichen Risiken. Dies sollte aber nicht allzu problematisch sein. Die Menschheit hat technologisch in den letzten Jahren sehr viel erreicht. Vor 50 Jahren hätte Niemand auch nur erahnen können, dass eine Prothese mit den eigenen Gedanken gesteuert werden kann. Wer weiß schon was in den nächsten 50 Jahren technologischem Fortschritt passiert? Aber wir scheinen auf dem besten Weg zu sein, Taube wieder hören zu lassen und Gelähmten die Möglichkeit zu geben wieder zu laufen. (o. V. 2018d,e,f,a)



### 3 Funktionsweise der Gerätetechnik von Gelenkarmrobotern

#### 3.1 Einführung

Der Artikel „Neuroprothese: Gelähmter steuert Roboterarm mit bloßer Vorstellungskraft“ aus dem Jahr 2015 beschreibt, wie ein Mensch einen Industrieroboter-ähnlichen Gelenk- bzw. Knickarmroboter mittels eines Brain-Computer-Interface steuert (vgl. Merkelt 2015). Die Idee, verlorene oder gelähmte Gliedmaßen durch Roboterarme zu ersetzen, ist allerdings nicht völlig neu. Bereits im Jahr 1979 veröffentlichten Guittet u. a. eine Fallstudie, die eine vergleichbare Anwendung untersuchte. Man bezeichnete einen solchen Roboterarm auch als Telethese, allerdings wurde der Arm damals durch einfache Kopfbewegungen kontrolliert (vgl. Guittet u. a. 1979).

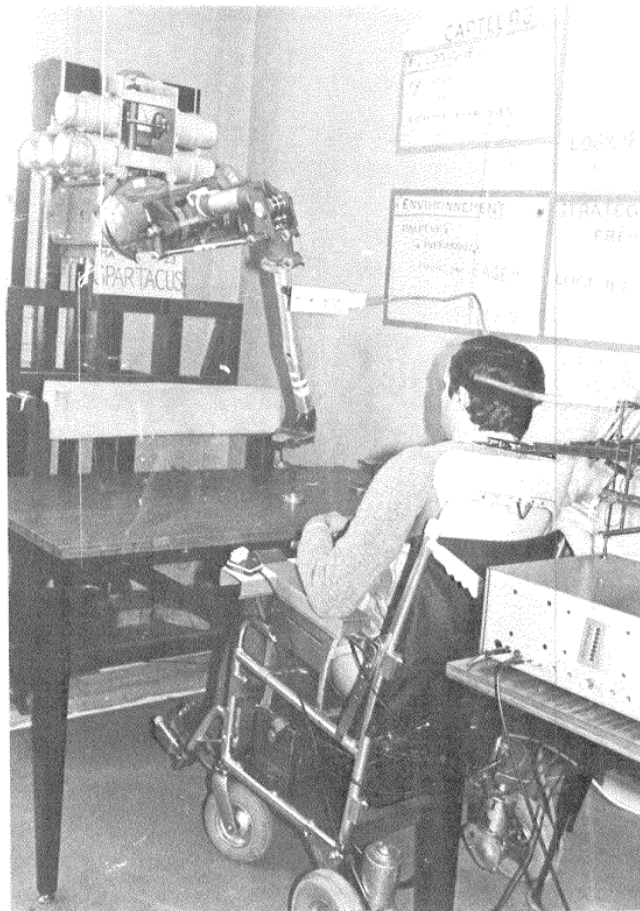


Abbildung 1: Knickarmrobotersteuerung durch Kopfbewegungen  
(Guittet u. a. 1979, S. 84)

Nachdem im ersten Kapitel der Gruppenarbeit die Funktionsweise von BCI erläutert wurde, beschäftigt sich der folgende Abschnitt mit der Gerätetechnik eines Gelenkarmoboters sowie Begriffen und Grundlagen der Robotik im Allgemeinen. Die Gerätetechnik gehört zu den Kernkomponenten in einem Robotersystem und beinhaltet technische Elemente für Kinematik, Sensorik und Aktorik. Zu den weiteren Kernkomponenten, die im Rahmen der Belegarbeit nicht weiter behandelt werden, zählen:

- Steuerung (z.B. Rechnerkopplung, Interpolation)
- Programmierung (z.B. Punkt- und Bahnsteuerung, Prozessbeschreibung)
- Prozessführung (Geometrie- und Technologiedatenverarbeitung, Steuer- und Regelstrategie)
- Endeffektor (z.B. Greifer, Werkzeuge)

(vgl. Hesse und Malisa 2016, S. 40)

Der Begriff Robotik ist laut DIN definiert als:

Robotertechnik, zu der man Entwurf und Berechnung, Herstellung, Steuerung von Robotern, Einsatz in Standard- und Problemlösungen, Erforschung von Steuerungsvorgängen bei Mensch und Maschine, Sensoren und Endeffektoren sowie deren Anwendung zählt (DIN EN ISO 8373, zitiert nach ebd., S. 39).

Roboter können nach verschiedenen Kriterien, wie Anwendungsbereich, Einsatzgebiet, Ausführung und Aufgaben, gruppiert werden (vgl. ebd., S. 25 f.). Die VDI-Richtlinie 2860 beschreibt Industrieroboter beispielsweise wie folgt:

Industrieroboter sind universell einsetzbare Bewegungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegungen hinsichtlich Bewegungsfolge und Wegen bzw. Winkeln frei programmierbar (d.h. ohne mechanischen Eingriff vorzugeben bzw. änderbar) und gegebenenfalls sensorgeführt sind. Sie sind mit Greifern, Werkzeugen oder anderen Fertigungsmitteln ausrüstbar und können Handhabe- oder andere Fertigungsaufgaben ausführen (VDI-Richtlinie 2860, zitiert nach Weber 2017, S. 16).

Roboter, insbesondere Industrieroboter, können demnach auch als Handhabungsgeräte bzw. -technik betrachtet werden. Abbildung 2 zeigt, dass Handhabungsgeräte primär in manuell gesteuerte oder programmgesteuerte Geräte eingeteilt werden können. Es gibt darüber hinaus aber auch Mischformen in der Robotik, z.B. beim Serviceroboter. Dieser ist ein Hybrid aus Industrieroboter und Manipulator, welcher Dienstleistungen für den Menschen erbringt. Serviceroboter reagieren auf menschliche Anweisungen (manuelle Steuerung) führen Teilaufgaben aber auch automatisch bzw. programmgesteuert aus. (vgl. ebd., S. 15–17)

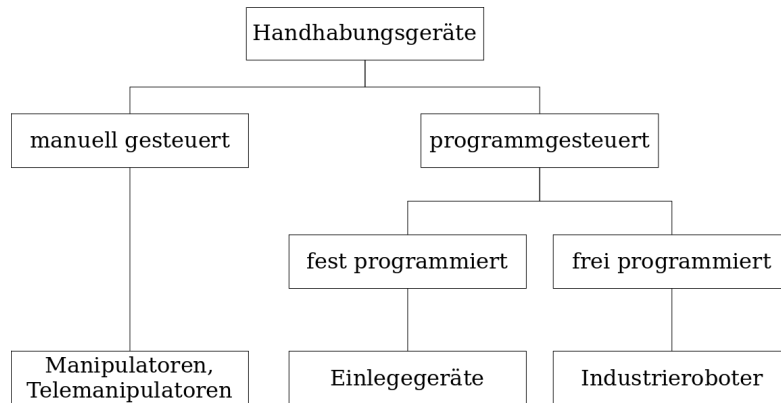


Abbildung 2: Einteilung von Handhabungsgeräten  
(Weber 2017, S. 16)

### 3.2 Kinematik

Die Anordnung der Armteile und Gelenke bestimmt die kinematische Struktur eines Roboters, hierbei unterscheidet man hauptsächlich zwischen serieller Kinematik und Parallelkinematik. Roboter die aus einer Aneinanderreihung von Armteilen bestehen, welche wiederum durch Gelenke bzw. Achsen verbunden sind, ordnet man der seriellen Kinematik zu. Das letzte Armteil in einer solchen Anordnung, kann auch als Effektor bzw. Endeffektor bezeichnet werden. Hierbei handelt es sich um das Teil des Roboters, welches in Kontakt mit der Umgebung tritt, um z.B. Objekte zu greifen. Bei der Parallelkinematik hingegen sind mehrere Schub- oder Drehgelenke mit dem Effektor verbunden und wirken direkt auf diesen. Der Gelenkarmroboter weist eine serielle Kinematik auf. Die kinematische Struktur eines Roboters bestimmt wiederum seinen Freiheits- bzw. Getriebefreiheitsgrad. (vgl. Weber 2017, S. 17–20)

Der Freiheitsgrad  $f$  beschreibt „[...] die Anzahl der möglichen unabhängigen Bewegungen (Verschiebungen, Drehungen) eines starren Körpers gegenüber einem Bezugssystem“ (ebd., S. 18). Es gibt hierbei zwei wesentliche Grundbewegungen, die Translation (Gleit- oder Verschiebewegung) und die Rotation (Drehbewegung). Bei der Translation bewegt sich der Körper theoretisch ohne sich selbst zu drehen (starr) entlang einer oder mehrerer Raumachsen (x-, y- und z-Achse). Bei der Rotation hingegen dreht sich der Körper um einen bestimmten Mittelpunkt bzw. um eine bestimmte Achse, die innerhalb oder außerhalb des Körpers liegen kann. (vgl. Schünke 2014, S. 53 f.)

Abbildung 3 stellt die Freiheitsgrade am Beispiel der Bewegungsmöglichkeiten eines Tennisballs im Raum dar.

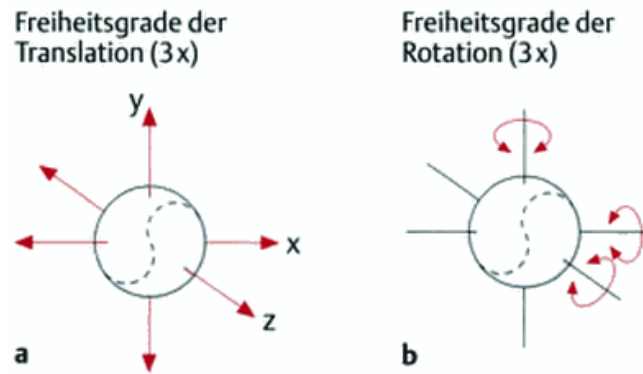


Abbildung 3: Translation (a) und Rotation (b)  
(Schünke 2014, S. 53)

Der Getriebefreiheitsgrad  $F$  gibt an, „[...] wie viele unabhängig voneinander angetriebene Achsen zu einer eindeutigen Bewegung des Roboterarms führen“ (Weber 2017, S. 18). Bei Gelenkarmrobotern mit sechs Achsen ( $F=6$ ), kann der Effektor durch geschickte Anordnung der Gelenke, den maximalen Freiheitsgrad  $f=6$  erreichen. Roboter können generell aber auch mit mehr als sechs Achsen ( $F>6$ ) konstruiert werden, dies bezeichnet man als redundante Kinematiken. Hierdurch erzielt man auf Kosten eines erhöhten Steuerungsaufwands eine Verbesserung der Feinbewegungen. (vgl. ebd.)

Abbildung 4 zeigt die Drehrichtung der Roboterachsen des Gelenkroboters KUKA KR AGILUS sixx.

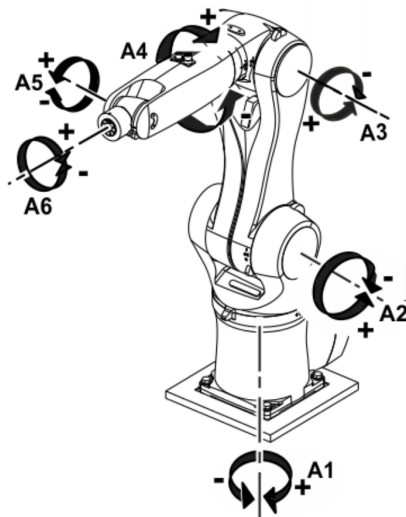


Abbildung 4: KR AGILUS sixx  
(KUKA GmbH 2018)

### 3.3 Aktorik

Gelenkmodule und Achsverbindungen werden durch die Aktorik eines Roboters angetrieben und ermöglichen somit die Bewegung des Effektors. Der Aktor hat demnach die Aufgabe eine Achse von einer Position auf eine andere zu bewegen, hierzu gibt es vier typische Betriebszustände:

- Antrieb und Beschleunigung im Rechtslauf
- Abbremsung im Rechtslauf
- Antrieb und Beschleunigung im Linkslauf
- Abbremsung im Linkslauf

Zu den wesentlichen Gruppen in der Aktorik gehören pneumatische oder hydraulische Aktoren (z.B. doppeltwirkende Zylinder oder Druckluftmotoren) sowie elektrische Aktoren (z.B. bürstenbehaftete und bürstenlose Gleichstrommaschinen). Jede Gruppe hat ihre individuellen Vor- und Nachteile, weshalb in einem Robotersystem, und so z.B. auch bei einem Gelenkarmroboter, verschiedene Kombinationen von Aktoren zum Einsatz kommen können. Generell lässt sich festhalten, dass pneumatische und hydraulische Aktoren die höchsten Kräfte erzielen und daher sehr hohe Geschwindigkeiten erreichen können, allerdings erreichen sie nicht die hohe Positioniergenauigkeit von elektrischen Aktoren. (vgl. Hesse und Malisa 2016, S. 63–79)

Neben dem eigentlichen Antrieb bzw. Motor sind auch Getriebe Teil der Aktorik in einem Roboter. Getriebe sind notwendig, da die Bewegungen der Aktoren nicht immer direkt den Anforderungen des mechatronischen Systems entsprechen. Sie dienen allgemein der Übertragung und Umformung von Bewegungen sowie von Kräften, mittels der Änderung von Drehmomenten, -richtungen oder der Umsetzung einer Drehbewegung in eine Linearbewegung. Auch hier gibt es viele verschiedene Bauformen, deren Anwendung je nach Anforderung variiert, z.B. Kugelumlaufspindeln, Planetengetriebe, Kegelradgetriebe oder Zahnriemengetriebe. (vgl. MacCloy und Harris 1989, S. 121 f.; Hesse und Malisa 2016, S. 89–96)

### 3.4 Sensorik

Die Sensorik in einem Robotersystem ermittelt inner- und außerhalb des Systems vorliegende Informationen. Dies ist erforderlich, um die komplexen Bewegungsabläufe in einer nur teilweise bestimmbar Umwelt auszuführen. Die Robotik stützt sich dabei häufig auf Erkenntnisse aus der Bionik<sup>1</sup> und man unterscheidet primär zwischen internen (interozeptiven bzw. propriozeptiven) und externen (exterozeptiven) Sensoren. Interozeptive Sensoren messen interne Zustände wie Motorgeschwindigkeit, Ladezustand oder Greifkraft und exterozeptive Sensoren ermitteln Informationen aus der Umgebung, z.B. zur Entfernungsmessung von Objekten. Nutzt ein Sensor dabei nur die Energie bzw. Signale aus der Umgebung, bezeichnet man ihn auch als passiven Sensor (z.B. Kameras oder Kontaktsensoren). Aktive Sensoren hingegen senden Energie aus und messen die Reaktion der Umgebung darauf (z.B. Laser- & Ultraschallscanner sowie

---

<sup>1</sup> Die Bionik erforscht, wie biologische Phänomene auf technische Systeme übertragen werden können. (vgl. Feess 2018)

Infrarotsensoren). (vgl. Hertzberg, Lingemann und Nüchter 2012, S. 23 f.; Kruse 2013, S. 73; Hesse und Malisa 2016, S. 97)

Zu den wesentlichen Aufgaben der Sensorik zählen: „

- Bewegungsüberwachung (z.B. Abgleich- und Justiervorgänge)
- Bewegungssteuerung (z.B. Konturverfolgung)
- Kraftsteuerung (z.B. Einpressen, Zusammenstecken)
- Sensorgesteuertes Erreichen einer Zielposition (unbekannte Position und Orientierung eines Teils)
- Programmablaufkontrolle (z.B. selektive Montage)
- Überwachung von Endeffektoren (z.B. Greifkraft, Rutschsensoren)

“ (Hesse und Malisa 2016, S. 97)

Zu den wichtigsten Sensoren gehören Positionssensoren, Beschleunigungssensoren und Sensoren zur Kräftemessung. Positionssensoren ermitteln die Position bewegter Komponenten wie dem Endeffektor und lassen sich z.B. durch inkrementale Weg- und Winkelgeber, Resolver oder elektrische Kompass realisieren. Zur optischen Positionsmessung gibt es neben Kameras eine Vielzahl von Lasersensoren mit unterschiedlichen Funktionsweisen wie Laserlaufzeitmessung, Lasermodulation, -triangulation oder -interferometrie. Beschleunigungssensoren messen Beschleunigungen und Rotationsraten, um die aktuelle Position und Orientierung eines betrachteten Körpers ausgehend von einer bestimmten Startposition zu berechnen. Hier kommen z.B. elektrische oder optische Gyroskope zum Einsatz. Zur Kräftemessung werden in der modernen Robotik Kraft-Moment-Sensoren eingesetzt, welche in der Regel alle drei Raumkräfte und -momente messen. Die Messung erfolgt dabei über piezoelektrische Elemente oder Dehnmessstreifen. (vgl. ebd., S. 98–117)

### 3.5 Fazit

Roboter sind höchst komplexe mechatronische Systeme, die primär aufgrund ihrer industriellen Nutzung weiterentwickelt wurden. Es hat sich gezeigt, dass der Effektor eines Gelenkarmroboters im Vergleich zu anderen kinematischen Strukturen den höchsten Freiheitsgrad erreichen kann. Daraus begründet sich auch der geeignete Einsatz als Telethese. Allerdings konnten im Rahmen der Belegarbeit viele wichtige Fragen, wie beispielsweise zur Steuerung, Prozessführung oder den Endeffektoren, nicht geklärt werden. In Anbetracht der Komplexität von Robotersystemen stellt sich auch die Frage nach sicherheitstechnischen Anforderungen, insbesondere wenn solche Systeme als Prothesen genutzt werden. Während bei stationären Industrierobotern z.B. umzäunte Sperrbereiche eingerichtet werden können, bestünde im Fall von Fehlfunktionen bei einem mobilen Roboterarm die Gefahr Lebewesen oder Objekte im unmittelbaren Umfeld oder den Anwender selbst zu verletzen.

## 4 Anwendungsmöglichkeiten für BCIs in nicht-medizinischen Bereichen

### 4.1 Einleitung

BCIs werden mit großem Fokus auf die Medizin/Neurowissenschaften entwickelt <sup>2</sup>. Bereits heute sind rudimentäre Prothesen mit intrusiven Methoden möglich sowie das Auslesen/Übertragen von Gehirnwellen mit dem weniger intrusiven Berlin BCI. Dabei werden mit verschiedensten Methoden unterschiedliche Gehirnaktivitäten ausgelesen und für die Weiterverarbeitung am Computern vorbereitet.

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf einem Überblick der Anwendungsmöglichkeit außerhalb der Medizin und Neurowissenschaft. Dabei geht es in dieser Arbeit um die folgenden zwei Gebiete, Datengewinnung, Peripherie. Diese Arbeit soll nur eine Übersicht der derzeitigen Arbeiten an den genannten Gebieten geben, deshalb wird kein moralisches Urteil über die vorgestellten Methoden/Einsatzmöglichkeiten ein Teil dieser Arbeit sein. Zu jedem Bereich wird im jeweiligen Bereiche vorstellbare, jedoch nicht im Umfang der Recherche gefundenen, Anwendungen angegeben.

### 4.2 Datengewinnung

Unter allgemeinen Datenverwendung ist im Verlauf der Arbeit alle Anwendungsgebiete gesammelt, bei der die Daten des BCIs ausgewertet werden um Entscheidungen zu fällen oder einen Datensatz zu erstellen.

#### 4.2.1 Entscheidungshilfe

In dem Artikel "Implicit relevance feedback from electroencephalography and eye tracking in image search"(Golenia u. a. 2018) der sich mit der Realisation von gedankenunterstütztem Navigieren über Suchergebnisse von Suchmaschinen für Bilder beschäftigt, spricht man von der Möglichkeit mithilfe des Gehirns die subjektive Relevanz der einzelnen Ergebnisse herauszufiltern. Ein weiterer Teil der Arbeit ist die Untersuchung ob Eye Tracking im Verbund mit dem BCI ein besseres Ergebnis erzielt als jeweils für sich. Hierbei wird mithilfe eines BCIs bei einer Suche nach einem Begriff, der sich in zwei Kategorien einteilen lässt, die Ergebnisse der gesuchten Kategorie anhand der Signale des BCIs klar von anderen Ergebnissen abgehoben. Die Präzision des BCIs alleine lag bei  $76.9\% \pm 8.7\%$  des EyeTracker bei  $81.0\% \pm 6.7\%$  und kombiniert bei  $85.9\% \pm 5.8\%$ (ebd., S. 3.1.). Damit wurde gezeigt dass die BCI Technologie wirksamerweise komplementär mit einem Eyetracker eingesetzt werden kann um Entscheidungen zu treffen.

---

<sup>2</sup>Aussage wurde allein über die Anzahl an Artikel, denen ein starker Fokus im med./neur. Bereich anhand des Titels anzusehen ist, die die BCI unter den Publikationen auflistet. Alle Publikationen die für diese Arbeit verwendet wurden sind unter <http://bbci.de/publications.html> aufgelistet.

#### **4.2.1.1 Neuromarketing**

Die Idee hinter Neuromarketing ist das durch zbs. BCIs von Konsumenten noch weitere Informationen sammeln lässt. Neuromarketing lässt sich deshalb definieren als mit Neurologischen Messmethoden auf die Produktakzeptanz des Endverbrauchers zu schließen, jedoch ist die Wissenschaft sich noch uneinig was man alles unter den Begriff des Neuromarketing zusammenfasst(Hauser o.D.; Jan B.F. Van Erp 2012). Da die Verwendung von BCIs jedoch die Kosten von Marketingmaßnahmen erhöhen und ein Beweis der Effektivität solcher Technologien im Marketing nicht bewiesen sind, wird davon ausgegangen das diese nicht in näherer Zukunft angewandt werden, da noch keine genauere Forschung über das Thema zur Verfügung stand.

#### **4.2.1.2 Qualitätssicherung**

Die BCIs erlauben uns in der Qualitätssicherung Eigenschaften zu testen ohne einen Probanden zu befragen, so wird von Arndt behauptet das die Daten des BCIs unterschiedlich bei dem selben Bild in unterschiedlicher Qualität ist(Arndt u. a. 2011). Diese Eigenschaft ließe sich dann auf andere Arten der Qualitätssicherung Anwenden um neue Kriterien der Qualitätssicherung zu erstellen, und neben bereits etablierten Methoden komplementär zum Einsatz kommen.

#### **4.2.2 Benutzerstatus**

Wenn man von User State spricht so spricht man von dem derzeitigen Status des grade untersuchten Probanden. Anhand von User States soll man in Zukunft in vielen Bereichen den derzeitige Status mithilfe von BCIs messen können um anhand der Werte bestimmte Entscheidungen zu treffen. Als Beispiel wird die „Schläfrigkeit“ eines Autofahrers genannt bei dem die BCI messwerte komplementär mit einem Pulsmesser benutzt werden könnte. Somit kann davon ausgegangen werden das in vielen Gebieten wo man durch Messen von Körperaktivität auf den Status des Probanden schließen will, ein BCI sich neben den Standard Messmethoden einsetzen lässt. Nennenswert wäre ein Lügendetektor, oder aber auch eine neue Form des Intelligenztestes der auf die Aktivität des Hirns während der Beantwortung eingeht anstatt nur die Ergebnisse auszuwerten.(Jan B.F. Van Erp 2012, vgl 3.2)

##### **4.2.2.1 Pädagogisch Anwendungen**

Die Lehrnerfolge bestimmter Lehrmethoden könnten bereits während des Lehrens gemessen werden und auch welche Regionen des Gehirns bei einer Methode besonders gefördert wird. Dabei wird in (ebd.) sowohl vom ganzen Bereich akzeptierter Lerhmethoden als auch von individuelle Lehrziele gesprochen. Im schulischem Bereich könnten auch in Klausursituationen gemessen werden ob gelerntes Angewandt oder auswendig Niedergeschrieben wird, um auf die Effektivität des Unterrichtes und die Vorbereitung der Schüler zu schließen.



#### 4.2.2.2 Arbeitswelt

Die Einsatzmöglichkeit der BCIs in der Arbeitswelt wurde bereits behandelt (Jan B.F. Van Erp 2012; Kohlmorgen J 2007). Hier kann mentale Belastung präzisiert und die Arbeitslast ggf. verringert werden. In einem durchgeführten Experiment (Kohlmorgen J 2007, S. 24.3) wurden Autofahrende zwei weiteren Aufgaben gegeben wobei anhand von Daten auf die mentale Belastung des Subjekts zu schließen. Dabei ist die zweite Aufgabe leichter als die dritte und alle Aufgaben sollen simultan bearbeitet werden. Falls eine erhöhte mentale Belastung durch die BCIs festgestellt wird, pausiert die zweite Aufgabe um mehr Ressourcen für die dritte Aufgabe freizugeben und somit die gesamte Leistung zu steigern.

#### 4.2.2.3 Unterhaltung

Die Idee von Biofeedback wurden bereits in Projekten realisiert<sup>3</sup>, jedoch nur mit Pulsmessern um den Status des Benutzers auszulesen. Hier ließen sich BCIs hinzufügen um ein präziseres Benutzerbild zu zeichnen.

### 4.3 Peripherie

Neben der Steuerung von Prothesen im medizinischen Bereich lassen sich BCIs auch in anderen Bereichen dafür verwenden. In dem Artikel 'Brain-Computer Interfaces, Virtual Reality, and Videogames' (Lecuyer u. a. 2008) wird ein großer Teil der Anwendungsgebiete mit BCIs für Videospiele und den sog. 'serious games' abgebildet. BCIs können in virtuellen Einrichtungen neben bekannten Steuerungsmöglichkeiten benutzt werden um bspw. einem Rollstuhlfahrer in einem virtuellen Trainingsgelände die Steuerung des Rollstuhls mithilfe eines BCIs zu erlernen ohne für Personen zur Gefahr zu werden (ebd., S.3 ff.).

Es gibt auch erste BCI Spiele die den Verbrauchermarkt erreicht haben, die es dem Verbraucher ermöglicht kleinere Geräte mithilfe der BCIs zu steuern, nennenswert ist ein Brettspiel welches mithilfe von Sensorik spielen lässt<sup>4</sup> und ein gedankengesteuerter Helikopter<sup>5</sup>.

---

<sup>3</sup><http://www.flyingmollusk.com/nevermind/>

<sup>4</sup>Mattel Mindflex Duel

<sup>5</sup>Puzzlebox Orbit

## **5 Ethische Aspekte und Einstellung zu Human Enhancement und Gehirn-Computer-Schnittstellen**

### **5.1 Einleitung**

In der Dokumentation „Du sollst dich optimieren“ stellen sich zu Beginn Menschen vor, die Methoden zur Selbstoptimierung verinnerlicht haben. Sie sind der Meinung: „Immer besser sein, immer besser sein als gestern.“ oder „Das Leben verlangt von dir jeden Tag aufs Neue, dich zu verbessern“. (Dettmer-Finke 2017, Min. 0–1)

Damit soll verdeutlicht werden, wie stark dieser Trend unserer Zeit ist und Selbstoptimierungstechnologien boomen. (vgl. defi-filmproduktion 2018) Die Dokumentation hinterfragt aber auch: „Muss ich da mitmachen? Will ich das überhaupt?“ (Dettmer-Finke 2017, Min. 1–2) Die Frage nach dem „Wollen“ und „Müssen“ soll der abschließende Teil der Gruppenarbeit im Bezug auf den Einsatz von Gehirn-Computer-Schnittstellen als mögliche Technologie zur Selbstoptimierung oder als therapeutisches Mittel bei betroffenen Patienten untersuchen. Dazu werden die ethischen Aspekte von Human Enhancement, frei übersetzt als Selbstoptimierung, und der Verwendung der konkreten Technologie BCI betrachtet. Im Rahmen der Semesterarbeit wurde eine Umfrage erstellt, durchgeführt und analysiert. Sie soll klären: Wie ist die Einstellung zu Human Enhancement zum Zeitpunkt der Erstellung der Semesterarbeit, insbesondere die Akzeptanz von BCIs, und welche Risiken werden beim Einsatz von BCIs vermutet?

### **5.2 Der Trend Human Enhancement**

Human Enhancement bezeichnet allgemein, dass sich Menschen verbessern und optimieren, also ihre Möglichkeiten erweitern und ihre Leistungsfähigkeit steigern. Es können gesunde, kranke oder behinderte Menschen sein, die sich durch chemische, biologische und technische Mittel optimieren. (vgl. Bendel 2018) Ein Bereich des Human Enhancement konzentriert sich auf die Verbindung des Menschen mit Technologien zur körperlichen oder geistigen Erweiterung, meist zu nichttherapeutischen Zwecken. In diesem Zusammenhang wird von der Weiterentwicklung des Menschen zum Cyborg gesprochen, wobei eine Verschmelzung von Mensch und Maschine durchgeführt wird um Körper und Geist zu perfektionieren und menschliche Schwächen auszugleichen. (vgl. Bendel 2015, S. 75) Die entsprechende philosophische Denkrichtung ist der Transhumanismus. Sie setzt als Schwerpunkt die Anwendung neuer und künftiger Technologien, welche mit dem menschlichen Körper zu einer Einheit werden. Zu diesen Technologien gehören u. a. Gehirn-Computer-Schnittstellen. (vgl. Edlmeier 2018) Ausgehend vom therapeutischen Einsatz sind Gehirn-Computer-Schnittstellen für kranke und behinderte Patienten eine große Hoffnung auf mehr Selbstbestimmung und Unabhängigkeit.

### **5.3 Ethische Aspekte zu Human Enhancement und zu Gehirn-Computer-Schnittstellen**

Für Human Enhancement können mehrere Bereichsethiken zuständig sein. Das ist die Informationsethik, die zum Gegenstand die Moral der Informationsgesellschaft hat. Sie untersucht, wie wir uns bei dem Anbieten und Verwenden von Informations- und Kommunikationstechnik sowie digitalen Medien moralisch verhalten. (Bendel 2015, S. 77–78) Zum anderen ist es die Technikethik. Sie befasst sich mit moralischen Fragen zum Einsatz von Technik- und Technologie, beispielsweise die Technik von Fahrzeugen oder Kernenergie. (ebd., S. 78)

Bendel führt drei Aspekte zu Human Enhancement aus, die aus Sicht der Informations- und Technikethik untersucht werden sollten um Lösungsansätze für kritische Entwicklungen aufzuzeigen: Identitäts- und Wirklichkeitsverlust, Informationsgerechtigkeit und Persönliche und informationelle Autonomie. (ebd., S. 78–80) Bei der Erforschung, Entwicklung und dem Einsatz von BCIs ergeben sich spezifische ethische Fragen. Deren Reflektion könnte gewährleisten, dass BCIs in den verschiedenen Stadien „eine ethisch vertretbare und gesellschaftlich erwünschte Richtung nehmen kann“ (Clausen 2006, S. 26 f.).

Durch den invasiven Eingriff bei einer BCI gibt es medizinische Risiken. Beim Eingriff ins Gehirn könnte es zu Komplikationen während der Operation oder zu Infektionen kommen. Zudem stellt sich die Frage der Langzeitverträglichkeit der Elektroden. (ebd., S. 28) Bewusstseinsfähigkeit, Persönlichkeit und Identität hängen sehr eng mit dem Gehirn zusammen. Daher ist zu klären ob und wie sich das BCI am Kortex auf die Identität des Verwenders auswirkt. (ebd.) Kommen durch falsche Interpretation der abgeleiteten Signale der BCI Dritte zu Schaden, z. B. bei der Steuerung der Prothese nach rechts anstatt nach links, ergibt sich die Frage der Verantwortlichkeit. Hersteller und Programmierer werden den Decodierungsalgorithmus so zuverlässig wie möglich gestalten. Dennoch bleibt eine gewisse Unsicherheit, die bei keinem technischen Gerät vollkommen ausgeschlossen werden kann. Ist es deshalb notwendig eine Versicherungspflicht bei bestimmten Verwendungen von BCIs einzuführen, um gravierende Folgen bei möglichen Fehlfunktionen abzudecken? (ebd., S. 29) Die decodierten Signale aus der BCI müssen zur Steuerung und Kontrolle an das Endgerät übertragen werden. Die kabellose Übertragung ist komfortabel und wenig infektionsanfällig. Hier lässt sich leicht ein Missbrauchszenario ausmalen, bei dem eine Prothese fremdgesteuert wird, aber die Handlung dem Träger zugeschrieben wird. (ebd., S. 30)

### **5.4 Umfrage im Zuge der Semesterarbeit**

Um herauszufinden, wie aktuell die Einstellung zu Human Enhancement und zur Nutzung einer Gehirn-Computer-Schnittstellen ist, wurde eine Umfrage entwickelt. Der Fragebogen ist in drei Abschnitte geteilt. Der erste Teil beschäftigt sich mit Human Enhancement als Oberbegriff und soll herausfinden, welchen Stellenwert Selbstoptimierung für die Befragten hat. Gefragt wurde auch, welche Bereiche es betrifft, ob technische Hilfsmittel verwendet werden und wie oft. Der zweite Abschnitt befasst sich mit invasiven BCIs. Um Erkenntnisse zur Akzeptanz zu

gewinnen, wurde hier nach der Wahrscheinlichkeit der Verwendung einer invasiven BCI gefragt, einerseits für therapeutische Zwecke und andererseits für nicht-therapeutische Anwendungen. Des Weiteren sollten die Befragten ausgewählte mögliche Risiken bei der Verwendung bewerten. Der dritter und abschließende Teil enthält allgemeine Fragen zum Geschlecht, zur Altersgruppe und zur Selbsteinschätzung der Technikvorerfahrung. Es vermutet, dass es sich beim befragten Personenkreisen zum großen Teil um Studenten der angewandten Informatik an der HTW Berlin, Personen, die in der Lehre an der HTW Berlin für den Studiengang angewandte Informatik tätig sind, sowie Familie, Freunde und Bekannte der Verfasserin.

Der Fragebogen wurde digital gestreut, so dass die Befragten während dem Antworten keine Möglichkeit hatten nachzufragen. An der Umfrage haben insgesamt 64 Personen teilgenommen, wobei es einen Abbruch gab. Für die Analyse der Antworten liegt der Fokus auf der Einstellung zu Human Enhancement und dem Einsatz einer invasiven BCI.

### Wie wichtig ist es Ihnen, sich selbst zu verbessern und zu optimieren?

64 Antworten

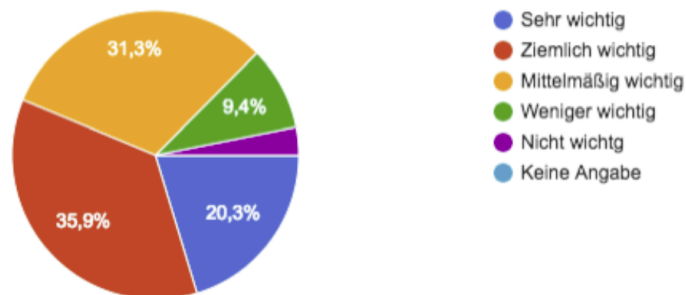


Abbildung 5: Diagramm zu den Antworten der Frage: „Wie wichtig ist es Ihnen, sich selbst zu verbessern und zu optimieren?“

Selbstoptimierung ist für 36 von 64 (56,3%) sehr oder ziemlich wichtig, 20 mittelmäßig wichtig und für 8 (12,5%) weniger oder nicht wichtig, wobei sich keine Auffälligkeiten für die verschiedenen Geschlechter, Altersgruppen oder Technikvorerfahrungen gibt.

Mit 39 Nennungen ist Bildung der stärkste Bereich, in dem die Befragten sich verbessern, gefolgt von Sport (35) und Ernährung (29). 24 Personen geben an sich beim Zeit- und Selbstmanagement, 21 Personen beim Sprache(n) lernen und 5 in kleinem Bereich zu optimieren.

Bei der Verwendung technischer Hilfsmittel liegt das Smartphone mit 39 Nennungen vorne, danach folgen Wearables (10) und die Sprachsteuerung (4). Aus 8 Freitextantworten ergeben sich folgende Hilfsmittel: PC bzw. Computer, Bücher, Fachliteratur, Meditation, Medikamente, Excel, Websites oder Empfehlungen. 18 Befragte geben an keine Hilfsmittel zu nutzen.

Die Auswertung zur Häufigkeit der Hilfsmittelnutzung zeigt, dass drei Antwortmöglichkeiten dominieren: mehrmals am Tag mit 14 (21,9%), mehrmals in einer Woche mit 17 (26,6%) und gar nicht mit 16 (25%).

### Würden Sie für therapeutische Zwecke eine invasive Gehirn-Computer-Schnittstelle wählen...einer Armprothese bei einer Lähmung?

63 Antworten

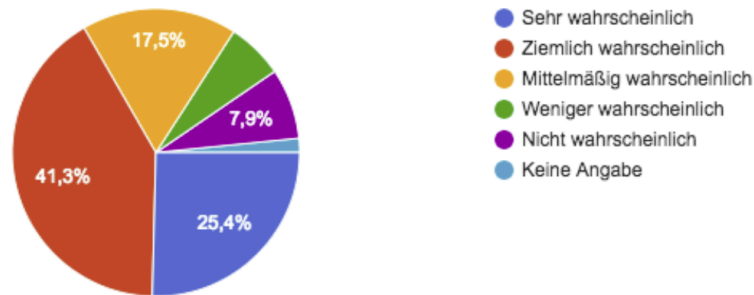


Abbildung 6: Diagramm zu den Antworten der Frage: „Würden Sie für therapeutische Zwecke eine invasive Gehirn-Computer-Schnittstelle wählen ...?“

Für therapeutische Zwecke würden 42 von 63 (66,7%) sehr oder ziemlich wahrscheinlich, eine invasive BCI wählen. Damit ist der Prozentsatz hier höher als bei der Frage zur Selbstoptimierung, vermutlich durch den Ausgangspunkt einer Krankheit oder Behinderung. 11 antworten mit mittelmäßig wahrscheinlich, 9 (14,3%) mit weniger oder nicht wichtig. Eine leichte Abweichung gibt es bei den Geschlechtern: bei Männer sind die Angaben sehr oder ziemlich wahrscheinlich etwas höher, 27 von 38 (71,1%), als bei den Frauen, 13 von 20 (65%). Für die Altersgruppen und Technikvorerfahrungen sind keine Unterschiede zu erkennen.

## Würden Sie für nicht-therapeutische Zwecke eine invasive Gehirn-Computer-Schnittstelle wähle...rmgeber bei Ablenkung und Ermüdung?

63 Antworten

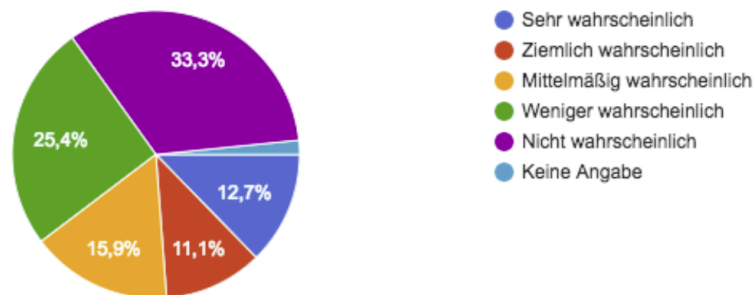


Abbildung 7: Diagramm zu den Antworten der Frage: „Würden Sie für nicht-therapeutische Zwecke eine invasive Gehirn-Computer-Schnittstelle wählen ...?“

Bei den Antworten zur Verwendung einer invasiven BCI für nicht-therapeutische Zwecke zeigt sich ein fast umgekehrtes Bild, 15 von 63 (23,8%) nennen sehr oder ziemlich wahrscheinlich, 10 mittelmäßig und 37 (58,7%) weniger oder nicht wahrscheinlich. Diese ausgeprägte Zurückhaltung variiert stark innerhalb der Geschlechter, Altersgruppen und Technikvorerfahrungen. Männer sind offener für die nicht-therapeutische Verwendung, 12 von 38 (31,6%) antworten sehr oder ziemlich wahrscheinlich. Bei Frauen schneit es große Skepsis beim Einsatz bei einem gesunden Menschen zu geben: 14 von 20 (70%) sagen weniger oder nicht wahrscheinlich.

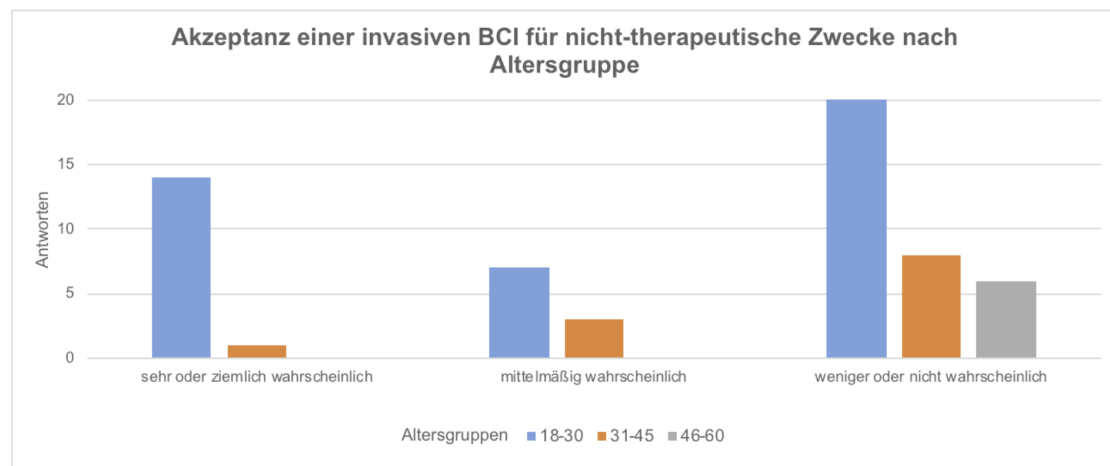


Abbildung 8: Akzeptanz einer invasiven BCI für nicht-therapeutische Zwecke nach Altersgruppe

Für die Altersgruppen lässt sich sagen, dass mit steigendem Alter die Akzeptanz deutlich sinkt. In der Altersgruppe 46-60 ist die Basis mit 6 Antworten gering.

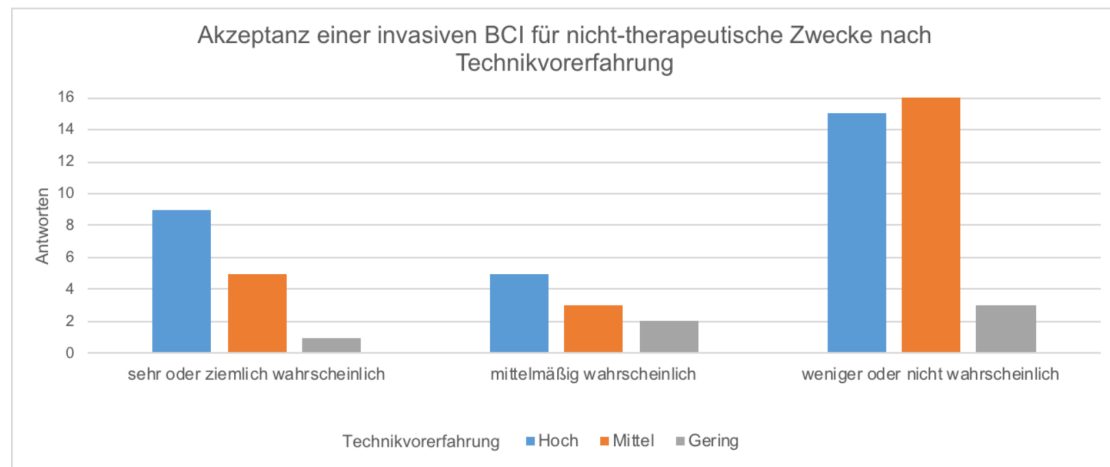


Abbildung 9: Akzeptanz einer invasiven BCI für nicht-therapeutische Zwecke nach Technikvorerfahrung

Ebenso korreliert die Akzeptanz mit der Technikvorerfahrung. Für die Technikvorerfahrung „Gering“ ist die Basis mit 6 Antworten klein. Die etwas komplexere Frage zur Risikobewertung haben 62 Personen beantwortet. Die Risiken werden absteigend nach den Nennungen für sehr hohes oder hohes Risiko aufgeführt. Als stärkstes Risiko wird der Missbrauch von im Gehirn erhobenen Daten angesehen, 43 (69,4%) geben dafür an. Die Klärung der Verantwortung bei Schädigung Dritter und das Risiko von Ungerechtigkeit sind mit 38 bzw. 37 Nennungen (61,3% bzw. 60,0%) ähnlich bewertet. Bei den medizinischen Risiken sind es 32 Antworten (51,6%), allerdings ist der Wert für das mittelmäßige Risiko mit 21 hier hoch. Danach folgt das Risiko zur Ausgrenzung von Individuen und Gruppen, hier sind es 29 (46,8%). Am wenigsten bedrohlich werden die unbefugte Steuerung von Außen und die Veränderung der eigenen Persönlichkeit wahrgenommen, 23 bzw. 21 gaben dies an (37,0% bzw. 33,9%). Bei beiden ist die Nennung für das mittelmäßige Risiko mit 24 bzw. 22 stark ausgeprägt.

## 5.5 Zusammenfassung

Zu Human Enhancement und der Verwendung von BCIs gibt es eine Vielzahl von ethischen Aspekten. Deren Reflektion kann helfen, das BCIs eine breite Akzeptanz in der Gesellschaft finden. Die Analyse der Umfragewerte hat ergeben, dass der befragte Personenkreis Selbstoptimierung zu 50% als ziemlich oder sehr wichtig bewertet und nur für wenige einen kleinen oder gar keinen Stellenwert hat. Noch höher ist die Akzeptanz von BCIs zu therapeutischen Zwecken mit 67%, vermutlich aus der Not einer Krankheit oder Behinderung heraus. Bei der Verwendung von BCIs bei gesunden Menschen zur Selbstoptimierung dreht sich das Bild, nur

noch 24% haben eine bejahende Einstellung zur Verwendung. Bei dieser Frage gibt es große Unterschiede innerhalb der Geschlechter, Altersgruppen und Technikvorerfahrungen.



## 6 Schlussteil

Ob Menschen wirklich auf dem Weg zum Cyborg sind, kann hier nicht beantwortet werden. Jedoch gibt es viele Anzeichen die aufzeigen, dass BCIs eine gängige Technologie im medizinischen Umfeld werden können. Akzeptanz und Marktfähigkeit werden vor allem dafür ausschlaggebend sein, ob BCIs auch in den Alltag Einzug halten.

Es wurden invasive und non-invasive Messverfahren von Gehirnströmen erklärt. Daraufhin wurden die Vor- und Nachteile der verschiedenen Vorgehensweisen verglichen. Die invasive Methode wird letzten Endes, trotz hoher Gesundheitsrisiken vorgezogen, weil die benötigte Präzision nicht durch andere Verfahren zu erreichen ist.

Moderne Neuroprothesen sind stark von den Erkenntnissen in der Robotik beeinflusst. Sowohl bei den Steuerungsvorgängen zwischen Mensch und Maschine, als auch bei der mechanischen Realisierung von Roboterteilen, die letztlich als Ersatz für verlorene menschliche Gliedmaßen dienen können. Die Konstruktion solcher Teile erfordert ein hohes Maß an interdisziplinären Wissen und bildet komplexe Robotersysteme, mit deren Hilfe sich am Ende feinmotorische Bewegungen ausführen lassen, die denen des Menschen sehr nahe kommen. Fragen nach sicherheitstechnischen Anforderungen oder wie die Steuerung und Prozessführung in Verbindung mit BCIs konkret aussieht blieben jedoch ungeklärt.

Die Anwendungsmöglichkeiten der BCIs sind dennoch breit gefächert, neben komplementären Benutzerstatus oder Präzision von Mehrdeutigkeit durchs Auslesen des Benutzers zu Peripherie, die neben den medizinischen Prothesen existieren, als auch Neuromarketing welches zeigt, dass wenn es um Verhaltensforschung geht BCIs hinzugenommen werden können. Wenn es um außer-medizinische Einsatzgebiete der BCIs geht, ist es schwer deren Nutzen mit deren heutigen Preisen als nützlich anzusehen. Die Artikel, die sich dazu geäußert haben, sind einer Meinung, dass die Anwendung im täglichen Leben erst mit der Bezahlbarkeit der Geräte für den Endverbraucher möglich ist, und wenn dann nur komplementär mit den bereits etablierten Methoden.

Zu Human Enhancement und der Verwendung von BCIs gibt es eine Vielzahl von ethischen Aspekten. Deren Reflektion kann helfen, das BCIs eine breite Akzeptanz in der Gesellschaft finden. Die Analyse der Umfragewerte hat ergeben, dass der befragte Personenkreis Selbstoptimierung zu 50% als ziemlich oder sehr wichtig bewertet und nur für wenige einen kleinen oder gar keinen Stellenwert hat. Noch höher ist die Akzeptanz von BCIs zu therapeutischen Zwecken mit 67%, vermutlich aus der Not einer Krankheit oder Behinderung heraus. Bei der Verwendung von BCIs bei gesunden Menschen zur Selbstoptimierung dreht sich das Bild, nur noch 24% haben eine bejahende Einstellung zur Verwendung. Bei dieser Frage gibt es große Unterschiede innerhalb der Geschlechter, Altersgruppen und Technikvorerfahrungen.

Als Fazit ist zu sagen, dass in einem so jungen Themengebiet wie Gehirn-Computer- Schnittstellen noch vieles offen und vorstellbar ist. Der medizinische sowie der neurowissenschaftliche Bereich etabliert sich im Moment und die Anwendungsmöglichkeiten für den Otto-Normal-Verbraucher hinken noch hinterher.

## Literatur

- Arndt, S. u. a. (Okt. 2011). „A Physiological Approach to Determine Video Quality“. In: *2011 IEEE International Symposium on Multimedia*, S. 518–523. DOI: 10.1109/ISM.2011.91.
- Bendel, Oliver (Aug. 2015). „Human Enhancement aus ethischer Sicht. Die informationstechnische Erweiterung und ihre Folgen“. In: *Technikfolgenabschätzung - Theorie und Praxis* 24.2, S. 75–85. ISSN: 1619-7623.
- Bendel, Oliver (2018). *Definition: Human Enhancement*. In: *Gabler Wirtschaftslexikon Online*. URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/human-enhancement-54034/version-277089> (besucht am 20. 06. 2018).
- Clausen, Jens (Sep. 2006). „Ethische Aspekte von Gehirn-Computer-Schnittstellen in motorischen Neuroprothesen“. In: *International Review of Information Ethics* 5, S. 25–32. ISSN: 1614-1687.
- defi-filmproduktion (2018). *Text zum Film: Du sollst dich optimieren!* defi-filmproduktion.de. URL: <http://www.defi-filmproduktion.de/de/filme/du-sollst-dich-optimieren> (besucht am 09. 06. 2018).
- Dettmer-Finke (2017). *Du sollst dich optimieren!* ZDF/ARTE/SRF. Freiburg.
- Edlmeier, W. (2018). *Transhumanismus*. In: *Wikipedia*. Page Version ID: 177418008. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Transhumanismus&oldid=177418008> (besucht am 20. 06. 2018).
- Feess, Eberhard (2018). *Definition: Bionik*. In: *Gabler Wirtschaftslexikon Online*. URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/bionik-27087/version-250750> (besucht am 19. 06. 2018).
- Golenia, Jan-Eike u. a. (2018). „Implicit relevance feedback from electroencephalography and eye tracking in image search“. In: *Journal of Neural Engineering* 15.2, S. 026002. URL: <http://stacks.iop.org/1741-2552/15/i=2/a=026002>.
- Guittet, J. u. a. (1979). „The Spartacus telethesis: manipulator control studies“. In: *Bulletin of Prosthetics Research* 16.2, S. 69–105. ISSN: 0007-506X.
- Hauser, Tobias (o.D.). „Neuromarketing:der Kaufknopf im Hirn?“ In: *aware HS07* ().
- Hertzberg, Joachim, Kai Lingemann und Andreas Nüchter (2012). *Mobile Roboter: eine Einführung aus Sicht der Informatik*. eXamen.press. OCLC: 554956189. Berlin: Springer Vieweg. 389 S. ISBN: 978-3-642-01726-1.
- Hesse, Stefan und Viktorio Malisa, Hrsg. (2016). *Taschenbuch Robotik - Montage - Handhabung*. 2., neu bearbeitete Auflage. OCLC: 932644906. München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag. 614 S. ISBN: 978-3-446-44365-5.
- Jan B.F. Van Erp Fabien Lotte, Michael Tangermann (2012). „Brain-Computer Interfaces: Beyond Medical Applications“. In: *Computer* 45.4, S. 26–34.
- Kohlmorgen J, und andere (2007). *Toward Brain-Computer Interfacing*. MIT press.

- Kruse, Marco (2013). *Mehrobjekt-Zustandsschätzung mit verteilten Sensorträgern am Beispiel der Umfeldwahrnehmung im Straßenverkehr*. Forschungsberichte aus der industriellen Informationstechnik Bd. 5. OCLC: 840010245. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing. 186 S. ISBN: 978-3-86644-982-4.
- KUKA GmbH (19. Apr. 2018). *KR AGILUS sixx Spezifikation*.
- Lecuyer, A. u. a. (Okt. 2008). „Brain-Computer Interfaces, Virtual Reality, and Videogames“. In: *Computer* 41.10, S. 66–72. ISSN: 0018-9162. DOI: 10.1109/MC.2008.410.
- MacCloy, Don und Michael J. Harris (1989). *Robotertechnik: Einführung*. Robotik. OCLC: 75094788. Weinheim: VCH. 412 S. ISBN: 978-3-527-26917-4.
- Merkelt, Judith (Mai 2015). „Neuroprothesen: High-Five mit Roboterarm“. In: *Spektrum - Die Woche* 21.5. URL: <https://www.spektrum.de/news/neuroprothese-gelaehmter-steuert-roboterarm-mit-blosser-vorstellungskraft/1347474> (besucht am 13. 06. 2018).
- o. V. (2018a). „Brain-Computer Interfaces in Medicine“. In: URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3497935/> (besucht am 02. 06. 2018).
- o. V. (2018b). „Brain-Computer-Interface“. In: URL: <https://www.sapereaudepls.de/was-ist-der-mensch/%C3%BCbermensch/brain-computer-interface/> (besucht am 01. 06. 2018).
- o. V. (2018c). „Der Chip im Gehirn“. In: URL: <https://www.dasgehirn.info/entdecken/brain-computer-interface/der-chip-im-gehirn> (besucht am 27. 05. 2018).
- o. V. (2018d). „Elektroenzephalographie“. In: URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Elektroenzephalographie> (besucht am 02. 06. 2018).
- o. V. (2018e). „funktionelle Magnetresonanztomographie“. In: URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Funktionelle\\_Magnetresonanztomographie](https://de.wikipedia.org/wiki/Funktionelle_Magnetresonanztomographie) (besucht am 02. 06. 2018).
- o. V. (2018f). „Magnetenzephalographie“. In: URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Magnetoenzephalographie> (besucht am 15. 06. 2018).
- Schünke, Michael (2014). *Funktionelle Anatomie: Topografie und Funktion des Bewegungssystems*. 2., vollständig überarbeitete Auflage. OCLC: 875226062. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag. 391 S. ISBN: 978-3-13-169402-7.
- Weber, Wolfgang (2017). *Industrieroboter: Methoden der Steuerung und Regelung*. 3., neu bearbeitete Auflage. OCLC: 947105564. München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag. 242 S. ISBN: 978-3-446-43355-7.

# Anlagenverzeichnis

Wie wichtig ist es Ihnen, sich selbst zu verbessern und zu optimieren?

nach Geschlecht	männlich	weiblich	keine Angabe	Leer	Gesamtergebnis
4 Sehr wichtig	10	3			13
3 Ziemlich wichtig	10	9	3	1	23
2 Mittelmäßig wichtig	14	6			20
1 Weniger wichtig	3	2	1		6
0 Nicht wichtig	1		1		2
Leer					
Gesamtergebnis	38	20	5	1	64

nach Alter	18 - 30 Jahre	31 - 45 Jahre	46 - 60 Jahre	keine Angabe	Leer	Gesamtergebnis
4 Sehr wichtig	12	1				13
3 Ziemlich wichtig	14	4	2	2	1	23
2 Mittelmäßig wichtig	12	5	3			20
1 Weniger wichtig	3	1	1	1		6
0 Nicht wichtig	1	1				2
Leer						
Gesamtergebnis	42	12	6	3	1	64

nach Technikvorerfahrung	Gering	Mittel	Hoch	Keine Angabe	Leer	Gesamtergebnis
4 Sehr wichtig		4	9			13
3 Ziemlich wichtig	1	12	8	1	1	23
2 Mittelmäßig wichtig	3	7	9	1		20
1 Weniger wichtig	1	2	2	1		6
0 Nicht wichtig	1		1			2
Leer						
Gesamtergebnis	6	25	29	3	1	64

## Anlage 1

Würden Sie für therapeutische Zwecke eine invasive Gehirn-Computer-Schnittstelle wählen?












nach Geschlecht	männlich	weiblich	keine Angabe	Leer	Gesamtergebnis
4 Sehr wahrscheinlich	13	3			16
3 Ziemlich wahrscheinlich	14	10	2		26
2 Mittelmäßig wahrscheinlich	4	5	2		11
1 Weniger wahrscheinlich	2	1	1		4
0 Nicht wahrscheinlich	4	1			5
Keine Angabe	1				1
Leer				1	1
Gesamtergebnis	38	20	5	1	64











nach Alter	18 - 30 Jahre	31 - 45 Jahre	46 - 60 Jahre	keine Angabe	Leer	Gesamtergebnis
4 Sehr wahrscheinlich	14	2				16
3 Ziemlich wahrscheinlich	15	6	4	1		26
2 Mittelmäßig wahrscheinlich	6	4		1		11
1 Weniger wahrscheinlich	2		1	1		4
0 Nicht wahrscheinlich	4		1			5
Keine Angabe	1					1
Leer					1	1
Gesamtergebnis	42	12	6	3	1	64
















nach Technikvorerfahrung	Gering	Mittel	Hoch	Keine Angabe	Leer	Gesamtergebnis
4 Sehr wahrscheinlich	1	6	9			16
3 Ziemlich wahrscheinlich	2	12	11	1		26
2 Mittelmäßig wahrscheinlich	3	4	3	1		11
1 Weniger wahrscheinlich			3	1		4
0 Nicht wahrscheinlich		2	3			5
Keine Angabe		1				1
Leer					1	1
Gesamtergebnis	6	25	29	3	1	64

Anlage 2

Würden Sie für nicht-therapeutische Zwecke eine invasive Gehirn-Computer-Schnittstelle wählen?

nach Geschlecht	männlich	weiblich	keine Angabe	Leer	Gesamtergebnis
4 Sehr wahrscheinlich	 6	 2			8
3 Ziemlich wahrscheinlich	 6	 1			7
2 Mittelmäßig wahrscheinlich	 5	 3		2	10
1 Weniger wahrscheinlich	 8	 7		1	16
0 Nicht wahrscheinlich	 12	 7		2	21
Keine Angabe	 1				1
Leer				1	1
Gesamtergebnis	38	20	5	1	64

nach Alter	18 - 30 Jahre	31 - 45 Jahre	46 - 60 Jahre	keine Angabe	Leer	Gesamtergebnis
4 Sehr wahrscheinlich	 7	 1				8
3 Ziemlich wahrscheinlich	 7					7
2 Mittelmäßig wahrscheinlich	 7	 3				10
1 Weniger wahrscheinlich	 11	 4		1		16
0 Nicht wahrscheinlich	 9	 4	6	2		21
Keine Angabe	 1					1
Leer					1	1
Gesamtergebnis	42	12	6	3	1	64

nach Technikvorerfahrung	Gering	Mittel	Hoch	Keine Angabe	Leer	Gesamtergebnis
4 Sehr wahrscheinlich		 3	 5			8
3 Ziemlich wahrscheinlich	 1	 2	 4			7
2 Mittelmäßig wahrscheinlich	 2	 3	 5			10
1 Weniger wahrscheinlich	 1	 8	 6	1		16
0 Nicht wahrscheinlich	 2	 8	 9	2		21
Keine Angabe		 1				1
Leer					1	1
Gesamtergebnis	6	25	29	3	1	64

## Anlage 3

**In welchem/n Bereich/en optimieren Sie sich selbst?**

Mehrfachnennungen möglich

	Anzahl Nennungen
Sport, z. B. Fitness, Joggen, Workout, Intervalltraining	35
Ernährung, z. B. gesundes Essen & Trinken, Kalorienzähler	29
Sprache(n) lernen	21
Bildung, z. B. Gehirn- & Gedächtnistraining, Mathematik	39
Zeit- und Selbstmanagement, z. B. Aufgabenmanager, Zeiterfassung für private Bereiche	24
In keinem Bereich	5
Keine Angabe	1

**Nutzen Sie technische Hilfsmittel zur Selbstoptimierung?**

Mehrfachnennungen möglich

	Anzahl Nennungen
Smartphone	39
Wearables, z. B. Smartwatch, Fitnessarmband, digitale Brille	10
Sprachassistenten, z. B. Alexa, Siri	4
Keine Nutzung von Hilfsmitteln	18
Generell keine Selbstoptimierung	4
Keine Angabe	0
<b>Freitextantworten:</b>	
PC bzw. Computer	3
Bücher bzw. Fachliteratur	3
Meditation & Medikamente	1
Websites	1
Empfehlungen	1

**Wie oft nutzen Sie Hilfsmittel um sich selbst zu optimieren?**

	Anzahl
Mindestens einmal pro Tag	14
Mehrmals in einer Woche	17
Bis zu einmal in der Woche	3
Unregelmäßig	9
Gar nicht	16
Keine Angabe	4
Leer	1
Gesamtergebnis	64

Wie hoch schätzen Sie die folgenden Risiken bei der Nutzung einer invasiven Gehirn-Computer-Schnittstelle ein?

	medizinische Risiken, z. B. Operations-, Infektionsrisiko, Verträglichkeit bei Langzeitapplikation	Veränderung der eigenen Persönlichkeit	Klärung der Verantwortlichkeiten bei Schädigung von Dritten	Ungerechtigkeit, z. B. durch unterschiedliche Verfügbarkeit oder Qualität
4 Sehr hohes Risiko	8	8	13	20
3 Hohes Risiko	24	13	25	17
2 Mittelmäßiges Risiko	21	22	13	16
1 Geringes Risiko	8	17	6	6
0 Kein Risiko	1	1	3	3
Keine Angabe	1	1	2	2
(Leer)	2	2	2	2
Gesamtergebnis	64	64	64	64

	Ausgrenzung von Individuen und Gruppen	Missbrauch von im Gehirn erhobenen Daten	Unbefugte Steuerung von außen
4 Sehr hohes Risiko	15	22	7
3 Hohes Risiko	14	21	16
2 Mittelmäßiges Risiko	16	11	24
1 Geringes Risiko	10	6	10
0 Kein Risiko	4	2	5
Keine Angabe	3	2	2
(Leer)	2	2	2
Gesamtergebnis	64	64	64

## Anlage 5