

Aus dem Institut für Ethik, Geschichte und Theorie der Medizin

Institut der Ludwig-Maximilians-Universität München

Vorstand: Prof. Dr. med. Georg Marckmann, MPH

**Die Kraft der Gedanken:
Eine explorative Studie zum Einsatz von Gehirn-Computer-Schnittstellen bei
gesunden Nutzern**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Humanbiologie

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Jennifer Regina Schmid, geb. Spreider, M.Sc., M.A.

aus Kelheim

2019

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Dr. phil. Ralf J. Jox

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Andreas Bender
Prof. Dr. Peter Graf zu Eulenburg

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 28.10.2019

Für Johannes

Teile dieser Arbeit wurden bereits veröffentlicht:

Kögel J., J.R. Schmid, R.J. Jox, und O. Friedrich, *Using brain-computer interfaces: a scoping review of studies employing social research methods*. BMC Medical Ethics, 2019. 20:18.

Schmid J.R. und R.J. Jox, *Selected Abstracts From the 2018 International Neuroethics Society Annual Meeting*. AJOB Neuroscience, 2018. 9(4), W1-W21.

In Bearbeitung: Schmid J.R., O. Friedrich, S. Kessner, und R.J. Jox, *Brain Reading as the next step of human evolution? – A survey in Germany about Brain-Computer Interfaces*. 2019.

In Bearbeitung: Schmid J.R. und R.J. Jox, *The Power of Thoughts – An interview study with healthy users of Brain-Computer Interfaces*. 2019.

Auszeichnungen:

Top Abstract; International Neuroethics Society 2018

Poster-Preis; Annual Meeting of the International Neuroethics Society 2018 San Diego (USA)

Danksagung

Mein erster und herausragender Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr. Dr. Ralf J. Jox, der mich in den letzten Jahren engagiert unterstützt und ausgezeichnet betreut hat.

Es war für mich eine große Ehre, als Promotionsstipendiatin der Hanns-Seidel-Stiftung vom 01.10.2016 bis 31.03.2019 tatkräftig unterstützt und in diese wunderbare Gemeinschaft aufgenommen worden zu sein. Ohne die finanzielle sowie ideelle Förderung des Promotionsförderungsprogrammes wäre eine derart ambitionierte und zügige Umsetzung dieses Forschungsvorhabens nicht möglich gewesen.

Prof. Dr. Georg Marckmann möchte ich für die herzliche Aufnahme in das Institut für Ethik, Geschichte und Theorie der Medizin sowie die Unterstützung bei wissenschaftlichen Reisen danken. Weiterhin danken möchte ich Dr. Dr. Orsolya Friedrich für die fachliche Zusammenarbeit sowie den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Ethik, Geschichte und Theorie der Medizin. Die kontinuierliche Teilnahme an Forschungskolloquien und Methodenreflexionen in den letzten Jahren hat mir einen aktiven und sehr wertvollen Erfahrungsaustausch ermöglicht.

Ferner bin ich dem Graduate Center der Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) sowie dem Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) zu Dank verpflichtet, die mir äußerst bereichernde Konferenzbesuche in Granada, Istanbul sowie San Diego (USA) ermöglicht haben.

Mein abschließender Dank gilt meinem Mann, meiner Mama und meinen Schwiegereltern, die mich auf diesem langen Weg immer bestärkt und von Herzen unterstützt haben.

Zusammenfassung

Hintergrund: Gehirn-Computer-Schnittstellen oder sogenannte Brain-Computer Interfaces (BCIs) verbinden Menschen und Maschinen auf neue und einzigartige Weise. BCIs zeichnen die Gehirnaktivität auf und transformieren sie in Signale für Kommunikation und Kontrolle. Somit handeln BCI-Nutzer¹ nur mit der Kraft ihrer Gedanken. Derzeit dominieren Einsatzgebiete in der Medizin sowie Neuro-Rehabilitation das Forschungsfeld. Jedoch werden BCIs auch zunehmend für die Allgemeinbevölkerung entwickelt. Beispielsweise bei der Steuerung von Fahr- und Flugzeugen oder im Unterhaltungssektor (BCI-Gaming). Das zukünftige Potential dieser Neurotechnologie bringen Ankündigungen von Mark Zuckerberg (*Facebook*) und Elon Musk (*Neuralink*) zum Ausdruck, die intensiv an BCIs für gesunde Nutzer arbeiten. Die zunehmende Verschmelzung von Mensch und Maschine konfrontiert die Gesellschaft mit fundamentalen Fragen: Wer führt eine BCI-modulierte Handlung aus und trägt die Verantwortung? Der Mensch oder die Maschine? Geht mit der zunehmenden Technisierung des Gehirns auch ein Wandel des Menschenbildes einher? Zudem sind Computer fehleranfällig sowie manipulierbar, womit sich Fragen des Datenschutzes und der Privatsphäre stellen.

Methoden: Mit Hilfe eines Mixed-Methods-Designs wurden die sozialen, ethischen sowie rechtlichen Implikationen des nicht-medizinischen BCI-Einsatzes systematisch untersucht. Qualitative Interviews explorierten die Erfahrungen gesunder Nutzer (n = 24). Im Sinne des *Maximum Variation Sampling* wurden sowohl BCI-Gamer, BCI-Piloten, Forscher als auch Entwickler in die Stichprobe inkludiert. Die Auswertung der Interviews fand mit Hilfe der Qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring) statt. Auf Basis der qualitativen Ergebnisse wurde im Anschluss eine Fragebogenerhebung in der deutschen Allgemeinbevölkerung (n = 1000) durchgeführt.

Ergebnisse: Insgesamt betrachtet kamen große Begeisterung und Faszination gegenüber BCIs, aber auch vielfältige Befürchtungen zum Ausdruck. Diese Ambivalenz ist charakteristisch für das Forschungsfeld. Die Resultate zeigten, dass erfolgreicher BCI-Gebrauch primär von Training und Motivation abhängig ist. Zudem wurde die BCI-Technologie aufgrund der Applikation des Elektroenzephalogramms (EEG) und hoher

¹ Zugunsten der besseren Lesbarkeit wird auf eine geschlechterdifferenzierende Schreibweise verzichtet.

kognitiver Erschöpfung als nicht alltagstauglich empfunden. Ferner wurde deutlich, dass der technische Reifegrad noch limitiert ist. Jedoch betonten die Interviewpartner mit Expertenwissen (Forscher und Entwickler) den rasanten, technologischen Fortschritt und schätzten das Entwicklungspotential von BCIs als extrem hoch ein. Zudem sei für einen erfolgreichen BCI-Gebrauch eine auf das Individuum adaptierte Nutzung von zentraler Bedeutung.

Im Gegensatz dazu waren die Ergebnisse der Bevölkerungsumfrage in hohem Maße positiv, wobei sich eine starke Diskrepanz zwischen tatsächlichen und potentiellen Nutzern zeigte. Allen gemeinsam war jedoch ein großer Wunsch nach Regulierungen und Gesetzen hinsichtlich der BCI-Nutzung. Darüber hinaus zeigten sich vielfältige ethische Herausforderungen – vor allem in Hinblick auf Fragen der Handlungs- und Verantwortungszuschreibung. Außerdem könnten überhöhte Erwartungen zu schneller Frustration führen, weshalb eine informierte Einwilligung in Form eines ‚*Informed Consent*‘ von essentieller Bedeutung ist.

Fazit: Die vorliegenden Ergebnisse machen deutlich, dass die BCI-Technologie im Kontext gesunder Nutzer fundamentale ethische, rechtliche sowie gesellschaftliche Fragen aufwirft. Nur ein voll informierter Gesetzgeber und eine umfassend aufgeklärte Öffentlichkeit können diesen Prozess verantwortungsvoll begleiten. Diese Arbeit soll den Diskurs befördern und eine sichere Zukunft von BCIs aktiv unterstützen.

Schlagwörter: Gehirn-Computer-Schnittstelle, Mensch-Maschine-Interaktion, Gesunde BCI-Nutzer, Bevölkerungsumfrage, Mixed-Methods-Design, Neuroethik, Neurotechnologie

Abstract

Background: Brain-Computer Interfaces (BCIs) are a unique and novel way of Human-Machine-Interaction. In the last decades research on BCIs has increased rapidly. Brain activity is recorded by BCIs enabling control of external devices such as neuro-prostheses and personal computers. In this way, persons act by the power of their thoughts. Currently, BCI-research is dominated by medicine and neuro-rehabilitation. Though, non-medical applications like BCI-gaming get more and more popular. Elon Musk (*Neuralink*) and Mark Zuckerberg (*Facebook*) announced to develop BCI-applications for healthy users. Moreover, BCIs are a promising tool in planes and automobiles. Thus, an increasing fusion of man and machine is represented by BCIs indicating the beginning of a new era of technology. Here, a variety of questions arises. Who bears the responsibility for BCI-mediated actions? Do users have specific expectations and fears regarding BCIs? What about questions of privacy and agency? [1]

Methods: A mixed-method-design was used to answer the questions mentioned above. By applying maximum variation sampling, 24 qualitative interviews were conducted. A wide range of healthy BCI users, such as neuro-gamers, study participants, BCI-pilots as well as researchers and technical developers were interviewed. Qualitative Content Analysis (Mayring) was used for analysing the audio-recordings. Subsequently, 1000 participants took part in an online survey in the German public. [1]

Results: The findings show that BCIs are influencing human-machine interaction in a unique and novel way. Main factors for successful BCI use were training and individual motivation. The time-consuming preparation of the electroencephalography (EEG) was associated with discomfort. Furthermore, BCI use caused cognitive exhaustion for most interviewees. This new technology highly puzzled and fascinated almost all participants. Thus, a high level of ambivalence regarding this neurotechnology was found. BCI users with expert knowledge evaluated the potential of BCIs as extremely high, based on individualized mental strategies and a rapid technological progress. However, expert users highlighted that BCI-technology is still in its early stages of development. In contrast, the results from the public survey revealed highly positive evaluations towards BCIs. In this context, a high discrepancy between actual and potential users was found. However, all participants emphasized the importance of regulations and laws concerning BCI use. Also, a wide range of ethical implications arises. Questions of responsibility and

agency for BCI-modulated actions need to be addressed politically and socially. Furthermore, most users said to be concerned about their privacy and the loss of causal relations for their actions. Additionally, a high level of frustration was reported due to unrealistic expectations regarding BCIs. Therefore, informed consent of BCI users is essential. [1]

Conclusion: The results reveal a high number of ethical, legal and social implications of fundamental nature. Only fully informed citizens and policymakers can influence this process in a reliable way. These findings can be used as the basis for a broad discussion about BCIs for healthy users. In this way, a responsible and secure future use of BCIs is actively supported. [1]

Keywords: Brain-Computer Interface, Brain-Machine-Interaction, Healthy BCI Users, Public Survey, Mixed-Methods-Design, Neuroethics, Neurotechnology

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
2.	Theoretischer Hintergrund und aktueller Forschungsstand.....	3
2.1	Was sind Brain-Computer Interfaces?.....	3
2.2	Wie funktionieren Brain-Computer Interfaces?.....	5
2.2.1	Messmethoden zur Erfassung der Gehirnaktivität.....	5
2.2.2	Mentale Strategien und Gehirnmuster	8
2.3	Anwendungsgebiete von Brain-Computer Interfaces	10
2.3.1	Medizinische BCI-Applikationen	11
2.3.2	Nicht-Medizinische BCI-Applikationen.....	12
2.4	Neuroethik und Technikfolgenabschätzung	14
2.5	Aktueller Forschungsstand und Relevanz der Arbeit	16
2.6	Ziele und Forschungsfragen.....	19
3.	Forschungsdesign und Methodik	20
3.1	Mixed-Methods-Design	20
3.2	Qualitative Interviewstudie.....	22
3.2.1	Studiendesign.....	22
3.2.2	Feldzugang.....	22
3.2.3	Teilnehmerrekrutierung und <i>Maximum Variation Sampling</i>	23
3.3	Qualitative Methoden der Datenerhebung.....	24
3.3.1	Feldnotizen.....	24
3.3.2	Teilnehmende Beobachtungen.....	24
3.3.3	Ethnografische Gespräche	26
3.3.4	Leitfadengestützte Interviews	27
3.3.5	Auswertung der Interviewstudie mittels Qualitativer Inhaltsanalyse	30
3.4	Quantitative Fragebogenstudie in der deutschen Bevölkerung	32
3.4.1	Studiendesign.....	32

3.4.2	Fragebogenentwicklung	32
3.4.3	Statistische Auswertung mittels SPSS	35
3.5	Forschungsethik	36
4.	Ergebnisse der qualitativen Interviewstudie	37
4.1	Beschreibung der Stichprobe	38
4.2	Forschungsfrage 1: Das BCI-Erleben aus Sicht gesunder Nutzer	40
4.2.1	Ambivalente Gefühle	40
4.2.2	Einzigartigkeit des Erlebnisses	41
4.2.3	Erfolg als entscheidender Bewertungsfaktor	42
4.2.4	Effektiver BCI-Gebrauch als Lernprozess	43
4.2.5	Human Factors in der BCI-Nutzung	46
4.3	Forschungsfrage 2: Ethische Evaluation der BCI-Technologie.....	59
4.3.1	Handlungskontrolle.....	59
4.3.2	Autonomie: Handelt der Mensch oder die Maschine?.....	61
4.3.3	Die Frage der Verantwortung	62
4.3.4	Datenschutz: Können BCIs Gedanken lesen?.....	69
4.3.5	Update für das Ich? BCIs und Menschenbild	70
4.4	Forschungsfrage 3: BCIs – Erwartungen und Befürchtungen	75
4.4.1	Hohe Erwartungen und Informiertes Einverständnis.....	75
4.4.2	Staatliche Regulierung und Einbezug von Ethikern	77
4.4.3	Befürchtungen gegenüber der BCI-Technologie	79
4.4.4	Ein Blick in die Zukunft von BCIs	83
5.	Ergebnisse der quantitativen Bevölkerungsumfrage	88
5.1	Beschreibung der Stichprobe	88
5.2	Forschungsfrage 1: Das BCI-Erleben aus Sicht gesunder Nutzer	89
5.3	Forschungsfrage 2: Ethische Evaluation der BCI-Technologie.....	91
5.4	Forschungsfrage 3: BCIs – Erwartungen und Befürchtungen	92

6.	Zusammenführung der Mixed-Methods-Ergebnisse.....	94
6.1	Forschungsfrage 1: Das BCI-Erleben aus Sicht gesunder Nutzer	95
6.2	Forschungsfrage 2: Ethische Evaluation der BCI-Technologie.....	95
6.3	Forschungsfrage 3: BCIs – Erwartungen und Befürchtungen	96
7.	Diskussion	97
7.1	Forschungsfrage 1: Das BCI-Erleben aus Sicht gesunder Nutzer	97
7.2	Forschungsfrage 2: Ethische Evaluation der BCI-Technologie.....	98
7.3	Forschungsfrage 3: BCIs – Erwartungen und Befürchtungen	99
7.4	Methodische Limitationen	100
7.5	Implikationen für die Medizin	101
8.	Fazit.....	103
9.	Literatur.....	104
10.	Appendix.....	111
11.	Eidesstattliche Versicherung.....	127

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Funktionsweise eines BCIs	3
Abb. 2: Drei Arten von BCIs	4
Abb. 3: Analyseschritte zur Erfassung der Gehirnaktivität mittels BCI.....	5
Abb. 4: EEG-Kappen zur Durchführung von BCI-Experimenten.....	6
Abb. 5: Hardware und Applikation eines passiven BCIs	6
Abb. 6: Drei Wege zur Erfassung elektrophysiologischer Aktivität	7
Abb. 7: Exemplarische BCI-Anwendungsgebiete	10
Abb. 8: Übersicht medizinischer BCI-Applikationen.....	11
Abb. 9: Übersicht nicht-medizinischer BCI-Applikationen	12
Abb. 10: Mixed-Methods-Design	21
Abb. 11: Steuerung eines Würfels mit Gedanken.....	25
Abb. 12: Darstellung des aktuellen mentalen Zustandes in Wellenform.....	26
Abb. 13: Aufbau und chronologischer Ablauf der Leitfadeninterviews.....	28
Abb. 14: Komponenten der Qualitativen Inhaltsanalyse nach Schreier	31
Abb. 15: Ausschnitt aus dem BCI-Einführungsvideo.....	33
Abb. 16: Das Kategoriensystem der qualitativen Interviewstudie.....	37
Abb. 17: Hauptkategorien der Forschungsfrage 1	40
Abb. 18: Darstellung der drei Klassen von BCI-Anwendern	45
Abb. 19: Hauptkategorien der Forschungsfrage 2	59
Abb. 20: Darstellung der drei Gruppen individueller Verantwortungszuschreibung	62
Abb. 21: Was ist das Gehirn? – Ein Wandel der Sichtweise	71
Abb. 22: Hauptkategorien der Forschungsfrage 3	75
Abb. 23: Konstrukte und Items des Fragebogens	89
Abb. 24: Die Mixed-Methods-Ergebnisse im Überblick.....	94

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Gehirnsignale, deren Frequenzen sowie mentale Aktivität	9
Tab. 2: Originale, Abkürzungen sowie Konstrukte der Items	34
Tab. 3: Übersicht der Interviewteilnehmer	39
Tab. 4: Übersicht individueller Erfolgswertungen der BCI-Nutzung	43
Tab. 5: Demographische Charakteristika der Bevölkerungsumfrage	88
Tab. 6: Items zur Erfassung von ‚Technikaffinität‘	90
Tab. 7: Items des Konstruktes ‚Nutzungswunsch‘	91
Tab. 8: Items des Konstruktes ‚Ethische Aspekte der BCI-Nutzung‘	91
Tab. 9: Items zur Erfassung des Konstruktes ‚Erwartungen‘	92
Tab. 10: Items des Konstruktes ‚Befürchtungen‘	93

1. Einleitung

„So, what if you could type directly from your brain? That sounds impossible, but it's closer than you may realize.“

[Regina Dugan, Vorstandsvorsitzende von *Facebook*]

Es ist April des Jahres 2017. Regina Dugan präsentiert *Facebook's* Zukunftsvision einer direkten Hirnkommunikation vor einem hochkarätigen Publikum. Perfekt inszeniert steigt sie mit der Entwicklung von Smartphones und deren revolutionären Veränderungen auf gesellschaftlicher Ebene ein. Smartphones verbinden Menschen – unabhängig von Zeit und Distanz – miteinander, ermöglichen eine völlig neue Art digitaler Kommunikation. Analog dazu spricht sie von deren Suchtpotential und einem drastischen Rückgang zwischenmenschlicher Beziehungen. Jedoch würden die Vorteile deutlich überwiegen, denn jeder Mensch habe schließlich selbst die Wahl. Im Anschluss geht die Vorstandsvorsitzende von *Facebook* auf die Entwicklung technischer Geräte ein, die Körper und Geist miteinander verbinden. Es folgen Zahlen und Fakten; Vergleiche des Gehirns mit der Speicherkapazität von HD-Filmen. Wie viele Neurone besitzt ein durchschnittliches Gehirn? Welches enorme Datenverarbeitungspotential wird diesem einzigartigen Organ zugeschrieben? Hierbei gebe es Frau Dugan zufolge nur ein Problem: Wie kann diese Fülle an mentalen Informationen nach außen – in die reale Welt – gelangen und nützlich gemacht werden? Das Leben einfacher und effizienter gestalten? Die Lösung: Brain-Computer Interfaces (BCIs). Anschließend werden BCIs für Patienten mit Amyotropher Lateralsklerose (ALS) und gehörlose Menschen präsentiert. Beständig wird die Bedeutung persönlicher Kommunikation und des Datenschutzes betont. Frau Dugan beendet die Präsentation mit emotionalen Worten an ihre Mutter, die in der ersten Reihe sitzt. Denn nur mit Hilfe von Technologie könnten sie trotz großer Distanzen miteinander kommunizieren – seien sich dadurch menschlich sogar nähergekommen. Frau Dugan Senior winkt in die Menge, es folgt Applaus [2].

Dieses Beispiel verdeutlicht die mit intelligenten Neurotechnologien einhergehende Ambivalenz auf eindrückliche Weise. Einerseits werden soziale Interaktion und Sprache als genuin menschlich dargestellt. Andererseits wird eine Technologie präsentiert, die diese in ihren Manifesten erschüttern sowie revolutionieren könnte. In der Vergangenheit galt das menschliche Gehirn als ‚Black Box‘ – als hochkomplex und unantastbar. Diese Sichtweise hat sich in den letzten Jahren grundlegend verändert. So scheint das Gehirn als

Sitz menschlicher Persönlichkeit und Identität die letzte noch fehlende Bastion zu sein, die es zu erobern gilt. Der Zugriff auf menschliche Gedanken der nächste, unausweichliche Schritt der Evolutionsgeschichte zu sein.

Die vorliegende Arbeit untersucht die Technisierung des Gehirns in Form von BCIs sowie damit verbundene ethische, soziale und rechtliche Herausforderungen. Einleitend wird der theoretische Hintergrund erörtert sowie der aktuelle Forschungsstand dargelegt. Daraufhin wird das Mixed-Methods-Design – gegliedert nach qualitativen und quantitativen Methoden – beschrieben. Eine Interviewstudie explorierte die Erfahrungen und Einstellungen gesunder BCI-Nutzer, woran sich eine Fragebogenerhebung in der deutschen Bevölkerung anschloss. Es folgt die Darstellung sowie umfassende Diskussion der Resultate. Abschließend werden Limitationen aufgezeigt sowie Implikationen für zukünftige Forschung gegeben.

2. Theoretischer Hintergrund und aktueller Forschungsstand

2.1 Was sind Brain-Computer Interfaces?

Zunächst wird der theoretische Hintergrund des Forschungsvorhabens erörtert: Was sind Brain-Computer Interfaces (BCIs) oder auch Brain-Machine Interfaces (BMIs) genannt? Wie in der Einleitung dargelegt, handelt es sich bei BCIs um eine einzigartige Form der Mensch-Maschine-Interaktion. Die Gehirnaktivität des Nutzers wird technisch ausgelesen und in Kommunikations- bzw. Steuerungssignale transformiert [3, 4]. Physische Aktionen sind hierfür nicht mehr notwendig – somit handelt der Nutzer nur mit der Kraft seiner Gedanken [5].

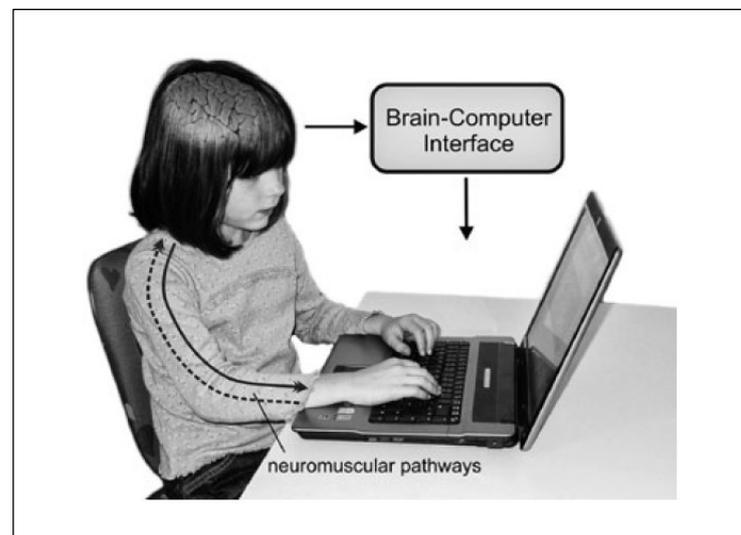


Abb. 1: Funktionsweise eines BCIs [6]

Die Abbildung (Abb. 1) differenziert zwischen natürlicher Kommunikation und BCI-modulierten Handlungen. Es wird deutlich, dass Nerven und Muskeln für menschliche Kommunikation und Kontrolle unerlässlich sind [5, 6]. Die efferenten, motorischen Pfade werden in der Abb. 1 mit Hilfe des durchgezogenen Pfeils dargestellt. Sog. afferente, sensorische Pfade verlaufen in die entgegengesetzte Richtung (gestrichelter Pfeil). Folglich ist ein BCI ein künstlicher Output-Kanal des zentralen Nervensystems [5, 7]. Dieser ersetzt die efferenten, für motorische Kontrolle zuständigen Pfade und verbindet das menschliche Gehirn somit direkt mit einem Computer [5, 6].

Hinsichtlich der Definition von BCIs existiert eine anhaltende, wissenschaftliche Kontroverse [8]. In der Regel wird jedoch zwischen aktiven, passiven sowie reaktiven BCIs

differenziert, welche auch als *ableitende* BCI-Systeme bezeichnet werden [6, 8-10]. Die einzelnen BCI-Formen werden nachfolgend beschrieben:

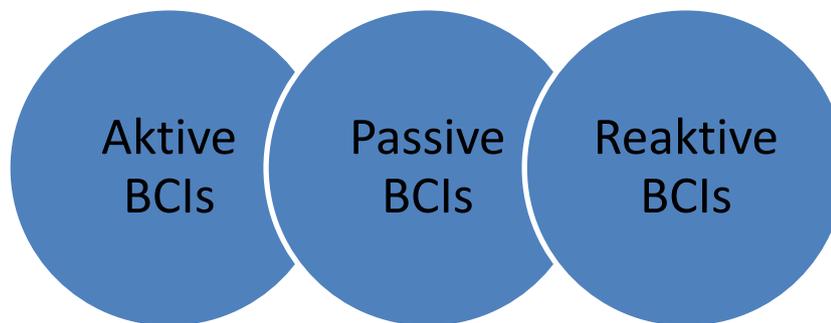


Abb. 2: Drei Arten von BCIs

- **Aktive BCIs:** Aktive BCIs zeichnen sich durch die direkte Messung der Gehirnaktivität, intentionale Kontrolle sowie der Darbietung von Feedback in Echtzeit aus [6, 11].
- **Passive BCIs:** Bei passiven BCIs werden unbewusste Änderungen der Gehirnaktivität analysiert („Mental-State-Monitoring“). Sie werden auch als „Mobile BCIs“ oder „Consumer-BCIs“ bezeichnet [7, 12].
- **Reaktive BCIs:** Hierbei findet eine bewusste Modulation der Gehirnaktivität als Reaktion auf spezifische Reize statt (zum Beispiel (z.B.) Neurofeedback-Training) [6].

Für das Verständnis der vorliegenden Arbeit ist insbesondere die Unterscheidung der ersten beiden BCI-Arten von zentraler Bedeutung. So wurden einerseits Nutzer aktiver BCIs befragt – die somit das Ziel bewusster Handlung und Kommunikation verfolgten. Andererseits wurde die Meinung passiver BCI-Anwender eruiert – deren mentaler Zustand folglich unbewusst ausgelesen wurde. Je nach verwendeter BCI-Form kann das subjektive Erleben somit in höchstem Maße variieren. Es ist festzustellen, dass sich die vorliegende Arbeit mit *ableitenden* BCI-Systemen befasst, die entweder *aktiv* oder *passiv* sind.

2.2 Wie funktionieren Brain-Computer Interfaces?

2.2.1 Messmethoden zur Erfassung der Gehirnaktivität

Zum besseren Verständnis der Funktionsweise von BCIs werden nachfolgend zentrale Begriffe und Parameter eingeführt. Wie kann die Gehirnaktivität individuell erfasst werden? Welche Gehirnsignale sind hierfür von Relevanz? Dieser komplexe Prozess wird mit Hilfe der Abb. 3 dargestellt:



Abb. 3: Analyseschritte zur Erfassung der Gehirnaktivität mittels BCI

Einleitend ist festzustellen, dass die Aktivität des Gehirns sowohl elektrische als auch magnetische Signale auslöst [6, 7]. Die Messung kann invasiv (d.h. mittels implantierter Elektroden) oder nicht-invasiv (d.h. durch Elektroden auf der Kopfhaut) erfolgen [13]. Hierfür können unterschiedliche Messverfahren eingesetzt werden. Die Magnetenzephalographie (MEG) basiert auf der Analyse magnetischer Felder [3, 6]. Die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) und Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) beruhen hingegen auf der Untersuchung hämodynamischer Veränderungen [3, 5].

Die am häufigsten eingesetzte Methode in der BCI-Forschung ist das Elektroenzephalogramm (EEG) [3, 5]. Hierbei handelt es sich um ein nicht-invasives Verfahren mit sehr guter zeitlicher Auflösung [3, 6, 13]. Jedoch ist die räumliche Auflösung gering, wobei eine hohe Anfälligkeit für Störsignale – sogenannte (sog.) Artefakte – besteht [3, 6]. Artefakte sind Potentialschwankungen, die nicht vom Gehirn des Nutzers ausgelöst werden [14]. Sowohl technisch bedingte Störsignale (z.B. durch elektrische Geräte wie Smartphones) als auch personenbezogene Faktoren (z.B. Augenblinzeln oder Muskelbewegungen) sind hierfür ursächlich [5, 6, 14]. Die Abb. 4 zeigt klassische EEG-Kappen, die im Rahmen von BCI-Experimenten verwendet werden:



Abb. 4: EEG-Kappen zur Durchführung von BCI-Experimenten (©: ICS/TUM)

Nach Auswahl der individuell passenden EEG-Kappe wird mit einer Spritze Elektrolytgel in die Elektroden (siehe Abb. 4: blaue und gelbe, kreisrunde Öffnungen) injiziert [15]. Zudem werden die Kabel der Elektroden mit einem Verstärker verbunden [15]. Diese Prozedur ist zeitlich aufwändig und kann bis zu einer Stunde in Anspruch nehmen [6, 16]. Bei passiven BCIs werden hingegen Trockenelektroden ohne Gel verwendet [5]. Die Abb. 5 zeigt die Hardware und Trageweise eines der gängigsten, passiven BCIs – des *Emotiv Epoc*:



Abb. 5: Hardware und Applikation eines passiven BCIs (*Emotiv Epoc*) (Quelle: Eigene Fotos)

Passive BCIs sind schneller, einfacher und flexibler einsetzbar [16]. Anstatt der Gelapplikation wird Druck zur Herstellung der Verbindung verwendet [17]. Jedoch ist die Signalqualität im Vergleich zu feuchten Elektroden wesentlich geringer [5, 6, 18]. Alle bisher beschriebenen Methoden sind nicht-invasiv. Aufgrund der deutlich besseren Signalqualität werden im klinischen Kontext daher invasive Verfahren präferiert [5]. Diese gehen mit einem neurochirurgischen Eingriff einher [6]. Bei der sog. Elektro-

kortikographie (ECoG) werden die Elektroden auf der Oberfläche der Großhirnrinde – des sog. Kortex – platziert [5, 6]. Im Gegensatz dazu durchdringen die Elektroden bei sog. intrakortikalen Aufzeichnungen das Gehirngewebe [5, 6]. Einen Überblick über die drei Wege zur Erfassung elektrischer Gehirnaktivität – das EEG, ECoG sowie intrakortikale Methoden – gibt die Abb. 6:

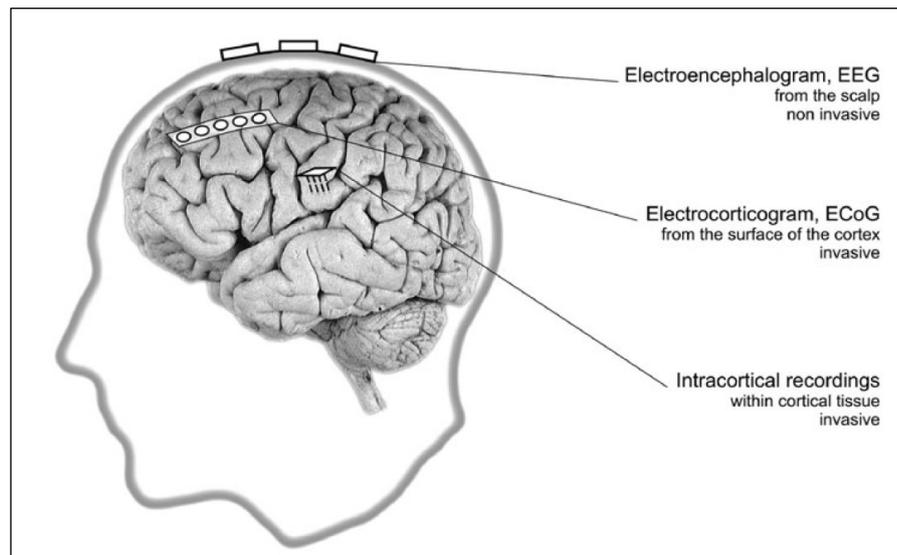


Abb. 6: Drei Wege zur Erfassung elektrophysiologischer Aktivität [6]

Invasive Verfahren zeichnen sich durch eine sehr gute räumliche sowie zeitliche Auflösung aus [3, 6, 18]. Zudem werden Artefakte signifikant reduziert [3, 6]. Diesen Vorteilen stehen jedoch weitreichende ethische Herausforderungen und sicherheitsrechtliche Aspekte gegenüber [6, 18]. Es ist unklar, ob das ECoG und intrakortikale Aufzeichnungen auch über Jahre hinweg Sicherheit und Stabilität garantieren können [5, 6]. Zudem sind neurochirurgische Eingriffe generell mit einem Gesundheitsrisiko sowie hohen Kosten verbunden [5, 6].

2.2.2 Mentale Strategien und Gehirnmuster

Die oben beschriebenen Methoden zur Messung der Gehirnaktivität stellen jedoch nur den ersten Schritt eines komplexen Verfahrens dar. Nachfolgend werden die wesentlichen Analyseschritte dieses Prozesses dargestellt. Sobald die mentale Aktivität erfolgreich ausgelesen und analysiert wurde, findet eine Klassifizierung mit Hilfe von Algorithmen statt [6, 19]. Hierfür müssen die Nutzer spezifische Methoden – sog. mentale Strategien – anwenden [6]. Die beiden am häufigsten verwendeten Formen – selektive Aufmerksamkeit und Bewegungsvorstellung – werden im Folgenden erörtert:

- **Selektive Aufmerksamkeit**

Selektive bzw. fokussierte Aufmerksamkeit basiert auf externen Stimuli, die sowohl visuell, auditorisch als auch somatosensorisch sein können [5, 6]. Die gängigste Methode ist die Darbietung visueller Reize [5]. Der Nutzer fokussiert seine Aufmerksamkeit hierbei auf einen spezifischen Stimulus (z.B. Buchstaben, Zahlen, Richtungen) und wählt ihn dadurch aus [20]. Somit können z.B. Wörter buchstabiert oder ein Simulator gesteuert werden. Es dominieren zwei Ansätze [5]:

- Das P300-BCI
- Das SSVEP-BCI (*Steady-State Visual Evoked Potential*)

Das P300-Potential basiert auf kontinuierlich dargebotenen Lichtblitzen und wird circa 300ms nach der Fokussierung ausgelöst [6]. Beim SSVEP-BCI werden hingegen flimmernde Stimuli in unterschiedlichen Frequenzen auf einem Monitor gezeigt [20]. Mentale Strategien mit fokussierter Aufmerksamkeit erfordern in der Regel nur wenig Training und zeichnen sich durch eine hohe interindividuelle Reliabilität aus [5, 6]. Jedoch ist hierfür auch ein hohes Maß an Konzentrationsfähigkeit notwendig, zudem werden die Stimuli häufig als ermüdend und eintönig wahrgenommen [3, 6, 21].

- **Bewegungsvorstellung (*Motor Imagery*)**

Sowohl die Ausführung als auch die reine Vorstellung motorischer Handlungen führt zu Veränderungen des sog. Sensomotorischen Rhythmus (SMR) [3, 6, 22]. Die einzelnen Gehirnsignale entsprechen spezifischen Frequenzbändern sowie mentalen Zuständen [15]. Die Tab. 1 gibt einen Überblick:

Tab. 1: Gehirnsignale, deren Frequenzen sowie mentale Aktivität [3, 15, 19]

Gehirnsignal	Frequenz (Hz)	Mentale Aktivität
Delta (Δ)	1-3	Tiefschlaf; dominanter Rhythmus bei Säuglingen
Theta (θ)	4-7	Tiefe Entspannung und Meditation
Alpha (α)	8-12	Entspannter und ruhiger Wachzustand
Beta (β)	12-30	Aktivität und Konzentration z.B. beim Sprechen, Problemlösen, Entscheidungen treffen
Gamma (γ)	>30	Geistige Höchstleistung und Übererregtheit

Aufgrund der sehr guten Differenzierbarkeit imaginiertes Fuß- und Handbewegungen werden diese Methoden präferiert [6, 22]. Somit basiert *Motor Imagery* nicht auf externen Stimuli, erfordert jedoch – im Gegensatz zu selektiver Aufmerksamkeit – intensives Training [6]. Die durchschnittliche Übungsdauer beträgt eine bis vier Stunden [6]. Jedoch findet bei einer Minorität der *Motor Imagery*-Anwender kein Trainingsprozess statt – was auch als *BCI-Illiteracy* (Deutsch: BCI-Analphabetentum) bezeichnet wird [6, 21, 23-25]. Der Erfolg einer BCI-modulierten Handlung kann mit Hilfe der sog. ‚*BCI Performance*‘ – der Anzahl richtig klassifizierter Trials – gemessen werden [6].

2.3 Anwendungsgebiete von Brain-Computer Interfaces

Mit der oben dargestellten BCI-Vielfalt gehen auch zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten einher. Die Abb. 7 verdeutlicht exemplarische Einsatzgebiete:

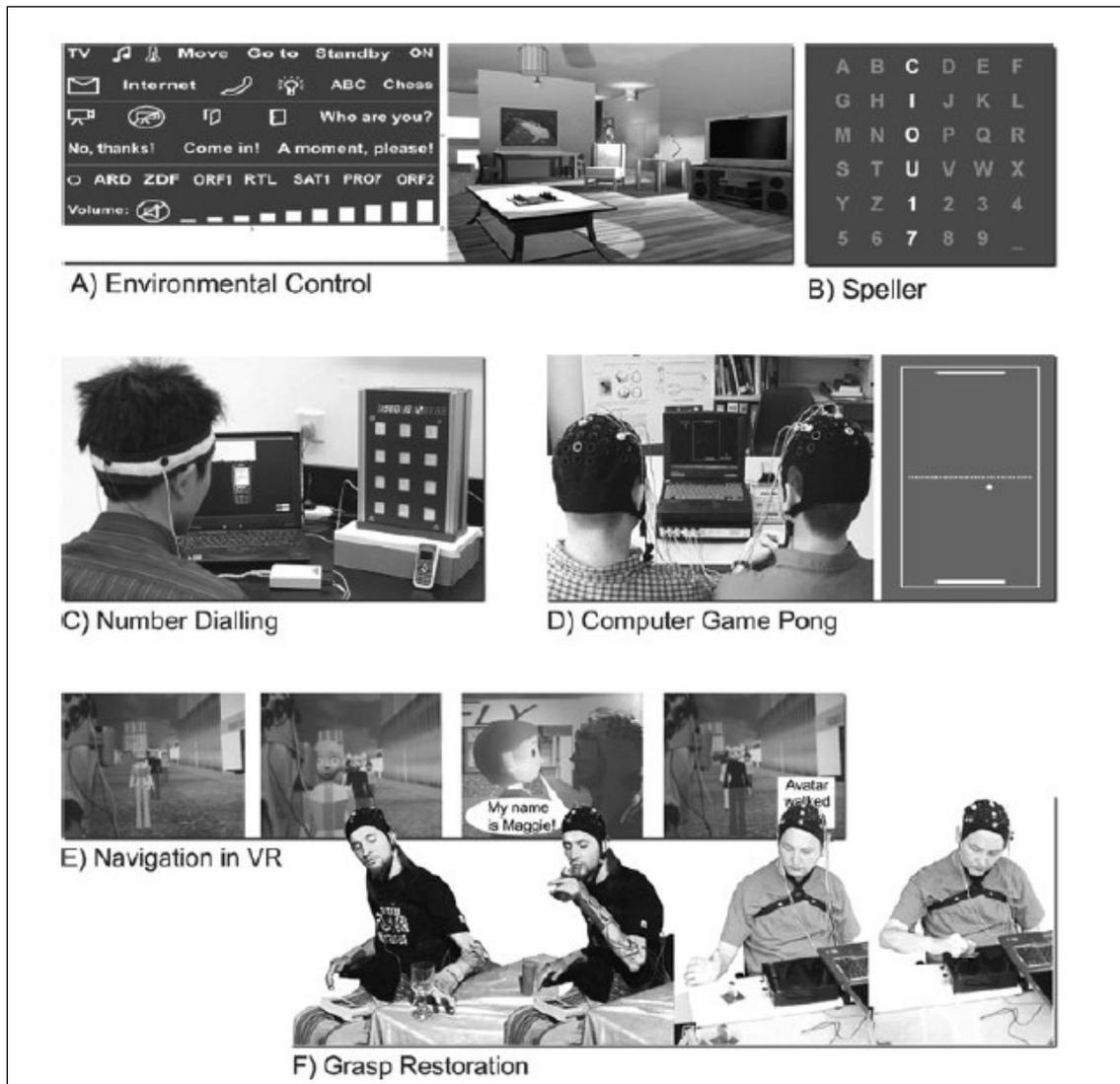


Abb. 7: Exemplarische BCI-Anwendungsgebiete

A) und **B)** Umgebungskontrolle und Buchstabieren mit Hilfe eines P300-BCIs; **C)** Wählen einer Telefonnummer mittels SSVEP-BCI; **D)** BCI-Gaming mit Hilfe von EEG; **E)** BCI-Navigation in einer Virtual-Reality (VR)-Umgebung; **F)** Wiederherstellung von Greifbewegungen bei querschnittgelähmten Menschen mittels funktioneller elektrischer Stimulation [6]

Die Abb. 7 zeigt ableitende BCIs, welche elektrische Gehirnsignale erfassen und dekodieren (Abb. 7; A-E) [10]. Zudem werden stimulierende BCIs dargestellt, die zur elektrischen Stimulation spezifischer Gehirnareale bei Patienten eingesetzt werden (Abb. 7; F) [10].

2.3.1 Medizinische BCI-Applikationen

Derzeit dominieren medizinische Anwendungsgebiete von BCIs. Einerseits können sie z.B. Patienten mit Amyotropher Lateralsklerose (ALS) oder Locked-In-Syndrom (d.h. Eingeschlossen sein in einen fast vollständig gelähmten Körper bei wachem Bewusstsein) wieder eigenständige Kommunikation und Kontrolle ermöglichen [26-28]. Zudem können damit Neuroprothesen gesteuert und somit Körperfunktionen ersetzt werden [10]. Folglich erfüllen BCIs hier eine *Assistenzfunktion*. Andererseits werden BCIs in der Neurorehabilitation z.B. bei Schlaganfällen eingesetzt, um kognitive Funktionen wiederherzustellen [5, 28, 29]. Analog dazu wird der Einsatz von BCIs bei psychischen bzw. neurodegenerativen Erkrankungen wie z.B. Alzheimer, Schizophrenie, ADHS und Autismus erforscht [6, 16, 30, 31]. In diesem Kontext erfüllen BCIs eine *Rehabilitations- und Therapiefunktion*. Die Abb. 8 gibt eine Übersicht der Haupteinsatzgebiete:

1. BCIs für Kommunikation und Kontrolle
2. Steuerung von Neuroprothesen
3. Neurorehabilitation (z.B. bei Schlaganfall)
4. Tiefenhirnstimulation (z.B. bei Parkinson)

Abb. 8: Übersicht medizinischer BCI-Applikationen

Neben den oben beschriebenen, ableitenden BCIs haben sich stimulierende BCI-Systeme in der Medizin etabliert. So ist die Tiefenhirnstimulation bei neurodegenerativen Erkrankungen wie Morbus Parkinson mittlerweile ein bewährtes Verfahren [10, 32]. Bei Epilepsiepatienten können invasive BCIs Anfälle bereits a priori detektieren und somit verhindern [10, 33]. Zudem können stimulierende BCIs bei therapieresistenten Depressionen und Zwangsstörungen eingesetzt werden [10, 13, 32, 34].

2.3.2 Nicht-Medizinische BCI-Applikationen

Neben medizinischen Anwendungen werden BCIs auch zunehmend für die Allgemeinbevölkerung entwickelt. Zunächst wird eine Übersicht der dominierenden BCI-Applikationen für gesunde Nutzer gegeben und diese daraufhin detaillierter beschrieben.

1. BCIs als Steuerungselemente
2. Neuromarketing und Neuroergonomie
3. ‚Mental-State-Monitoring‘
4. BCIs in Lehre und Bildung
5. BCIs zur Erhöhung der Sicherheit
6. BCI-Gaming und Entertainment
7. Kognitive Leistungssteigerung („Human Enhancement“)

Abb. 9: Übersicht nicht-medizinischer BCI-Applikationen

Der Einsatz aktiver BCIs als alternative Steuerungselemente ist aufgrund des derzeit limitierten, technischen Reifegrades bei gesunden Nutzern kaum von Relevanz [18, 35]. Jedoch sind futuristische BCIs im Sinne eines zusätzlichen, non-muskulären Kontrollkanals z.B. bei der Fahr- und Flugzeugsteuerung denkbar [18, 35, 36]. Darüber hinaus finden BCIs in der Produktentwicklung Anwendung. So können z.B. Prototypen von Navigationssystemen im Zuge des Neuromarketings bzw. der Neuroergonomie aus neurowissenschaftlicher Perspektive evaluiert werden [18].

Das größte Entwicklungspotential wird gegenwärtig jedoch passiven BCIs zugeschrieben [18]. Diese können den mentalen Zustand des Nutzers auslesen bzw. mit Hilfe selbstlernender Algorithmen antizipieren [18]. Sowohl Emotionen, Aufmerksamkeit, Workload, Erschöpfung, Stress als auch Fehler können dadurch erfasst werden [12, 16, 18]. Dieses ‚Mental-State-Monitoring‘ führt zu einer optimalen Anpassung zwischen Mensch und Maschine – was auch als ‚Neuroadaptive Technologie‘ bezeichnet wird [17]. So kann z.B. der Schwierigkeitsgrad von Lernprogrammen individuell adaptiert werden [16, 18, 37]. Zudem werden BCIs in Lehre und Bildung als ‚Online-Tutoren‘ verwendet [16, 38]. Aber auch die Anzahl der BCI-Gaming-Applikationen steigt kontinuierlich an [39-41]. Darüber hinaus wird am Einsatz passiver BCIs in der Luftfahrt bzw. im Automobilsektor geforscht [18, 42]. Automatisierte Frühwarnsysteme können den individuellen mentalen

Zustand erfassen und somit die Sicherheit erhöhen [16, 18]. Auch in Berufen mit hoher kognitiver Auslastung wie z.B. bei Fluglotsen findet das ‚Mental-State-Monitoring‘ Anwendung [43]. Schließlich können BCIs auch zur kognitiven Leistungssteigerung gesunder Menschen – zum ‚Human Enhancement‘ – eingesetzt werden (*Enhancement-Funktion*) [10, 18]. Neurofeedback-Training kann zu einer Verbesserung der Aufmerksamkeit, des Arbeitsgedächtnisses sowie der Exekutivfunktionen führen [18]. Dieses Potential macht BCIs auch für militärische Einsatzgebiete interessant [35, 44, 45]. So könnten BCIs z.B. als Lügendetektoren oder zur persönlichen Identifikation dienen [18]. Es ist festzustellen, dass das größte Potential für gesunde Nutzer mit passiven BCIs einhergeht. Jedoch befindet sich die BCI-Technologie noch im Entwicklungsstadium [5, 11]. Insbesondere das geringe Maß an Genauigkeit, Effizienz sowie Schnelligkeit sind die gegenwärtigen, zentralen Herausforderungen von BCIs [6, 18]. Zudem müssen BCIs nicht nur im Labor, sondern vielmehr in realen Umgebungen getestet werden [5, 6, 18].

2.4 Neuroethik und Technikfolgenabschätzung

Mit dem nicht-medizinischen BCI-Gebrauch gehen vielfältige, ethische Fragen einher: Wer handelt im Kontext BCI-modulierter Aktionen und trägt somit die Verantwortung? Der Mensch oder die Maschine? Inwiefern ist das ursprüngliche Bild des Menschen als biologische und natürliche Einheit mit BCIs vereinbar? Schließlich dürfen Aspekte des Datenschutzes und der ‚Privatsphäre des Mentalen‘ nicht außer Betracht gelassen werden [3, 8, 46].

Das Forschungsfeld der Neuroethik

Das wissenschaftliche Gebiet der Neuroethik setzt sich mit den oben ausgeführten Fragen auseinander [47, 48]. Hierbei handelt es sich um ein seit circa fünfzehn Jahren existierendes, interdisziplinäres Forschungsfeld, das ethische Implikationen neurowissenschaftlicher Forschung untersucht [47, 48]. Das Repertoire der Neuroethik reicht von klassischer Grundlagenforschung bis hin zu praktischen Applikationen und soll – sowohl auf individueller als auch auf gesellschaftlicher Ebene – normative Orientierung geben [47, 48]. Als Geburtsstunde der Neuroethik gilt die 2002 in San Francisco veranstaltete Konferenz ‚*Neuroethics: Mapping the Field*‘ [47, 48]. Im weiteren Verlauf professionalisierte sich das Forschungsfeld zunehmend [47]. Ein zentraler Meilenstein war die im kalifornischen Asimolar gegründete ‚*Neuroethics Society*‘, welche der Vernetzung und des Austauschs der Forschenden dient [47].

Analog dazu wecken neurowissenschaftliche Erkenntnisse auch in Wirtschaft und Gesellschaft großes Interesse und werden häufig überhöht [47]. Denn der Präfix ‚Neuro‘ scheint absolute Objektivität und Quantifizierbarkeit zu suggerieren [49]. Dieser ‚Neuro-Hype‘ steht in starker Interdependenz mit der in den 1990ern von der US-amerikanischen Regierung ausgerufenen Dekade des Gehirns [47, 49]. Hierbei wurden enorme Forschungsgelder investiert, um das Gehirn – in Anlehnung an das menschliche Genom – zu kartieren und dechiffrieren [47].

Ethische Implikationen und Technikfolgenabschätzung

Mit der zunehmenden Erforschung des Gehirns sind auch fundamentale Fragen wie personale Identität, Autonomie sowie moralische und rechtliche Verantwortung verbunden [10, 47, 48]. Hierbei wird zwischen invasiven und nicht-invasiven Neurotechniken differenziert und der Abwägungsprozess von Nutzen und Risiken verdeutlicht [8, 50]. So muss im konkreten Einzelfall entschieden werden, ob die Autonomie des Patienten durch eine Krankheit stärker bedroht wird als durch neurotechnische Eingriffe [50]. Aus forschungsethischer Perspektive wird die essentielle Rolle der informierten Einwilligung hervorgehoben [8, 50]. Zudem müssen die vier Prinzipien biomedizinischer Ethik bei Patienten Anwendung finden: Autonomie, Schadensvermeidung, Wohltun bzw. Fürsorge sowie Gerechtigkeit [51].

Inwiefern können diese Grundsätze auf gesunde Nutzer von Neurotechniken übertragen werden? Eine Studie explorierte diese Frage im Kontext des ‚Human Enhancement‘, worunter die Autoren neben pharmakologischen und chirurgischen auch biotechnische Mittel zur Leistungssteigerung subsumierten [52]. Im Sinne des Prinzips der Nichtschädigung wurde eine umfassende Aufklärung der Öffentlichkeit über Risiken sowie potentielle Nebenwirkungen gefordert [8, 52]. Des Weiteren darf kein Zwang zum Enhancement entstehen, wobei der Gesetzgeber einem Missbrauch vorbeugen muss [52]. Ferner ist im Falle einer gesellschaftlich akzeptierten Leistungssteigerung ein fairer Zugang für alle Bevölkerungsschichten von zentraler Bedeutung [52].

Es wird deutlich, dass eine ethisch-anthropologisch-rechtliche Begleitung des technologischen Fortschritts essentiell notwendig ist. Denn die Fülle technischer Wahlmöglichkeiten führt zu normativer Unsicherheit in der Gesellschaft und stellt das Verhältnis von Mensch, Technik und Natur grundlegend in Frage [53]. Eine umfassende Technikfolgenabschätzung muss somit ein zentrales Element technischer Entwicklung sein [54]. Dies gilt insbesondere dann, wenn das Gehirn als Sitz der Persönlichkeit und Identität betroffen ist [54].

2.5 Aktueller Forschungsstand und Relevanz der Arbeit

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt wird das BCI-Forschungsfeld von empirischen Studien aus der Medizin dominiert [26-29, 55]. Hierbei ist eine große Heterogenität vorhanden – sowohl in Bezug auf die verwendeten Forschungsmethoden als auch hinsichtlich der untersuchten Patientengruppen [56]. Nachfolgend werden BCI-Studien mit gesunden Nutzern aufgeführt, daraufhin schließen sich Untersuchungen zu ethischen Implikationen an. Abschließend wird die Relevanz der vorliegenden Arbeit verdeutlicht.

Empirische BCI-Studien mit gesunden Nutzern

Der Großteil der Studien mit gesunden Probanden befasst sich mit der Nutzerfreundlichkeit und Akzeptanz von BCIs [56]. Wenn gesunde Teilnehmer in den Stichproben enthalten waren, dann entweder als a priori-Testsubjekte für Patienten oder in einer Kontrollbedingung [25, 57-61]. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt konnte nur eine qualitative Untersuchung mit ausschließlich gesunden Nutzern identifiziert werden. Hierbei wurde exploriert, inwiefern Menschen ohne Beeinträchtigungen eine virtuelle Umgebung mittels BCI steuern können [19]. In Hinblick auf quantitative Untersuchungen zeigte sich ein äquivalentes – äußerst heterogenes – Bild. Die Meinungen gesunder Nutzer wurden hierbei primär im Kontext des BCI-Gaming erhoben [62-64]. Darüber hinaus analysierte eine Studie, welche Methoden der Bewegungsvorstellung bei gesunden Probanden am effektivsten sind [65].

Ethische Implikationen der BCI-Technologie

Wie oben bereits im Rahmen empirischer Studien dargelegt, dominieren auch bei ethischen Aspekten von BCIs Untersuchungen mit Patienten das Forschungsfeld [25, 66, 67]. Beispielsweise wurde eine Feldstudie mit Schlaganfall- und ALS-Patienten durchgeführt, wobei Nutzer invasiver BCIs als ‚Cyborgs‘ sowie ‚techno-zerebrale Subjekte‘ und somit als Mischwesen aus Mensch und Maschine angesehen wurden [68]. Ihre Postulate begründete die Autorin mit dem damit einhergehenden, bio-technischen Adaptationsprozess [68]. Ferner wurden BCIs als „eine neue Form von Einheit“ [[10], S. 16] zwischen Mensch und Maschine betrachtet und die Gefahr eines BCI-induzierten Abhängigkeitsverhältnisses betont. So rufen vor allem invasive BCIs vielfältige, ethische

Probleme – z.B. in Bezug auf Identität, Authentizität sowie Verantwortung – hervor [8, 10, 48, 52].

Darüber hinaus wird die Komplexität einer ‚disembodied agency‘ im Kontext von BCIs beschrieben und eine Verantwortungslücke postuliert [9, 69, 70]. Es ist festzustellen, dass ethische Implikationen bei gesunden BCI-Nutzern und potentiellen Anwendern in der Allgemeinbevölkerung bisher nur in geringem Maße untersucht wurden [4, 8, 71].

Relevanz dieser Arbeit

Zum vorliegenden Forschungsvorhaben konnte eine relevante Vergleichsstudie – der sog. ‚Asimolar Survey‘ – identifiziert werden [8]. Hierbei evaluierten BCI-Experten auf einer Konferenz in Asimolar (USA) die BCI-Terminologie, das Marktpotential sowie damit einhergehende ethische Implikationen [8]. Die Ergebnisse hoben Fragen des informierten Einverständnisses, der persönlichen Identität sowie ungeklärten Haftung hervor [8]. Ferner schrieben 65% der Befragten den BCI-Nutzern die Verantwortung für ihre Handlungen zu [8]. In ihrer Arbeit verdeutlichten die Autoren die Relevanz ethischer Aspekte bei gesunden BCI-Nutzern:

“(…) no attention was given to “ethical issues for non-patients”. BCI-controlled games are already commercially available and BCI researchers are increasingly applying BCI technologies in gaming or human-computer interaction (HCI). Ethical, societal and legal issues related to BCI for gaming or HCI may differ greatly from the issues related to BCIs for medical purposes. For example, if BCIs were used to track fatigue levels of air traffic controllers, then issues like workers’ rights and privacy of mind may be more imminent topics.”[[8], S. 558]

Darüber hinaus wurde die große Bedeutung der öffentlichen Wahrnehmung betont und dafür appelliert, auch die Allgemeinbevölkerung in diesen Diskurs miteinzubeziehen [8]. Zudem hat sich die Relevanz dieses Themas im Verlauf des vorliegenden Forschungsvorhabens nochmals verstärkt. Denn in den Jahren 2017 und 2018 veröffentlichten die amerikanischen Großkonzerne *Facebook* und *Neuralink* ihre Vorhaben, Teil des BCI-Forschungsfeldes zu werden [9, 72, 73].

Die vorliegende Doktorarbeit möchte die oben erörterten Forschungslücken schließen. Hierbei wurden zentrale Stakeholder des Forschungsfeldes – gesunde BCI-Nutzer sowie die Allgemeinbevölkerung – systematisch befragt. Denn BCIs werden in der Zukunft nicht mehr nur Patienten zu mehr Autonomie und Lebensqualität verhelfen – vielmehr

kann jeder Mensch ein sog. ‚BCI-Endnutzer‘ werden. Umso bedeutsamer ist es, die ethischen, sozialen sowie rechtlichen Perspektiven dieser bislang kaum beachteten Nutzergruppe eingehend zu explorieren.

2.6 Ziele und Forschungsfragen

Mit Hilfe der oben dargestellten Literaturrecherche konnten bestehende Erkenntnisse gesammelt sowie fehlende Fragestellungen identifiziert werden. Es zeigte sich, dass die subjektiven Erfahrungen gesunder BCI-Nutzer – die Empirie – bisher nicht ausreichend untersucht wurde. Daraufhin wurden folgende Zielsetzungen formuliert:

- Systematische Erforschung des Erfahrungs- und Kontextwissens über BCIs aus Sicht von gesunden Nutzern, welche die Technologie im Rahmen von Studien oder darüber hinaus genutzt haben;
- Untersuchung ethischer, sozialer und rechtlicher Aspekte der BCI-Nutzung;
- Erarbeitung eines Basiswissens über BCIs und deren Anwendungen, anhand dessen die (wissenschaftliche) Öffentlichkeit informiert wird.

Auf Basis der Ergebnisse des umfangreichen, qualitativen Datenmaterials wurde eine Fragebogenerhebung konzipiert und folgende Ziele festgelegt:

- Exploration der Perspektiven potentieller BCI-Nutzer;
- Umfassende Information der deutschen Allgemeinbevölkerung über Chancen und Risiken der BCI-Technologie;
- Unterstützung einer verantwortungsvollen und ethisch gesicherten Entwicklung der BCI-Technologie.

Entsprechend dieser Zielsetzungen wurden drei Forschungsfragen formuliert. Gemäß den Prinzipien der Offenheit und Gegenstandsangemessenheit qualitativer Forschung wurde hierbei explizit auf offene Fragestellungen geachtet [74]:

Forschungsfrage 1: Wie erleben sich BCI-Nutzer im Kontext ihrer mit BCI ausgeführten Handlungen?

Forschungsfrage 2: Inwiefern spielen ethische Aspekte wie z.B. Handlungskontrolle und Verantwortung in Bezug auf BCIs eine Rolle?

Forschungsfrage 3: Welche Erwartungen und Befürchtungen bestehen auf Seiten der Anwender gegenüber BCIs?

3. Forschungsdesign und Methodik

Der Forschungsprozess wird nachfolgend detailliert beschrieben. Zunächst wird auf das Mixed-Methods-Design eingegangen, woran sich der Feldzugang sowie die Sampling-Strategie anschließen. Es folgt die Darstellung der methodischen Instrumente – gegliedert nach qualitativen und quantitativen Methoden. Abschließend wird auf forschungsethische Aspekte Bezug genommen.

Das vorliegende Forschungsvorhaben war Teil des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten, internationalen Verbundprojekts ‚INTERFACES‘. Dieses fand unter der Leitung des Instituts für Ethik, Geschichte und Theorie der Medizin (IEGTM) der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU) in Zusammenarbeit mit kanadischen sowie spanischen Kooperationspartnern statt. Die vorliegende Dissertation explorierte ethische, rechtliche und soziale Aspekte (ELSA) des nicht-medizinischen Einsatzes von Gehirn-Computer-Schnittstellen. Vor Beginn des Forschungsvorhabens wurde ein zwölfseitiges Exposé verfasst. Dieses stellte entsprechend des Gütekriteriums der Regelgeleitetheit die einzelnen Analyseschritte dar und skizzierte den Zeitplan [75].

3.1 Mixed-Methods-Design

Bei einem Mixed-Methods-Design handelt es sich um die Kombination quantitativer und qualitativer Forschungsmethoden innerhalb einer wissenschaftlichen Untersuchung. Eine gängige Definition dieses Ansatzes lautet:

„Mixed methods research is a research approach in which a researcher or team of researchers integrates (a) qualitative and quantitative research questions, (b) qualitative research methods and quantitative research designs, (c) techniques for collecting and analyzing qualitative and quantitative data, and (d) qualitative findings and quantitative results.” [[76], S. 30]

Entsprechend des Gütekriteriums der Triangulation werden die Forschungsfragen multiperspektivisch betrachtet, was in einer Maximierung der Validität resultiert [77, 78]. Dieses Design zeichnet sich durch seinen verbindenden Charakter aus: „(...) mixing methods combines the power of stories and the power of numbers” [[76], S. 30]. Somit werden die Vorteile der jeweiligen Verfahren genutzt und damit einhergehende Limitationen kompensiert.

Qualitative Methoden analysieren individuelle Lebenswelten und eröffnen subjektive Perspektiven auf einen Forschungsgegenstand [76, 79]. Jedoch sind diese Erkenntnisse häufig mit geringen Stichprobengrößen sowie Interpretationseffekten verbunden und somit nicht generalisierbar [76]. Daher muss je nach Forschungsinteresse entschieden werden, ob die Verwendung ausschließlich qualitativer Methoden ausreichend ist [79]. Quantitative Methoden umfassen größere Stichproben und können kausal-deskriptive Zusammenhänge wiedergeben [76, 80]. Jedoch neigen sie auch zur Verwendung bereits a priori festgelegter Hypothesen und besitzen häufig nur geringen explorativen Charakter [77]. Ein Mixed-Methods-Design kombiniert die beiden Forschungsparadigmen. Dadurch werden sowohl subjektive als auch generalisierbare Erkenntnisse gewonnen [80].

Es ist festzustellen, dass die methodische Triangulation sowohl der gegenseitigen Validierung als auch der gegenseitigen Ergänzung dient [77, 78]. Die vorliegende Arbeit folgte einem klassischen Phasenmodell, wobei mit Hilfe qualitativer Methoden Hypothesen generiert und diese durch quantitative Instrumente überprüft wurden [77]. Darüber hinaus liegt die Stärke qualitativer Methoden in der Erforschung bislang kaum untersuchter Phänomene [77]. Dieses Design wird als sequentieller, exploratorischer Mixed-Methods-Ansatz bezeichnet [76]. Ein zentrales Element ist die Gleichwertigkeit der verwendeten Methoden [77]. Die Abb. 10 zeigt, dass qualitative und quantitative Methoden ineinandergreifen, sich systematisch ergänzen. Einerseits wurden im Rahmen einer qualitativen Interviewstudie tatsächliche BCI-Anwender befragt ($n = 24$). Andererseits evaluierte die deutsche Bevölkerung BCIs mit Hilfe eines Fragebogens ($n = 1000$). Nachfolgend werden die einzelnen Analyseinstrumente im Detail beschrieben.

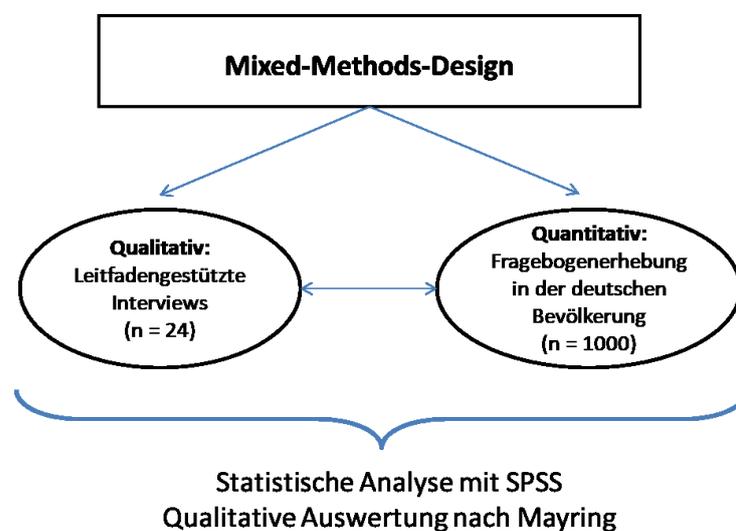


Abb. 10: Mixed-Methods-Design

3.2 Qualitative Interviewstudie

3.2.1 Studiendesign

Zu Beginn des Forschungsvorhabens wurde eine qualitative Studie mit leitfadengestützten Interviews durchgeführt. Die Interviews erfolgten entweder persönlich oder telefonisch/via Skype. Sie wurden mit Hilfe eines Audiogerätes aufgezeichnet und daraufhin transkribiert. Das telefonische/Skype-Format ermöglichte die Rekrutierung einer heterogenen Stichprobe im Sinne des *Maximum Variation Sampling* [81]. Auf diese Weise konnten auch internationale Teilnehmer für die Studie gewonnen werden, was z.B. im Kontext des BCI-Gaming eine essentielle Ressource darstellte. Zudem werden telefonische Interviews generell mit einem höheren Maß an Anonymität und einer größeren Teilnahmebereitschaft assoziiert [82, 83]. In der vorliegenden Arbeit wurden jedoch persönliche Interviews klar präferiert, da diese auch eine Analyse des non-verbalen Verhaltens ermöglichen [83].

3.2.2 Feldzugang

Die BCI-Forschung ist aufgrund ihrer Neuheit und der damit verbundenen Unbekanntheit mit spezifischen Herausforderungen konfrontiert [8]. So handelt es sich hierbei um eine stark international geprägte Thematik, die derzeit insbesondere von den USA dominiert wird [3]. Zudem sind aufgrund der technischen Ausrichtung dieses Forschungsfeldes mehr Männer als Frauen involviert. Darüber hinaus befasst sich die Mehrzahl der Studien – wie oben bereits deutlich wurde – mit Patienten. Geschultes BCI-Personal ist derzeit nur limitiert vorhanden. Diese Charakteristika erschwerten den Zugang zum Feld, weshalb nur eine begrenzte Anzahl an Interviewpartnern zur Verfügung stand.

Sog. *Gatekeeper* dienen als ‚Türsteher‘ bzw. ‚Türöffner‘ in das Forschungsfeld [84]. Sie ermöglichen den Zugang zu Informationen und stellen den Kontakt zu Interviewpartnern her. Nur mit ihrer Hilfe ist ein Eintauchen in das zu explorierende Feld möglich. Die Suche nach einem *Gatekeeper* begann mit einer umfassenden Recherche im Internet. Zunächst war der Fokus auf den deutschsprachigen Raum gerichtet, wobei ein lokales BCI-Forschungsprojekt identifiziert werden konnte. Der Erstkontakt erfolgte mit Hilfe einer E-Mail an den zuständigen Projektleiter. Herr A antwortete zügig und es konnte schnell ein Interviewtermin gefunden werden. Im Verlauf des Gesprächs wurde die große Expertise von Herrn A deutlich, der jahrelang an zahlreichen BCI-Studien mitwirkte. Er

erklärte sich bereit, eine E-Mail an ehemalige Studienteilnehmer weiterzuleiten. Zudem benannte Herr A weitere Kontakte und fungierte somit als zentraler Schlüsselinformant – als *Gatekeeper* – in das Forschungsfeld.

3.2.3 Teilnehmerrekrutierung und *Maximum Variation Sampling*

Das oben beschriebene Vorgehen wird als sog. Schneeballsystem bezeichnet [85, 86]. Hierbei wird eine Person aus dem zu explorierenden Feld befragt. Nach Abschluss des Gesprächs wird diese aktiv um die Vermittlung weiterer Kontakte gebeten. Hinsichtlich der Auswahl der Teilnehmenden wurde eine zielgerichtete Fallauswahl (*Purposeful Sampling*) vorgenommen [81]. Die Interviewpartner mussten über eigene Erfahrungen mit BCIs verfügen und dem gesunden Nutzerkreis angehören. Ferner wurde im Sinne des *Maximum Variation Sampling* auf eine heterogene Zusammensetzung der Stichprobe geachtet [81]. So unterschieden sich die Probanden bezüglich Alter, Geschlecht, Bildung sowie ihrer BCI-Vorerfahrung. Letzte variierte von laienhaften Kenntnissen (meist verbunden mit einmaliger Nutzung) bis hin zu Expertenwissen (jahrelange, berufliche Tätigkeit im BCI-Kontext). Auch hinsichtlich der Anwendungsfelder wurde eine hohe Varianz angestrebt, wobei aktiv unterschiedliche Nutzergruppen rekrutiert wurden. Sowohl BCI-Piloten, Anwender von ‚Consumer-BCIs‘ (z.B. für Entspannungszwecke), BCI-Gamer als auch BCI-Forschende sowie -Technikexperten konnten für ein Interview gewonnen werden.

Die konkrete Art der Interviewdurchführung wurde an den Einzelfall adaptiert. Zunächst fand eine Befragung der lokalen Interviewpartner statt. Daraufhin wurden drei Reisen unternommen, um weitere Gesprächspartner persönlich zu interviewen (Granada, Berlin, Graz). Hierbei handelte es sich um Tagungen bzw. Konferenzen zum Thema BCI, die auch der weiteren Exploration des Forschungsfeldes dienten. Dadurch konnten weitere Teilnehmer rekrutiert sowie in einem *face to face*-Setting interviewt werden. Die abschließenden vier Gespräche fanden aufgrund zu großer räumlicher Distanzen via Skype statt (unter anderem drei Interviewpartner aus den Niederlanden). Je nach Wunsch der Teilnehmer wurden die Gespräche auf Deutsch (n = 19) oder auf Englisch (n = 5) durchgeführt. Auf diese Weise entstand eine Gesamtzahl von 24 Interviews.

3.3 Qualitative Methoden der Datenerhebung

Zur Beantwortung der Forschungsfragen ist eine gegenstandsangemessene Auswahl der Methoden von essentieller Bedeutung. Dadurch kommen Resultate zum Vorschein, „die so mit anderen Verfahren nicht hätten hervorgebracht werden können [[87], S. 177]. Zur Exploration eines noch sehr limitierten Erlebnisses – der Nutzung eines Gehirn-Computer-Schnittstelle – wurden unterschiedliche Methoden sinnvoll miteinander kombiniert. Denn der von Offenheit geprägte, qualitative Forschungsprozess ist explizit auch mit einer breiten Methodenpluralität verbunden.

3.3.1 Feldnotizen

Das kontinuierliche Anfertigen von Feldnotizen ist ein zentrales Werkzeug qualitativer Forschung. Darunter wird die Verschriftlichung der Eindrücke nach dem Feldkontakt verstanden [88]. Auf diese Weise werden die Erlebnisse im Feld systematisch erfasst und dienen im Verlauf des Forschungsprozesses dem weiteren Erkenntnisgewinn. Feldnotizen sind die Basis aller qualitativer Methoden und sollen zeitnah und in chronologischer Reihenfolge erfolgen [89]. Hierbei werden einerseits die Feldbeobachtungen der Forschenden festgehalten. Andererseits werden das subjektive Erleben der Wissenschaftler wie z.B. persönliche Empfindungen und Gefühle – aber auch Überraschungen sowie nicht erfüllte Vorannahmen – erfasst [89]. Dadurch wird der gesamte Forschungsprozess dokumentiert und gemäß des Gütekriteriums der Verfahrensdokumentation für andere nachvollziehbar gemacht [75].

3.3.2 Teilnehmende Beobachtungen

Die Beteiligung an zwei Experimenten im Mai und Juni 2017 ermöglichte es, die Erfahrung einer BCI-Nutzung selbst hautnah erleben zu können. Beim ersten BCI-Experiment wurden in einer schalldichten Kabine circa zwei Stunden lang kurze Filmsequenzen dargeboten und mittels EEG gemessen. Beim zweiten Versuch wurde die Gehirnaktivität mit Hilfe eines mobilen BCIs – dem sog. *Open BCI* – erfasst. Hierbei mussten circa eine Stunde lang weiße Rechtecke in unterschiedlichen Frequenzen betrachtet werden. Nach jedem Trial fand eine Bewertung in Form einer Likert-Skala statt („War der Stimulus angenehm zu betrachten?“). Darüber hinaus wurden BCI-Labore in

zwei deutschen Großstädten sowie in Österreich besichtigt. Diese Erlebnisse ermöglichten es, noch tiefer in die Erfahrungswelt gesunder BCI-Nutzer einzutauchen. Schließlich wurden in den Jahren 2018 und 2019 zwei BCI-Seminare mit circa 25 Studierenden gehalten. Auch diese Erfahrungen dienten als Quellen teilnehmender Beobachtung, wobei die Teilnehmer BCIs umfassend bewerteten. In diesem Kontext konnte auch ein *Emotiv Epoc*-BCI ausgeliehen sowie getestet werden. Das Gerät wurde als weitere Selbsterfahrung in der häuslichen Umgebung verwendet. Hierbei war es z.B. möglich, einen Würfel nur mit Hilfe von Gedanken zu steuern oder den eigenen mentalen Zustand zu visualisieren. Die Abb. 11 und Abb. 12 zeigen Bildschirmausschnitte dieses Erlebnisses:

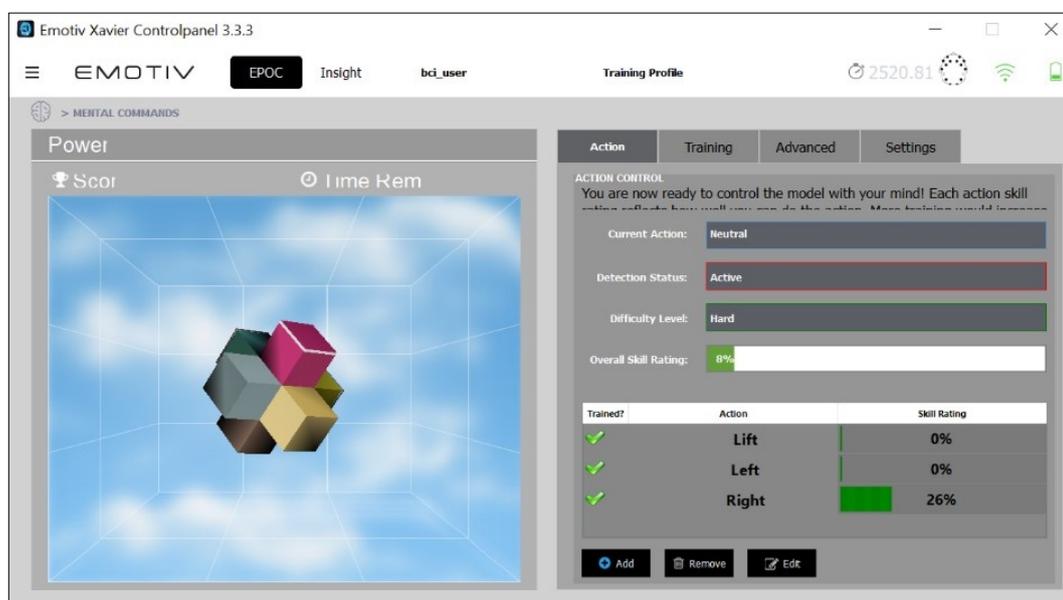


Abb. 11: Steuerung eines Würfels mit Gedanken

BCI-Art: Emotiv Epoc (Version 3.3.3). Die Abb. 11 zeigt im unteren, rechten Bereich drei bereits vom Nutzer angelegte und trainierte Bewegungsrichtungen (Englisch: *Lift*, *Left*, *Right*). Im linken Bereich wird bei korrekt erkanntem Gedankenmuster die jeweilige Bewegung mit Hilfe eines 3D-Würfels visualisiert.



Abb. 12: Darstellung des aktuellen mentalen Zustandes in Wellenform

BCI-Art: Emotiv EPOC (Version 3.3.3). Der obere Graph zeigt einen zeitlichen Verlauf über 30 Sekunden, der untere Graph einen zeitlichen Verlauf über 100 Sekunden. Die mentalen Parameter werden auf der rechten Seite dargestellt und auf der linken Seite mittels entsprechender Farben in Form von Graphen visualisiert.

[*Va* = *Valence*, *En* = *Engagement*, *Fr* = *Frustration*, *Me* = *Meditation*, *Ex* = *Excitement*, *Fo* = *Focus*]

Nach jeder der oben beschriebenen teilnehmenden Beobachtungen wurden Feldnotizen angefertigt, die den Forschungsprozess aktiv beeinflussten. Der mehrmalige, persönliche Gebrauch eines BCIs diente dazu, die Erfahrungen der Interviewpartner besser nachvollziehen zu können. Zudem fand eine regelmäßige Teilnahme an Teammeetings, Forschungskolloquien sowie Methodenreflexionen am IEGTM der LMU München statt. Hierbei wurde der Fortschritt dieser Arbeit in Anlehnung an das Gütekriterium der kommunikativen Validierung kontinuierlich präsentiert [75]. Zudem wurde von einem interdisziplinären Forscherteam aktiv Feedback eingeholt [90].

3.3.3 Ethnografische Gespräche

Bei ethnografischen Gesprächen handelt es sich um informelle, interviewähnliche Unterhaltungen [91, 92]. Sie bedürfen keiner Audioaufnahme bzw. Transkription und ermöglichen dadurch einen ungezwungenen Austausch. Ethnografische Gespräche sind in der Regel Bestandteil von offenen bzw. teilnehmenden Beobachtungen des Feldes und können sowohl *face to face* als auch telefonisch stattfinden. Der Inhalt wird in Form von strukturierten Feldnotizen nach dem Gespräch festgehalten. Neben qualitativen

Interviews, die meist mit einem großen Planungsaufwand verbunden sind, zeichnen sich ethnografische Gespräche durch ihr hohes Maß an Flexibilität aus.

Bei der vorliegenden Arbeit wurden insgesamt sechs ethnografische Gespräche durchgeführt. Vier Unterhaltungen fanden zu Beginn des Forschungsprozesses (Ende 2016/Anfang 2017) mit BCI-Wissenschaftlern statt und dienten der ersten Exploration des Feldes. Zwei ethnografische Unterhaltungen wurden am Ende der qualitativen Datenerhebung (Anfang/Mitte 2018) durchgeführt. Die durchschnittliche Länge betrug circa 30-40 Minuten. Nach jedem Gespräch wurden strukturierte Feldnotizen angefertigt.

3.3.4 Leitfadengestützte Interviews

Konzeption und Aufbau des Leitfadens

Die Durchführung leitfadengestützter Interviews nahm beim vorliegenden Forschungsvorhaben eine zentrale Stellung ein. Auf Basis einer umfassenden Literaturrecherche wurde ein Fragenpool entwickelt, der in der Konzeption eines Leitfadens mündete. Der Leitfaden gab einerseits klare Orientierung und Struktur, was ein hohes Maß an Vergleichbarkeit gewährleistete [93]. Andererseits ermöglichte eine flexible und offene Gesprächsführung, auf individuelle Relevanzsysteme der Gesprächspartner einzugehen [94]. Hierbei mussten die Fragen nicht strikt nach der im Leitfaden angegebenen Form und Reihenfolge gestellt, sondern konnten an die spezifischen Gegebenheiten der Interviewsituation adaptiert werden [94, 95]. Für diese Arbeit wurde ein Leitfaden mit 21 Fragen erstellt, der mit anderen Wissenschaftlern mehrfach kommunikativ validiert wurde [75]. Zudem wurden bei jedem Interview demographische Charakteristika wie Alter, Geschlecht sowie die berufliche Position erhoben.

Aufbau und Durchführung der Leitfadeninterviews

Jedes Gespräch begann mit der Eröffnungsfrage: ‚Inwiefern waren Sie bereits mit BCIs in Kontakt?‘. Diese sollte die Interviewpartner zunächst zur allgemeinen Reflexion über das Thema anregen. Die darauffolgenden Fragen verfolgten das Ziel, konkrete BCI-Erlebnisse in Erinnerung zu rufen. Der Aufbau des Leitfadeninterviews ist gemäß Döring und Bortz in sechs Teile gegliedert [95]:

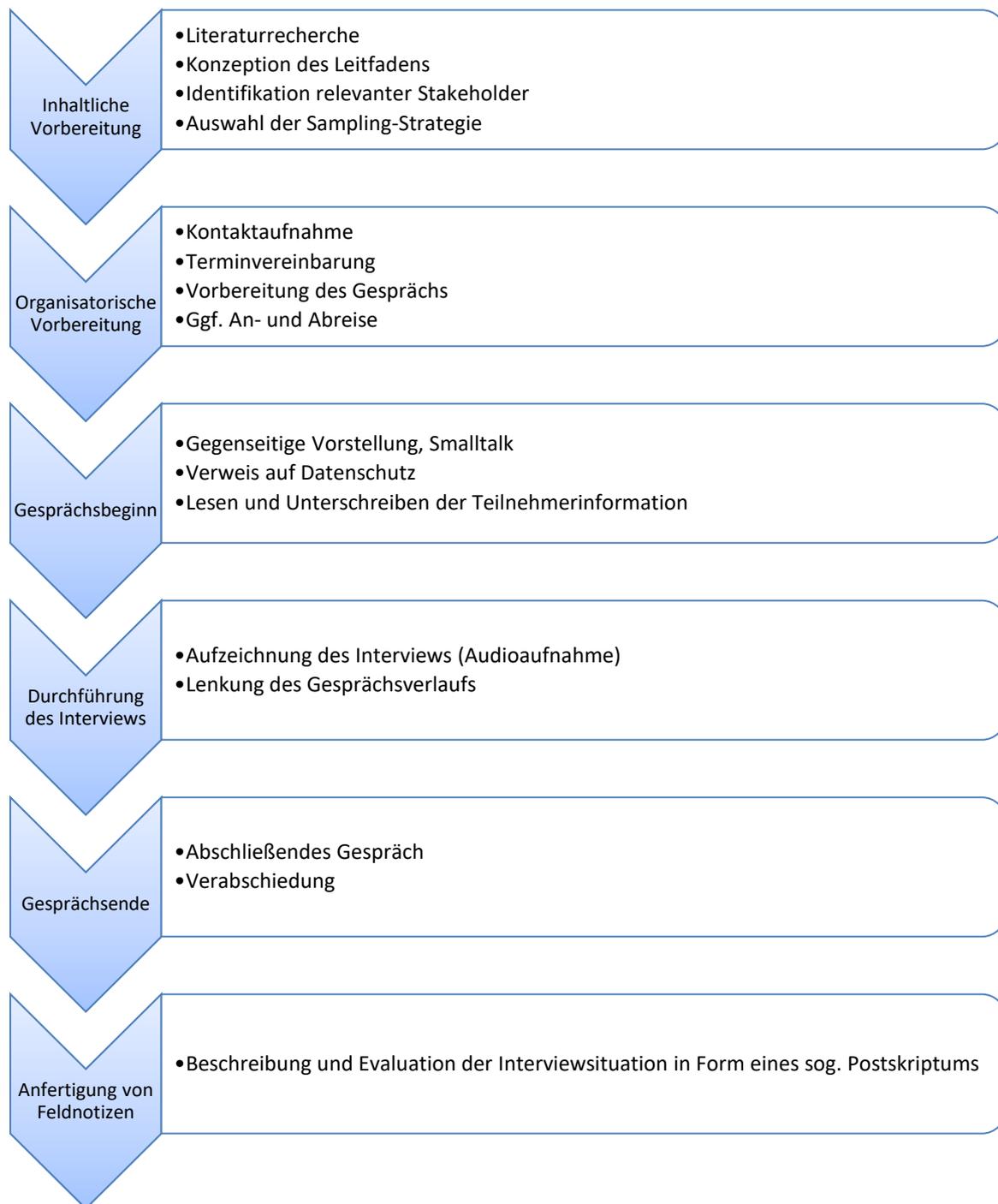


Abb. 13: Aufbau und chronologischer Ablauf der Leitfadeninterviews

Wie die Abb. 13 verdeutlicht, wurden nach der Finalisierung des Leitfadens spezifische Stakeholdergruppen für ein Gespräch identifiziert (**inhaltliche Vorbereitung**). Alle Interviews fanden – soweit möglich – in einem *face to face*-Setting am Wunschort der Teilnehmer wie z.B. in Bürogebäuden oder in einem Café statt. Bei sechs Befragten musste aufgrund großer räumlicher Distanzen ein Gespräch via Telefon oder Skype

durchgeführt werden (**organisatorische Vorbereitung**). Zur Auflockerung der Situation begann jedes Interview mit einem kurzen Smalltalk. Daraufhin wurde der Ablauf des Gesprächs skizziert, worauf sich das Lesen und schriftliche Ausfüllen der Teilnehmerinformation sowie der Einwilligungserklärung anschlossen (siehe Anhang (2)). Alle befragten Personen füllten die oben beschriebenen Dokumente aus und waren mit der Audioaufnahme einverstanden (**Gesprächsbeginn**). Die Gesprächssituation war durch eine offene Atmosphäre geprägt, wobei die Teilnehmenden in der Regel erzählfreudig und aufgeschlossen waren. Die Interviewdauer variierte zwischen 19 und 65 Minuten und war maßgeblich vom Ausmaß der individuellen Vorerfahrung abhängig. Beispielsweise hatte die Person mit der kürzesten Interviewdauer BCIs nur im Rahmen einer einmaligen Studienteilnahme kennengelernt und konnte ihre Erlebnisse daher entsprechend kürzer fassen. Je nach individuellem Bekanntheitsgrad wurden die Teilnehmenden geduzt oder gesiezt, wobei pro Person ein Interview stattfand. Die letzte Frage diente dem Debriefing und lautete: ‚Gibt es sonst noch etwas, das Sie für relevant halten und was bisher nicht angesprochen wurde?‘ (**Durchführung und Aufzeichnung des Interviews**). Nach Ende des Gesprächs wurden noch offene Fragen geklärt sowie teilweise weitere Kontakte ausgetauscht, bevor man sich verabschiedete (**Gesprächsende und Verabschiedung**). Daraufhin wurden Feldnotizen in Form eines Postskriptums angefertigt. Diese inkludierten neben dem Ort und Zeitpunkt des Treffens auch eine Evaluation der gesamten Situation wie z.B. die Gesprächsatmosphäre sowie unerwartete Aspekte (**Anfertigung von Feldnotizen**).

Auf inhaltlicher Ebene war das Leitfadeninterview in folgende Bereiche gegliedert (siehe Anhang (3)):

1. Bisheriger Kontakt mit BCIs im Allgemeinen
2. Konkrete BCI-Nutzung (z.B. Anzahl, Dauer, mentale Strategie, Training)
3. Subjektives Empfinden hinsichtlich der BCI-Nutzung (z.B. Erwartungen, Befürchtungen)
4. Ethische Aspekte der BCI-Technologie
5. Evaluation des zukünftigen Entwicklungspotentials von BCIs
6. Beschreibung der alltäglichen Nutzung von Technik (subjektive Einschätzung der Möglichkeiten und Grenzen) sowie Übertragung auf das BCI-Setting

Zum Abschluss jedes Interviews reflektierten die Teilnehmer über die Mensch-Maschine-Interaktion im Allgemeinen. Dies regte die Interviewpartner aktiv zum Nachdenken über die BCI-Technologie an. Beispielsweise konnten Parallelen zwischen dem alltäglichen Umgang mit Smartphones und damit verbundenen Sorgen auch auf die Nutzung von BCIs übertragen werden. Aber auch die Zukunftsvision des autonom fahrenden Fahrzeugs war eine beliebte Metapher. Zudem war es durch dieses Vorgehen möglich, die Variable ‚Technikaffinität‘ empirisch zu erfassen.

Transkription

Die Interviews wurden mit Hilfe eines Audiogerätes aufgenommen sowie anschließend transkribiert. Unverständliche Wörter, Unterbrechungen sowie Pausen wurden im Transkript kenntlich gemacht [96]. Ferner wurden Dialekte sowie grammatikalische Inkorrektheiten nicht übernommen. Zum Datenschutz der beteiligten Personen wurden Synonyme verwendet, äquivalent wurde bei Orten und Institutionen verfahren [96]. Jeder am Forschungsprozess beteiligten Person wurde nach alphabetischer Reihenfolge ein Buchstabe zugeordnet. Analog wurde bei den Feldnotizen verfahren. Nach dem Ende der Transkription wurden die Interviewaufnahmen zum Datenschutz unwiderruflich gelöscht [96].

3.3.5 Auswertung der Interviewstudie mittels Qualitativer Inhaltsanalyse (Mayring)

Das Datenmaterial wurde mittels der Qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring ausgewertet [97, 98]. Die Erstellung der Kategorien erfolgte gemischt induktiv-deduktiv [98]. Mit Hilfe der Analysesoftware MAXQDA (Version 2018) wurde sich zunächst ein Überblick über das umfassende qualitative Material verschafft [99]. Dieses Vorgehen diente dem Aufbrechen der Daten, was in der Identifikation von Hauptkategorien resultierte. Im Anschluss daran wurde das Material erneut kodiert, wobei weitere Kategorien entstanden. Die Qualitative Inhaltsanalyse setzt sich gemäß Schreier aus folgenden Bausteinen zusammen [99]:



Abb. 14: Komponenten der Qualitativen Inhaltsanalyse nach Schreier [99]

Die Kombination der oben dargestellten Bausteine führte zur Entwicklung eines Kategoriensystems, was auch als „Herzstück“ der Qualitativen Inhaltsanalyse bezeichnet wird [[99], S. 4]. Als letzter Analyseschritt wurde das gesamte Datenmaterial mit dem finalen Kategoriensystem erneut überprüft. Die Qualitative Inhaltsanalyse folgte somit einer klaren Systematik, war regelgeleitet und orientierte sich maßgeblich an den Gütekriterien der Reliabilität und Validität [97, 99].

3.4 Quantitative Fragebogenstudie in der deutschen Bevölkerung

3.4.1 Studiendesign

Diese Studie wurde in Form einer retrospektiven Querschnittuntersuchung durchgeführt. Eine repräsentative Stichprobe der deutschen Allgemeinbevölkerung nahm an einer Befragung zu sozialen, ethischen und rechtlichen Aspekten des nicht-medizinischen Einsatzes von Gehirn-Computer-Schnittstellen teil ($n = 1000$). Jede Person füllte einen Online-Fragebogen des zur Durchführung beauftragten Institutes *Lightspeed Research* aus. Die Fragebogenerhebung basierte maßgeblich auf den Resultaten der qualitativen Interviewstudie.

3.4.2 Fragebogenentwicklung

Eine zum gegenwärtigen Zeitpunkt unveröffentlichte Umfrage der ‚INTERFACES‘-Kooperationspartner sowie der oben bereits angeführte ‚Asimolar-Survey‘ [8] dienten als Vergleichsmaterial. Der Fragebogen beinhaltete 20 Items und war inhaltlich wie folgt gegliedert:

1. Einleitung (Begrüßung und Einführung in die Thematik)
2. Erfassen der individuellen Technikaffinität (3 Fragen)
3. Vorerfahrung/Vorwissen bezüglich Brain-Computer Interfaces (2 Fragen)
4. Präsentation Videoausschnitt (‚Was sind BCIs?‘)
5. Evaluation sozialer, ethischer und rechtlicher Aspekte der BCI-Technologie (15 Fragen)
6. Demographische Angaben

Zu Beginn beantworteten die Teilnehmer drei Items zur Erfassung ihrer Technikaffinität, die dem bereits mehrfach validierten Fragebogen *TA-EG* entnommen wurden [100]. Es folgten zwei Items zur Exploration des individuellen BCI-Vorwissens bzw. der Vorerfahrung. Daraufhin erhielten sie eine Definition von BCIs in Form eines circa zwei-minütigen Videos. Dieses wurde aus zwei deutschsprachigen Videoausschnitten zusammengeschnitten. Die beiden Lizenzen wurden vorab schriftlich eingeholt. Der erste Teil des Videos gab eine allgemein gut verständliche Einführung in die Thematik (‚Was sind BCIs?‘), was nachfolgender Videoausschnitt verdeutlicht:



Abb. 15: Ausschnitt aus dem BCI-Einführungsvideo

Der zweite Teil des Videos veranschaulichte den praktischen Einsatz einer Gehirn-Computer-Schnittstelle. Mit Hilfe eines Beispiels – der Steuerung einer Drohne – wurde der nicht-medizinische Einsatz von BCIs exemplarisch dargestellt. Im Anschluss fand die Evaluation der insgesamt 15 Items zu ethischen, sozialen und rechtlichen Fragen der BCI-Technologie statt. Die Items wurden mit Hilfe einer 7-stufigen Likert-Skala (*1 = Ich stimme gar nicht zu; 2 = Ich stimme nicht zu; 3 = Ich stimme eher nicht zu; 4 = Ich bin neutral; 5 = Ich stimme eher zu; 6 = Ich stimme zu; 7 = Ich stimme voll und ganz zu*) evaluiert. Diese besitzt eine besondere wissenschaftliche Güte [95, 101, 102]. Mit zunehmenden Antwortkategorien geht ein signifikanter Anstieg der Reliabilität und Validität einher, jedoch ist dieser ab sieben Abstufungen nur noch gering [101]. Lediglich bei zwei Fragen fanden aus Gründen der besseren Nachvollziehbarkeit binäre Antwortkategorien (Ja vs. Nein) Anwendung. Diese erfassten das individuelle BCI-Vorwissen bzw. die -Vorerfahrung. Alle Items sind in der Tab. 2 im Original, in abgekürzter Form sowie in deren Zuordnung zu Konstrukten aufgeführt.

Tab. 2: Originale, Abkürzungen sowie Konstrukte der Items

Original-Items	Abkürzung	Konstrukt
1. Ich bin begeistert, wenn ein neues elektronisches Gerät auf den Markt kommt.	Begeisterung für Technik	Technikaffinität
2. Es fällt mir leicht, die Bedienung eines elektronischen Geräts zu lernen.	Kompetenz im Umgang mit Technik	Technikaffinität
3. Elektronische Geräte erleichtern mir den Alltag.	Positive Einstellung gegenüber Technik	Technikaffinität
4. Ich weiß, was eine Gehirn-Computer-Schnittstelle (auch Brain-Computer Interface genannt) ist.	BCI-Vorwissen	BCI-Vorwissen
5. Ich habe bereits eine Gehirn-Computer-Schnittstelle getestet.	BCI-Vorerfahrung	BCI-Vorerfahrung
6. Ich würde eine Gehirn-Computer-Schnittstelle selbst einmal nutzen wollen.	Nutzungswunsch	Nutzungswunsch
7. Wenn man eine Kappe mit Elektroden verwenden muss, würde ich die Technik nicht nutzen.	EEG-Kappe reduziert den Nutzungswunsch	Nutzungswunsch
8. Ich wäre bereit, für die Nutzung dieser Technik vier Wochen jeden Tag zu üben.	Trainingsbereitschaft	Nutzungswunsch
9. Diese Technik sollten nur solche Menschen nutzen dürfen, die zuvor einen Führerschein dafür gemacht haben.	Notwendigkeit eines BCI-Führerscheins	Erwartungen
10. Ich hätte Bedenken, eine Gehirn-Computer-Schnittstelle zu nutzen, da man dabei unvorteilhaft aussieht.	BCI sieht unvorteilhaft aus	Nutzungswunsch
11. Wenn eine Handlung mit Hilfe von Gehirn-Computer-Schnittstellen ausgeführt wird, handelt immer noch der Mensch.	Immer noch eine menschliche Handlung	Ethische Evaluation
12. Die Verantwortung für Handlungen mittels einer Gehirn-Computer-Schnittstelle trägt der Nutzer selbst.	Der BCI-Nutzer ist verantwortlich	Ethische Evaluation
13. Nutzer von Gehirn-Computer-Schnittstellen können in ihren hohen Erwartungen an die Technik enttäuscht werden.	Hohe Erwartungen führen zu Enttäuschung	Befürchtungen
14. Die Anwendung von Gehirn-Computer-Schnittstellen sollte gesetzlich geregelt werden.	Gesetzliche Regulierung von BCIs	Erwartungen
15. Nutzer dieser Technik sollten sich keine unfairen Vorteile (z.B. schnellere Reaktionszeiten) verschaffen können.	Keine unfairen Vorteile	Befürchtungen
16. Nutzer von Gehirn-Computer-Schnittstellen wären für mich eine Mischung aus Mensch und Maschine.	Mischung aus Mensch und Maschine	Ethische Evaluation
17. Gehirn-Computer-Schnittstellen verändern das Verständnis vom Menschsein.	Veränderung des Menschseins	Ethische Evaluation
18. Bei der Nutzung einer solchen Technik hätte ich Sorgen, dass Gehirninhalte ausgelesen werden könnten.	Gefahr des Gedankenlesens	Befürchtungen
19. Ich hätte Bedenken, dass Gehirn-Computer-Schnittstellen missbräuchlich verwendet werden könnten.	Angst vor BCI-Missbrauch	Befürchtungen
20. Ich vertraue Forschern, dass sie verantwortungsvoll mit der Entwicklung dieser Technik umgehen.	Vertrauen in verantwortungsvolle Entwicklung	Erwartungen

Pretests

Im Rahmen von Teammeetings wurden wiederholt Pretests durchgeführt, was in sprachlichen Umformulierungen sowie Veränderungen der Reihenfolge resultierte. Zudem wurde die Anzahl der Items auf 20 Fragen festgelegt. Darüber hinaus fand eine Evaluation des Fragebogens im Sinne der *Think Aloud*-Technik statt. Hierbei bewerteten Menschen ohne BCI-Vorkenntnisse das Verständnis, den Aufbau sowie die Länge der Erhebung [86, 95]. Weitere Pretests konnten in Form einer ersten Online-Testversion realisiert werden. Der Fokus lag neben der inhaltlichen Analyse auch auf Aspekten der Formatierung und Übersichtlichkeit. So wurde explizit auf eine für Laien nachvollziehbare Sprache sowie allgemein gut verständliche Einführung in die Thematik geachtet. Auf diese Weise entstand ein vielfach geprüftes sowie plausibles Messinstrument (siehe Anhang 6).

3.4.3 Statistische Auswertung mittels SPSS

Die statistische Auswertung der Studie fand mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS (Version Nr. 25, IBM) statt. Es wurden deskriptiv-beschreibende Statistiken zur Analyse herangezogen. Insgesamt betrachtet zeigten sich relativ homogene Bewertungen der Items, die eine positive Sichtweise auf die BCI-Technologie zum Ausdruck brachten. Bei Item 5 (*Ich hätte Bedenken, eine Gehirn-Computer-Schnittstelle zu nutzen, da man dabei unvorteilhaft aussieht.*) wurde der Minimalwert der Erhebung beobachtet. Bei Item 7 (*Die Verantwortung für Handlungen mittels einer Gehirn-Computer-Schnittstelle trägt der Nutzer selbst.*) zeigte sich hingegen der Maximalwert an Zustimmung.

3.5 Forschungsethik

Unter dem Terminus ‚Forschungsethik‘ werden folgende Charakteristika subsumiert [103]:

- Das Streben nach wissenschaftlicher Integrität und Objektivität
- Die auf Freiwilligkeit beruhende Teilnahme
- Der Grundsatz des Informierten Einverständnisses („*Informed Consent*“)
- Das Prinzip der Nicht-Schädigung
- Die Gewährleistung von Vertrauen und Anonymität

Alle oben genannten Gesichtspunkte wurden im Rahmen der vorliegenden Untersuchung in die wissenschaftliche Praxis umgesetzt. Die Studienteilnahme der befragten Personen erfolgte freiwillig und konnte bis zur vollständig anonymisierten Verschriftlichung der Interviews ohne Darlegung von Gründen widerrufen werden. Im Vorfeld dieses Forschungsvorhabens wurde die ethisch-rechtliche Unbedenklichkeit von Seiten der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der LMU München eingeholt (siehe Anhang (4); Projekt-Nr. 17-238). Zudem wurden alle Teilnehmer über den Hintergrund, Zweck und den Ablauf der Studie sowie über die Einhaltung datenschutzrechtlicher Vorgaben umfassend informiert [90, 94]. Alle Teilnehmenden erklärten sich in Form eines Informierten Einverständnisses schriftlich zur Studienteilnahme bereit und waren mit der Audioaufnahme einverstanden [90, 94] (siehe Anhang (2)).

Analog dazu wurde bei der Durchführung der Online-Fragebogenerhebung verfahren. Die Teilnehmer wurden zu Beginn der Umfrage über die Freiwilligkeit und vollständige Anonymisierung ihrer Teilnahme aufgeklärt [90]. Durch das Ausfüllen des Fragebogens erklärten sich die befragten Personen mit der Studienteilnahme einverstanden. Ferner wurde zur Durchführung der Bevölkerungsumfrage eine Unbedenklichkeitserklärung von Seiten der örtlichen Ethikkommission eingeholt (siehe Anhang (4); Projekt-Nr.: 18-600 UE).

4. Ergebnisse der qualitativen Interviewstudie

Nachfolgend werden die Resultate der qualitativen Interviewstudie dargestellt. Welches Erleben war mit der Nutzung von BCIs verbunden? Wie wurde diese neuartige Technologie beschrieben? Und welche ethischen Implikationen ergaben sich dadurch? Die Abb. 16 zeigt eine Übersicht des gesamten Kategoriensystems.

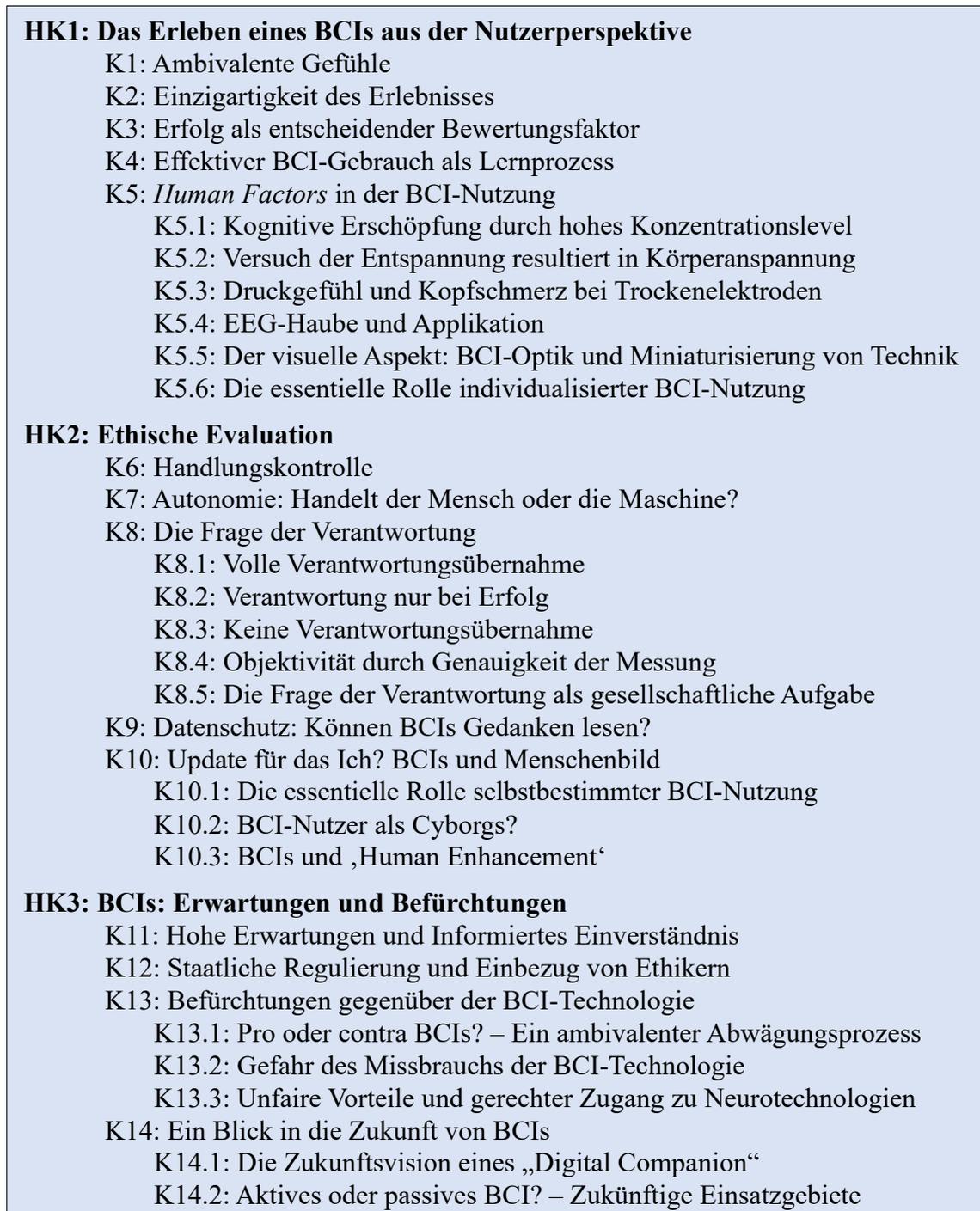


Abb. 16: Das Kategoriensystem der qualitativen Interviewstudie
[HK = Hauptkategorie, K = Kategorie]

4.1 Beschreibung der Stichprobe

Im Laufe des Jahres 2017 wurden insgesamt 24 Interviews durchgeführt. Eines davon fand nach Wunsch der Teilnehmer mit zwei Personen gleichzeitig statt (Frau D und Herr J, siehe Tab. 3). Entsprechend beinhaltet die nachfolgende Übersicht die Angaben von 25 Teilnehmern, obwohl die Stichprobe nur 24 Interviews umfasst. Hinsichtlich der Geschlechterverteilung ist festzustellen, dass 6 Frauen und 19 Männer befragt wurden. Diese stammten aus unterschiedlichen BCI-Fachgebieten: Beispielsweise aus dem BCI-Flugsektor ($n = 7$), dem wissenschaftlichen BCI-Kontext ($n = 11$), der BCI-Soft- und Hardwareentwicklung ($n = 2$), dem BCI-Gaming ($n = 3$) sowie dem studentischen Umfeld im Rahmen von BCI-Versuchsteilnahmen ($n = 2$). Die Interviewpartner wurden entweder über Email, telefonisch oder auf persönlichem Wege rekrutiert. Das individuelle Hintergrundwissen der Befragten variierte von laienhafter Nutzung ($n = 11$) bis hin zu BCI-Expertenwissen im beruflichen Kontext ($n = 14$). Insgesamt betrachtet war eine hohe Technikaffinität in der vorliegenden Stichprobe vorhanden. Eine Übersicht aller Interviewteilnehmer gibt die Tab. 3:

Tab. 3: Übersicht der Interviewteilnehmer, gegliedert nach Geschlecht & Pseudonym, Alter, Bildungsniveau, Fachrichtung sowie Hintergrundwissen

Teilnehmer (n = 24; ein Interview mit zwei Personen inkludiert)

Nr.	Geschlecht & Pseudonym	Alter	Bildungsniveau	Fachrichtung	Hintergrundwissen	Besonderheiten
1	Frau A	29	Master	BCI-Wissenschaftlerin	BCI-Expertin	
2	Frau B	35	Promotion	BCI-Wissenschaftlerin	BCI-Expertin	
3	Frau C	25	Master	BCI-Wissenschaftlerin	BCI-Expertin	
4	Frau D	28	Master	BCI-Wissenschaftlerin	BCI-Expertin	Interview zusammen mit Herrn J
5	Frau E	25	Bachelor	BCI-Wissenschaftlerin	BCI-Expertin	
6	Frau F	24	Bachelor	Studentin	BCI-Laie	
7	Herr A	30	Promotion	Flugsektor	BCI-Experte	
8	Herr B	32	Master	BCI-Wissenschaftler	BCI-Experte	
9	Herr C	28	Master	Flugsektor	BCI-Laie	
10	Herr D	28	Master	Flugsektor	BCI-Laie	
11	Herr E	25	Master	Flugsektor	BCI-Laie	
12	Herr F	32	Master	Flugsektor	BCI-Laie	
13	Herr G	56	Diplom	Flugsektor	BCI-Laie	
14	Herr H	26	Master	Flugsektor	BCI-Laie	
15	Herr I	32	Master	BCI-Entwickler	BCI-Experte	
16	Herr J	31	Master	BCI-Wissenschaftler	BCI-Experte	Interview zusammen mit Frau D
17	Herr K	44	Promotion	BCI-Entwickler	BCI-Experte	
18	Herr L	50	Promotion	BCI-Wissenschaftler	BCI-Experte	
19	Herr M	26	Bachelor	Student	BCI-Laie	
20	Herr N	44	Promotion	BCI-Wissenschaftler	BCI-Experte	
21	Herr O	45	Promotion	BCI-Wissenschaftler	BCI-Experte	
22	Herr P	48	Promotion	BCI-Wissenschaftler	BCI-Experte	
23	Herr Q	55	Ausbildung	BCI-Gamer	BCI-Laie	
24	Herr R	31	Master	BCI-Gamer	BCI-Laie	
25	Herr S	30	Master	BCI-Gamer	BCI-Laie	
Interviewdauer		19-65 Minuten (ø 39 Minuten)				
Alter Probanden		25-56 Jahre (ø 35 Jahre)				

4.2 Forschungsfrage 1: Das BCI-Erleben aus Sicht gesunder Nutzer

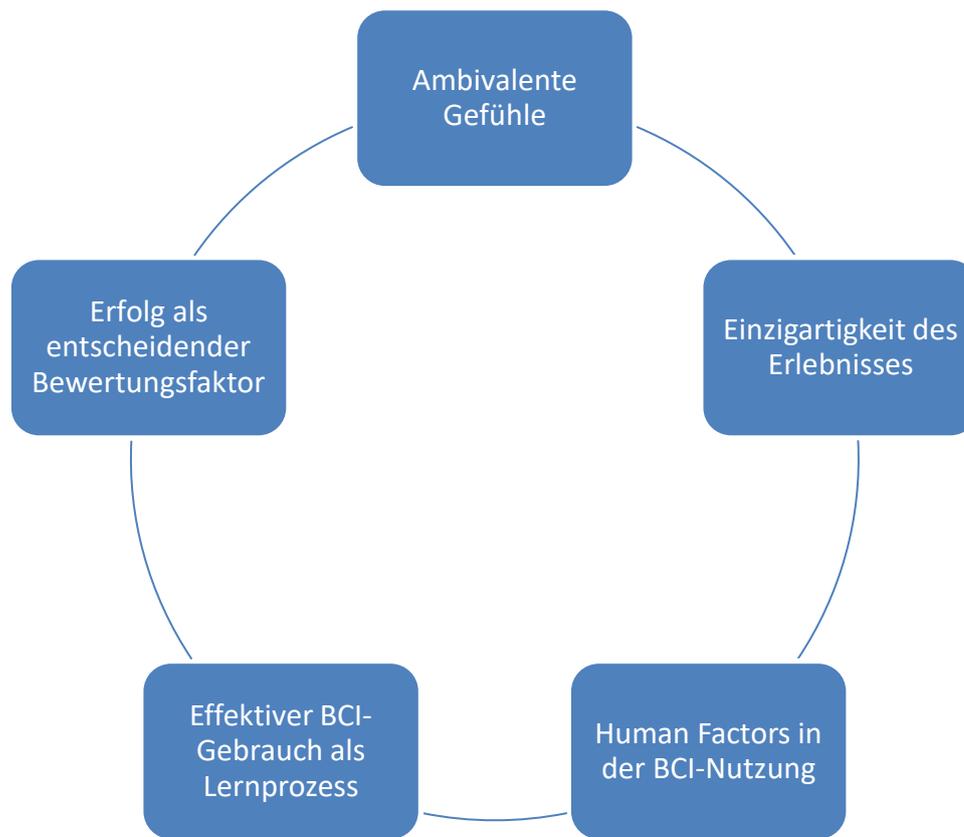


Abb. 17: Hauptkategorien der Forschungsfrage 1

Die Abb. 17 zeigt die Hauptkategorien der Forschungsfrage 1. Nachfolgend wird jede Kategorie mit Hilfe eines in-vivo-Zitates eingeleitet und daraufhin ausführlich beschrieben.

4.2.1 Ambivalente Gefühle

„Ich hab als 5-Jähriger so eine Zeichentrickserie gesehen, die hieß Captain Future. (...) Und das fand ich damals gruselig, aber auch unglaublich faszinierend, dass ein Gehirn mit einer Maschine so interagieren kann, dass es den Körper ersetzt.“
(Interview (= I.) 18, Z. 20-25)

Die Nutzung eines BCIs weckte bei den Interviewteilnehmern einerseits Faszination und Neugier, andererseits auch zahlreiche Befürchtungen. Zur Beschreibung dieser Technologie dominierten in der untersuchten Stichprobe häufig Metaphern aus Büchern und

Filmen. So wurden Vergleiche mit „Science-Fiction“ (I. 5, Z. 208, 226; I. 18, Z. 60, Feldnotizen Ethnografisches Gespräch (= EG) 6) oder Filmen wie „Terminator“ (I. 9, Z. 497) und „Star Wars“ (I. 5, Z. 82) hergestellt. Darüber hinaus wurde die BCI-Technologie häufig mit einem „Knopf“ (vgl. I. 1, Z. 275; I. 4, Z. 209; I. 13, Z. 359) oder einem „Werkzeug“ (I. 18, Z. 76, 169; I. 21, Z. 43) assoziiert.

Betrachtet man den mit BCIs verbundenen Neuheitseffekt, so kam dieser auch auf sprachlicher Ebene – z.B. durch Wortneuschöpfungen wie „geinterfaced“ – zum Ausdruck (I. 11, Z. 309). Darüber hinaus beschrieb eine Nutzerin mit jahrelangem Expertenwissen eindrücklich den für BCI-Studien charakteristischen „Aha-Effekt“ (Engl., I. 7, Z. 514-515). Denn hierbei würden laut Frau A auf Seiten der Teilnehmer zu Beginn häufig Angst und Skepsis überwiegen: „(...) viele Menschen waren am Anfang ängstlich, aber sie kamen trotzdem zur Studie, weil sie neugierig waren (...)“ (Engl., I. 7, Z. 354-358). Diese Zweifel würden Frau A zufolge nach den ersten praktischen Erfahrungen sehr schnell verschwinden. Insgesamt betrachtet war bei der qualitativen Interviewstudie eine stark ausgeprägte Ambivalenz in Bezug auf BCIs vorhanden. Dies wird auch in den nachfolgenden Kategorien immer wieder deutlich.

4.2.2 Einzigartigkeit des Erlebnisses

*„Das ist schon eigentlich einmalig, würde ich jetzt so sagen, und habe ich dann auch nicht mehr erlebt.“
(I. 6, Z. 232-233)*

Wie fühlte sich die Nutzung eines BCIs an? Welche Gefühle wurden bei gesunden Nutzern geweckt? Wie bereits in der Einleitung dargelegt, ist bei der Evaluation zwischen aktiven und passiven BCIs zu differenzieren. Denn das subjektive Erleben ist signifikant abhängig von der verwendeten BCI-Art. Der Gebrauch aktiver BCIs rief bei den Teilnehmern bisher unbekannte Gefühle hervor. Insbesondere das Handeln ohne physische Tätigkeit wurde als unwirklich und völlig neuartig empfunden, was sich auch in einem zögerlichen Sprachgebrauch zeigte: „Und da war eine EEG-Haube, die ich halt aufziehen musste und wo ich über, wie soll ich sagen, Gesten oder Ged-, was heißt Gedanken, über gedachte Gesten (...) einen Flugsimulator gesteuert hab.“ (I. 6, Z. 4-6). Ferner wurden BCI-modulierte Handlungen – im Gegensatz zu körperlichen – als

unbewusst empfunden, da man „im Endeffekt einfach nur so dasitzt“ und sich stark konzentrieren müsse (I. 6, Z. 232).

Hinsichtlich aufkommender Emotionen dominierten zum einen Faszination und Begeisterung, zum anderen aber auch Unsicherheit. Ein Teilnehmer, der sich beruflich mit BCI-Forschung beschäftigt, drückte seine Gefühle folgendermaßen aus: „(...) es ist wirklich was Spannendes, wo man große und erste Schritte machen kann.“ (I. 13, Z. 775-776). Andere Interviewpartner verwendeten hingegen folgende Begriffe:

- „**interessant**“ (I. 3, Z. 135; I. 6, Z. 169; I. 7, Z. 514; I. 8, Z. 33; I. 15, Z. 234; I. 16, Z. 209)
- „**cool**“ (I. 6, Z. 124; I. 7, Z. 498; I. 10, Z. 332; I. 19, Z. 252; I. 20, Z. 6)
- „**komisch**“ (I. 1, Z. 178; I. 4, Z. 92; I. 5, Z. 48; I. 6, Z. 221; I. 9, Z. 232; I. 16, Z. 254).

Ferner beschrieben die Interviewteilnehmer BCIs als eine Kooperation zwischen Computer und Gehirn, wobei sich „im Idealfall“ beide aneinander anpassen (I. 12, Z. 141-142). Zudem wurde die Einzigartigkeit dieses Erlebnisses hervorgehoben: „(...) so vom Gefühl her gibts eigentlich nichts Vergleichbares.“ (I. 6, Z. 229-230).

4.2.3 Erfolg als entscheidender Bewertungsfaktor

*„Ich war total glücklich, dass es funktioniert hat.“
(I. 4, Z.358-359)*

Wie mit Hilfe des Zitates deutlich wird, war die Wahrnehmung der BCI-Technologie auch signifikant vom Ausmaß des individuellen Erfolges abhängig. Hatten die Teilnehmer folglich das Gefühl der bewussten Steuerung oder schien subjektiv der Zufall zu überwiegen? Der Großteil der Interviewpartner beschrieb bei erfolgreichen BCI-Handlungen sehr positive Emotionen. Auf die Frage, wie sich die Nutzung eines aktiven BCIs anfühlte, antworteten Herr D, Herr G und Herr R: „(...) das hat dann erstaunlich gut funktioniert (...) Und dann hab ich mich total gefreut.“ (I. 4, Z. 64-66), „Super! Wenn’s funktioniert hat.“ (I. 8, Z. 160) oder „(...) als zum Schluss alles funktionierte, war es unglaublich.“ (Engl., I. 23, Z. 181-182).

Insgesamt betrachtet hatten die Teilnehmer jedoch sehr heterogene Erfolgserlebnisse, die maßgeblich von Vorerfahrungen abhängig waren. Die Evaluationen werden mit Hilfe der

Tab. 4 zusammengefasst, wobei nach Ausmaß des Erfolges und Hintergrundwissen differenziert wird:

Tab. 4: Übersicht individueller Erfolgsbewertungen der BCI-Nutzung, gegliedert nach Ausmaß des Erfolges und Hintergrundwissen

Teilnehmer (n = 25; ein Interview mit zwei Personen inkludiert)

Abstufungen individueller Erfolgsbewertung			
Ausmaß des Erfolges	gering	teilweise	gut bis sehr gut
Anzahl Nutzer mit laienhaftem Wissen	4x	4x	3x
Anzahl Nutzer mit Expertenwissen	5x	-	9x

Darüber hinaus spielte die Visualisierung des Erfolgs in Form von Feedback eine zentrale Rolle bei der Erfolgsbewertung. Beispielsweise sahen die BCI-Piloten im Flugsimulator, inwiefern die von ihnen intendierte Handlung mit den Aktionen auf dem Bildschirm übereinstimmte. Analog dazu bekamen die BCI-Gamer im Spielverlauf unmittelbar eine Rückmeldung, ob die mentale Verwandlung erfolgreich war. Die gewünschte Transformation fand erst dann statt, wenn sich die Gamer mental in die Stimmungslage eines Tieres hineinversetzen konnten. Wie bereits in der Einführung dieser Arbeit erörtert, ist eine Quantifizierung des Erfolgs bei passiven BCIs nur bedingt möglich. Denn hierbei werden primär kognitive Zustände ausgelesen und somit keine aktiven Handlungen vollzogen. Ein zur Erfolgsmessung notwendiges Feedback erhielten die in dieser Stichprobe vorhandenen Nutzer passiver BCIs nicht.

4.2.4 Effektiver BCI-Gebrauch als Lernprozess

„Man muss als Benutzer erst mal lernen, wie man diese (...) Aktivitätspattern in seinem Gehirn erzeugt, so wie man ja auch letzten Endes laufen lernt oder ein Musikinstrument spielen.“
(I. 1, Z. 85-87)

Erfolgreicher Umgang mit aktiven BCIs erfordert ein hohes Maß an Training und Motivation. Wie das obige Zitat deutlich macht, wurde dieser Lernprozess z.B. mit Laufen lernen oder dem Erlernen eines Instrumentes verglichen. Ferner wurde die mit BCIs verbundene Übung mit „Fahrrad fahren“ (I. 6, Z. 80) oder „Autofahren“ (I. 11, Z. 285) assoziiert. Frau B und Herr M sprachen vom Erwerb einer Fähigkeit: „(...) also es ist für mich, wie wenn man Tischtennis spielt. (...) Ich finde, das ist wirklich so eine

Fertigkeit einfach.“ (I. 12, Z. 234-240) oder „Es ist (...) wie ein Skill, den man einfach lernt.“ (I. 16., Z. 161). Zudem stellte ein BCI-Pilot Analogien mit dem Fliegen her: „(...) so wie man das Flugzeugfliegen ja letztendlich mit der Hand, die Geschicklichkeit, ja auch trainiert.“ (I. 4, Z. 218-219).

Die für die effektive Nutzung aktiver BCIs erforderliche Übung nahm beim Großteil der Interviewpartner eine zentrale Rolle ein. So wurde immer wieder betont, dass für Erfolgserlebnisse ein hohes Maß an Training notwendig sei. Zugleich wurde aber auch erläutert, dass die bei Studienteilnahmen zur Verfügung gestellte Zeit hierfür nicht ausreichend war: „(...) und da war (...) dieser, ja, dreiviertel Stunden-Versuch in zwei Tagen dann einfach zu kurz, um dann wirklich sozusagen mit dem gezielten Training besser zu werden.“ (I. 3, Z. 121-122). Ein weiterer BCI-Pilot berichtete von ähnlichen Empfindungen. Er verglich seine Trainingszeit mit internationalen Kollegen, die im Flugsimulator eine Übungsphase von mindestens zwei Wochen absolvieren würden: „Aber hier hatten wir das nur fünfzehn Minuten geübt, weil die Zeit sehr begrenzt war.“ (I. 9, Z. 114-115).

Ferner beschrieb ein Technikexperte seine sich seit Jahren bestätigenden Erlebnisse bei BCI-Workshops: „Wir haben immer wieder (...) im Publikum Leute, die das ausprobieren, da kann ich eigentlich sicher sein, dass von zehn Leuten immer einer dabei ist, der das auf Anhieb perfekt kann. Aber es gibt auch immer wieder einen, der damit überhaupt nichts anfangen kann (...). Das heißt, es sind immer wieder diese Trainings notwendig.“ (I. 11, Z. 288-293). Zudem berichtete eine Teilnehmerin vom „Talent“ einer ehemaligen Kollegin, die als Probandin häufig an Studien teilnahm und zum Schluss bei jedem Durchgang annähernd hundert Prozent Genauigkeit erreichte (I. 19, Z. 128).

Jedoch muss hierbei auch berücksichtigt werden, dass circa zehn Prozent der BCI-Nutzer unfähig zum erfolgreichen Gebrauch sind. *BCI-Illiteracy* treffe insbesondere auf Bewegungsvorstellung zu, trete aber auch bei anderen mentalen Strategien auf: „(...) egal, welches BCI sie verwenden, also welches Gehirnsignal, welche Anwendung. Es gibt immer Leute, die es einfach nicht lernen.“ (I. 12, Z. 129-131). Ein BCI-Wissenschaftler explizierte mögliche Ursachen dieses Phänomens: „(...) also, dieses *BCI Illiteracy*, (...) die Gründe dafür hat man noch nicht ganz verstanden. Also es kann daran liegen, dass der Kortex eben so gefaltet ist, dass die entsprechende Hirnaktivität nicht messbar ist mit EEG oder es kann auch einfach daran liegen, dass die Person nicht in der Lage ist, diesen mentalen, rein mentalen Task auszuführen.“ (I. 2, Z. 333-337). Auch er selbst berichtete trotz mehrtägiger Übungsdauer von keinem Fortschritt: „(...) es hat kein Trainingsprozess

stattgefunden. Bei mir.“ (I. 2, Z. 301). Zudem beschrieben zahlreiche BCI-Nutzer mit Expertenwissen das sog. BCI-Analphabetentum als zentrales Charakteristikum bei der Durchführung von Studien (Frau A, Herr I, Herr N, Herr P). Folglich waren in der vorliegenden Stichprobe drei Klassen von BCI-Anwendern zu beobachten. Diese werden mit Hilfe der Abb. 18 zum Ausdruck gebracht:

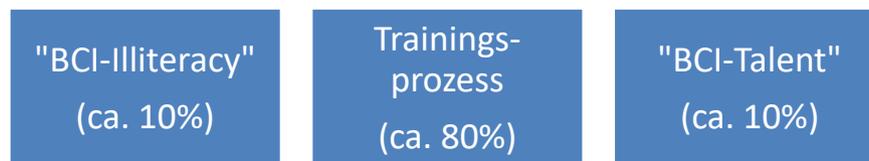


Abb. 18: Darstellung der drei Klassen von BCI-Anwendern (in %); in Abhängigkeit ihrer Fähigkeit zur erfolgreichen Nutzung und der Dauer des Trainingsprozesses

Der für den Großteil der BCI-Nutzer notwendige Trainingsprozess wird mittels des nachfolgenden Zitates exemplarisch verdeutlicht: „Die Strategie ist, einfach selber ausprobieren und konzentriert bleiben und ich, ich habe es einfach einen Tag lang probiert. Acht Stunden durchgehend und am Schluss hab ich es perfekt gekonnt.“ (I. 14, Z. 25-26). Hierbei stellt sich eine zentrale Frage für die Implementierung von BCIs im nicht-medizinischen Kontext: Welche Motivation haben gesunde Menschen zur Nutzung eines BCIs, wenn sie Handlungen manuell viel schneller und einfacher ausführen können? Ein Interviewpartner, der als Student an BCI-Studien teilnahm, beschrieb die sog. Sinnfrage: „Bei mir hat sich herausgestellt, ich bin kein guter Proband, also ich hab es auch nicht oft probiert. Und es hat auch keinen Grund dafür gegeben, das öfter zu machen.“ (I. 19, Z. 124-125). Darüber hinaus brachte die BCI-Wissenschaftlerin Frau C diese Herausforderung aus professioneller Perspektive zum Ausdruck: „(...) weil eben Leute, die sich nicht mehr bewegen können oder nicht mehr sprechen können, natürlich den Aufwand aufbringen möchten. Aber ich sag jetzt mal, einer, der kerngesund ist, der denkt sich, warum sollte ich mir das fünf Wochen lang antrainieren, wenn ich das auch einfach anders machen kann.“ (I. 10, Z. 161-164).

Die zentrale Bedeutung der Motivation hob auch ein Technikexperte mit jahrzehntelanger Erfahrung in der BCI-Branche hervor. Er sah die motivationale Ebene sowohl bei Patienten als auch bei gesunden Menschen als entscheidenden Faktor an. Hierbei ging er zunächst näher auf die Patientenperspektive ein:

„Es waren auch Probanden dabei, die vor 30 Jahren einen Schlaganfall gehabt haben und seither die Hand nicht bewegen haben können und (...) da trainieren wir üblicherweise zwölfteinhalb Stunden. Aber das ist ja eigentlich gar nichts, also wenn ich ins Fitnessstudio gehe und zwölf Stunden trainiere, bin ich nicht viel besser. Bodybuilder müssen tausende Stunden trainieren. Natürlich sind die Schlaganfallpatienten hochmotiviert.“ (I. 14, Z. 356-363).

Darüber hinaus gab Herr I Einblicke in den klinischen Alltag, wo für Patienten eine Trainingszeit von in der Regel 25 Sitzungen üblich sei: „Die meisten sagen halt, wenn ich jetzt das zweite, dritte Mal da bin, dann habe ich ein Gefühl für das System bekommen, dann kann ich sagen, wie steuere ich es wirklich gut an. Und man sieht dann auch bei der Genauigkeit und bei der Kontrollfähigkeit gehts dann eigentlich rapide nach oben (...).“ (I. 11, Z. 474-477).

Es ist festzustellen, dass der für aktive BCIs erforderliche Übungsaufwand aus Sicht gesunder Teilnehmer als nicht alltagstauglich empfunden wurde. Hierbei stellt sich die Frage, wie passive BCIs bewertet wurden? Ein BCI-Wissenschaftler, der sich explizit auf die Entwicklung passiver BCIs spezialisiert hat, drückte diesen Aspekt folgendermaßen aus: „Also bei passiven BCIs ist es so, (...) also wenn wir die Definition ganz einhalten möchten, dass man das nicht trainieren kann. Weil sobald man anfängt, es zu trainieren und also sich das bewusst zu machen, ist es kein passives BCI mehr.“ (I. 13, Z. 125-127). Darüber hinaus beschrieb eine Spezialistin für passive BCIs deren dominierenden Einsatz bei der Klassifizierung von Emotionen: „(...) wir klassifizieren mentale Zustände, wir machen kein aktives BCI. Wenn ich etwas zur aktiven Kontrolle mache, brauche ich definitiv Training.“ (Engl., I. 7, Z. 257-258).

4.2.5 Human Factors in der BCI-Nutzung

a. Kognitive Erschöpfung durch hohes Konzentrationslevel

*„Das ist aber teilweise, was jetzt uns zurückgemeldet wurde, unglaublich anstrengend auch. Also so vom Gehirn her, von diesen kognitiven Prozessen, die sich da abspielen.“
(I. 1, Z. 99-101)*

Das obige Zitat von Herrn A steht exemplarisch für die Aussagen zahlreicher, weiterer Interviewpartner. So wurde die mit der BCI-Nutzung verbundene kognitive Anstrengung vielfach beschrieben, wobei das hohe Maß an Konzentration als kausaler Faktor angesehen wurde: „(...) aber ich hab dann schon gemerkt, als ich dann daheim war, also das war jetzt extrem anstrengend irgendwie. Ja, weil du halt drei Stunden konzentriert

versucht hast, an diese Gesten zu denken (...). Und, ja, das hätte ich mir ehrlich gesagt nicht gedacht. Ich hab gedacht, dass es leichter von der Hand geht.“ (I. 6, Z. 195-202). Ein weiterer BCI-Pilot stimmte zu: „Genau, weil ich ja tatsächlich beim Fliegen [im Simulator] gedanklich ja sehr konzentriert sein musste und nicht ständig jetzt irgendwohin abschweifen konnte. Und das hat dann quasi diese Anstrengung ausgelöst.“ (I. 4, Z. 160-162). Zur Beschreibung des kognitiven Zustandes wurde häufig die Superlative gebraucht: „wahnsinnig anstrengend“ (I. 1, Z. 104), „wirklich anstrengend“ (I. 6, Z. 40), „sehr anstrengend“ (I. 2, Z. 308; I. 11, Z. 398; I. 19, Z. 265; I. 20, Z. 98), „kognitiv wirklich anstrengend“ (I. 12., Z. 246). Bei zwei BCI-Gamern führte das kontinuierlich hohe Konzentrationslevel zu Kopfschmerzen: „(...) ich war froh, als es vorbei war.“ (Engl., I. 22, Z. 126). Lediglich drei der insgesamt 25 Befragten empfanden bei der BCI-Nutzung nur ein geringes Maß an mentaler Belastung (Herr E, Herr G, Herr H).

Darüber hinaus wurde das BCI-Erlebnis als ermüdend wahrgenommen: „(...) man tut aktiv eigentlich mit seinem Körper ja nicht wirklich was, aber man muss sich vom Gehirn her so konzentrieren und das kann sehr ermüdend sein, sag ich jetzt einmal und sehr anstrengend (...)“ (I. 11, Z. 396-398). Dieses negative Empfinden war bei der Bewegungsvorstellung am stärksten ausgeprägt. Bei selektiver Aufmerksamkeit hingegen – also z.B. beim bloßen Betrachten von LEDs – berichteten Nutzer mit Expertenwissen: „(...) bei manchen BCIs ist das eher weniger [anstrengend], weil man einfach bei dieser visuellen Stimulation zum Beispiel muss man eigentlich nur hinschauen mehr oder weniger.“ (I. 11, Z. 398-400). Dennoch wurde auch hier Unbehagen geäußert:

„(...) das wird natürlich mit der Zeit auch einfach ein bisschen unangenehm, weil man immer auf dieses Licht hinstarren muss, man hat immer diesen visuellen Reiz. Das würde ich jetzt auch nicht den ganzen Tag machen zum Beispiel. Wenn ich jetzt sage, ok, wir testen das eine halbe Stunde oder Stunde, ist das ok, alles drüber ist halt dann immer trotzdem einfach ermüdend und anstrengend für den Kopf.“ (I. 11, Z. 403-408).

Analog dazu erläuterte Herr I, dass hierbei das Frustrationspotential – im Vergleich zur Bewegungsvorstellung – geringer sei. Denn die Betrachtung visueller Stimuli erfordere keine Übung und funktioniere daher in der Regel bereits von Beginn an. Jedoch würden die Probanden des BCI-Technikexperten Herrn I mit zunehmender Dauer auch vom Gefühl der Langeweile berichten. Darüber hinaus wurde eine andere Form der Anstrengung beschrieben. Da im Rahmen von Laborversuchen in der Regel keine explizite mentale Strategie vorgegeben wird, kann dieser Auswahlprozess auch zu Stress

führen: „(...) Also, was ich anstrengend fand, war dieses Entscheiden, ob ich bei einer Strategie bleibe oder ob ich sie revidiere.“ (I. 2, Z. 316-317). Denn immer, wenn Herr B das subjektive Gefühl der Kontrolle über das BCI hatte, musste er seine mentale Strategie wieder verwerfen.

b. Versuch der Entspannung resultiert in Körperanspannung

„(...) nur da ich wirklich probiert hab, mich zu entspannen und mich dann verspannt hab, hab ich dann eine Pause gebraucht (...). Das war aber meistens der Fall, dass ich halt probiert hab, das jetzt gut zu machen, (...) aber man darf sich nicht bewegen. Und das heißt, das unterdrückt man nebenbei noch und das ist aber eine Ganzkörperanspannung.“
(I. 16, Z. 264-272)

Der BCI-Laie Herr M beschrieb die Diskrepanz zwischen intendierter Entspannung und daraus resultierender Körperanspannung sehr eindrücklich. Gerade der Versuch, ein hohes Entspannungslevel zu erreichen, habe das Gegenteil bewirkt. Als zentraler Grund wurde das Unterdrücken physischer Aktion angeführt, obwohl auf mentaler Ebene deren Vorstellung mit aller Kraft versucht wurde. Dieses einzigartige Gefühl beschrieb Frau E mit folgenden Worten: „Ja, es ist auch eine interessante Mischung aus Langeweile und Anstrengung. Da die Bewegung, sich Bewegungen vorzustellen, nicht immer ganz einfach ist, weil das ist jetzt einfach gesagt, aber im Prinzip stellt man sich vor, wie sich das anfühlt, dass sich die Hand bewegt, ohne dass sich die Hand bewegt.“ (I. 19, Z. 111-114). Das Gefühl der Langeweile wurde somit auch in diesem Kontext auf die mentale Strategie der Bewegungsvorstellung sowie die Dauer der Versuchsteilnahme zurückgeführt. Letzte betrug bei den befragten Personen durchschnittlich zwei Stunden, was als zu lange empfunden wurde: „Aber es kann bis zu einer Stunde Vorbereitung brauchen, bis das System so kalibriert ist, bevor man überhaupt Feedback bekommt.“ (I. 19, Z. 74-76). Aufgrund des insgesamt für die BCI-Nutzung erforderlichen, hohen Zeitaufwandes nahmen Pausen eine bedeutsame Rolle ein. Beispielsweise nutzten BCI-Piloten die Zeit zwischen den einzelnen Versuchsrunden zum Haarewaschen: „Und das war eigentlich schon ganz gut, weil beim Haarewaschen hab ich das Gehirn jetzt nicht gebraucht. Dass ich mich noch ausgeruht hab, gedanklich, bevor es dann wieder mit anderen Sachen weiterging.“ (I. 4, Z. 154-157). Andere Teilnehmer verwendeten die Pausen zum „Durchschütteln“ bzw. zur Aktivierung des Körpers nach dem langen Stillsitzen (I. 20, Z. 97).

In diesem Kontext wurden von Frau C, Herrn G und Herrn H Gewöhnungseffekte beschrieben: „Also klar, das ist wie wenn man in ein neues Auto einsteigt und seinen Führerschein gerade macht. Da ist ja auch erstmal viel Stress. (...) Und ich denke, je mehr Training man hat und je mehr man weiß, wie es benutzt wird, dass sich dieser kognitive Workload natürlich auch reduziert (...).“ (I. 10, Z. 288-292).

c. Druckgefühl und Kopfschmerz bei Trockenelektroden

*„Ich (...) hatte aber durchaus das Gefühl, wenn ich diesen Brain-Computer auf hab, dass ich dann Kopfschmerzen gekriegt hab. Aber nicht, weil es gedrückt hat. (...) ich weiß nicht, ob das einfach war, weil ich wusste, dass da jetzt irgendwas gemessen wird (...).“
(I. 10, Z. 266-269)*

Frau C differenzierte deutlich zwischen ihrem eigenen Erleben und demjenigen ihrer Versuchsteilnehmer. So wurde ihr von Seiten der BCI-Laien primär von einem Druckgefühl auf dem Kopf berichtet, welches Frau C auf die fehlende Gelapplikation bei passiven BCIs zurückführte. Im Gegensatz zum Elektrolytgel würde bei Trockenelektroden systemen primär Druck verwendet, um eine gute Messung sicherzustellen. Bei ihren eigenen BCI-Versuchen beschrieb Frau C hingegen ausgeprägten Kopfschmerz, den sie mit dem passiven Gefühl der Messung assoziierte. Ein weiterer Nutzer mit Expertenwissen bestätigte diese Aussagen und sprach hierbei von einem „Trade-Off“ zwischen notwendigem Druck und daraus resultierendem Kopfschmerz (I. 13, Z. 190). Auch Frau D berichtete von einem ähnlichen Empfinden und betonte, dass sie mobile BCI-Systeme nur für kurze Zeit tragen könne: „Da ist eben so viel Druck drauf auf diesen einzelnen Elektroden, die dann da auf den Kopf drücken. Das ist wirklich, also nach zehn Minuten, also zumindest bei mir ist es so, fängt es an, dass es mir Kopfschmerzen bereitet.“ (I. 13, Z. 449-451).

Darüber hinaus hob Frau A die zentrale Bedeutung des Komforts hervor, wobei das BCI individuell passend sein und nicht zu eng sitzen dürfe. Ansonsten würde ein beengtes Gefühl entstehen, das sie von ihren eigenen Erfahrungen her kenne: „(...) ich fühle es auf meinem Kopf und ich möchte es nicht mehr fühlen.“ (Engl., I. 7, Z. 439). Analog dazu führte Frau C an:

„Also, wenn ich es unbequem finde, dann muss ich ja noch gar nicht Gel verwenden oder so, aber wenn mich dieses Ding einfach stört, dann werde ich es auch nicht verwenden. (...) Und je mehr Aufwand du eben betreiben musst, wenn du die Elektroden nass machen

musst oder Ähnliches, desto seltener wirst du das Ding natürlich dann auch benutzen.“ (I. 10, Z. 330-334).

Ferner werden Trockenelektrodensysteme laut Herrn I und Herrn J aufgrund des notwendigen Drucks im Vergleich zu Gelelektroden generell als unangenehmer empfunden. Natürlich sei dieses Erleben abhängig von individuellen Empfindlichkeitsgraden: „Aber nach wenigen Minuten sagen die meisten, hey ok, jetzt nehmen wir das wieder ab.“ (I. 13, Z. 447-448).

d. EEG-Haube und -Applikation

*„(...) mir ist der Aufwand mit einer Haube einfach viel zu viel!“
(I. 16, Z. 38)*

Die Dauer der EEG-Applikation nahm bei den Befragten in der Regel 45 Minuten in Anspruch. Herr J beschrieb den zeitlichen Ablauf mit folgenden Worten: „Ja, also wenn wir 64 Elektroden haben, dann dauert das meistens schon bis zu einer Stunde, bis die Kabel gut sitzen. Und dann gehts erst los.“ (I. 13, Z. 421-422). Entsprechend wurde der Begriff „Aufwand“ im Kontext der EEG-Applikation vielfach gebraucht (I. 10, Z. 333, I. 11, Z. 121; I. 16, Z. 38). Herr B machte die Zukunft der BCI-Technologie explizit davon abhängig und berichtete von einem Forschungsprojekt mit EEG-Kopfhörern, die lediglich fünf Minuten zum Einrichten benötigten. Herr J beschrieb analog: „(...) da wird weiter geforscht, also es gibt Menschen, die nehmen einfach so eine normale Kappe oder einen Hut und machen da Elektroden rein. Dann fühlt sich das nicht wesentlich anders an, als wenn man normal den Hut getragen hätte.“ (I. 13, Z. 464-466). Diese Anwendungen würden jedoch erst im klinischen Kontext erforscht und seien im Alltag noch nicht einsetzbar. Insbesondere die Signalverarbeitung sei bei EEG-Kopfhörern laut Herrn B und Herrn P noch auf einem zu niedrigen Niveau.

Ferner sei aufgrund der Komplexität der EEG-Applikation professionell ausgebildetes Personal notwendig. Zudem müssten Störfaktoren auf Seiten der Nutzer vermieden werden: „(...) also, wenn wir ein sauberes EEG messen möchten, dann möchten wir möglichst wenig Muskelartefakte. Weil bei jeder Muskelbewegung und auch beim Blinzeln oder was auch immer, das sieht man im EEG und das kann also die Daten beeinflussen.“ (I. 13, Z. 329-331). Ferner könnten auch die Haare der Teilnehmer sowie die Dicke der Schädelknochen zu Verzerrungen der Signalqualität und „viel Rauschen“ führen (I. 12, Z. 150). Das geringe Maß an Benutzerfreundlichkeit des EEGs verdeut-

lichten auch folgende Aussagen: „unpraktikabel“ (I. 11, Z. 279), „einfach zu aufwändig“ (I. 20, Z. 239) oder „es muss auf alle Fälle benutzerfreundlicher werden“ (I. 20, Z. 241-242). So sei die tägliche Neumontur des EEGs einerseits „ein großes Handicap“ (I. 14, Z. 451-452), andererseits auch „ein großer Prozess“ (I. 16, Z. 294). Eine Alltagstauglichkeit wäre daher nicht gegeben, wobei der Großteil der BCI-Experimente generell noch unter Laborbedingungen stattfindet. Also die ganzen Forschungsansätze, die wir haben, sind halt im Labor, wo Menschen nicht normal interagieren. Da sitzt man im dunklen Raum, bewegt den kleinen Finger und das wars.“ (I. 18, Z. 85-87). Herr A sah die zentrale Herausforderung der BCI-Wissenschaft darin, „(...) das Ganze mehr in Richtung Anwendung zu bringen.“ (I. 1, Z. 61).

Darüber hinaus wurde ein weiterer Einflussfaktor bei der Bewertung der EEG-Technologie deutlich: Das hierfür erforderliche Elektrolytgel. Einerseits betonten zahlreiche Teilnehmer das für sie unangenehme, feuchte Gefühl auf der Kopfhaut: „(...) das Gel war nicht cool. Er war nicht cool.“ (Engl., I. 23, Z. 120) oder „Ich möchte nicht nachher meine Haare waschen.“ (Engl., I. 23, Z. 130-131). Ein Nutzer mit Expertenwissen führte aus: „Also ich fand's jetzt nicht schlimm, aber es ist jetzt auch nicht angenehm, also man ist schon sehr froh, wenn man die Kappe nachher wieder los ist und dann hat man den ganzen Gel-Schmier da drin und muss die Haare waschen.“ (I. 21, Z. 223-225). Neben der Notwendigkeit des Haarewaschens führte auch die Applikationsprozedur zu Unbehagen: „(...) dieses Gel, das wird da eben aufgetragen mit solchen stumpfen Spritzen, da wird so ein bisschen an der Kopfhaut rumgeschabt. Also, das ist schon nicht ganz zu unterschätzen.“ (I. 13, Z. 433-435). Jedoch zeigten sich auch hier Gewöhnungseffekte. Beispielsweise berichtete ein BCI-Pilot: „(...) also das empfinde ich nicht als beeinträchtigend, weil von meinen fliegerischen Zeiten her war ich das gewohnt (...).“ (I. 8, Z. 89-90). Auch Frau B, Frau F und Herr M beschrieben einen Adaptationsprozess an die Technologie: „(...) [am Anfang ist es] ein bisschen komisch und beengend, weil die Kappe sitzt doch sehr stramm oben, damit sie sich nicht verstellt. Aber nach ein paar Minuten ist es einem völlig egal.“ (I. 16, Z. 254-255).

Hinsichtlich des emotionalen Befindens beim Tragen der EEG-Kappe wurden ambivalente Gefühle deutlich: „(...) also, jetzt physisch war's nichts Besonderes, da jetzt die Kappe aufzuhaben, aber emotional eine interessante Erfahrung.“ (I. 5, Z. 133-134). Ferner wurden hierfür Termini wie „ungewohnt“ (I. 6, Z. 210), „nicht normal“ (I. 6, Z. 212) oder „komisch“ (I. 9, Z. 232) gebraucht. Frau D beschrieb die Spezifik der Situation mit folgenden Worten: „Also es ist nicht unangenehm, das würde ich auf keinen Fall

sagen, aber es ist schon so das Gefühl, da in einer speziellen Situation zu sein.“ (I. 13, Z. 437-439).

e. Der visuelle Aspekt: BCI-Optik und Miniaturisierung von Technik

*„Genau ja, und dann kuckt man sich im Spiegel an und dann kriegt man noch so einen Schock, so ungefähr.“
(I. 6, Z. 188-190)*

Das Aussehen der BCI-Technologie nahm bei der Bewertung eine zentrale Rolle ein. Wie das obige Zitat deutlich macht, rief insbesondere das klassische EEG mit Kappe, Elektroden und Kabel bei den Teilnehmern negative Gefühle hervor. So beschrieb Herr F den „Schock“, als er sich das erste Mal mit EEG-Kappe im Spiegel sah (I. 6, Z. 190). Ferner begründete Herr B damit die zunehmende Entwicklung anderer Formen der EEG-Messung, wie z.B. BCI-Kopfhörer. Da er sich beruflich primär auf den klinischen Kontext fokussiere und häufig auch Studien mit Kindern durchführe, nahm der optische Aspekt für ihn eine große Stellung ein: „(...) da eben die Eltern oder die Kinder selbst ein Problem mit dem Einsatz von EEG hätten, wenn das gefährlich aussieht oder wenn das an ein medizinisches Gerät erinnert und deshalb haben wir eben diesen Kopfhörer entwickelt (...).“ (I. 2, Z. 125-127). Im Verlauf des Interviews betonte Herr B wiederholt die Bedeutung der Optik, wobei diese „ansprechend“ aussehen müsse (I. 2, Z. 132).

In Hinblick auf das zukünftige Design von BCIs wurde eine zunehmende Miniaturisierung deutlich. So führte Herr N aus: “Die beste Technologie ist Technologie, die unsichtbar ist.“ (Engl., I. 17, Z. 644-645). Herr K als BCI-Technikexperte stimmte dieser Entwicklung zu und beschrieb den rasanten Fortschritt der EEG-Technologie:

„Nein, es geht eh schnell dahin, man darf nicht vergessen, dass vor 20 Jahren ungefähr noch EEG mit (...) so Federn und Tinte geschrieben worden ist. (...) Also, das Computer-EEG, das ist noch gar nicht alt. Also diese ganzen Analysetechniken und Aufnahmetechniken, die sind in den letzten paar Jahren entstanden. Also da wird natürlich noch ganz viel gehen.“ (I. 14, Z. 425-431).

Zudem machte auch Herr O Prognosen in Bezug auf die Optik von BCIs: „Ob das mittlerweile dann in der Zeit so miniaturisiert ist, dass man das irgendwie durch nicht sichtbare Teile in die Kleidung einbaut. In die Haare einbaut oder [was auch immer]. Ich weiß es nicht. Vielleicht auch wirklich in den Körper einbaut, kann ich nicht sagen.“ (I. 18, Z. 257-260). In Hinblick auf zukünftige Technik führte er aus:

„Also, wir werden vielleicht nicht mehr so die Technologie oder die Computertechnik haben, die wir heute haben. Also es wird vielleicht auch alles komplett auf einer anderen Struktur sein. (...) Also, dass Computer ganz anders ausschauen. Ja, und dass sie

vielleicht viel stärker miniaturisiert werden. (...) Aber da sehe ich jetzt überhaupt keine Grenze, dass es da andere Formen von Technologie geben kann. Aber die halt kompatibler sind. Die wir nicht als eklig, sperrig oder unangenehm empfinden.“ (I. 18, Z. 317-329).

f. Die essentielle Rolle individualisierter BCI-Nutzung

*„(...) der Schlüssel ist wirklich, dass man die BCIs so individuell wie möglich macht. Also sowohl von den Strategien als auch vom Klassifikator, von allem.“
(I. 12, Z. 170-171)*

Inbesondere Befragte mit Expertenwissen waren von der herausragenden Bedeutung individualisierter BCI-Nutzung überzeugt. Denn mit der Auswahl individuell passender BCI-Paradigmen und mentaler Strategien gehe auch ein effizienterer Trainingsprozess einher. Im Folgenden werden zunächst die von den Interviewpartnern verwendeten mentalen Strategien beschrieben. Daraufhin wird auf die zentrale Bedeutung des Gebrauchs individualisierter BCI-Technologie eingegangen.

- ***Mentale Strategie: Bewegungsvorstellung***

*„Weil ich hab (...) versucht das mit (...) Aktivitäten zu assoziieren, weil ich das irgendwo mal gelesen hatte oder selber vom Sport kannte. Wenn man über eine Bewegung nachdenkt, dann sieht es im Gehirn ähnlich aus, als ob man sie wirklich durchführt (...).“
(I. 5, Z. 41-46)*

Die Vorstellung von Bewegung – im Englischen *Motor Imagery* – war die in der vorliegenden Stichprobe dominierende, mentale Strategie. Wie mit Hilfe des einleitenden Zitates deutlich wird, basiert sie auf dem Prinzip der Aktivierung spezifischer Gehirnareale mittels Bewegungsvorstellung. Ein BCI-Technikexperte skizzierte die Funktionsweise mit folgenden Worten: „(...) zum Beispiel Fingerbewegungen, rechte, linke Hand, Fuß, bei solchen Bewegungen, da wissen wir genau, wo man das EEG-Signal abgreifen muss. Das ist ja für jeden gleich. Deswegen wird zum Beispiel oft rechte, linke Handbewegung verwendet.“ (I. 14, Z. 208-211). Der Wissenschaftlerin Frau E zufolge handle es sich hierbei um „(...) eine Mischung aus Lokalisierung und Frequenzbandanalyse. Also wir wissen, wo wir in etwa was zu erwarten haben, wir können das zum Teil auch schön visualisieren und versuchen, immer einen Gedanken im Vergleich

zum anderen zu unterscheiden. (...)“ (I. 19, Z. 217-219). Zudem sei die praktische Umsetzung von *Motor Imagery* vielfältig:

„Und da kann ich mir entweder vorstellen, meine Hand, meine rechte oder linke Hand zu einer Faust zu machen oder ich kann mir die sensorische Stimulation vorstellen, wenn meine Hand berührt wird zum Beispiel. Oder ich kann mir vorstellen, meine Finger auf dem Tisch zu bewegen, also es gibt einfach jede Menge mentale Strategien, die man da probieren kann an Bewegung, oder einfach nur das Spüren, das mentale Spüren, von einer sensorischen Stimulation, kann schon ausreichen, um diese entsprechende Gehirnaktivität zu modulieren.“ (I. 2, Z. 319-325).

Herr G beschrieb seine Erfahrungen im Flugkontext mit folgenden Worten: „Ich hab mir praktisch gesagt vor meinem geistigen Auge vorgestellt, ich fliege jetzt eine Links- oder Rechtskurve (...)“ (I. 8, Z. 145-146). Ein weiterer BCI-Pilot, Herr E, berichtete von ähnlichen Empfindungen, wobei er gedanklich versucht habe, „(...) das Ganze in eine Richtung zu bewegen.“ (I. 5, Z. 86). Teilweise wurden den Teilnehmern auch konkrete Hilfestellungen gegeben: „(...) ich hab zuerst zum Beispiel einen Quetschball gekriegt. Und dann hat es geheißen, ok, den soll ich jetzt ein paar Mal quetschen und mir sozusagen merken, was ich dabei fühle, was ich dabei mitkriege. Und dann hab ich den Quetschball danach noch in der Hand gehabt, aber ich hab mir dann einfach mal vorgestellt, dass ich den jetzt quetsche (...)“ (I. 16, Z. 172-175). Ferner sei die Vorgabe, gedanklich „mit den Zehen im Sand zu spielen“ eine bewährte Methode zur Imagination von Fußbewegungen (I. 16, Z. 179). Darüber hinaus stellte sich Frau A „pull & push“-Bewegungen vor sowie Frau B Wink-Bewegungen aus ihrem Lieblingscartoon (I. 7, Z. 301). Beide zuletzt genannten Strategien funktionierten in hohem Maße.

- ***Mentale Strategie: Bewusstes Induzieren von Stimmungen***

„Ja, eigentlich ganz lustig. (...) ich hab das irgendwie auf Antrieb assoziiert mit einer Stimmung. Also sprich nach oben so total euphorisch, cool, super (...) und nach unten also kein Bock, sowas (...) eher negativ.“
(I. 4, Z. 58-62)

Das Zitat von Herrn D verdeutlicht die mentale Strategie des bewussten Hervorrufens von Stimmungen – oder auch „Happy-Sad-Methode“ genannt (I. 5, Z. 290). Diese war bei Herrn D sehr erfolgreich, wobei er die Richtungen des Flugsimulators mit spezifischen Stimmungen verband. Herr C beschrieb diese Form der Steuerung mit folgenden Worten: „(...) man probiert Emotionen vorzuspielen. Also wenn ich jetzt sozusagen mich freue,

innerlich mich freue, und an was Schönes denke, dass der Ball dann eher nach oben geht. Und wenn ich jetzt eher innerlich an was Trauriges denke, dass der Ball dann eher nach unten geht.“ (I. 3, Z. 36-39). Hierbei habe er als erfahrener Pilot versucht, echte „Gefühle in so Kurven reinzubringen“, was jedoch nur teilweise funktioniert habe (I. 3, Z. 68).

Auch bei den BCI-Gamern war diese mentale Strategie populär: „(...) ich musste in meinem Kopf so tun, als ob ich ein Bär oder ein Elf wäre.“ (Engl., I. 23, Z. 26). Herr R erklärte im Interview sehr ausführlich, dass das BCI-Computerspiel nur bei erfolgreichem Hineinversetzen in den jeweiligen Charakter funktionierte. Dabei habe er sich den Bären als entspannt vorgestellt, den Elfen hingegen als gestresst. Die Transformation von einem zum anderen Wesen konnte Herr R nach kurzer Übungsdauer innerhalb weniger Sekunden vollziehen. Jedoch empfand er insbesondere das bewusst hervorgerufene, hohe Stresslevel als äußerst unangenehm: „Aber ich bin eine wirklich entspannte Person, deshalb war es wirklich schmerzhaft für mich.“ (Engl., I. 23, Z. 35). Analog dazu beschrieben die BCI-Gamer Herr S und Herr Q ihre Erlebnisse, die jedoch im Gegensatz zu Herrn R kaum erfolgreich waren. Insgesamt betrachtet empfand nur Herr R das BCI-Gaming als positiv: „(...) als es zum Schluss wirklich gut funktionierte, war es super! Ich würde es jedem empfehlen (...), ich würde viel Geld zahlen, um solche Spiele zu spielen.“ (Engl., I. 23, Z. 88-90). Die beiden anderen Interviewpartner wollten diese Erfahrung hingegen nicht wiederholen.

- **Mentale Strategien: Rotation, Navigation, Rechnen, Wörter generieren**

„Wir haben auch mit anderen kognitiven Tasks gearbeitet. Unter anderem Kopfrechnen oder ‚Mental Rotation‘ haben wir es genannt. Da ist es darum gegangen, einen Würfel im Kopf rotieren zu lassen.“

(I. 19, Z. 83-85)

Insbesondere an der Universität war es den Versuchsteilnehmern möglich, alternative Strategien zu testen. Herr L beschrieb mentale Rechenaufgaben, wobei die Probanden in 7er-Schritten rückwärts subtrahieren mussten. Durch die Fokussierung würde sich das Aufmerksamkeitslevel deutlich erhöhen, was wiederum das Arbeitsgedächtnis aktiviere. Dieses Signal wäre laut Herrn L im dorsolateralen präfrontalen Kortex sehr gut erkennbar.

Herr I als BCI-Technikexperte und geübter BCI-Nutzer beschrieb hingegen seine favorisierte Methode. Er halte zur BCI-Steuerung am liebsten einen Tennisball in der

Hand, drücke diesen zu Beginn mehrfach und stelle sich daraufhin dieses Gefühl mental immer wieder vor. Zudem haben ihm Musiker vom gedanklichen Spielen eines Instrumentes bei der BCI-Nutzung erzählt. Ferner erörterte Frau B die Ergebnisse eines Forschungsprojektes, in dem der Erfolg unterschiedlicher, mentaler Strategien untersucht wurde: „(...) zum Beispiel so Aufgaben wie Wörter generieren mit einem Anfangsbuchstaben. Oder auch Rechnen, Kopfrechnen, [funktionierten] also gegen *Motor Imagery* wesentlich besser (...).“ (I. 12, Z. 51-53). Beim Wörterbilden bekämen die Probanden randomisiert Anfangsbuchstaben vorgegeben, mit denen sie im Kopf so viele Wörter wie nur möglich generieren müssten. Daneben würde das Vorstellen von Musik oder räumlicher Navigation von Patienten bevorzugt werden. Insbesondere bei Menschen mit körperlichen Beeinträchtigungen könne die Bewegungsvorstellung traumatische Erinnerungen ins Gedächtnis rufen. Laut Frau B gebe es bei einem individualisierten BCI für jede Richtung spezifische, mentale Aufgaben: „(...) wenn sie den Cursor nach oben rechts wollten, dann mussten sie eben Wörter generieren. Wenn sie nach unten links wollten, subtrahieren.“ (I. 12, Z. 66-68). Das bei alternativen, mentalen Strategien gemessene Signal sei laut Frau B deutlich reliabler und robuster als bei *Motor Imagery*.

- ***Zunehmende Individualisierung der BCI-Technologie***

Die Mehrzahl der Befragten hob die essentielle Bedeutung eines Adaptationsprozesses an aktive BCIs hervor. Hierbei müssten unterschiedliche, mentale Strategien sowie BCI-Paradigmen getestet und die individuell erfolgreichsten Methoden identifiziert werden. Herr F verwendete z.B. *Motor Imagery*, wobei er zur Steuerung des Flugsimulators aktiv an Fuß- versus Handbewegungen dachte: „Und man hat halt gekuckt, (...) wie schaut mein Muster im EEG aus und welche sind am besten trennbar.“ (I. 6, Z. 74-75). Analog dazu beschrieb Frau E ihre Teilnahme an Screenings im Labor. Hierbei wurden alle mentalen Aufgaben durchgeführt, um die beste Strategie auswählen zu können. Frau E betonte ferner: „(...) also, damit das funktionieren kann, muss auch das System immer auf die Person an dem Tag trainiert werden.“ (I. 19, Z. 65-67).

Herr I als BCI-Technikexperte ging zudem auf die zentrale Rolle der Beibehaltung mentaler Strategien ein: „(...) man sollte in diesem ganzen Ablauf nicht die Aufgabe oder die Vorstellung ändern.“ (I. 11, Z. 442-444). Er fügte hinzu: „(...) jeder hat da irgendwie seine eigene Methode (...)“. Diese müsse im Laufe des Trainingsprozesses identifiziert

werden. Eine Pauschallösung für alle BCI-Nutzer gebe es hierbei nicht: „(...) wir haben selber leider noch nicht die Aufgabe bei *Motor Imagery* zum Beispiel gefunden, wo man wirklich sagen kann, ok, das ist der Task, den jeder machen soll. Das muss man halt über dieses Training (...) herausbekommen.“ (I. 11, Z. 469-472). Auch Frau B beschrieb die essentielle Bedeutung individualisierter BCI-Technologie in ihrer Rolle als Versuchsleiterin an einer Universität:

„Also, am besten hat es funktioniert, die Strategien wirklich individuell für Personen auszuwählen. Weil es doch sehr große Unterschiede gab. Und wenn man die aus einem so großen Pool, also individuell ausgewählt hat, dann hatten wir beim Vier-Klassen-BCI eine wirklich gute Performance (...). Ja, das hatten wir meistens also in einer Sitzung oder in zwei Sitzungen eigentlich sofort gewusst, was passt beziehungsweise was funktionieren würde. Und dann haben wir nur noch mit denen weiter trainiert.“ (I. 12, Z. 73-81).

Hierbei würde sich in der Regel sehr schnell abzeichnen, welche Probanden BCIs erfolgreich nutzen könnten und welche nicht: „Also ich muss sagen, wenn's jemand nicht sehr bald hat, dann bleibts meistens eher mäßig.“ (I. 12, Z. 123-124).

4.3 Forschungsfrage 2: Ethische Evaluation der BCI-Technologie

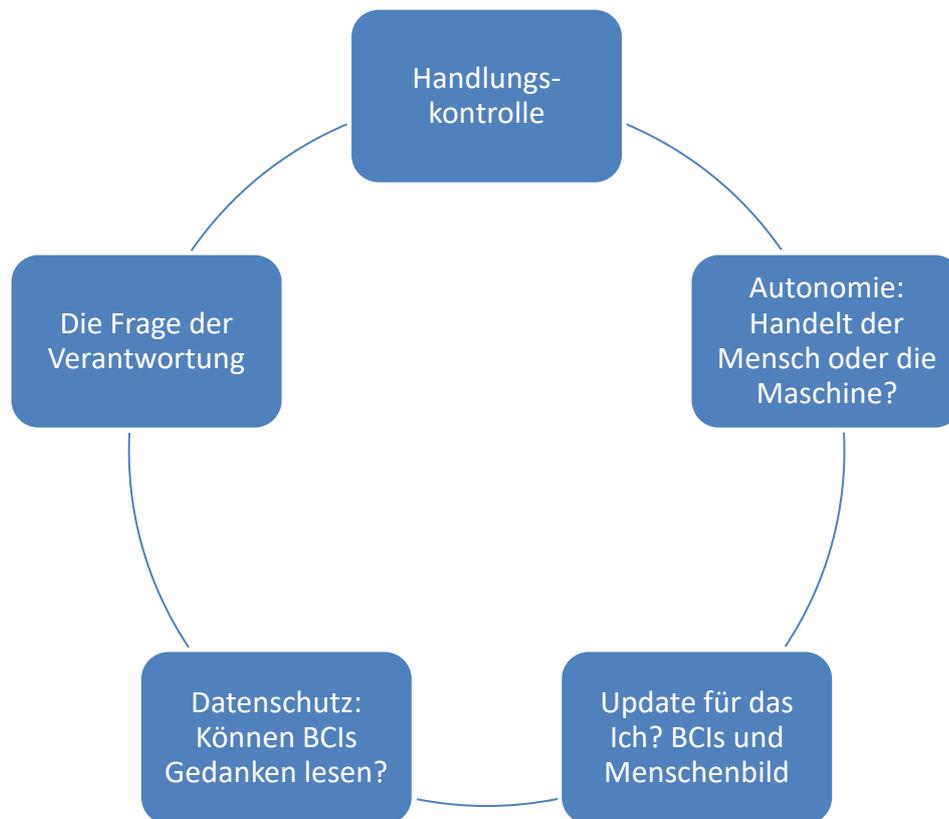


Abb. 19: Hauptkategorien der Forschungsfrage 2

4.3.1 Handlungskontrolle

„Also, das war so zwiegespalten, weil manchmal hat man wirklich das Gefühl, es läuft, und es funktioniert super gut. Und dann im nächsten Moment irgendwie wieder gar nicht.

Und dann, weiß ich nicht, bin ich dann vielleicht auch zu sehr kritisch, dass ich mir überlege – naja, vielleicht ist da ja dann alles nur Zufall.“

(I. 1, Z. 166-170)

Dieses Zitat bringt die mit dem Gefühl der Handlungskontrolle verbundene Ambivalenz zum Ausdruck. So berichtete circa die Hälfte der Befragten, keine Kontrolle über BCI-modulierte Handlungen gehabt zu haben wie z. B. Herr F: „(...) ich hab auch versucht irgendwie, so ein Muster zu erkennen, zu finden, woran das jetzt lag oder so, aber es gab dann einfach immer mal wieder so Ausreißer, wo das halt überhaupt nicht geklappt hat. Aber nach einiger Zeit bin ich dann trotzdem wieder auf den richtigen Weg gekommen.“

(I. 6, Z. 245-248). Auch Herr B beschrieb einen subjektiven Aushandlungsprozess: „Ich hatte meine Zweifel, ich (...) war mir nicht sicher, ob ich es wirklich kontrollieren kann.“ (I. 2, Z. 255-256). Die Unsicherheit begründete er mit seinem technischen Fachwissen, wobei der gegenwärtige Stand der Technik noch auf einem zu geringen Niveau sei. Zudem zeigte sich die Skepsis der Teilnehmer durch den häufigen Gebrauch von Termini wie „Zufall“ (I. 1, Z. 170; I. 2, Z. 313; I. 3, Z. 83; I. 19, Z. 273), „zufällig“ (I. 12, Z. 229) und „zufallsgesteuert“ (Feldnotizen EG 6). Ferner war die Bewertung der Handlungskontrolle auch maßgeblich von Feedback abhängig: „(...) man bekommt dann am Ende (...) so eine Übersicht, wie viel Prozent war richtig und da war ich eigentlich relativ zufrieden, wobei, ich hatte trotzdem nicht das Gefühl, den Ball da irgendwie unter Kontrolle zu haben.“ (I. 3, Z. 44-47). Auch im Flugsimulator habe Herr C „bei weitem nicht das Gefühl“ der bewussten Kontrolle gehabt (I. 3, Z. 165-166). Analog dazu beschrieb Herr H: „Ich hab an gar nichts gedacht und dieses Flugzeug hat sich nach links oder rechts bewegt. Das ist auch passiert, es gibt einen Fehler in diesem System, glaube ich.“ (I. 9, Z. 258-259). Frau E erläuterte: „(...) man hat schon das Gefühl, dass man es selber macht. Aber man hat nicht das Gefühl der absoluten Kontrolle.“ (I. 19, Z. 269-270).

Jedoch beschrieb circa die Hälfte der Interviewpartner gegenteilige Empfindungen. So verspürten Frau B und Herr E bewusste Kontrolle über die BCI-Technik: „(...) im Endeffekt ist es mir schon so vorgekommen, dass ich das steuere und (...) nicht, dass mir der Computer irgendwas vorgibt.“ (I. 12, Z. 230-232) oder „Genau, am Schluss, als es funktioniert hat, hat man wirklich gesehen, ok, das bin ich, der das hier beeinflusst und das ist nicht irgendwie ein Zufall.“ (I. 5, Z. 181-182). Bei Herrn F als sehr erfolgreichen BCI-Nutzer führte vor allem die fehlende, körperliche Aktion zu Erstaunen: „Es war ganz komisch, weil ich gemerkt hab, der Flieger macht schon im Großen und Ganzen das, was ich halt will. Aber ich sitze nur da.“ (I. 6, Z. 221-222). Analog dazu fühlte sich Herr M als Auslöser der Handlung: „Der Computer oder das Messgerät ist für mich wirklich nur zum Messen da. Weil, man misst ja, was im Körper von jemandem vorgeht oder in dem Fall halt im Hirn und deswegen, ich hab das ausgelöst, ich hab das gemacht. Und das hat mir einfach nur die Bestätigung gegeben, dass ich jetzt das gemacht hab (...).“ (I. 16, Z. 228-232). Auch in diesem Kontext spielte somit die Art des dargebotenen Feedbacks eine zentrale Rolle: „(...) also, wenn man jetzt Feedback kriegt und das Feedback ist positiv, hat man natürlich schon das Gefühl, dass man das selbst gemacht hat. Aber, ob das dann wirklich so ist, ist jetzt schwer oder ob das irgendwie Artefakte sind, ist jetzt halt schwer.“

Aber man hat schon ein bisschen das Gefühl, dass man das selbst steuern kann.“ (I. 20, Z. 145-149).

4.3.2 Autonomie: Handelt der Mensch oder die Maschine?

*„(...) je mehr der Computer kann, desto mehr vermischt sich das. (...) Also solange ich weiß, das ist ein Roboter und ich vorhersagen kann, was der macht, dann glaube ich kann man die Grenze noch ganz gut ziehen. Aber sobald der Roboter nicht mehr nachvollziehbar ist oder eine Persönlichkeit entwickelt, (...) glaube ich verschwimmt die Grenze dann auch immer mehr (...).“
(I. 10, Z. 396-401)*

Wie im Zitat deutlich wird, führte Frau C als zentrales Charakteristikum für die Fusion des Menschen mit der Maschine die Entwicklung menschlicher Fähigkeiten an. Darüber hinaus wurde in einem ethnografischen Gespräch von der Entstehung einer „neuen Technoleiblichkeit“ gesprochen (Feldnotizen EG 6, Z. 310): „(...) dann haben wir natürlich das grundsätzliche Problem, dass das autonom handelnde Individuum, was ja sowohl rechtlich als auch ethisch ein ganz zentraler Begriff ist, (...) [sich] insofern verändert, dass von anderen produzierte Artefakte sozusagen integraler Bestandteil des individuellen Handelns werden.“ (Feldnotizen EG 6, Z. 319-323). Auf diese Weise finde eine Vermischung des Menschen mit der Maschine statt, die eine Differenzierung der jeweiligen Handlungsanteile unmöglich mache. Insgesamt betrachtet wurden menschliche Gedanken bei der BCI-Nutzung häufig als „Daten“ (I. 19, Z. 105), „Muster“ (I. 19, Z. 211) oder „Signale“ (I. 7, Z. 498) bezeichnet.

Auf die Frage, ob sie sich selbst oder dem BCI die Handlung zuschreiben würde, antwortete Frau A: „Es ist definitiv eine Mischung aus beidem.“ (Engl., I. 7, Z. 367). Analog dazu sprachen Herr I und Herr S von einer zunehmenden Interdependenz: „Also einerseits bin ich ja derjenige, der das irgendwie ansteuert über meine Gehirnfunktion, andererseits liegt halt der Computer dahinter, der die Daten analysiert und halt auch klassifizieren kann (...).“ (I. 11, Z. 489-491). Die damit verbundene Ungenauigkeit könne laut Herrn I sowohl dem technischen System als auch dem Probanden zugeschrieben werden. Zwei Befragte – Herr G und Frau C – verorteten die BCI-modulierten Handlungen hingegen klar bei sich selbst. Jedoch nahm Frau C hierbei eine Einschränkung vor: „Also, ich denke schon, dass es der Mensch ist, der handelt. Wenn man sichergestellt hat, dass das System funktioniert.“ (I. 10, Z. 303-304).

4.3.3 Die Frage der Verantwortung

*„So eine gewisse, ja was heißt Verantwortung, das Gefühl oder ja, dass ich sozusagen eigentlich das in der Hand oder das in den Gedanken hab, wo es jetzt langgeht irgendwie.“
(I. 6, Z. 287-289)*

Die Gefühlsebene spielte bei der Frage der Verantwortung eine zentrale Rolle. Hierbei wurde die Einzigartigkeit der BCI-Aktionen zum Ausdruck gebracht, wobei Herr F zunächst davon sprach, etwas in der „Hand“ zu haben und nach kurzer Überlegung zum Terminus „Gedanken“ wechselte (I. 6, Z. 289). In Hinblick auf die individuelle Attribution von Verantwortung zeigten sich insgesamt betrachtet drei Gruppen:



Abb. 20: Darstellung der drei Gruppen individueller Verantwortungszuschreibung

Hierbei ist anzuführen, dass circa die Hälfte der Befragten sich selbst die Verantwortung zuschrieb. Die andere Hälfte negierte diese völlig, zudem fühlten sich drei Teilnehmer nur bei erfolgreichen BCI-Handlungen verantwortlich. Nachfolgend werden die einzelnen Dimensionen mit Hilfe von Zitaten aus Interviews detailliert beschrieben. Im Anschluss wird auf den Faktor der Quantifizierung BCI-induzierter Handlungen mit Hilfe von Feedback sowie deren Genauigkeit eingegangen.

a. Volle Verantwortungsübernahme

*„Ja. Und ich hab mich auch verantwortlich gefühlt, wenn's nicht geklappt hat. Also, wie soll ich sagen, es war so eine passive, eine gewisse Hilflosigkeit, wenn's nicht geklappt hat.“
(I. 6, Z. 267-269)*

Es wird deutlich, dass sich Herr F zunächst in einer eher passiven Rolle befand, aus der er sich mit zunehmender Übung befreien konnte. Hierbei habe er immer wieder versucht, sich stärker zu konzentrieren und somit „den richtigen Weg“ zu finden (I. 6, Z. 245). Insgesamt betrachtet wurde deutlich, dass die Teilnehmer mit voller Verantwortungs-

übernahme Misserfolge auf intrinsische Faktoren wie z.B. mangelnde Fokussierung zurückführten: „(...) aber dieses Wegdriften war immer für mich so, ja, dann hab ich vielleicht einfach von der Konzentration, dann hat die einfach nachgelassen.“ (I. 6, Z. 278-279). Auch Herr D, Herr K, Herr M, Herr R, Frau E sowie Frau F attribuierten den Erfolg ihrer BCI-modulierten Handlungen auf die eigene Person: „Ja, auf jeden Fall, auf jeden Fall. (...) Weil ich hab ja auch wirklich gemerkt, dass da definitiv, also kausal wäre jetzt vielleicht falsch, aber quasi ein Zusammenhang bestand zwischen dem, was ich gedacht hab und dem, was der Flieger gemacht hat (...). Und ja klar, dann bin ich ja auch dafür verantwortlich.“ (I. 4, Z. 192-199).

Herr M und Herr R führten ihre Verantwortung hingegen auf extrinsische Faktoren wie das dargebotene Feedback zurück: „Ja, weil wenn ich zum Beispiel gar nichts getan hab in der Phase, hab ich auch gemerkt, da passiert dann nichts.“ (Herr M, I. 16, Z. 236-237). Analog dazu begründete Herr K als BCI-Technikexperte und sehr geübter BCI-Nutzer seine Bewertung mit objektiven Werten: „Das war kein Gefühl, das war Genauigkeit – gemessen! Also der Cursor hat dann wirklich getan, was er tun soll, das kann man ja messen. Da war halt dann 100 Prozent Genauigkeit am Ende. Also es ist immer ganz wichtig, dass es kein Gefühl ist, sondern dass er wirklich das tut, was er soll.“ (I. 14, Z. 367-370).

b. Verantwortung nur bei Erfolg

*„Wenn es nicht erfolgreich war, dachte ich, ok, vielleicht ist es die Software oder die Hardware oder vielleicht hatte das Experiment Probleme. Ich fühlte mich nicht verantwortlich.“
(Engl., I. 24, Z. 101-102)*

Dieses Phänomen war nicht nur beim BCI-Gamer Herrn S, sondern auch bei weiteren Interviewpartnern zu beobachten. Der Hauptgrund hierfür sei laut Herrn L das individuelle Hintergrundwissen. Insbesondere die technische Zuverlässigkeit war bei seiner BCI-Nutzung nicht gegeben, weshalb er sich Misserfolge auch nicht selbst zuschrieb. Aufgrund seines jahrelangen Expertenwissens im klinischen Kontext sei das eigene Erleben für ihn „nicht so spektakulär“ gewesen (Engl., I. 15, Z. 262). Analog dazu beschrieb Frau E ihre vorab geringe Erwartungshaltung gegenüber der BCI-Technologie: „Aber ich hab auch gewusst, (...) dass das ganz normal ist, dass das System nicht hundertprozentig funktioniert.“ (I. 19, Z. 281-282). Hierbei sei der Mensch ihrer Meinung

nach gerne derjenige, „(...) der die richtigen Sachen macht. Und dann, das System macht das, was falsch ist.“ (I. 19, Z. 277). Aufgrund des derzeitigen Stands der Technik habe sie jedoch von Anfang an bereits mit Misserfolgen gerechnet. Auch der BCI-Pilot Herr H argumentierte, dass technische Probleme in den Entwicklungsphasen neuer Systeme völlig üblich seien. Daher habe er sich seine geringen Erfolgserlebnisse auch nicht selbst zugeschrieben.

c. Keine Verantwortungsübernahme

„Nein! Was heißt verantwortlich gefühlt? Natürlich ist das Gefühl eines Erfolges in so einem Versuch schöner als ein Misserfolg. Aber mir war klar und man hat das vorher ja auch gesagt bekommen, man soll jetzt nicht irgendwie enttäuscht sein, wenn's nicht klappt.“
(I. 3, Z. 155-158)

Die dritte Teilnehmergruppe negierte eine Verantwortungszuschreibung auf die eigene Person in vollem Umfang. Der BCI-Pilot Herr C begründete dies damit, dass der limitierte Stand der Technik von den Versuchsleitern offen kommuniziert wurde. Analog dazu habe Herr G keine Attribution auf die eigene Person vorgenommen, was er zudem auf sein technisches Fachwissen zurückführte. Trotz eines hohen Maßes an Motivation fühlte sich Herr G für den geringen Erfolg nicht verantwortlich: „(...) das war kein Schuldgefühl, kein Misserfolgsgefühl. Geht halt gerade nicht.“ (I. 8, Z. 225-226).

Darüber hinaus habe sich auch der BCI-Gamer Herr Q vom mäßigen Versuchsergebnis distanziert. Über die Steuerung des Joysticks habe er im Verlauf des Experimentes keine Kontrolle gewinnen können. Die BCI-Wissenschaftler Herr B und Herr P begründeten ihre Misserfolge hingegen mit dem Phänomen der *BCI-Illiteracy*. Herr P habe erst nach tagelangem Training erkannt, dass bei ihm kein Übungsprozess stattgefunden habe: „(...) erst dann hab ich (...) gesagt, wahrscheinlich stimmt was technisch nicht oder ich muss hier und da etwas verändern. Oder ich bin eben jemand, bei dem dieser Prozess nicht messbar ist.“ (I. 2, Z. 352-354).

d. Objektivität durch Genauigkeit der Messung

„Das ist ganz wichtig, dass man bei einem System immer die Genauigkeit berechnen kann.“

(I. 14, Z. 275-276)

Der Technikexperte Herr K betonte im Interview mehrfach die für ihn essentielle Bedeutung einer objektiven BCI-Messmethode. Aus seiner professionellen Perspektive würde sich die BCI-Technologie dadurch eindeutig von anderen Verfahren wie dem Biofeedback differenzieren: „Der Unterschied zur BCI-Technologie ist halt, dass man auch die Genauigkeit des Systems messen kann.“ (I. 14, Z. 279-280). Mit Hilfe der Extraktion spezifischer Parameter und dem Einsatz von Klassifikatoren könnten EEG-Daten laut Herrn K mit bis zu 100 Prozent Genauigkeit unterschieden werden.

Analog zu diesen Ausführungen berichteten auch laienhafte Nutzer von einer Adaptationsphase, wobei die Sicherheit des Systems kontinuierlich gemessen wurde. Die Quantifizierungen des Computers wurden Herrn M zufolge in Form eines Balkens dargeboten: „Da war ein Balken und der ist dann, je sicherer sich das Programm war (...). Desto weiter ist der Balken raufgegangen.“ (I. 16, Z. 132-134). Hierbei habe das Programm im Verlauf des Experimentes zunehmend an Sicherheit gewonnen, wobei er eine Rückmeldung erhalten habe: „(...) ok, das war jetzt deine rechte Hand oder deine linke Hand oder deine Füße.“ (I. 16, Z. 138-139). Das Feedback des Systems und seine Intentionen empfand er hierbei als in hohem Maße übereinstimmend.

Darüber hinaus waren auch die BCI-Wissenschaftler Herr J und Frau D von der Bedeutung objektiver BCI-Messwerte überzeugt. Bei feuchten Elektroden sei das „relativ einfach“, bei Trockenelektroden würde man hingegen „Pi mal Daumen“ vorgehen (I. 13, Z. 195-196). Nichtsdestotrotz würde es immer interindividuelle Unterschiede geben: „Also, es kann einfach anatomisch irgendwie nicht stimmen, dass gerade das Signal, das wir brauchen, nicht rauskommt sozusagen aus dem Gehirn. Oder nicht extrahieren, also dass halt die Faltungen einfach anders sind. (...) Und klar, also der Klassifikator, bei manchen funktioniert er besser und bei anderen nicht.“ (I. 13, Z. 198-202). Zudem sei die Berücksichtigung von Artefakten essentiell: „(...) und es gibt viele andere Faktoren, die das beeinflussen, wie Blinzeln, Muskelbewegungen, sogar der Herzschlag, andere Dinge im Raum, wie andere elektrische Geräte (...)“ (Engl., I. 7, Z. 243-245). Diese systematischen Verzerrungen müssten laut Frau A unbedingt berücksichtigt und mit Hilfe von Software entfernt werden, um qualitativ hochwertige Messergebnisse zu erhalten. Herr L

als Nutzer mit Expertenwissen erläuterte zudem die signifikante Reduktion von Artefakten durch implantierte Elektroden. Denn in der Klinik arbeite er primär mit Schlaganfallpatienten und ECoG-Applikationen: „Wenn du [die Elektroden] implantierst, hast du keine Artefakte. (...) Es ist ein wunderschönes Signal.“ (Engl., I. 15, Z. 131-132). Darüber hinaus warfen passive BCIs bei der Verantwortungszuschreibung völlig neue Fragen auf. Vor allem deren geringe, wissenschaftliche Akzeptanz machte sie zu einem höchst umstrittenen Messinstrument: „Aber [das *Muse*] misst halt genau das, was wir eigentlich nicht messen wollen – Artefakte.“ (I. 14, Z. 397). Daher handle es sich hierbei laut dem Technikexperten Herr K primär um die Analyse von Augen- und Muskelbewegungen, was „sinnlos“ sei: „Also, wenn man da die Genauigkeit misst, das wird einfach Zufall sein.“ (I. 14, Z. 406-408). Analog dazu schilderte Frau A auf die Frage der Verantwortung im Kontext passiver BCIs: „(...) ich denke nicht, dass das auf passive BCIs wirklich anwendbar ist (...), da gibt es kein Richtig oder Falsch.“ (Engl., I. 7, Z. 452-456). Natürlich könne z.B. ein Konzentrationswert ausgegeben werden, aber im Gegensatz zu aktiven BCIs gebe es keinen vorab festgelegten Handlungsrahmen: „(...) es ist nicht, wie wenn man links oder rechts gehen muss oder etwas klar Definiertes (...)“ (Engl., I. 7, Z. 459). Zudem begründete sie ihre Aussage mit in der Regel fehlendem direkten Feedback bei passiven BCIs.

e. Die Frage der Verantwortung als gesellschaftliche Aufgabe

„Es ist natürlich so, dass gesellschaftliche Entscheidungen darüber getroffen werden müssen, wo die rechtliche Verantwortung dann liegt.“
(I. 13, Z. 578-580)

Das Zitat von Frau D bringt den Faktor der gesellschaftlichen Akzeptanz zum Ausdruck. Denn mit der zunehmenden Entwicklung intelligenter Neurotechnologien – repräsentiert durch BCIs – müssten auch rechtliche Rahmenbedingungen für deren Implementierung geschaffen werden. Hierfür ist die Frage der Kausalität von zentraler Bedeutung. Wer trägt im konkreten Einzelfall die Verantwortung für BCI-modulierte Handlungen? Der Mensch oder die Maschine? Und muss hierbei zwischen sicherheitskritischen Anwendungen und solchen mit geringem Gefahrenpotential differenziert werden? Der BCI-Wissenschaftler Herr J erläuterte die derzeit noch sehr umstrittene Frage der Kausalität im Kontext neuroadaptiver Technologien:

„(...) im Moment haben wir ja eine relativ limitierte Messung der Hirnaktivität. Also im Hirn passiert wesentlich mehr, als wir natürlich mit EEG messen können. Und irgendwie wird aus dieser beschränkten Information dann vom Rechner gesagt, ok, jetzt möchte er nach links steuern. Auch wenn das zu 99,99 Prozent Sicherheit den vorher aufgenommenen Daten entspricht, also es links gesteuert wurde, kann man immer noch behaupten, ja vielleicht waren das irgendwelche Artefakte. Oder andere Gedanken, die trotzdem falsch interpretiert wurden oder was auch immer. Also wenn jetzt der Mensch sagt nein, ich möchte das eigentlich gar nicht, ich hatte was anderes gewollt. Aber die Maschine sagt das trotzdem oder steuert nach links, fällt mir gerade keine Möglichkeit ein, um jetzt vor Gericht oder so entscheiden zu können, wer jetzt eigentlich Recht hat (...).“ (I. 13, 544-554).

Derzeit arbeiteten Herr J und Frau D an *Smart Home*-Applikationen mit passiven BCIs, bei denen sich z.B. das Licht an den Gemütszustand des Nutzers anpasst. Die Frage der Kausalität könne jedoch in diesem Kontext nicht mehr eindeutig geklärt werden:

„War es jetzt meine Entscheidung, das Licht so einzustellen? Oder nicht? Das ist komplett basiert auf Daten, die ich gegeben habe, die allerdings vom Rechner interpretiert wurden. Und der Rechner hat letztendlich entschieden, ok, jetzt mach ich mal das Licht an oder was auch immer. Also ja, wer ist jetzt die Rechtsperson, die dann das Licht angemacht hat? Ich weiß es nicht. Und vielleicht gibt es das gar nicht mehr. Also irgendwann ist halt doch das Licht angegangen, aber es ist nicht mehr klar, wo das jetzt genau passiert ist oder warum.“ (I. 13, Z. 564-570).

Analog dazu erläuterte Herr N: „(...) in einigen Fällen kannst du eindeutig den Nutzer oder das BCI (...) verantwortlich machen. Es wird aber auch viele Problemfälle geben, wo es unklar ist. (...) Wen machst du dann verantwortlich?“ (Engl., I. 17, Z. 589-592). Diese Frage stellte Herr N, ohne selbst eine Antwort darauf geben zu können. In einem ethnografischen Gespräch wurde ferner ein im Kontext von Haftungsfragen zentraler Akteur angesprochen: Die Versicherungen. So dürfe bei der Entwicklung neuer Technologien diese Perspektive nicht außer Betracht gelassen werden: „Weil, wenn die sagen, nein, das versichern wir nicht. Das ist zu gefährlich, dann kann man die Massenanzwendung vergessen.“ (Feldnotizen EG 6, Z. 331-332). Daher wurde die gesellschaftliche Akzeptanz von BCIs primär von Versicherungen abhängig gemacht und deren Entwicklung mit hochautomatisierten Fahrzeugen verglichen. Hierbei sei immer noch der Fahrer verpflichtet, jederzeit das Steuer und somit die Verantwortung übernehmen zu können.

Andere Interviewpartner zogen bei dieser Frage Parallelen mit der zunehmenden Automatisierung im Automobilsektor. So beispielsweise Herr F, der einen Vergleich mit dem Unfall eines autonom fahrenden Tesla-Fahrzeuges in den USA herstellte. In diesem Fall sah er eine „Verantwortung von beiden Seiten“ (I. 6, Z. 349). Einerseits sei der

Hersteller zu klarer Kommunikation verpflichtet, andererseits der Nutzer zur richtigen Umsetzung von Vorgaben. Zudem verwendete auch Frau E das Tesla-Beispiel zur Beantwortung der Verantwortungsfrage im Kontext der BCI-Technologie: „Da war sehr, sehr genau zu sagen, wer schuld war. Weil einfach alle Radardaten, alle Positions- und Lokalisationsdaten gegeben waren, das heißt es war ganz klar ersichtlich, die Software hat den Lastwagen als Schild erkannt und nicht als Lastwagen. Und deswegen ist der da reingefahren.“ (I. 19, Z. 359-362). Ihrer Meinung nach könne die Frage der Kausalität BCI-modulierter Handlungen analog dazu nur durch den Einsatz von Datenbanken gelöst werden. Hierbei müsse eindeutig klar sein, was im Einzelfall passiert sei und wer die Schuld trage.

Darüber hinaus gebrauchten die Befragten mit Expertenwissen Beispiele aus der Automobil- und Flugbranche, um den Aspekt der Sicherheitsrelevanz zu verdeutlichen. Umso gefährlicher die Nutzung von BCIs im Einzelfall sei, umso mehr müsse man sich auf das technische System verlassen können. So seien aktive BCIs zur Steuerung von Fahr- und Flugzeugen laut Frau B derzeit noch völlig ungeeignet: „Klar, so als Hilfe, zum Beispiel es gibt ja auch so passive BCIs quasi, die einfach halt Aufmerksamkeit zum Beispiel monitoren und dann sagen ja, wenn die jetzt sinkt, dann gibt es ein Warnsignal. Und es wird eine Pause geben oder so, ja, das macht alles total Sinn. Aber jetzt wirklich 100 Prozent die Kontrolle abgeben, rein für Gehirnaktivität. Das würde ich auf keinen Fall anraten im Moment.“ (I. 12, Z. 204-208). Im Gegensatz dazu befürworteten Frau B und Frau C die derzeitige BCI-Nutzung für „sicherheitsunkritische Dinge“ (I. 10, Z. 318). Beispielsweise zur Bedienung eines Kopierers, zum Schreiben einer Email oder für *Smart Home*-Anwendungen, aber nicht, „wo es um Leben und Tod geht.“ (I. 12, Z. 212-213).

Schließlich wurde die Frage der Verantwortung auch für invasive BCIs diskutiert. Frau D bezog sich hierbei auf die Visionen eines amerikanischen Unternehmers: „(...) also, wir sprechen ja dann wirklich schon von so einer Art Fusion. Wie das auch in diesem Elon Musk-Szenario dann passieren würde. Das ist ja schon so eine Art, wo eine Symbiose da stattfindet zwischen dem Menschen und der Technologie. Das ist eine sehr spannende Fragestellung, wie dann da die Rechtsprechung aussehen würde! Wäre jetzt auch nicht die große Unterscheidbarkeit oder Entscheidbarkeit.“ (I. 13, Z. 580-585).

4.3.4 Datenschutz: Können BCIs Gedanken lesen?

*„Außer es wird irgendwann mal soweit kommen, dass man wirklich lesen kann, was denkt denn der Mensch gerade. Und mitschreiben kann. Das ist dann natürlich schwierig. Also wenn die Technologie soweit ist, dann kann man echt sagen, also dann ist dieses Gedankenlesen, was ja bisher immer nur Fiktion ist, das weiß man nicht, ob man das immer will. (...) Aber solange das einfach nur, ich sag jetzt mal, Befehle sind.“
(I. 10, Z. 384-389)*

Frau C warf einen Blick auf die mögliche Zukunft von BCIs. Hierbei differenzierte sie klar zwischen dem futuristischen Szenario des Gedankenlesens und dem derzeitigen Stand der Technik. Solange es sich lediglich um Befehle und somit um bewusste Kommunikation handle, sehe sie durch die BCI-Technologie keine Gefahr. Zudem sei für Frau C die Art der Daten von Bedeutung, wobei z.B. kein Auslesen sicherheitsrelevanter Informationen möglich sein dürfe. Dennoch sei ihr als Informatikerin auch bewusst: „Aber wenn ich jetzt so ein BCI im Alltag benutze, dann weiß ich halt, (...) meine Daten fliegen durch die Welt und jeder kann die abgreifen, wenn er weiß, wie es geht.“ (I. 10, Z. 372-374). Gedanken bezeichnete sie hierbei als „persönliche Daten“ (I. 10, Z. 381).

Analog dazu fühlte sich Herr D durch BCIs nicht in seiner Privatsphäre verletzt. Auch er betonte den Sicherheitsaspekt von Informationen: „(...) das kommt darauf an, was man da auslesen kann.“ (I. 4, Z. 319). Solange es sich hierbei um keinen expliziten Gedankeninhalt, sondern um bewusste Steuerungssignale handle, sei der Aspekt des Datenschutzes für ihn nicht kritisch. Er verglich BCI-modulierte Handlungen mit dem Lenken eines Fahrzeuges: „(...) also ich fühle mich jetzt auch nicht in meiner Privatsphäre verletzt, wenn man sieht, dass ich mit meiner Hand nach rechts lenke (...)“ (I. 4, Z. 324-331). Diese Sicht bestätigten auch Herr G und Herr H: „Nein! In keiner Weise (...)“ (I. 8, Z. 234) oder „Nein! Aber dieses Interface zeigt uns nicht, was wir denken. Es macht eine Übertragung (...)“ (I. 9, Z. 479-480). Hierbei setzte Herr H die BCI-Technologie mit einem „Stromsignal“ gleich (I. 9, Z. 483).

Auf die Frage, ob das Auslesen von Gedanken mit Hilfe von BCIs in der Zukunft möglich sein werde, erwiderte die laienhafte BCI-Nutzerin Frau F: „(...) ich hätte nicht gedacht, dass das möglich ist. Und ich glaube auch immer noch nicht, dass das irgendwann möglich sein wird.“ (I. 20, Z. 123-124). Auch die seit Jahren in der BCI-Forschung etablierten Wissenschaftler Herr A, Herr J, Herr O und Herr P negierten die zukünftige Möglichkeit des Auslesens von Gedanken mit Hilfe von BCIs, wie z.B. Herr O: „Ich bin der Meinung, dass wir das nicht können werden. Also, weil ich mir gar nicht so sicher

bin, was das Konzept des Gedankens ist.“ (I. 18, Z. 216-217). Herr A beschrieb analog: „(...), weil man eben keine Ahnung hat vom menschlichen Gehirn (...).“ (I. 1, Z. 307-308). Er fügte ergänzend hinzu: „(...) also das ist alles so verrauscht, das ist so ein Chaos, dass das jetzt noch ziemlich, ja, unpersönlich ist.“ (I. 1, Z. 311-312). Herr J sprach hierbei von der reinen Identifikation statistischer Zusammenhänge: „(...) wir können irgendwie Korrelate zu bestimmten, vorhin mal aufgezeichneten Gedanken oder Nutzerzuständen erkennen. Also wiedererkennen, aber das ist noch komplett ohne Inhalt.“ (I. 13, Z. 643-645).

Jedoch waren auch einige der Befragten von der Möglichkeit des Gedankenlesens durch BCIs überzeugt: „Ja, ich denke, dass es letzten Endes möglich sein wird, eine Art direktes Lesen der Sprache oder Gedankenlesen.“ (Engl., I. 17, Z. 552). In welcher Form diese Zukunftsvision einmal Realität werde, könne Herr N derzeit noch nicht sagen. Jedoch hob er die schnell voranschreitende Forschung mit implantierten Elektroden in Form von ECoG sowie deren Erfolge hervor. Analog dazu betonte Frau E die zentrale Stellung von Implantaten: „(...) also wir sehen ja, dass mit implantierbaren Elektroden viel, viel mehr möglich ist. Da gibt's Kontrolle, wo man jeden Finger kontrollieren kann. Also das geht auch über Lokalisation. Aber mit den Elektroden, die äußerlich angewendet werden, ist viel mehr Präzision nicht möglich.“ (I. 19, Z. 230-233).

4.3.5 Update für das Ich? BCIs und Menschenbild

Wie oben deutlich wurde, findet durch BCIs eine zunehmende Objektivierung und Quantifizierung des Gehirns statt. Andererseits ist dieses Forschungsfeld immer noch von Unwissenheit geprägt, wobei z.B. das Konzept des Gedankens unklar ist. Diese Ambivalenz bringt die Abb. 21 graphisch zum Ausdruck. Im Anschluss daran werden Einflussfaktoren eines möglichen, durch BCIs induzierten Wandels im Menschenbild beschrieben.

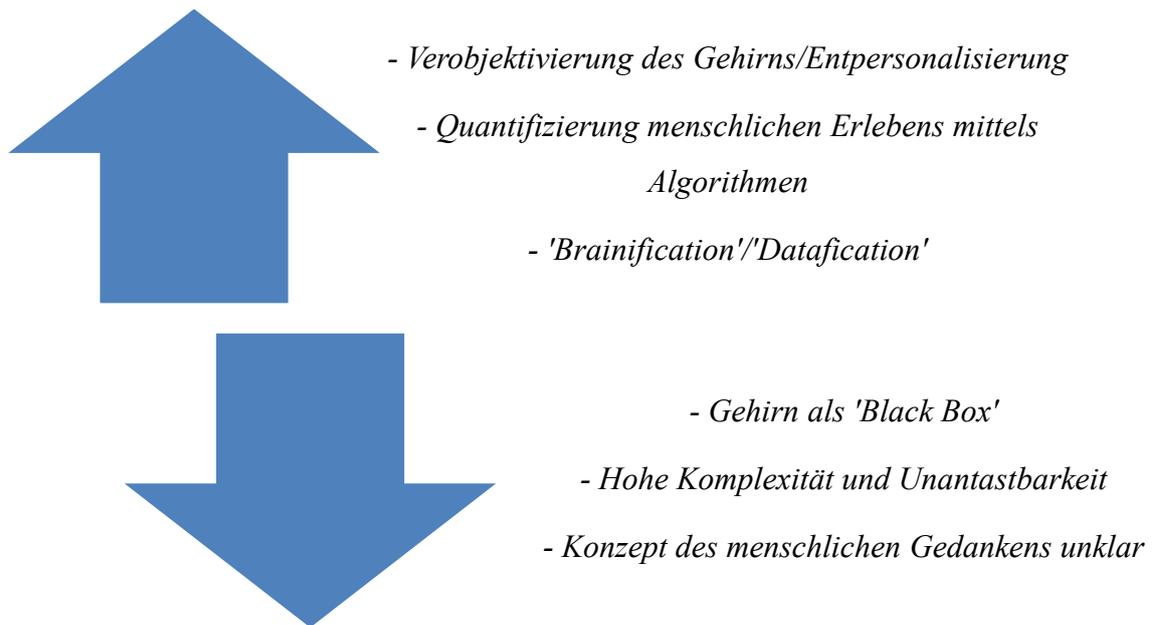


Abb. 21: Was ist das Gehirn? – Ein Wandel der Sichtweise

a. Die essentielle Rolle selbstbestimmter BCI-Nutzung

„(...) die Menschen haben Kontrolle. BCIs sind freiwillige Geräte. In den nächsten Jahren sehe ich nicht viele Möglichkeiten, sie gegen den Willen der Menschen zu nutzen.“

(Engl., I. 17, Z. 519-520)

Das Zitat von Herrn N macht deutlich, dass der Wissenschaftler durch die BCI-Technologie derzeit noch keine Gefahr für die individuelle Wahlfreiheit sieht. Seine Aussage begründete er damit, dass jeder gesunden Person bewusst sei, wenn sie eine EEG-Kappe auf dem Kopf tragen würde. Ferner gebe es laut Herrn N keinen Weg, die Gehirnaktivität aus der Ferne auszulesen. Somit handle es sich beim BCI-Gebrauch um eine bewusste Entscheidung des Individuums. Der Großteil der Teilnehmer vertrat eine äquivalente Position. So wurde im Kontext eines sich durch BCIs potentiell verändernden Menschenbildes insbesondere das Selbstbestimmungsrecht hervorgehoben. Laut Herrn R und Herrn Q dürfe das Individuum nicht zur BCI-Nutzung gezwungen und somit fremdbestimmt werden. Analog dazu erörterte Herr L in Hinblick auf den zukünftigen Gebrauch von BCIs: „(...) die Menschen werden Entscheidungen treffen auf Basis der technischen Möglichkeiten, die ihnen zur Verfügung stehen.“ (Engl., I. 15, Z. 423). Eine Einschränkung oder ein Verbot neuer Technologien sei hierbei laut Herrn L keine

Lösung. Vielmehr stehe die Mündigkeit des Einzelnen im Fokus, was auch Frau A bestätigte: „Ich denke nicht, dass wir irgendetwas einschränken sollten. Ich denke, jede Person sollte alles selbst entscheiden.“ (Engl., I. 7, Z. 580). Ferner waren auch Herr E und Herr S überzeugt davon, dass das Menschsein durch die BCI-Technologie nicht beeinflusst werde: „Ist nur eine weitere Übersetzung im System zwischen Mensch und Maschine.“ (I. 5, Z. 93-94) oder „(...) die Interaktion zwischen den Menschen verändert sich, aber der Mensch selbst verändert sich durch die Technologie nicht.“ (Engl., I. 24, Z. 152-153).

b. BCI-Nutzer als Cyborgs?

*„(...) die meisten von uns sind ja schon irgendwo mittlerweile ein Cyborg geworden. Wenn man das von der Definition her so sehen möchte. Und ich sehe da auch wirklich große Schwierigkeiten. So die eigenen Fähigkeiten und irgendwelche Kompetenzen auf eine Technologie auszulagern. Weil man dadurch das eigene Dasein als Mensch beeinflusst (...).“
(I. 13, Z. 525-530)*

Frau D bezeichnete die Menschheit aufgrund der zunehmenden Verschmelzung mit Mobiltelefonen schon heute als Cyborgs. Sie verglich diese Entwicklung mit intelligenten Neurotechnologien, wobei Frau D generell große Skepsis gegenüber ‚Human Enhancement‘ äußerte. Insbesondere die Folgen implantierter Elektroden würden – sowohl auf individueller als auch auf gesellschaftlicher Ebene – nicht kalkulierbar sein. Auch Herr O sah die Definition von Cyborgs bereits heute als erfüllt an: „Und, also letztendlich sind wir alle schon Cyborgs in der Definition, obwohl man sich das damals nicht so vorgestellt hat. Da hat man sich nicht vorgestellt, dass man so ein kleines Display in der Hand hat.“ (I. 18, Z. 252-254). Die ursprüngliche Annahme, dass z.B. Kameras integraler Bestandteil des Körpers würden, habe sich als unzutreffend erwiesen: „Das [Mobiltelefon] ist aber nicht eingebaut. Es ist aber so gut wie eingebaut, weil es dauernd in meiner Hand ist. Also es ist Teil meines Lebens, es ist Teil von mir.“ (I. 18, Z. 244-245). Darüber hinaus wurde in einem ethnographischen Gespräch die Befürchtung geäußert, dass BCIs „(...) dazu führen könnten, dass wir halt so eine Art Cyborgs oder Ähnliches werden.“ (Feldnotizen EG 6, Z. 125). Hier zeigte sich ein weiterer, zentraler Faktor: Die „Frage des freien Willens des Menschen vor dem Hintergrund der Neurowissenschaften“

(Feldnotizen EG 6, Z. 145-146). So müsse zur Wahrung des ursprünglichen Menschenbildes jede Art von Fremdbestimmung durch Technik ausgeschlossen werden.

c. BCIs und ‚Human Enhancement‘

„(...) wenn Enhancement durch Implantate oder BCIs generell möglich wird. (...) Wenn das der Fall sein sollte, dann ja, dann werden gesunde Nutzer damit anfangen, sie wie Drogen zu nutzen, wie Doping für den Sport.“
(Engl., I. 15, Z. 217-219)

Herr L sah zwischenmenschlichen Wettbewerb und das Streben nach stetiger Weiterentwicklung als zentrale Elemente der Menschheit. Für die Zukunft postulierte er den Wunsch nach Leistungssteigerungen des Gedächtnisses. Analog dazu beschrieb Herr P Möglichkeiten des ‚Human Enhancement‘ mit Hilfe von BCIs: „bessere Konzentrationsfähigkeit, ja bessere Gedächtnisfähigkeit“ (I. 21, Z. 292). In einem ethnographischen Gespräch schätzte ein Politikberater für Neurotechnologien die zukünftige Entwicklung von BCIs wie folgt ein: „(...), dass fast jeder Mensch, wenn ein Interface sicher ist und gesellschaftlich akzeptiert, bereit wäre, das zu tun, um sozusagen leistungsfähiger zu sein (...)“ (Feldnotizen EG 6, Z. 222-224). Jedoch sehe der Politikberater den Erfolg solcher BCI-Geräte gegenwärtig als nicht realistisch an, da damit ein „ganz erheblicher Genehmigungsaufwand“ verbunden wäre (Feldnotizen EG 6, Z. 217-218). Darüber hinaus plädierte Herr O für einen aktiven Austausch und Offenheit in Bezug auf BCIs:

„Sondern wir müssen einfach ja, fleißig sein und uns überlegen, wo sind die Grenzen, was wollen wir? Was wollen wir nicht? Auch offen sein, also viele Leute sagen, ich will nicht dauernd ein technisches Gerät dabei haben. Vielleicht liegen sie auch falsch damit. Vielleicht ist es ein Teil unserer Entwicklung. Ich will jetzt nicht Evolution sagen, aber vielleicht ist das einfach so, dass wir dahin müssen, weil unser Gehirn die Leistung nicht bringen kann, die wir brauchen, um uns weiterzuentwickeln. Und da muss man flexibel sein (...). Und einfach auch andere Lebensweisen akzeptieren, die dann vielleicht daraus entstehen könnten.“ (I. 18, Z. 299-307).

Analog dazu war auch der befragte Politikberater von der Notwendigkeit geistiger Leistungssteigerung überzeugt und bezog sich auf Elon Musk und das sog. „transhumanistische Narrativ“ (Feldnotizen EG 6, Z. 104): „(...) in dem heißt es immer wieder, wir müssen als Menschen unsere geistige Leistungsfähigkeit steigern. Und auch sozusagen irgendwie mit den Maschinen in Führungszeichen oder mit den Computern irgendwie sozusagen verschmelzen.“ (Feldnotizen EG 6, Z. 104-107). Sollte diese

Entwicklung nicht erfolgreich sein, könnte die Menschheit dem Politikberater zufolge durch künstliche Intelligenz ausgelöscht werden.

Ferner wurde auch hier der Aspekt der individuellen Selbstbestimmung hervorgehoben, wie z. B. von Frau C: „Also ich glaube, solange ich das selber entscheiden kann, finde ich es in Ordnung. Ich möchte halt die Wahl haben.“ (I. 10, Z. 530-531). Analog dazu erörterte Frau E: „(...) der Mensch strebt immer nach Neuem an sich. Also das ist, was Menschsein zu einem gewissen Grad ausmacht. Nicht nur mit dem zufrieden zu sein, was man hat, sondern immer versucht, besser zu werden. Und das inkludiert natürlich auch Technik. Man will effizienter werden, man will schneller werden (...).“ (I. 19, Z. 303-306). Hierbei sehe Frau E nicht die Technik als problematisch an, sondern nehme vielmehr das Individuum in die Pflicht. So müsse jedem Menschen die Wahl der Nichtnutzung von Technik bleiben. Somit betonten die beiden Teilnehmerinnen den Aspekt der Eigenverantwortlichkeit. Welche Daten würden wem zur Verfügung gestellt? Diese Frage müsse jeder mündige Nutzer vorab für sich selbst beantworten.

4.4 Forschungsfrage 3: BCIs – Erwartungen und Befürchtungen



Abb. 22: Hauptkategorien der Forschungsfrage 3

4.4.1 Hohe Erwartungen und Informiertes Einverständnis

*„(...) dass der größte Feind vom BCI die hohen Erwartungen oder die große Rhetorik sind. Gedankenlesen klingt großartig, ist aber absolut nicht das, was wir machen. Vollkommene Kontrolle, nur wenn man dran denkt, klingt auch großartig, ist aber auch nicht das, was möglich ist.“
(I. 19, Z. 457-460)*

Die Wissenschaftlerin Frau E beschrieb eindrücklich das Dilemma der mit BCIs verbundenen Erwartungen. So würden die Medien ein unrealistisches Bild über die Möglichkeiten der BCI-Technologie vermitteln: „(...) Hollywood bereitet ja Sachen schön auf, eigentlich jeder, und wir neigen auch dazu, Sachen schöner zu formulieren als sie sind. Und das ist eigentlich eins der größten Probleme der BCIs, dass sie irgendwann vermutlich nicht mehr ernst genommen werden. Weil sie einfach nicht das liefern, was die Rhetorik verspricht.“ (I. 19, Z. 466-469). Insbesondere Patienten würden in BCIs

enorme Hoffnungen setzen und seien enttäuscht, wenn sie den derzeitigen Reifegrad der Technik sehen. Analog dazu berichtete Frau B von ihrem klinischen Alltag: „(...), weil es irgendwie so auch oft verkauft wird und dann kann man mit dem [BCI] super kommunizieren. (...) Also da muss man auf alle Fälle die Erwartungen ein bisschen realistischer halten (...).“ (I. 12, Z. 179-184).

Der BCI-Wissenschaftler Herr J ging hingegen auf die Vorstellungen gesunder Nutzer ein: „Aber von den Erwartungen her, also es ist natürlich ein Thema, wo man sich sehr viele Gedanken darüber machen kann. Und auch viele Fantasien entwickeln kann und es ist schon sehr unterschiedlich, also welche Erwartungen dann da manchmal sind. Es wird natürlich auch oft [gedacht], als könnte man da jetzt irgendwie Gedanken lesen (...).“ (I. 13, Z. 302-306). Auch der laienhafte BCI-Nutzer Herr M erläuterte, dass insbesondere der Name ‚Brain-Computer Interface‘ bei ihm große Erwartungen geweckt habe. Als er festgestellt habe, dass mit BCIs keine Gedanken ausgelesen werden könnten, sei sein Interesse zunächst zurückgegangen. Frau F verdeutlichte ihr Empfinden folgendermaßen: „Ich weiß nicht, das war irgendwie so, also das hat einfach cool geklungen, dass man da irgendwie Gehirnströme misst und dass man dann irgendwie was steuern kann. Aber man wird dann eigentlich schon recht schnell von der Realität eingeholt (...).“ (I. 20, Z. 116-118). Analog dazu berichteten die beiden Wissenschaftler Herr P und Herr A von temporär großem Interesse an der BCI-Technologie aus der Wirtschaft. Herr P hatte in der Vergangenheit bereits derartige Kooperationen, die jedoch nie über eine Pilotstudie hinausgingen. Denn die EEG-Messmethode sei für wirtschaftliche Anwendungen noch „nicht realistisch“ (I. 21, Z. 131). Auch Herr A habe mit Industrievertretern gesprochen, „(...) die das interessant fanden. Allerdings waren die dann immer ziemlich schnell abgeschreckt, sobald sie gesehen haben, wie der Reifegrad ist.“ (I. 1, Z. 34-35).

Im Gegensatz dazu wurde das Informierte Einverständnis als zentraler Faktor beschrieben, um die Erwartungshaltung auf einer realistischen Ebene zu halten. Laienhafte BCI-Nutzer wie Herr E, Herr G, Herr Q und Frau E fühlten sich von Anfang an sehr gut aufgeklärt und übten zudem technische Berufe aus: „Ich wusste, dass es funktionieren kann, aber nicht funktionieren muss.“ (I. 8, Z. 128-129) oder „(...) ich bin nie mit einer Illusion an das Thema gegangen, dass da Wunder geschehen und man sofort Gedanken lesen kann.“ (I. 19, Z. 152-153). Auch von Seiten der beiden Wissenschaftler Herr N und Herr P wurde die Notwendigkeit des Informierten Einverständnisses betont: „Also, wir hatten ja im Vorfeld immer versucht, das sehr, sehr klar zu machen, wie eingeschränkt da die Möglichkeiten sind. Und dass es sehr explorativ ist (...).“ (I. 21, Z.

370-371). Nur auf diese Weise könnten falsche Erwartungen gegenüber der BCI-Technologie vermieden werden.

4.4.2 Staatliche Regulierung und Einbezug von Ethikern

*„(...) dann müsste man dafür genauso einen Führerschein machen, sag ich jetzt mal, wie für das normale Auto auch. Indem man lernt, es zu bedienen und wenn man es kann, kriegt man den Führerschein und wenn man es nicht kann, kriegt man ihn halt nicht.“
(I. 10, Z. 306-308)*

Der Wunsch nach einem BCI-Führerschein wurde von Frau C im einleitenden Zitat sowie Herrn K angesprochen. So sehe der Technikexperte für die Zukunft einen BCI-Lehrer, der den individuellen Lernprozess unterstützt. Außerdem wurde die Notwendigkeit von Zertifikaten hervorgehoben: „(...) also, wenn es ein Produkt werden sollte, dann muss es ja auch irgendwie einer Zertifizierung unterliegen.“ (I. 11, Z. 505-506). Analog dazu sprachen sich andere Befragte für gesetzliche Regulierungen aus und führten folgende Beispiele an:

- TÜV-Siegel (Herr K)
- FDA-Genehmigung (Herr L)
- Sonstige Zertifizierungen (Herr F, Herr G, Herr H, Herr J, Herr T)

Laut Herrn N müsse hierbei auch zertifiziertes BCI-Personal inkludiert sein. Denn nur auf diese Weise könne das Vertrauen von Patienten und der Allgemeinbevölkerung in die BCI-Technologie gewonnen werden. Darüber hinaus wurde der Wunsch nach Gesetzen deutlich: „Eigentlich sollten wir die Legislative (...) auch mal in dieses interdisziplinäre Feld miteinbinden, oder?“ (I. 13, Z. 800-801). Ferner plädierte Herr L für einen intensiven Austausch von Juristen und BCI-Spezialisten, um das aufwändige Verfahren der Gesetzgebung besser mit der Praxis zu verknüpfen. Der Wissenschaftler Herr O skizzierte diesen zukünftigen Prozess mit folgenden Worten:

„Wir werden einfach verstehen lernen, wie die Gesellschaft damit umgehen möchte. Wir werden dann Gesetze erlassen. Das dauert vielleicht ein paar Jahre. Und das sind vielleicht auch dann ein paar Jahre des Wilden Westens. Wo das halt alles durcheinandergeht. Aber irgendwann, also das sind ein paar Jahre, aber irgendwann werden wir eine Lösung finden (...).“ (I. 18, Z. 277-281)

Darüber hinaus wurde ein zweiter, zentraler Aspekt für eine verantwortungsvolle BCI-Entwicklung angesprochen: Der aktive Einbezug von Ethikern sowie die Etablierung ethischer Richtlinien. Herr L schilderte die für ihn essentielle Rolle von Ethikern: „Es gibt viele Gesellschaften und alle haben unterschiedliche Regeln, aber es gibt auch eine gemeinsame Moral, universelle Regeln. Wenn man solche Überlegungen anstellt, bevor man mit einer Technologie beginnt, dann ist es eine gute Technologie.“ (Engl., I. 15, Z. 336-339). Analog dazu beschrieb Herr O: „(...) im Kern sind wir uns doch einig, dass da eine absolute Notwendigkeit ist, sich ethische Richtlinien zu überlegen. Und auch zu überlegen, wie wir als Menschen damit umgehen wollen.“ (I. 18, Z. 271-272). Hierbei sei für Herrn O ein stetiger Austausch von zentraler Bedeutung:

„Jetzt haben wir da irgendwie Kontakt zu Leuten, die in der Ethik unterwegs sind, aufgebaut. (...) Und das geht jetzt langsam voran und meine Perspektive darauf ist, dass wir als Wissenschaftler das nicht entscheiden dürfen und können. Ob das jetzt gut für die Gesellschaft ist oder schlecht. Das, was wir tun können und auch müssen, ist kommunizieren, was wir machen können, wo wir vielleicht hingehen können, aber wo auch die absoluten Grenzen sind (...).“ (I. 18, Z. 206-212)

Jedoch sei der Einbezug von Ethikern in der Praxis auch mit Herausforderungen verbunden. So beschrieb der BCI-Wissenschaftler Herr A, dass das Einberufen der Ethikkommission an naturwissenschaftlichen Fakultäten häufig noch nicht Standard sei: „Von Ethikkommission hat da wahrscheinlich noch nie jemand was gehört. Ich hab auch erst im Laufe meiner Arbeit gehört, dass es das gibt, irgendwo. (...) Also, ich sage da jetzt nicht, dass das richtig oder falsch ist. Ich weiß auf jeden Fall (...), dass das alles korrekt abgelaufen ist. Bloß die Bürokratie dahinter haben wir nicht gemacht, nein.“ (I. 1, Z. 293-298). Jedoch betonte er auch, dass sich dieses Vorgehen ändern müsse, sobald BCIs persönliche Daten auslesen könnten. Analog dazu beschrieb Herr J eine Dilemma-Situation. So widerspreche die Einholung des Informierten Einverständnisses häufig wissenschaftlichen Zielen. Denn bei der Erforschung passiver BCIs dürfe die Gehirnaktivität nicht aktiv beeinflusst werden: „Also teilweise müssen wir Sachen rauslassen aus der Instruktion und erst nachher erzählen, was wir eigentlich gemacht haben.“ (I. 13, Z. 312-313).

4.4.3 Befürchtungen gegenüber der BCI-Technologie

a. Pro oder contra BCIs? – Ein ambivalenter Abwägungsprozess

*„(...) also es ist immer ein zweischneidiges Schwert. Sind immer Chancen und Bedrohungen da, in jedem technologischen Fortschritt.“
(I. 2, Z. 430-431)*

Der Großteil der Befragten wog die Vor- und Nachteile von BCIs gegeneinander ab. Herr F und Herr N stellten Parallelen mit anderen, technischen Errungenschaften her. Laut Herrn F weckte auch die Erfindung des Mobiltelefons zu Beginn große Befürchtungen, die jedoch schnell verschwanden: „Und dann die Angst vor den Handys, als die gekommen sind, dass man Krebs kriegt und dass wir uns jetzt selber auslöschen durch die ganze Strahlung und jetzt ist auch nichts.“ (I. 6, Z. 357-359). Vielmehr würde mit neuen Technologien ein Lernprozess einhergehen: „Also man muss so ein bisschen Erfahrungen sammeln und man wird auch lernen müssen, wahrscheinlich auch auf Kosten von Menschen, das ist einfach so.“ (I. 6, Z. 361-363).

Analog dazu ging Herr N auf die Erfindung der Schönheitschirurgie während des ersten Weltkrieges ein. Im Verlauf der Zeit hätte sie sich nicht nur für Soldaten, sondern auch in der Allgemeinbevölkerung etabliert. Herr N stellte die Frage: „Wird das auch mit invasiven BCIs passieren?“ (Engl., I. 17, Z. 685). Eine Antwort darauf konnte er selbst nicht geben. Gegenwärtig würde sich laut Herrn N kein gesunder Mensch zu einem derartigen, chirurgischen Eingriff bereit erklären. Dies könnte sich jedoch in der Zukunft verändern:

„(...) im Moment (...) ist es völlig unangebracht, sich ein Loch in den Kopf bohren zu lassen, außer es besteht eine hohe medizinische Notwendigkeit dafür. Aber die Menschen könnten das im Lauf der Zeit anders sehen, zum Beispiel, dass ein solcher Eingriff für Neurofeedback sehr hilfreich sein könnte. Wenn sie sich einen kleinen Chip in ihren Kopf stecken, könnten sie lernen, sich viel effektiver zu entspannen (...). Und die Menschen könnten beginnen zu sagen: Entspannung ist Gesundheit, wenn man Stress reduziert, könnten wir länger leben.“ (Engl., I. 17, Z. 686-693).

Zudem ergänzte Herr N: „Das könnte der Beginn eines Wandels sein, bei dem es im Extremfall – den ich jetzt wirklich schrecklich finde – Routine werden könnte. Alle Leute machen das und du sagst, ja, ich muss mein Handy auch mit einem Gerät im Kopf steuern können. Wenn ich das nicht habe, fühle ich mich minderwertig.“ (Engl., I. 17, Z. 695-699).

Diese Ambivalenz war bei fast allen Befragten deutlich ausgeprägt, wie z.B. bei Herrn O: „(...) auf dem gesamten BCI-Bereich [gibt es] schreckliche Anwendungsfelder, die ich wirklich schlimm finde. (...) Aber es gibt eben auch unglaublich viele gute Dinge, die das Leben besser machen, die es sicherer machen, schöner machen, verlängern oder was auch immer. Oder Kommunikation verbessern.“ (I. 18, Z. 281-285). Auch Herr G beschrieb dieses Spannungsverhältnis: „(...) [es gibt] sowohl Grenzen als auch Potenziale und dazwischen, die Trennlinie, ist manchmal eine Gratwanderung (...).“ (I. 8, Z. 409-410). Frau F sprach in diesem Kontext von „einem Zwiespalt“, wobei jeder Mensch für sich selbst Entscheidungen treffen müsse (I. 20, Z. 215).

Ferner differenzierten die beiden BCI-Forscher Herr J und Frau D klar zwischen ihren beruflichen Ambitionen und ihrem persönlichen Empfinden: „Auch wenn ich es persönlich lieber nicht hätte, dass der Rechner weiß, was ich jetzt gerade denke und finde und mache. Aber das ist jetzt die Forschung, die ich mache. Also ich versuche, einen Rechner zu bauen, der das kann. Und ich möchte eigentlich nicht, dass das klappt, also persönlich.“ (I. 13, Z. 776-780). Frau D fügte hinzu:

„(...) weil ich da auch relativ, weiß ich nicht, konservativ oder skeptisch demgegenüber eingestellt bin. Und nicht unbedingt möchte, dass das alles so umgesetzt wird. Aber ich finde es genau da, bei diesen Themenpunkten, ganz gut, da wirklich dabei zu sein, wo es entwickelt wird, um eben zu wissen, was ist das, was überhaupt möglich ist damit, um dann vielleicht auch ein bisschen mitgestalten zu können.“ (I. 13, Z. 787-792)

Darüber hinaus beschrieb Herr L seine ambivalenten Gefühle mit folgenden Worten: „(...) der menschliche Körper, das Gehirn, sind sehr limitiert. Menschen machen sehr dumme Fehler, selbst wenn sie hochgebildet sind.“ (Engl., I. 15, Z. 293-294). Trotzdem war der BCI-Wissenschaftler fest von der Überlegenheit des Menschen über die Technik überzeugt: „(...) natürlich sind die Menschen besser als die Technologie, sie beherrschen die Technologie, indem sie Grenzen festlegen und somit Probleme vermeiden (...).“ (Engl., I. 15, Z. 302-303). Hierbei müsse auch über „Nebeneffekte“ nachgedacht werden (Engl., I. 15, Z. 305). Ferner ging der amerikanische Wissenschaftler Herr N auf die Entwicklung von BCIs im militärischen Kontext ein. So könnten passive BCIs z.B. die Aufmerksamkeit von Piloten überwachen und somit Todesopfer reduzieren. Herr N betonte mehrmals, dass Kriege insgesamt vermieden werden müssten. Wenn dies jedoch nicht möglich sei, sehe er den Gebrauch passiver BCIs für Soldaten als „nicht wirklich unethisch“ an (Engl., I. 17, Z. 502).

b. Gefahr des Missbrauchs der BCI-Technologie

„(...) ich suche nach Technik, die wirklich zu einem schlechten Zweck entwickelt worden ist. Und mir fällt gerade auch nichts ein. Also die Ideen sind ja meistens nicht schlecht, sondern eigentlich das, was damit gemacht wird.“

(I. 19, Z. 337-339)

Das Zitat von Frau E verdeutlicht die potentielle Gefahr des Missbrauchs der BCI-Technologie. Auch andere Interviewpartner waren sich diesem Risiko bewusst, wie z.B. Herr L und Herr S: „(...) Technologie wird immer anders verstanden, als es ursprünglich gedacht war.“ (Engl., I. 15, Z. 319) oder „(...) du kannst [Technologie] für gute Dinge und für nicht so gute Dinge verwenden, die Situation ist manchmal nicht nur Schwarz oder Weiß.“ (Engl., I. 24, Z. 166-167). Zur Darstellung des möglichen Missbrauchs wurden Beispiele wie die Erfindung der Kernkraft und der Einsatz von Atombomben herangezogen: „Mit Kernkraft kann man entweder Strom produzieren oder man kann ein Unheil produzieren.“ (I. 9, Z. 465-466). Zudem schilderte Herr N, wie die ursprünglichen Ziele der Forschung im Kontext der Atomkraft zunehmend gesellschaftlichen Zwecken wichen: „(...) die Wissenschaftler, die von Beginn an daran arbeiteten. Viele davon dachten nicht, dass ihre Werkzeuge für den Krieg eingesetzt werden könnten (...).“ (Engl., I. 17, Z. 323-325). Analog dazu erörterte der BCI-Wissenschaftler Herr O: „Also, wir haben uns noch keine Atombomben auf den Kopf geworfen. Ich mein, vielleicht ist die Gefahr immer da, die wird auch nie weggehen, genauso wird es Missbrauch von dieser Technologie, die wir entwickeln, geben. Da bin ich mir absolut sicher.“ (I. 18, Z. 289-291).

Darüber hinaus äußerte Herr N vielfältige Bedenken in Bezug auf die BCI-Technologie. Neben Problemen des Datenschutzes, der Identität und des freien Willens sehe er die größte Gefahr in zunehmender, sozialer Faulheit. Er verglich BCIs mit Fernbedienungen und ergänzte: „(...) BCIs könnten das auf ein noch extremeres Niveau bringen, wenn du einfach nur dasitzt und ein intelligentes Zuhause kontrollieren kannst, Spiele spielen kannst. Es gibt bereits Roboter, die das Essen und Trinken und Dinge bringen können.“ (Engl., I. 17, Z. 458-460). Laut Herrn N könnte sich diese Entwicklung durch BCIs noch drastisch verstärken, was zwischenmenschliche Kommunikation überflüssig machen könnte.

c. Unfaire Vorteile und gerechter Zugang zu Neurotechnologien

*„(...) ist die Frage, wie ausgewogen das ist, ob das die Bevölkerungsschichten oder Populationen und Ethnien auch gleichermaßen abdeckt und Vorteile bietet, ja. Und das ist eben eine Technologie, die besonders am Anfang, aber auch später, teuer sein wird.“
(I. 21, Z. 311-314)*

Herr P machte Prognosen in Bezug auf die Entwicklung von BCIs und hob hierbei explizit die Bedeutung sozialer Gleichheit hervor. Welche Personen würden Zugang zu einer voll funktionsfähigen und leistungssteigernden BCI-Technologie erhalten? Wäre die Nutzung nur für die gesellschaftliche Elite möglich? Diese Fragen machte Herr P auch von den Einsatzgebieten abhängig. Einerseits könnten sich BCIs an Arbeitsplätzen etablieren, die eine konstant hohe Aufmerksamkeitsspanne erfordern. Jedoch würden damit auch ethische Bedenken einhergehen: „(...) aber andererseits heißt es eben auch, dass zu jeder Zeit quasi dann in dem System bekannt ist, wie arbeitsfähig ist der Arbeiter im Moment. Und wenn dann daran irgendwelche Bedingungen geknüpft werden oder Zahlungen davon abhängig gemacht oder Ähnliches, dann geht das in einen Bereich, den ich ethisch ziemlich kritisch finde.“ (I. 21, Z. 306-310). Analog dazu sprach Herr S von einer potentiellen „Zwei-Klassen-Staatsbürgerschaft“, bei der zwischen „normalen Menschen“ und solchen mit einem BCI-Chip differenziert würde (Engl., I. 24, Z. 249-250). Auch Herr N skizzierte eine Zukunft, in der BCIs nur „Elite-Anwendern“ vorbehalten wären (Engl., I. 17, Z. 225).

Ferner ging Herr J auf Forderungen von Elon Musk ein. Demnach habe die Menschheit keine andere Wahl, „als superintelligent zu werden“ (I. 13, Z. 514-515). Herr J fügte hierbei an: „(...), dass die Menschlichkeit, also die wir von der Natur haben, nicht mehr ausreicht (...).“ (I. 13, Z. 518). Ferner differenzierte er zwischen persönlichen und gesellschaftlichen Interessen: „Also Technik, solange es uns persönlich weiterbringt, ist vielleicht alles erstmal ok. Aber wenn wir irgendwann eine Gesellschaft haben, wo man keine Möglichkeiten mehr hat, etwas anders zu machen. Dann finde ich, das geht eher zu weit.“ (I. 13, Z. 693-695). Darüber hinaus warnte Herr J vor der Gefahr, Statistik als Realität anzusehen: „Also das ist Big Data, das finden alle schön und cool jetzt, aber man vergisst, dass Big Data nur Statistik ist und keine Wahrheit.“ (I. 13, Z. 751-753). Analog dazu wies Herr S auf das Risiko hin, BCIs z.B. als Art Lügendetektoren zu missbrauchen: „Ich sage nicht, dass es bald passieren wird, aber wenn man ein solches Gerät besitzen

würde, könnte man die Realität immer entsprechend seiner eigenen Ziele verändern oder sie daran anpassen.“ (Engl., I. 24, Z. 267-268).

4.4.4 Ein Blick in die Zukunft von BCIs

a. Zukunftsvisionen – BCIs als „Digital Companion“?

„Ich kann mir vorstellen, wenn ich jetzt irgendwie so meine kleine Maschine auf der Schulter sitzen habe, die die ganze Zeit mit mir rumläuft und versteht, was ich tue. Also lernt Schritt für Schritt den Kontext, in dem ich gerade bin, mit meinen Gehirnsignalen zu verknüpfen, (...) dann haben wir eine Verschmelzung von diesem Menschen mit seiner persönlichen artifiziellen Intelligenz.“

(I. 18, Z. 182-191)

Der BCI-Wissenschaftler Herr O berichtete im einleitenden Zitat von der Zukunftsvision eines „Digital Companion“ (I. 18, Z. 255). Dieser sei die nächste Stufe der neuroadaptiven Technologie und ein „persönlicher Berater“ des Menschen (I. 18, Z. 194). Herr J definierte diese Idee mit folgenden Worten:

„Also wir versuchen, dass der Rechner uns versteht. Das kann man so ganz kurz zusammenfassen. Dass der Rechner also eigentlich weiß, wie wir uns fühlen. Und weil der Rechner schon lange mit uns zusammenarbeitet und weiß, warum wir uns so fühlen, deswegen das initiativ nehmen kann, um etwas zu ändern, damit wir uns besser fühlen. Ohne dass wir jetzt konkret auf Tasten drücken müssen, um selber zu entscheiden (...).“
(I. 13, Z. 235-239)

Auf diese Weise würde die Technik autonome Entscheidungen treffen: „(...) wir haben also ein passives BCI, was möglichst viele (...) Nutzerzustände messen kann. Möglichst viele Umgebungsvariablen hat. Und die Freiheit hat, um selber Rückschlüsse zu ziehen, was jetzt gerade passiert ist.“ (I. 13, Z. 556-559). Ferner sei das Ziel neuroadaptiver Technologien, „(...) den Rechner soweit zu kriegen, dass wir gar nicht mehr kommunizieren müssen.“ (I. 13, Z. 363-364). Herr O war von der „Hirnkommunikation“ zwischen Menschen und Maschinen überzeugt, wobei diese wie heute „Maus und Tastatur“ genutzt werde (I. 18, Z. 312). In etwa zwei Generationen sehe Herr O diese Technologie als zentralen Bestandteil des Alltags.

Darüber hinaus berichtete Herr K von seiner Zukunftsvision eines „künstlichen Avatar[s]“, der z.B. in Kriegsgebieten zum Einsatz kommen würde (I. 14, Z. 111). Der

Avatar hätte die Gestalt eines echten Roboters, könnte jedoch mit Hilfe eines BCIs aus großen Distanzen gesteuert werden. Für die nahe Zukunft sehe Herr K ferner eine Untersuchung der Gehirnvitalfunktionen mittels BCI. Analog zu einer Vorsorgeuntersuchung des Herzens würde festgestellt werden können, „(...) wie gesund das Gehirn ist.“ (I. 14, Z. 126-127).

b. Aktives oder passives BCI? – Zukünftige Einsatzgebiete

„Also, bei den aktiven BCIs geht's ja darum, gelähmten Menschen wieder die Möglichkeit zu geben, wieder zu laufen oder eine Prothese zu steuern, solche Dinge. Aber beim passiven Ansatz ist im Fokus vor allem auch bei gesunden Nutzern die Ergonomie der Mensch-Maschine-Schnittstelle zu verbessern.“

(I. 2, Z. 67-71)

In Hinblick auf das Entwicklungspotential wurde deutlich zwischen aktiven und passiven BCIs differenziert. Für den zukünftigen Erfolg aktiver BCIs seien laut Herrn B, Herrn K und Frau D die Ungenauigkeit sowie der geringe Tragekomfort große Herausforderungen. Herr K wies jedoch auf den rasanten Fortschritt der EEG-Technologie in den vergangenen Jahren hin und führte aus: „Also, da wird natürlich noch ganz viel gehen. Gerade jetzt bei drahtlosen Übertragungen und so weiter. Biokompatibilität, neue Materialien, das kann man auch viel kleiner machen.“ (I. 14, Z. 431-432). Zudem würde sich nach Einschätzung von Herrn K die Leistungsfähigkeit der Rechner noch in erheblichem Maße verbessern.

• Aktive BCIs in der Medizin und Neurorehabilitation

Im medizinischen Kontext sahen die Interviewpartner sowohl heute als auch in der Zukunft aktive sowie invasive BCIs als zentral an. Folgende Beispiele wurden hierbei angeführt:

- Neuroprothesen (Herr A, Herr F, Herr S)
- Koma- und Locked-In-Patienten (Herr A, Herr I, Herr K)
- Rehabilitation von Schlaganfällen (Herr I, Herr K, Herr L)
- Behandlung von Epilepsie- und Gehirntumorpatienten (Herr I, Herr K, Herr L)
- Neurodegenerative/Psychische Erkrankungen wie Parkinson und Depression (Herr G, Herr K, Herr S)

- **Passive BCIs zur Erhöhung der Sicherheit**

Im nicht-medizinischen Kontext nahmen hingegen passive BCIs eine herausragende Stellung ein. Diese wurden als „Ergänzungstechnologie“ (Feldnotizen EG 6, Z. 284) oder „Zusatzsystem“ (I. 8, Z. 255) bezeichnet. Analog dazu erläuterte Herr A: „Das BCI wird ja selten ultimativ, auch langfristig, wird das selten die einzige Schnittstelle sein. So wie ja auch irgendwie Knöpfe auch nicht die einzigen Schnittstellen sind.“ (I. 1, Z. 274-276). Für gesunde Nutzer seien daher vor allem BCI-Applikationen sinnvoll, die mittels „User-State-Monitoring“ die individuelle Sicherheit erhöhen (I. 1, Z. 250). Herr A, Herr B und Herr G hoben z.B. den potentiellen Einsatz passiver BCIs in autonomen Fahrzeugen hervor: „Also das Auto entscheidet sich zu früh, einen Spurwechsel zu machen und der Mensch empfindet das als eher inkorrekt oder eher nicht so passend, nicht so ergonomisch, und das könnte man (...) auslesen.“ (I. 2, Z. 81-84). In solchen Fällen sollte laut Herrn G ein manuelles Eingreifen möglich sein. Ferner können mit Hilfe passiver BCIs Emotionen erkannt werden: „(...) gerade Stress auch, weil man das eben als sehr wichtig für ein sicheres Fahren ansieht.“ (I. 10, Z. 144-145). Hierbei könnte sich laut Frau A und Herrn O die Umgebung z.B. in Form von Belichtung, Musik oder eingehenden Telefonaten an den individuellen Zustand adaptieren. Zudem sahen Herr J und Frau D großes Potential in ersten Forschungsansätzen, die die Elektroden in der Kopfstütze des Fahrers integrieren.

Ferner wurden passive BCIs in Berufen mit hoher kognitiver Auslastung gesehen, wie z.B. im Flugverkehr (Herr C, Herr D, Herr G, Herr N und Herr P). Denn dadurch könnten mentale Zustände wie Stress, Aufmerksamkeit und Konzentrationsfähigkeit erkannt sowie Fehler vermieden werden. Auch bei der Produktentwicklung könnten laut Herrn P passive BCIs eingesetzt werden: „(...), dass man zum Beispiel verschiedene Navigationssysteme vergleichen kann und sehen kann, welches lenkt den Fahrer weniger ab, also wo bleibt mehr Aufmerksamkeit für den Verkehr übrig.“ (I. 21, Z. 71-73).

- **Passive BCIs in Gaming, Entertainment und Lehre**

Darüber hinaus wurde dem BCI-Gaming großes Potential zugeschrieben. Herr K sah auch hier passive BCIs klar im Vorteil: „Man kann sich schon mentale Tasks überlegen, die der Proband über das BCI machen muss, dass er in das nächste Level kommt. Aber ich muss es halt ins Spiel einbauen. Und dann macht es auch Spaß, also dann hab ich ein

Spiel, wo ich Keyboard, Maus, Joystick und ein BCI brauche, dass ich das letzte Level erreiche.“ (I. 14, Z. 188-191). Analog dazu erläuterte Herr P: „Oder, dass (...) abhängig davon, in welchem Zustand man ist, irgendwelche Dinge passieren. Also, wenn man vielleicht nicht so aufmerksam ist, dass dann irgendwas Überraschendes passiert.“ (I. 21, Z. 333-336). Auch Herr A, Herr H, Herr I, Herr J und Herr O sahen passive BCIs im Gaming-Sektor als sehr erfolgversprechend an.

Zudem könnte deren Einsatz auch in der Lehre große Vorteile mit sich bringen. Einerseits gäbe es laut Frau A und Herrn R erste Ansätze, die der Lehrperson das Konzentrationslevel des Publikums präsentieren. Andererseits wären gemäß Frau D Applikationen in Form von Online-Lern-Programmen sinnvoll. Hierbei könnte z.B. festgestellt werden, „(...) ob ein gelesener Text für diese Person eher schwer oder eher leicht zu lesen war.“ (I. 13, Z. 50). Neben Frau A und Herrn I äußerte Frau C den Wunsch nach *Smart-Home*-Anwendungen: „(...) dann glaub ich, fände ich das superspannend, wenn ich zum Beispiel weiß, meine Wohnung passt sich an meine Gefühlslage an. Wenn meine Wohnung merkt, ich hab jetzt mega Stress, dann wird sie, weiß ich nicht, schön die Wände blau einfärben. Damit ich ein bisschen ruhiger werde oder (...) kennt dann meinen Musikgeschmack und weiß dann genau, was es spielen muss und was es vielleicht besser nicht jetzt spielt.“ (I. 10, Z. 346-352).

- ***Facebook und Neuralink: Ein Ausblick***

Schließlich nahmen zahlreiche Interviewpartner Bezug auf die BCI-Forschung von *Facebook* und *Neuralink*. Laut Herrn N beabsichtige Facebook, ein BCI mit hundert Wörtern pro Minute zu bauen. Analog dazu erörterte Herr K: „*Facebook* will also Sprache vom auditorischen Kortex rekonstruieren mit fNIRS-Signalen, das heißt, die wollen ganz viele, optische Sensoren ganz dicht über den auditorischen Kortex anbringen und dann in Echtzeit dekodieren.“ (I. 14, Z. 290-292). Das Erreichen dieser ambitionierten Ziele sah Herr K noch als unrealistisch an: „Also, so ein optisches Gerät zu bauen, was diese Sprache rausholt, das ist noch ein ganz weiter Weg.“ (I. 14, Z. 310-311).

In Hinblick auf Elon Musk sei laut Herrn N lediglich bekannt, dass invasive BCIs entwickelt werden. In diesem Kontext wurden ethische Bedenken deutlich: „Wobei jetzt eine Vision von Elon Musk ist, dass in zehn, zwölf Jahren, diese Neurochirurgie

verwendet wird für nicht körperlich eingeschränkte, nicht-krank Menschen. Da jetzt irgendwie ein tolles Gehirnimplantat zu haben, halte ich für sehr, sehr fragwürdig.“ (Feldnotizen EG 6, Z. 204-207). Herr I sah mit dem Einstieg großer Wirtschaftsunternehmen in die BCI-Forschung auch Chancen verbunden: „Vielleicht gelingt denen der große Schritt, weil sie halt einfach mehr an Forschungsgeldern investieren können (...).“ (I. 11, Z. 365-366).

5. Ergebnisse der quantitativen Bevölkerungsumfrage

5.1 Beschreibung der Stichprobe

Das Marktforschungsinstitut *Lightspeed Research* erhob eine bevölkerungsrepräsentative Stichprobe mit Teilnehmern aus allen deutschen Bundesländern. Die Auswahl des Samples erfolgte zufällig. 1000 Personen (500 weiblich, 500 männlich) mit einer Altersspanne von 18 bis 65 Jahren (Median = 45,00 Jahre; SA = 13,56 Jahre) nahmen teil. Hinsichtlich des Bildungslevels und Beschäftigungsstatus zeigte sich eine hohe Varianz. Die Tab. 5 gibt einen Überblick der demographischen Charakteristika:

Tab. 5: Demographische Charakteristika der Bevölkerungsumfrage

Demographische Angaben		Befragte	
Geschlecht	Männlich	500	50 %
	Weiblich	500	50 %
Alter (in Jahren)	18 – 24	110	11,0 %
	25 – 34	190	19,0 %
	35 – 44	190	19,0 %
	45 – 54	250	25,0 %
	55 – 65	260	26,0 %
	Median	1000	45,0 Jahre
Bildungslevel	Hauptschulabschluss	141	14,1 %
	Mittlerer Schulabschluss	360	36,0 %
	Allgemeine Hochschulreife	269	26,9 %
	Bachelor	67	6,7 %
	Master/Diplom	136	13,6 %
	Promotion	13	1,3 %
	Nichts davon	14	1,4 %
Beschäftigungsstatus	Schüler (in) / Student (in)	74	7,4 %
	Praktikant (in)	2	0,2 %
	Arbeitslos /Arbeitsuchend	65	6,5 %
	Angestellte(r) (Teilzeit)	180	18,0 %
	Angestellte(r) (Vollzeit)	416	41,6 %
	Freiberufler (in)	64	6,4 %
	Rentner (in)	125	12,5 %
	Hausfrau / Hausmann	75	7,5 %

Die Teilnehmer erhielten für ihre Partizipation sog. *Lifepoints*, womit Gutscheine eingelöst werden können (z.B. bei Amazon, Douglas). Eine mehrfache Partizipation war technisch ausgeschlossen, zudem war die Beantwortung aller Fragen obligatorisch. Der Fortschritt des Ausfüllvorgangs wurde den Teilnehmern in Form eines Balkens kontinuierlich präsentiert und dauerte durchschnittlich sechs Minuten. Die Fragebogenerhebung fand im Sommer 2018 statt.

Die Abb. 23 zeigt alle Konstrukte und Items der Fragebogenerhebung. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse jedes Konstruktes ausführlich beschrieben.

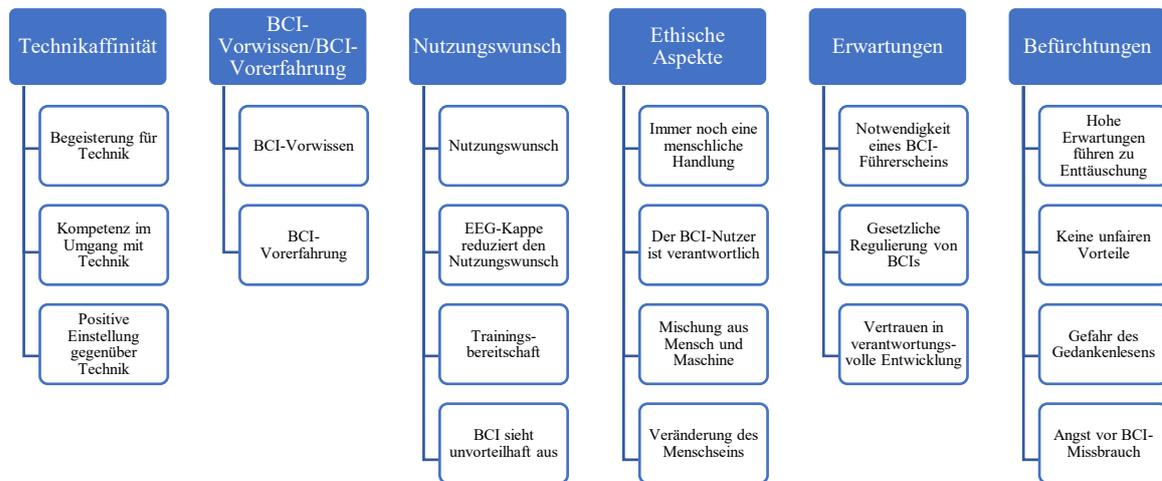


Abb. 23: Konstrukte und Items des Fragebogens

5.2 Forschungsfrage 1: Das BCI-Erleben aus Sicht gesunder Nutzer

Technikaffinität

Die Resultate der Bevölkerungsumfrage werden zur besseren Nachvollziehbarkeit in Ablehnung, neutraler Bewertung oder Zustimmung zu den Items kategorisiert. Hierbei werden die entsprechenden Prozente (*Stimme gar nicht zu/Stimme nicht zu/Stimme eher nicht zu* bzw. *neutral* bzw. *Stimme eher zu/Stimme zu/Stimme voll und ganz zu*) in den Tabellen aufsummiert. 50,5% der Teilnehmer bezeichneten sich selbst als technikbegeistert, 26,6% waren neutral und 22,9% negierten die Aussage. Ferner schätzten sich 73,1% der Befragten als kompetent im Umgang mit Technik ein (neutral: 17,3%, Ablehnung: 9,6%). 77,5% hatten eine positive Sichtweise auf Technik (neutral: 16,9%, Ablehnung: 5,6%).

Tab. 6: Items zur Erfassung von ‚Technikaffinität‘

Die Spalten 2 bis 8 zeigen das Ausmaß an Zustimmung zu den Items in %

Items	Stimme gar nicht zu	Stimme nicht zu	Stimme eher nicht zu	Neutral	Stimme eher zu	Stimme zu	Stimme voll und ganz zu
Begeisterung für Technik	4,7	6,6	11,6	26,6	21,3	17,3	11,9
Kompetenz im Umgang mit Technik	1,4	3,4	4,8	17,3	24,0	25,3	23,8
Positive Einstellung gegenüber Technik	0,6	1,0	4,0	16,9	27,3	26,0	24,2

BCI-Vorwissen/BCI-Vorerfahrung

31,2% der Teilnehmer wussten, was eine Gehirn-Computer-Schnittstelle ist. Zudem gaben 7,6% an, bereits ein BCI getestet zu haben.

Potentieller Nutzungswunsch der BCI-Technologie

Nach der Betrachtung des Videos äußerten 57,0% der Befragten den Wunsch, selbst einmal ein BCI nutzen zu wollen. 18,0% hatten eine neutrale Meinung und 25,0% widersprachen der Aussage. Ferner gaben 42,0% der Teilnehmer an, dass das Tragen einer EEG-Kappe diesen Wunsch nicht reduzieren würde. 20,2% bewerteten das Item neutral und 37,8% verspürten Unbehagen in Hinblick auf die EEG-Applikation. Zudem bejahten 22,9% der Befragten die Aussage, aufgrund des unvoreilhaften Aussehens von BCIs Bedenken zu haben. 20,7% waren neutral und 56,4% stimmten nicht zu. Schließlich wären 45,1% der Befragten bereit, für die Nutzung von BCIs vier Wochen täglich zu üben. 22,1% bewerteten das Item neutral und 32,8% verneinten es.

Tab. 7: Items des Konstruktes ‚Nutzungswunsch‘

Die Spalten 2 bis 8 zeigen das Ausmaß an Zustimmung zu den Items in %

Items	Stimme gar nicht zu	Stimme nicht zu	Stimme eher nicht zu	Neutral	Stimme eher zu	Stimme zu	Stimme voll und ganz zu
Nutzungswunsch	11,1	5,7	8,2	18,0	18,6	14,3	24,1
EEG-Kappe reduziert den Nutzungswunsch	15,9	11,8	14,3	20,2	12,8	10,5	14,5
BCI sieht unvorteilhaft aus	27,7	14,8	13,9	20,7	10,7	5,0	7,2
Trainingsbereitschaft	13,2	7,5	12,1	22,1	19,6	9,8	15,7

5.3 Forschungsfrage 2: Ethische Evaluation der BCI-Technologie

Ethische Aspekte

69,1% der Teilnehmer stimmten der Aussage zu, dass bei BCIs immer noch der Mensch handelt. 22,6% bewerteten dieses Item neutral und 8,3% stimmten nicht zu. Hinsichtlich der Frage der Verantwortung gaben 76,1% der Befragten an, dass diese der BCI-Nutzer trägt. 18,1% hatten eine neutrale Position und 5,8% verneinten.

Darüber hinaus befürworteten 38,4% der Befragten die Aussage, dass BCI-Nutzer eine Mischung aus Mensch und Maschine wären. Exakt die gleiche Teilnehmeranzahl (38,4%) widersprach und 23,2% der Personen hatte diesbezüglich noch keine feste Meinung. Auf die Frage, ob BCIs das Verständnis vom Menschsein verändern würden, reagierten 43,4% mit Zustimmung, 25,7% neutral und 30,9% mit Ablehnung.

Tab. 8: Items des Konstruktes ‚Ethische Aspekte der BCI-Nutzung‘

Die Spalten 2 bis 8 zeigen das Ausmaß an Zustimmung zu den Items in %

Items	Stimme gar nicht zu	Stimme nicht zu	Stimme eher nicht zu	Neutral	Stimme eher zu	Stimme zu	Stimme voll und ganz zu
Immer noch eine menschliche Handlung	2,4	1,6	4,3	22,6	25,3	20,0	23,8
Der BCI-Nutzer ist verantwortlich	1,1	1,0	3,7	18,1	22,0	21,1	33,0
Mischung aus Mensch und Maschine	15,0	11,2	12,2	23,2	18,1	9,6	10,7
Veränderung des Menschseins	9,5	7,4	14,0	25,7	18,9	13,5	11,0

5.4 Forschungsfrage 3: BCIs – Erwartungen und Befürchtungen

Erwartungen

Welche Erwartungen hatten die Teilnehmer in Bezug auf die BCI-Technologie? Überwogen hierbei Befürchtungen oder zeigte sich Vertrauen? 44,6% der Befragten sprachen sich für die Einführung eines BCI-Führerscheins aus, 26,7% vertraten diesbezüglich eine neutrale Position und 28,7% waren dagegen. Zudem war ein großer Wunsch nach gesetzlicher Regulierung vorhanden (56,3%). 25,8% bewerteten dieses Item neutral und 17,9% stimmten nicht zu. Schließlich wurden die Teilnehmer hinsichtlich ihres Vertrauens in eine verantwortungsvolle BCI-Entwicklung befragt. 46,5% gaben an, den Forschern zu vertrauen. 29,0% waren neutral und 24,5% widersprachen dieser Aussage.

Tab. 9: Items zur Erfassung des Konstruktes ‚Erwartungen‘

Die Spalten 2 bis 8 zeigen das Ausmaß an Zustimmung zu den Items in %

Items	Stimme gar nicht zu	Stimme nicht zu	Stimme eher nicht zu	Neutral	Stimme eher zu	Stimme zu	Stimme voll und ganz zu
Notwendigkeit eines BCI-Führerscheins	12,7	6,6	9,4	26,7	16,2	12,6	15,8
Gesetzliche Regulierung von BCIs	5,4	4,5	8,0	25,8	19,8	15,7	20,8
Vertrauen in verantwortungsvolle Entwicklung	7,8	5,6	11,1	29,0	22,1	11,8	12,6

Befürchtungen

55,3% der Teilnehmer äußerten die Befürchtung, dass hohe Erwartungen in die BCI-Technologie zu Enttäuschung führen könnten. 30,7% bewerteten dieses Item neutral und 14,0% sahen darin keine Gefahr. Ferner vertraten 56,1% der Stichprobe die Meinung, dass mit der Nutzung von BCIs keine unfairen Vorteile verbunden sein sollten. 29,7% hatten diesbezüglich eine neutrale Position und 14,2% waren nicht besorgt. Zudem sahen 46,8% der Befragten mit BCIs die Gefahr des Gedankenlesens verbunden. 20,1% hatten hierzu eine neutrale Meinung und 33,1% gaben an, keine Befürchtungen zu haben. Das höchste Maß an Zustimmung – 64,7% – zeigte sich bei Bedenken hinsichtlich eines

potentiellen BCI-Missbrauchs. 19,1% bewerteten diese Aussage neutral und 16,2% negierten sie.

Tab. 10: Items des Konstruktes ‚Befürchtungen‘

Die Spalten 2 bis 8 zeigen das Ausmaß an Zustimmung zu den Items in %

Items	Stimme gar nicht zu	Stimme nicht zu	Stimme eher nicht zu	Neutral	Stimme eher zu	Stimme zu	Stimme voll und ganz zu
Hohe Erwartungen führen zu Enttäuschung	2,7	2,8	8,5	30,7	26,0	14,7	14,6
Keine unfairen Vorteile	3,3	4,1	6,8	29,7	18,3	15,0	22,8
Gefahr des Gedankenlesens	13,3	7,3	12,5	20,1	18,9	11,9	16,0
Angst vor BCI-Missbrauch	4,8	3,4	8,0	19,1	22,9	15,6	26,2

6. Zusammenführung der Mixed-Methods-Ergebnisse

Die zentralen qualitativen sowie quantitativen Resultate werden mit Hilfe der Abb. 24 zusammengeführt. Hierbei zeigen sich deutliche Abweichungen, aber auch Übereinstimmungen. Daraufhin findet eine detaillierte Analyse der einzelnen Punkte statt.

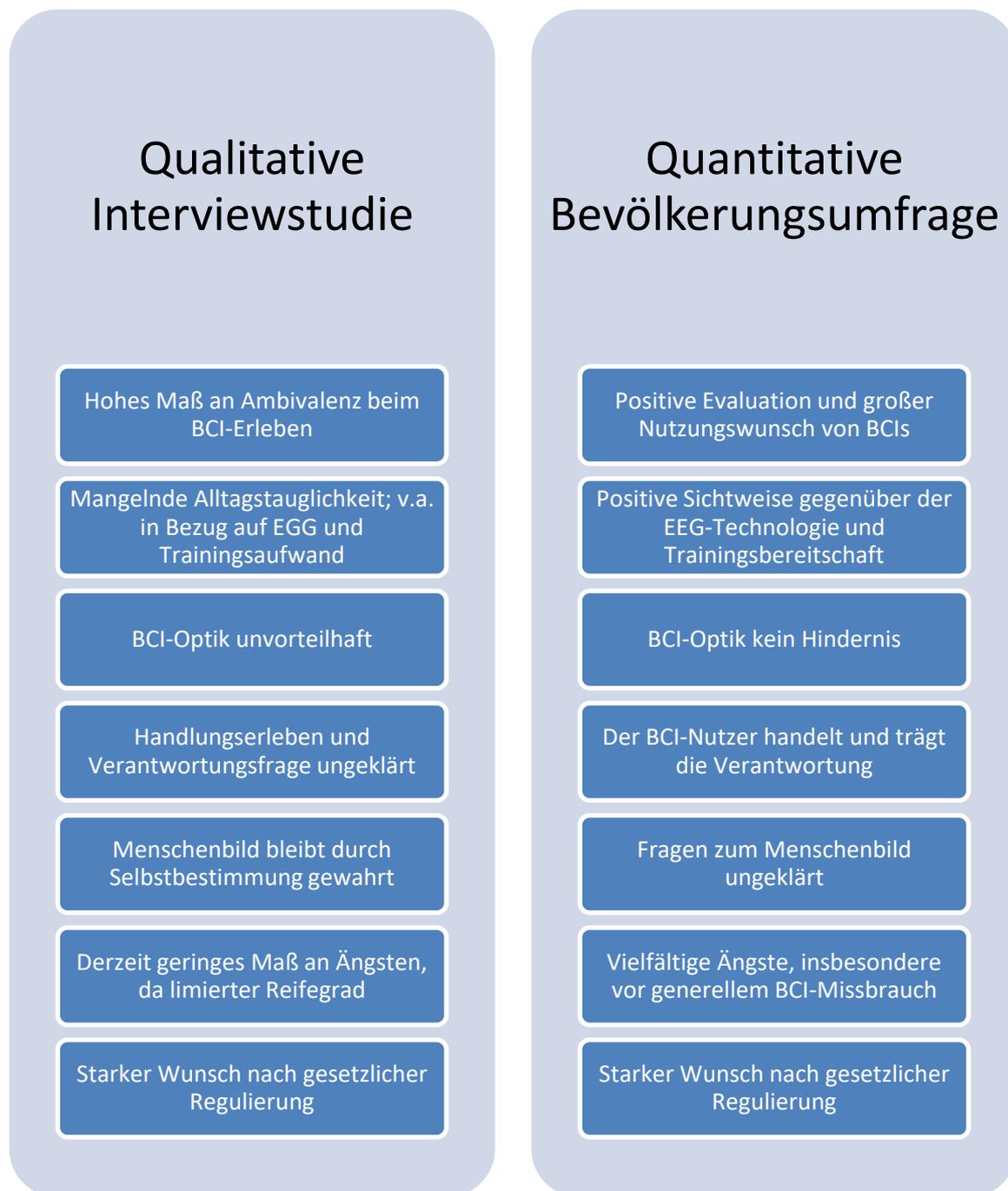


Abb. 24: Die Mixed-Methods-Ergebnisse im Überblick

6.1 Forschungsfrage 1: Das BCI-Erleben aus Sicht gesunder Nutzer

Die Teilnehmer der Interviewstudie beschrieben BCIs primär als Werkzeug und Knopf – sowie als neue Art der Kommunikation. Vergleiche mit *Science Fiction* brachten die futuristische Natur zum Ausdruck und weckten starke Faszination und Neugier. Ferner zeigte sich, dass das menschliche Gehirn durch BCIs zunehmend objektiviert wird. So wurden Gedanken z.B. als Muster, Daten oder Signale bezeichnet und dem Computer menschliche Eigenschaften zugeschrieben. Darüber hinaus implizierte die statistische Analyse der Genauigkeit BCI-modulierter Handlungen einerseits das Gefühl objektiver Erfolgsmessung. Andererseits wurde deutlich, dass sich der technische Reifegrad noch im Entwicklungsstadium befindet. Somit verbanden die Interviewteilnehmer mit der BCI-Technologie ein hohes Maß an Ambivalenz.

Ein Vergleich der qualitativen und quantitativen Ergebnisse zeigte insgesamt betrachtet einen großen Wunsch nach BCI-Nutzung. Hierbei evaluierten die tatsächlichen Anwender die EEG-Applikation sowie den Übungsaufwand als zentrale Hindernisse für den Alltagsgebrauch. Zudem wurde die BCI-Optik als unvorteilhaft wahrgenommen, wobei vor allem die EEG-Kappe zu Unbehagen führte. Im Gegensatz dazu bewerteten die potentiellen BCI-Nutzer aus der Allgemeinbevölkerung diese Aspekte als nicht negativ. So gab fast die Hälfte der Befragten an, vier Wochen täglich für einen erfolgreichen BCI-Gebrauch üben zu wollen. Auch die EEG-Applikation wurde als nicht hinderlich angesehen. Zudem verbanden die Fragebogenteilnehmer mit BCIs kein unvorteilhaftes Aussehen, wobei der Minimalwert der Erhebung zu beobachten war.

6.2 Forschungsfrage 2: Ethische Evaluation der BCI-Technologie

Aus ethisch-rechtlicher Perspektive zeigten sich im Rahmen der qualitativen Interviewstudie primär ungeklärte Fragen. Die tatsächlichen Nutzer bewerteten das Erleben von Handlungskontrolle und Verantwortungszuschreibung mit hoher Ambivalenz. So empfand ungefähr die Hälfte der Interviewpartner bewusste Kontrolle über BCI-modulierte Aktionen und würde hierfür die Verantwortung übernehmen; die andere Hälfte widersprach diesen Aussagen. Die Interviewten führten ihr Erleben maßgeblich auf individuellen Erfolg und persönliches Hintergrundwissen zurück. Im Gegensatz dazu schrieb der Großteil der Umfrageteilnehmer BCI-modulierte Handlungen dem Menschen

zu. Ferner verorteten fast 80% der bevölkerungsrepräsentativen Stichprobe – der Maximalwert der Erhebung – die Verantwortung beim BCI-Nutzer.

Auch hinsichtlich eines potentiellen, BCI-induzierten Wandels im Menschenbild ergaben sich abweichende Einschätzungen zwischen den untersuchten Nutzergruppen. Die Interviewpartner sahen keine Veränderung des Menschseins, solange das individuelle Selbstbestimmungsrecht gewahrt bleibt und kein Zwang zum BCI-Gebrauch besteht. Die Umfrageteilnehmer vertraten zu dieser Frage hingegen noch keine klare Meinung. Ein äquivalentes Bild zeigte sich bei der Aussage, ob BCI-Nutzer als Mischung zwischen Mensch und Maschine anzusehen sind.

6.3 Forschungsfrage 3: BCIs – Erwartungen und Befürchtungen

Die Befragten hatten – unabhängig von der Erhebungsart – klare Erwartungen in Bezug auf die BCI-Technologie. So sprach sich fast die Hälfte der Fragebogenteilnehmer für die Einführung eines BCI-Führerscheins aus. Hinsichtlich gesetzlicher Regulierungen zeigte sich – im Einklang mit der Interviewstudie – ein noch größeres Maß an Zustimmung. Insgesamt betrachtet wurde somit ein starker Wunsch nach Gesetzen und Regulierungen deutlich.

Jedoch kamen auch vielfältige Befürchtungen zum Vorschein. Die Interviewpartner beschrieben eine hohe Erwartungshaltung von Patienten in Bezug auf die BCI-Technologie. Aber auch bei gesunden Nutzern würden aufgrund der medialen Berichterstattung häufig unrealistische Erwartungen vorherrschen. So sei die dominante Assoziation mit BCIs die Möglichkeit des Gedankenlesens. In der Praxis habe sich daher die informierte Einwilligung vor Studienteilnahmen bewährt – und zwar sowohl bei Patienten als auch bei gesunden Nutzern. Außerdem wurden bei der Bevölkerungsumfrage große Bedenken hinsichtlich eines generellen BCI-Missbrauchs deutlich. Die tatsächlichen BCI-Nutzer bewerteten dieses Risiko und die Möglichkeit des Gedankenlesens hingegen als gering. Hierbei wurde insbesondere der limitierte Reifegrad der Technik angeführt.

7. Diskussion

Nachfolgend werden die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens mit wissenschaftlicher Literatur diskutiert. Inwiefern kann die Entwicklung der BCI-Technologie durch die vorliegenden Erkenntnisse aktiv unterstützt werden? Und welche Implikationen für Forschung und Gesellschaft resultieren daraus? Es folgt eine Auseinandersetzung mit methodischen Limitationen, daraufhin wird die medizinische Relevanz verdeutlicht. Abschließend wird ein Fazit gezogen sowie Implikationen für zukünftige Forschung gegeben.

7.1 Forschungsfrage 1: Das BCI-Erleben aus Sicht gesunder Nutzer

Das Erleben der BCI-Technologie variierte zwischen tatsächlichen und potentiellen Nutzern in erheblichem Maße. Wie im Ergebnisteil deutlich wurde, sind hierbei vor allem die EEG-Applikation sowie der Übungsaufwand anzuführen – sowie die BCI-Optik. Diese Resultate stehen in Einklang mit existierender Literatur, jedoch wurden hier primär Patienten befragt [6, 25, 26, 58]. Ferner zeigte sich bei der Bevölkerungsumfrage eine insgesamt sehr positive Bewertung von BCIs. Die quantitativen Ergebnisse deuten auf das Phänomen des sog. ‚*Overtrust*‘ hin, wonach Menschen sehr schnell Vertrauen zu Technologien aufbauen und diese nur wenig hinterfragen [104]. Folglich ist festzustellen, dass für eine reliable Bewertung von BCIs praktische Erfahrungen essentiell notwendig sind. Darüber hinaus wurden bei den Interviews weitere Einflussfaktoren identifiziert: Die Motivation und Sinnfrage. Desto höher die persönliche Motivation bzw. der wahrgenommene Sinn für einen Trainingsprozess, desto erfolgreicher war die BCI-Nutzung. Diese Ergebnisse sind übereinstimmend mit bestehender Literatur, wobei sowohl Patienten als auch gesunde Menschen inkludiert waren [105-107]. Darüber hinaus zeigte sich, dass aktive BCIs derzeit keine ernstzunehmende Alternative für manuelle Handlungen gesunder Menschen sind. Hierbei wurden vor allem das geringe Maß an Reliabilität und Schnelligkeit angeführt. Lediglich im Kontext des Gaming und Entertainment könnten aktive BCIs neue Sphären des Erlebens eröffnen. So wurde bei gesunden Nutzern primär passiven BCIs ein vielversprechendes Potential zugeschrieben [18].

Hinsichtlich des zukünftigen Erfolgs der BCI-Technologie verdeutlichten Interviewpartner mit Expertenwissen die zentrale Bedeutung individualisierter Nutzung. Erste

Publikationen zu diesen Forschungsfragen zeigen bereits gute Evidenz [6, 65, 108]. Jedoch ist hierzu noch weitere Forschung notwendig.

7.2 Forschungsfrage 2: Ethische Evaluation der BCI-Technologie

Die Interviewstudie mit tatsächlichen Nutzern zeigte, dass BCI-modulierte Aktionen als Mischung zwischen Mensch und Maschine wahrgenommen wurden. Daher ist eine klare Zuschreibung der Handlung und Verantwortung nicht mehr gegeben. Insbesondere Nutzer mit Expertenwissen betonten hierbei den limitierten Reifegrad der Technik. So ist die EEG-Technologie gegenwärtig noch in hohem Maße anfällig für Fehler, zudem erfordere der Umgang mit Artefakten großes Fachwissen. Ferner findet bei *Motor Imagery* in circa zehn Prozent der Fälle kein Trainingsprozess statt. Das Phänomen der *BCI-Illiteracy* ist auch in der wissenschaftlichen Literatur gut erforscht [6, 21, 23-25]. Zudem verdeutlichen existierende BCI-Studien die Komplexität der Handlungszuschreibung und postulieren hierbei eine Verantwortungslücke [9, 69, 70]. Somit wird auch in diesem Kontext die herausragende Bedeutung individualisierter BCI-Nutzung deutlich. Es bedarf weiterer Forschung, welche BCI-Paradigmen bzw. mentalen Strategien für Nutzer mit *BCI-Illiteracy* am effektivsten sind.

Ein gegensätzliches Bild zeigte sich jedoch bei der Bevölkerungsumfrage. Hier wurde die Handlung beim BCI-Nutzer verortet – äquivalente Resultate zeigten sich bei der Verantwortungsfrage. Diese Ergebnisse entsprechen dem ‚Asimolar Survey‘, wo 65% der Befragten die Verantwortung ebenfalls beim BCI-Anwender sahen [8]. Es ist festzustellen, dass auch bei ethischen Fragen der BCI-Technologie eine hohe Diskrepanz zwischen erfahrenen und potentiellen Nutzern zu beobachten ist. Zudem belegen die Resultate der Interviewstudie, dass eine rechtlich gesicherte Verantwortungszuschreibung beim gegenwärtigen Stand der Technik keinesfalls möglich ist. Die Einführung eines BCI-Führerscheins könnte in der Zukunft mehr Sicherheit geben und gesetzliche Klarheit schaffen.

Darüber hinaus repräsentieren BCIs – wie weiter oben bereits deutlich wurde – die Fusion von Menschen und Maschinen auf einzigartige Weise. Diese Verschmelzung könnte einen Wandel des Menschenbildes evozieren. Es stellen sich fundamentale Fragen: Ist menschliches Erleben und Handeln wirklich mit objektiven Maßstäben messbar? Handelt es sich hierbei tatsächlich nur noch um reine Datenverarbeitung?

Die Antwort auf diese Fragen ist den Interviewten zufolge von der BCI-Art abhängig, wobei zwischen invasiven und nicht-invasiven Formen differenziert werden muss. So würden vor allem invasive BCIs – übereinstimmend mit existierender Literatur – zu einer Veränderung des Menschenbildes führen [68, 71]. In diesem Fall sei die Definition von Cyborgs erfüllt und es würden sog. ‚techno-zerebrale Subjekte‘ entstehen [68]. Ferner wurden in einer BCI-Studie zwei Zukunftsszenarien skizziert und die gesellschaftliche Akzeptanz als maßgeblicher Faktor hervorgehoben [71]. Einerseits könnten sich nicht-invasive, temporär genutzte ‚BCI-Helme‘ im Sinne externer Werkzeuge etablieren [71]. Andererseits würden invasive BCIs zu einem zunehmenden ‚Embodiment‘ führen [71]. Zudem wurde in Kontext der Interviewstudie ein weiterer, zentraler Faktor deutlich: Die Selbstbestimmung der BCI-Nutzer. Die Umfrageteilnehmer hatten zu diesen Fragestellungen hingegen noch keine klaren Meinungen. Diese Indifferenz kann auf die Neuheit und relative Unbekanntheit der BCI-Technologie in der Allgemeinbevölkerung zurückgeführt werden [8].

7.3 Forschungsfrage 3: BCIs – Erwartungen und Befürchtungen

Ein Blick in die Zukunft macht deutlich, dass BCIs im Zuge des technischen Fortschritts sehr wahrscheinlich miniaturisiert werden. Vor allem Interviewpartner mit Expertenwissen waren von dieser Entwicklung überzeugt. Äquivalente Zukunftsszenarien sind auch in der Literatur evident [3, 5, 10].

Außerdem ist ein zentrales Ergebnis dieser Arbeit der stark ausgeprägte Wunsch nach staatlichen Regulierungen und Gesetzen. Auch zahlreiche Wissenschaftler vertreten äquivalente Forderungen und plädieren für den aktiven Einbezug von Ethikern in einen verantwortungsvollen Entwicklungsprozess [3, 18, 25, 62]. Insbesondere der Schutz des Mentalen sowie die Bewahrung des freien Willens haben hierbei hohe Relevanz [3, 9, 18, 46]. In starkem Gegensatz zu diesen Forderungen steht die gegenwärtige Praxis. So existieren in Deutschland nach aktuellem Kenntnisstand keine regulatorischen Rahmenbedingungen für gesunde Nutzer intelligenter Neurotechnologien.

Darüber hinaus wurden vielfältige Befürchtungen in Hinblick auf BCIs deutlich. Neben der Gefahr des Gedankenlesens und des Verschaffens unfairer Vorteile wurden enttäuschte Erwartungen als Risiko angeführt. Folglich zeigte sich auch hier eine starke Diskrepanz zwischen tatsächlichen und potentiellen Anwendern. So berichteten die

Teilnehmer mit realen BCI-Erfahrungen von einem niedrigeren Maß an Befürchtungen als solche, die BCIs nur aus der externen Perspektive evaluierten. Es zeigte sich, dass ein obligatorischer, a priori unterzeichneter *Informed Consent* überhöhten Erwartungen maßgeblich vorbeugt. Auch andere BCI-Studien hoben die zentrale Bedeutung dieses Instruments hervor [4, 59].

7.4 Methodische Limitationen

Nachfolgend werden die methodischen Limitationen dieser Arbeit diskutiert sowie Implikationen für zukünftige Forschung gegeben. Zunächst ist festzustellen, dass in der vorliegenden Stichprobe ein hohes Maß an Technikaffinität vorhanden war. So stammten alle Teilnehmer der Interviewstudie aus technischen Berufen bzw. hatten eine große Begeisterung für Technik. Wie oben dargestellt, wurde dieser Einflussfaktor analog dazu im Fragebogen erfasst. Auch hier zeigte sich eine stark ausgeprägte Technikaffinität. Es ist nicht auszuschließen, dass dieser Selektionsbias die Bewertung von BCIs in eine positive Richtung beeinflusst hat.

Darüber hinaus wurde eine weitere Herausforderung in der Stichprobenszusammensetzung deutlich: Das unterschiedliche Maß an Vorerfahrung mit BCIs. So war die Evaluation der BCI-Technologie maßgeblich vom individuellen Hintergrundwissen und dem Ausmaß an Training abhängig. Elf Befragte hatten BCIs nur einmalig im Rahmen von Studien getestet, wobei die Teilnahme in der Regel bereits mehrere Monate zurücklag. BCI-Nutzer mit Expertenwissen waren sich dem technischen Reifegrad hingegen bewusst. Dieser Umstand beeinflusste z.B. ihre Verantwortungszuschreibung maßgeblich. Zudem wurden vier Interviews auf Englisch durchgeführt, wobei Übersetzungseffekte möglich sind.

Eine Analyse der Bevölkerungsumfrage zeigt, dass ein Drittel der Teilnehmer BCIs bereits kannte. 7,6% der Befragten bejahten die Aussage, in der Vergangenheit bereits ein BCI getestet zu haben. In diesem Kontext muss jedoch berücksichtigt werden, dass die beiden Items vor der Präsentation des Einführungsvideos evaluiert wurden. Aufgrund der Neuheit der BCI-Technologie sind generelle Missverständnisse sowie Verwechslungen mit anderen Verfahren nicht auszuschließen [8].

Zudem muss die Auswahl der 7-stufigen Likert-Skala kritisch reflektiert werden. Diese besitzt zwar eine besondere Güte hinsichtlich ihrer Reliabilität und Validität [101, 102].

Trotzdem deutete ein hohes Maß an neutralen Bewertungen auf das Phänomen der sog. ‚Mittelkreuzer‘ hin. Die Ergebnisse könnten jedoch auch implizieren, dass die Teilnehmer zu diesen Items noch keine klaren Meinungen entwickeln konnten. Darüber hinaus bedarf die Präsentation des Einführungsvideos weiterer Diskussion. Hierbei wurde die erfolgreiche Steuerung einer Drohne mittels BCI gezeigt, was die Evaluation der Ergebnisse positiv beeinflusst haben könnte. Schließlich ist kritisch anzumerken, dass in dieser Arbeit hypothetische Bewertungen mit realen Erlebnissen verglichen wurden. So hatte die Mehrheit der Befragten vorab kein BCI getestet und wusste daher nicht, wie sich eine solche Erfahrung in der Realität anfühlt. Diese Limitation wurde insbesondere bei der EEG-Technologie deutlich, wo sich stark divergierende Meinungen zwischen potentiellen und tatsächlichen Anwendern zeigten. Es ist festzustellen, dass für die Zukunft mehr empirische Studien mit gesunden, BCI-erfahrenen Menschen notwendig sind. Die Befragung sollte direkt im Anschluss an die individuelle Nutzung stattfinden, um eine reliable Bewertung zu garantieren.

7.5 Implikationen für die Medizin

Abschließend werden die Resultate in Hinblick auf medizinische Implikationen diskutiert. Es stellt sich die Frage, inwiefern die sozialen, rechtlichen und ethischen Aspekte von BCIs zwischen Patienten und gesunden Anwendern divergieren? Bei ethischen Fragestellungen zeigten sich insgesamt betrachtet große Übereinstimmungen. Jedoch wurde auch deutlich, dass der BCI-Technologie in ihrer Assistenz- und Therapiefunktion bei Patienten eine enorme Bedeutung zukommt und daraus auch hohe Erwartungen resultieren. So können BCIs z.B. gelähmten Menschen wieder eigenständige Kommunikation ermöglichen und somit individuelle Autonomie und Lebensqualität maßgeblich erhöhen. Aber auch bei Schlaganfallpatienten kann das Wiedererlangen bisher verloren geglaubter Fähigkeiten den Rehabilitationsprozess entscheidend beeinflussen.

Es ist evident, dass BCIs bei gesunden Nutzern eine völlig andere Rolle erfüllen. Hier dienen sie als Ergänzungstechnologie oder können in ihrer Enhancement-Funktion zu kognitiven Leistungssteigerungen führen. Jedoch bringt die BCI-Entwicklung mächtiger Großkonzerne eine starke Dynamik in das Forschungsfeld. Die damit verbundenen finanziellen Ressourcen könnten bisher ungeahnte Synergien zwischen medizinischen und nicht-medizinischen Anwendungsfeldern auslösen. Beispielsweise würden auch

Patienten von einem benutzerfreundlichen und portablen EEG profitieren. Ferner muss die BCI-Nutzung – unabhängig von spezifischen Anwendergruppen – in der Zukunft auf das Individuum adaptiert werden. Mit der damit einhergehenden, höheren Zuverlässigkeit und einer generellen Weiterentwicklung der Technik könnte auch die Frage der rechtlichen Verantwortung für BCI-modulierte Handlungen geklärt werden.

8. Fazit

Die vorliegende Dissertation explorierte den nicht-medizinischen Einsatz von BCIs aus sozialer, ethischer sowie rechtlicher Perspektive. Die tatsächlichen Nutzer evaluierten diese Fragestellungen mit hoher Ambivalenz. Die Bewertungen potentieller BCI-Anwender waren hingegen in hohem Maße positiv und deuteten auf das Phänomen des ‚*Overtrust*‘ in Technologie hin [104].

Es ist festzustellen, dass sich die BCI-Entwicklung immer mehr vom universitären Kontext und dem Patienten als ‚Endnutzer‘ entkoppelt. Vielmehr werden Wirtschaftskonzerne mit enormen finanziellen Ressourcen zu zentralen Akteuren des Forschungsfeldes. Hierbei ist zu postulieren, dass vor allem ökonomische Ziele verfolgt werden und ethischen Belangen lediglich eine untergeordnete Rolle beigemessen wird. Diese Entwicklung könnte vor allem dann eine Gefahr für die Gesellschaft darstellen, wenn BCIs als Instrumente des Human Enhancement zur kognitiven Leistungssteigerung missbraucht werden. Zudem würde eine voll funktionsfähige Gehirnkommunikation – wie in der Einleitung dargestellt – zu einer drastischen Abnahme zwischenmenschlicher Kommunikation führen. Somit sind präventive Maßnahmen des Gesetzgebers von essentieller Bedeutung. Hierbei muss sichergestellt werden, dass die BCI-Nutzung kein exklusives Privileg der Oberschicht wird.

Darüber hinaus wird unsere Gesellschaft durch den BCI-Einsatz gesunder Nutzer mit substanziellen Fragen konfrontiert. Sind Neurotechnologien der unausweichliche und nächste Schritt der menschlichen Evolution? Muss unser Gehirn mit Hilfe von BCIs optimiert werden, um den Gefahren einer artifiziellen Intelligenz begegnen zu können? Und werden primär wohlhabende Bevölkerungsschichten von dieser Entwicklung profitieren? Nur ein umfassend aufgeklärter Gesetzgeber sowie eine voll informierte Öffentlichkeit können diese Fragen beantworten. Die vorliegende Arbeit soll diesen Diskurs aktiv befördern und eine verantwortungsvolle sowie sichere Entwicklung von BCIs in der Zukunft unterstützen.

9. Literatur

1. J.R. Schmid und R.J. Jox, *Selected Abstracts From the 2018 International Neuroethics Society Annual Meeting*. AJOB Neuroscience, 2018. 9(4): S. W1-W21.
2. Anonym, *F8 - Building 8 (Mind Reading Technology) - Regina Dugan*. Youtube. Verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=JdDK_4nnRtc [21.03.2019], 2017.
3. Ramadan, R.A. und A.V. Vasilakos, *Brain computer interface: control signals review*. Neurocomputing, 2017. 223: S. 26-44.
4. McCullagh, P., G. Lightbody, J. Zygierevicz, und W.G. Kernohan, *Ethical challenges associated with the development and deployment of brain computer interface technology*. Neuroethics, 2014. 7(2): S. 109-122.
5. Shih, J.J., D.J. Krusienski, und J.R. Wolpaw. *Brain-computer interfaces in medicine*. In *Mayo Clinic Proceedings*. 2012. Elsevier.
6. Graimann, B., B. Allison, und G. Pfurtscheller, *Brain-Computer Interfaces: A Gentle Introduction*. In *Brain-Computer Interfaces: Revolutionizing Human-Computer Interaction*, B. Graimann, G. Pfurtscheller, und B. Allison, Editors. 2010, Springer Berlin Heidelberg. S. 1-27.
7. Wolpaw, J. und E.W. Wolpaw, *Brain-computer interfaces: principles and practice*. 2012: OUP USA.
8. Nijboer, F., J. Clausen, B.Z. Allison, und P. Haselager, *The asilomar survey: Stakeholders' opinions on ethical issues related to brain-computer interfacing*. Neuroethics, 2013. 6(3): S. 541-578.
9. Steinert, S., C. Bublitz, R. Jox, und O. Friedrich, *Doing Things with Thoughts: Brain-Computer Interfaces and Disembodied Agency*. Philosophy & Technology, 2018: S. 1-26.
10. Müller, O., J. Clausen, und G. Maio, *Das technisierte Gehirn. Neurotechnologien als Herausforderung für Ethik und Anthropologie*. 2009: Mentis
11. Wolpaw, J.R., N. Birbaumer, D.J. McFarland, G. Pfurtscheller, und T.M. Vaughan, *Brain-computer interfaces for communication and control*. Clinical neurophysiology, 2002. 113(6): S. 767-791.
12. Zander, T.O. und C. Kothe, *Towards passive brain-computer interfaces: applying brain-computer interface technology to human-machine systems in general*. Journal of neural engineering, 2011. 8(2): S. 025005.
13. Paquette, V., M. Beauregard, und D. Beaulieu-Prévost, *Effect of a psychoneurotherapy on brain electromagnetic tomography in individuals with major depressive disorder*. Psychiatry Research: Neuroimaging, 2009. 174(3): S. 231-239.
14. Minguillon, J., M.A. Lopez-Gordo, und F. Pelayo, *Trends in EEG-BCI for daily-life: Requirements for artifact removal*. Biomedical Signal Processing and Control, 2017. 31: S. 407-418.
15. Satheesh Kumar, J. und P. Bhuvaneshwari, *Analysis of Electroencephalography (EEG) Signals and Its Categorization-A Study*. Procedia Engineering, 2012: S. 2525-2536.
16. Blankertz, B., M. Tangermann, C. Vidaurre, S. Fazli, C. Sannelli, S. Haufe, C. Maeder, L.E. Ramsey, I. Sturm, und G. Curio, *The Berlin brain-computer interface: non-medical uses of BCI technology*. Frontiers in neuroscience, 2010. 4(198): S. 1-17.

17. Zander, T.O., L.M. Andreessen, A. Berg, M. Bleuel, J. Pawlitzki, L. Zawallich, L.R. Krol, und K. Gramann, *Evaluation of a dry EEG system for application of passive brain-computer interfaces in autonomous driving*. *Frontiers in human neuroscience*, 2017. 11(78): S. 1-16.
18. Van Erp, J., F. Lotte, und M. Tangermann, *Brain-computer interfaces: beyond medical applications*. *Computer*, 2012. 45(4): S. 26-34.
19. Friedman, D., R. Leeb, G. Pfurtscheller, und M. Slater, *Human-computer interface issues in controlling virtual reality with brain-computer interface*. *Human-Computer Interaction*, 2010. 25(1): S. 67-94.
20. Kim, D.-W., H.-J. Hwang, J.-H. Lim, Y.-H. Lee, K.-Y. Jung, und C.-H. Im, *Classification of selective attention to auditory stimuli: toward vision-free brain-computer interfacing*. *Journal of neuroscience methods*, 2011. 197(1): S. 180-185.
21. Ahn, S., K. Kim, und S.C. Jun, *Steady-state somatosensory evoked potential for brain-computer interface - present and future*. *Frontiers in human neuroscience*, 2016. 9(716): S. 1-6.
22. Pfurtscheller, G. und D. McFarland, *BCIs that use sensorimotor rhythms Brain-Computer Interfaces: Principles and Practice* ed. J.R. Wolpaw und E. Wolpaw. 2012: New York: Oxford University Press.
23. Allison, B.Z. und C. Neuper, *Could anyone use a BCI?* In *Brain-computer interfaces*. 2010, Springer. S. 35-54.
24. Guger, C., S. Daban, E. Sellers, C. Holzner, G. Krausz, R. Carabalona, F. Gramatica, und G. Edlinger, *How many people are able to control a P300-based brain-computer interface (BCI)?* *Neuroscience letters*, 2009. 462(1): S. 94-98.
25. Carmichael, C. und P. Carmichael, *BNCI systems as a potential assistive technology: ethical issues and participatory research in the BrainAble project*. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 2014. 9(1): S. 41-47.
26. Dobkin, B.H., *Brain-computer interface technology as a tool to augment plasticity and outcomes for neurological rehabilitation*. *The Journal of physiology*, 2007. 579(3): S. 637-642.
27. Donati, A.R., S. Shokur, E. Morya, D.S. Campos, R.C. Moiola, C.M. Gitti, P.B. Augusto, S. Tripodi, C.G. Pires, und G.A. Pereira, *Long-term training with a brain-machine interface-based gait protocol induces partial neurological recovery in paraplegic patients*. *Scientific reports*, 2016. 6(30383).
28. Chaudhary, U., N. Birbaumer, und A. Ramos-Murguialday, *Brain-computer interfaces in the completely locked-in state and chronic stroke*. In *Progress in brain research*. 2016, Elsevier. S. 131-161.
29. Buch, E., C. Weber, L.G. Cohen, C. Braun, M.A. Dimyan, T. Ard, J. Mellinger, A. Caria, S. Soekadar, und A. Fourkas, *Think to move: a neuromagnetic brain-computer interface (BCI) system for chronic stroke*. *Stroke*, 2008. 39(3): S. 910-917.
30. Cordes, J.S., K.A. Mathiak, M. Dyck, E.M. Alawi, T.J. Gaber, F.D. Zepf, M. Klasen, M. Zvyagintsev, R.C. Gur, und K. Mathiak, *Cognitive and neural strategies during control of the anterior cingulate cortex by fMRI neurofeedback in patients with schizophrenia*. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 2015. 9(169).
31. Liberati, G., J.L.D. Da Rocha, L. Van der Heiden, A. Raffone, N. Birbaumer, M. Olivetti Belardinelli, und R. Sitaram, *Toward a brain-computer interface for Alzheimer's disease patients by combining classical conditioning and brain state classification*. *Journal of Alzheimer's Disease*, 2012. 31(s3): S. S211-S220.
32. Christen, M., *Klinische und ethische Fragen der Neuromodulation*. In *Angewandte Ethik in der Neuromedizin*. 2017, Springer. S. 117-128.

33. Schermer, M., *The mind and the machine. On the conceptual and moral implications of brain-machine interaction*. Nanoethics, 2009. 3(217).
34. Klein, E., S. Goering, J. Gagne, C.V. Shea, R. Franklin, S. Zorowitz, D.D. Dougherty, und A.S. Widge, *Brain-computer interface-based control of closed-loop brain stimulation: attitudes and ethical considerations*. Brain-Computer Interfaces, 2016. 3(3): S. 140-148.
35. Middendorf, M., G. McMillan, G. Calhoun, und K.S. Jones, *Brain-computer interfaces based on the steady-state visual-evoked response*. IEEE transactions on rehabilitation engineering, 2000. 8(2): S. 211-214.
36. Stawicki, P., F. Gemblar, und I. Volosyak, *Driving a semiautonomous mobile robotic car controlled by an SSVEP-based BCI*. Computational intelligence and neuroscience, 2016. 2016: S. 1-14.
37. Verkijika, S.F. und L. De Wet, *Using a brain-computer interface (BCI) in reducing math anxiety: Evidence from South Africa*. Computers & Education, 2015. 81: S. 113-122.
38. Grandchamp, R. und A. Delorme, *The brainarium: an interactive immersive tool for brain education, art, and neurotherapy*. Computational intelligence and neuroscience, 2016. 2016: S. 1-12.
39. Bos, D.P.-O., B. Reuderink, B. van de Laar, H. Gürkök, C. Mühl, M. Poel, A. Nijholt, und D. Heylen, *Brain-computer interfacing and games*. In *Brain-Computer Interfaces*. 2010, Springer. S. 149-178.
40. Nijholt, A. *BCI for games: A 'state of the art' survey*. In *International Conference on Entertainment Computing*. 2008. Springer.
41. Gürkök, H., G. Hakvoort, und M. Poel. *Evaluating user experience in a selection based brain-computer interface game A comparative study*. In *International Conference on Entertainment Computing*. 2011. Springer.
42. Fricke, T., *Flight Control with Large Time Delays and Reduced Sensory Feedback*. 2017, Technische Universität München.
43. Kohlmorgen, J., G. Dornhege, M. Braun, B. Blankertz, K.-R. Müller, G. Curio, K. Hagemann, A. Bruns, M. Schrauf, und W. Kincses, *Improving human performance in a real operating environment through real-time mental workload detection*. *Toward Brain-Computer Interfacing*. 2007.
44. Abney, K., P. Lin, und M. Mehlman, *Military neuroenhancement and risk assessment*. In *Neurotechnology in National Security and Defense*. 2014, CRC Press. S. 264-273.
45. Eaton, M.L. und J. Illes, *Commercializing cognitive neurotechnology - the ethical terrain*. Nature biotechnology, 2007. 25(4): S. 393-397.
46. Ienca, M. und P. Haselager, *Hacking the brain: brain-computer interfacing technology and the ethics of neurosecurity*. Ethics and Information Technology, 2016. 18(2): S. 117-129.
47. Jox, R.J., *Was ist Neuroethik und wozu brauchen wir sie?* In *Angewandte Ethik in der Neuromedizin*. 2017, Springer. S. 3-12.
48. Müller, S., M. Bittlinger, K. Brukamp, M. Christen, O. Friedrich, M.-C. Gruber, J. Leefmann, G. Merkel, S.K. Nagel, und M. Stier, *Neuroethik-Geschichte, Definition und Gegenstandsbereich eines neuen Wissenschaftsgebiets*. Ethik in der Medizin, 2018. 30(2): S. 91-106.
49. Erbguth, F. und R.J. Jox, *Angewandte Ethik in der Neuromedizin*. 2017: Springer.
50. Sturma, D., *Neurotechniken*. In *Handbuch Technikethik*. 2013, Springer. S. 343-348.

51. Beauchamp, T.L. und J.F. Childress, *Principles of biomedical ethics*. 2001: Oxford University Press, USA.
52. Ach, J.S. und B. Lüttenberg, *Human Enhancement*. In *Handbuch Technikethik*. 2013, Springer. S. 288-292.
53. Grunwald, A., *Handbuch Technikethik*. 2013, Springer.
54. Dusseldorp, M., *Technikfolgenabschätzung*. In *Handbuch Technikethik*. 2013, Springer. S. 394-399.
55. Schick Tanz, S., T. Amelung, und J.W. Rieger, *Qualitative assessment of patients' attitudes and expectations toward BCIs and implications for future technology development*. *Frontiers in systems neuroscience*, 2015. 9(64).
56. Kögel, J., J.R. Schmid, R.J. Jox, und O. Friedrich, *Using brain-computer interfaces: a scoping review of studies employing social research methods*. *BMC Medical Ethics*, 2019. 20(18).
57. Heidrich, R.O., E. Jensen, F. Rebelo, und T. Oliveira, *A comparative study: use of a Brain-computer Interface (BCI) device by people with cerebral palsy in interaction with computers*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 2015. 87(4): S. 1929-1937.
58. Lightbody, G., M. Ware, P. McCullagh, M.D. Mulvenna, E. Thomson, S. Martin, D. Todd, V.C. Medina, und S.C. Martinez. *A user centred approach for developing Brain-Computer Interfaces*. In *2010 4th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*. 2010. IEEE.
59. Mulvenna, M., G. Lightbody, E. Thomson, P. McCullagh, M. Ware, und S. Martin, *Realistic expectations with brain computer interfaces*. *Journal of Assistive Technologies*, 2012. 6(4): S. 233-244.
60. Cincotti, F., D. Mattia, F. Aloise, S. Bufalari, G. Schalk, G. Oriolo, A. Cherubini, M.G. Marciani, und F. Babiloni, *Non-invasive brain-computer interface system: towards its application as assistive technology*. *Brain research bulletin*, 2008. 75(6): S. 796-803.
61. Pedrocchi, A., S. Ferrante, E. Ambrosini, M. Gandolla, C. Casellato, T. Schauer, C. Klauer, J. Pascual, C. Vidaurre, und M. Gföhler, *MUNDUS project: MULTImodal Neuroprosthesis for daily Upper limb Support*. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 2013. 10(66).
62. Ahn, M., M. Lee, J. Choi, und S. Jun, *A review of brain-computer interface games and an opinion survey from researchers, developers and users*. *Sensors*, 2014. 14(8): S. 14601-14633.
63. van de Laar, B., B. Reuderink, D.P.-O. Bos, und D. Heylen, *Evaluating user experience of actual and imagined movement in BCI gaming*. In *Interdisciplinary Advancements in Gaming, Simulations and Virtual Environments: Emerging Trends*. 2012, IGI Global. S. 266-280.
64. van de Laar, B., D.P.-O. Bos, B. Reuderink, M. Poel, und A. Nijholt, *How much control is enough? Influence of unreliable input on user experience*. *IEEE transactions on cybernetics*, 2013. 43(6): S. 1584-1592.
65. Vuckovic, A. und B.A. Osuagwu, *Using a motor imagery questionnaire to estimate the performance of a brain-computer interface based on object oriented motor imagery*. *Clinical Neurophysiology*, 2013. 124(8): S. 1586-1595.
66. Grübler, G., A. Al-Khodairy, R. Leeb, I. Pisotta, A. Riccio, M. Rohm, und E. Hildt, *Psychosocial and ethical aspects in non-invasive EEG-based BCI research - A survey among BCI users and BCI professionals*. *Neuroethics*, 2014. 7(1): S. 29-41.

67. Grübler, G. und E. Hildt, *Brain-Computer-Interfaces in their ethical, social and cultural contexts*. 2014: Springer.
68. Sahinol, M., *Das techno-zerebrale Subjekt: Zur Symbiose von Mensch und Maschine in den Neurowissenschaften*. 2016: transcript Verlag.
69. Kellmeyer, P., T. Cochrane, O. Müller, C. Mitchell, T. Ball, J.J. Fins, und N. Biller-Andorno, *The effects of closed-loop medical devices on the autonomy and accountability of persons and systems*. Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics, 2016. 25(4): S. 623-633.
70. Haselager, P., *Did I do that? Brain-computer interfacing and the sense of agency*. Minds and Machines, 2013. 23(3): S. 405-418.
71. Aas, S. und D. Wasserman, *Brain-computer interfaces and disability: extending embodiment, reducing stigma?* Journal of medical ethics, 2016. 42(1): S. 37-40.
72. Marsh, S., *Neurotechnology, Elon Musk and the goal of human enhancement*. The Guardian. Verfügbar unter: <https://www.theguardian.com/technology/2018/jan/01/elon-musk-neurotechnology-human-enhancement-brain-computer-interfaces> [17.03.2019], 2018.
73. Solon, O., *Facebook has 60 people working on how to read your mind*. Verfügbar unter: <https://www.theguardian.com/technology/2017/apr/19/facebook-mind-reading-technology-f8> [17.03.2019], 2017.
74. Flick, U., E.v. Kardorff, und I. Steinke, *Qualitative Forschung*. Ein Handbuch. 2015: Rowohlt.
75. Mayring, P., *Einführung in die qualitative Sozialforschung*. 2016: Beltz Weinheim.
76. Pluye, P. und Q.N. Hong, *Combining the power of stories and the power of numbers: mixed methods research and mixed studies reviews*. Annu Rev Public Health, 2014. 35: S. 29-45.
77. Kelle, U. und C. Erzberger, *Qualitative und quantitative Methoden: kein Gegensatz*. In *Qualitative Forschung. Ein Handbuch.*, U. Flick, E. Von Kardorff, und I. Steinke, Editors. 2015: Rowohlt. S. 299-309.
78. Flick, U., *Triangulation in der qualitativen Forschung*. In *Qualitative Forschung. Ein Handbuch.*, U. Flick, E. von Kardorff, und I. Steinke, Editors. 2015, Rowohlt. S. 309-318.
79. Schildmann, J., S. Wäscher, S. Salloch, und J. Vollmann, *Der Beitrag qualitativer Sozialforschung zur handlungsorientierenden medizinethischen Forschung. Eine Methodenreflexion am Beispiel des ETHICO-Projekts*. Ethik in der Medizin, 2016. 28(1): S. 33-41.
80. Malina, M.A., H.S. Nørreklit, und F.H. Selto, *Lessons learned: advantages and disadvantages of mixed method research*. Qualitative Research in Accounting & Management, 2011. 8(1): S. 59-71.
81. Palinkas, L.A., S.M. Horwitz, C.A. Green, J.P. Wisdom, N. Duan, und K. Hoagwood, *Purposeful sampling for qualitative data collection and analysis in mixed method implementation research*. Administration and Policy in Mental Health and Mental Health Services Research, 2015. 42(5): S. 533-544.
82. Sturges, J.E. und K.J. Hanrahan, *Comparing telephone and face-to-face qualitative interviewing: a research note*. Qualitative research, 2004. 4(1): S. 107-118.
83. Opdenakker, R. *Advantages and disadvantages of four interview techniques in qualitative research*. In *Forum Qualitative Sozialforschung/Forum: Qualitative Social Research*. 2006.

84. Merkens, H., *Auswahlverfahren, Sampling, Fallkonstruktion*. In *Qualitative Forschung. Ein Handbuch.*, U. Flick, E. Von Kardorff, und I. Steinke, Editors. 2015, Rowohlt. S. 286-299.
85. Van Meter, K.M., *Methodological and design issues: techniques for assessing the representatives of snowball samples*. NIDA Research Monograph, 1990. 98: S. 31-43.
86. Häder, M., *Empirische Sozialforschung: Eine Einführung: Springer*. 2010.
87. Przyborski, A. und M. Wohlrab-Sahr, *Forschungsdesigns für die qualitative Sozialforschung*. In *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*, N. Baur und B. J., Editors. 2014, Wiesbaden: Springer VS. S. 117-134.
88. Flick, U., *Fixierung der Daten*. In *Handbuch Qualitative Sozialforschung. Grundlagen, Konzepte, Methoden und Anwendungen*, U. Flick, E. Von Kardorff, H. Keupp, L. Von Rosenstiel, und S. Wolff, Editors. 1995: München: Psychologie Verlags Union. S. 160-162.
89. Knoblauch, H., *Qualitative Religionsforschung. Religionsethnographie in der eigenen Gesellschaft*. 2003: Ferdinand Schöningh, UTB.
90. Mertz, M., J. Inthorn, G. Renz, L.G. Rothenberger, S. Salloch, J. Schildmann, S. Wöhlke, und S. Schicktanz, *Research across the disciplines: a road map for quality criteria in empirical ethics research*. BMC medical ethics, 2014. 15(17).
91. Breuer, F., *Wissenschaftstheoretische Grundlagen qualitativer Methodik in der Psychologie*. In *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*, G. Mey und K. Mruck, Editors. 2010: Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. S. 35-49.
92. Meyer, C. und C. Meier zu Verl, *Ergebnispräsentation in der qualitativen Forschung*. In *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*, N. Baur und B. J., Editors. 2014: Wiesbaden: Springer VS. S. 245-258.
93. Helfferich, C., *Leitfaden- und Experteninterviews*. In *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*, N. Baur und J. Blasius, Editors. 2014: Wiesbaden: Springer VS. S. 559-574.
94. Helfferich, C., *Die Qualität qualitativer Daten*. 2011: Springer.
95. Döring, N. und J. Bortz, *Forschungsmethoden und Evaluation*. 2016: Springer.
96. Kuckartz, U., T. Dresing, S. Rädiker, und K. Stefer, *Qualitative Evaluation. Der Einstieg in die Praxis*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2007.
97. Mayring, P., *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. 2015, Weinheim: Beltz.
98. Stamann, C., M. Janssen, und M. Schreier. *Qualitative Inhaltsanalyse - Versuch einer Begriffsbestimmung und Systematisierung*. In *Forum Qualitative Sozialforschung/Forum: Qualitative Social Research*. 2016.
99. Schreier, M. *Varianten qualitativer Inhaltsanalyse: Ein Wegweiser im Dickicht der Begrifflichkeiten*. In *Forum Qualitative Sozialforschung/Forum: Qualitative Social Research*. 2014.
100. Karrer, K., C. Glaser, C. Clemens, und C. Bruder, *Technikaffinität erfassen - der Fragebogen TA-EG*. Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme, 2009. 8: S. 196-201.
101. Bühner, M., *Einführung in die Test-und Fragebogenkonstruktion*. 2011: Pearson
102. Preston, C.C. und A.M. Colman, *Optimal number of response categories in rating scales: reliability, validity, discriminating power, and respondent preferences*. Acta psychologica, 2000. 104(1): S. 1-15.

103. von Unger, H., *Forschungsethik in der qualitativen Forschung: Grundsätze, Debatten und offene Fragen*. In *Forschungsethik in der qualitativen Forschung*. 2014, Springer. S. 15-39.
104. Stanton, N.A. und M.S. Young, *A proposed psychological model of driving automation*. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2000. 1(4): S. 315-331.
105. Kleih, S.C., A. Riccio, D. Mattia, M. Schreuder, M. Tangermann, C. Zickler, C. Neuper, und A. Kübler, *Motivation affects performance in a P300 Brain Computer Interface*. *International Journal of Bioelectromagnetism*, 2011. 13(1): S. 46-47.
106. Kleih, S.C. und A. Kübler, *Empathy, motivation, and P300 BCI performance*. *Frontiers in human neuroscience*, 2013. 7(642).
107. Nijboer, F., N. Birbaumer, und A. Kübler, *The influence of psychological state and motivation on brain - computer interface performance in patients with amyotrophic lateral sclerosis – a longitudinal study*. *Frontiers in neuroscience*, 2010. 4(55).
108. Friedrich, E.V., C. Neuper, und R. Scherer, *Whatever works: a systematic user-centered training protocol to optimize brain-computer interfacing individually*. *PLoS ONE*, 2013. 8(9).

Bildquellen:

- **Abb. 1, 6, 7:** Mit freundlicher Genehmigung des Springer-Verlages: Springer Berlin Heidelberg: *Brain-Computer Interfaces: Revolutionizing Human-Computer Interaction* by B. Graimann, G. Pfurtscheller, and B. Allison, [COPYRIGHT] (2010)
- **Abb. 4:** Mit freundlicher Genehmigung des © ICS/TUM, München
- **Abb. 11, 12:** Mit freundlicher Genehmigung der Emotiv Inc, San Francisco
- **Abb. 15:** Mit freundlicher Genehmigung des Max-Planck-Institutes für Intelligente Systeme Tübingen

10. Appendix

(1) Übersicht englischer Zitate

(2) Formblatt Teilnehmerinformation und Formblatt Einwilligungserklärung

(3) Leitfaden

(4) Genehmigungen Ethik-Kommission

(5) Poster INS Annual Meeting 2018, San Diego (USA)

(6) Fragebogen der Bevölkerungsumfrage

(7) Übersicht über den Anhang auf CD-Rom

Appendix 1: Übersicht englischer Zitate (3 Seiten)

Deutsch	Englisch	Transkript
„Aha-Effekt“	“aha-effect“	I. 7, Z. 514-515
„(...) viele Menschen waren am Anfang ängstlich, aber sie kamen trotzdem zur Studie, weil sie neugierig waren (...).“	“(...) some people were very scared in the beginning, but they came to the study even though they're scared because they're curious (...).”	I. 7, Z. 354-358
„(...) als zum Schluss alles funktionierte, war es unglaublich.“	“(...) and in the final one, everything worked and it was amazing.”	I. 23, Z. 181-182
„(...) wir klassifizieren mentale Zustände, wir machen kein aktives BCI. Wenn ich etwas zur aktiven Kontrolle mache, brauche ich definitiv Training.“	“(...) because we are classifying mental states, we are not doing active BCI. if I am doing something for active control, then I definitely need training.”	I. 7, Z. 257-258
„(...) ich war froh, als es vorbei war.“	“(...) I was glad it was over.”	I. 22, Z. 126
„(...) ich fühle es auf meinem Kopf und ich möchte es nicht mehr fühlen.“	“(...) I feel it on my head and I don't want to feel it anymore.”	I. 7, Z. 439
„(...) das Gel war nicht cool. Er war nicht cool.“	“(...) the gel wasn't cool. It was not cool.”	I. 23, Z. 120
„Ich möchte nicht nachher meine Haare waschen.“	“I don't wanna wash my hair afterwards.”	I. 23, Z. 130-131
„Die beste Technologie ist Technologie, die unsichtbar ist.“	“The best technology is technology that's invisible.”	I. 17, Z. 644-645
„(...) ich musste in meinem Kopf so tun, als ob ich ein Bär oder ein Elf wäre.“	“(...) was me pretending to be a bear and pretending to be an elf in my head.”	I. 23, Z. 26
„Aber ich bin eine wirklich entspannte Person, deshalb war es wirklich schmerzhaft für mich.“	„But I'm a really relaxed person, so it was really painful.“	I. 23, Z. 35
„(...) als es zum Schluss wirklich gut funktionierte, war es super! Ich würde es jedem empfehlen (...), ich würde viel Geld zahlen, um solche Spiele zu spielen.“	„(...) in the final session, it did work really well and this was amazing! I would recommend it to everyone (...) like I would pay lots of money to play some games.”	I. 23, Z. 88-90
„Es ist definitiv eine Mischung aus beidem.“	“It's definitely a mixture of both.”	I. 7, Z. 367
„Wenn es nicht erfolgreich war, dachte ich, ok, vielleicht ist es die Software oder die Hardware oder vielleicht hatte das Experiment Probleme. Ich fühlte mich nicht verantwortlich.“	“When it was not successful, I was just thinking ok, maybe the software or maybe the hardware or maybe the experiment has some trouble than I. I didn't feel responsible.”	I. 24, Z. 101-102
„nicht so spektakulär“	„not that spectacular“	I. 15, Z. 262
„(...) und es gibt viele andere Faktoren, die das beeinflussen, wie Blinzeln, Muskelbewegungen, sogar der Herzschlag, andere Dinge im Raum, wie andere elektrische Geräte.“	“(...) and there are a lot of other factors that influence it, like blinking, muscle movements, even your heart beating, other stuff in the room, like electric, other electric devices in the room.”	I. 7, Z. 243-245
„Wenn du [die Elektroden] implantierst, hast du keine Artefakte. (...) Es ist ein wunderschönes Signal.“	if you implant the [electrodes], you have no artifacts. (...) it's this beautiful signal.”	I. 15, Z. 131-132
„(...) ich denke nicht, dass das auf passive BCIs wirklich anwendbar ist (...), da gibt es kein Richtig oder Falsch.“	“I don't think it applies to the passive BCI that much (...), it's not like right or wrong.”	I. 7, Z. 452-456

Deutsch	Englisch	Transkript
„(...) es ist nicht, wie wenn man links oder rechts gehen muss oder etwas klar Definiertes (...)“	“(...) but it’s not like, going left, right, or like, something very defined like that.”	I. 7, Z. 459
„(...) in einigen Fällen kannst du eindeutig den Nutzer oder das BCI (...) verantwortlich machen. Es wird aber auch viele Problemfälle geben, wo es unklar ist. (...) Wen machst du dann verantwortlich?“	“(...) in some cases you really can clearly blame the user or you can clearly blame the BCI (...). There will be a lot of problems, where it’s fuzzy. (...) Well, then who do you blame?”	I. 17, Z. 589-592
„Ja, ich denke, dass es letzten Endes möglich sein wird, eine Art direktes Lesen der Sprache oder Gedankenlesen.“	“Yes, I do think that’s ultimately possible, some kind of direct language reading or thought-reading.”	I. 17, Z. 552
„(...) die Menschen haben Kontrolle. BCIs sind freiwillige Geräte. In den nächsten Jahren sehe ich nicht viele Möglichkeiten, sie gegen den Willen der Menschen zu nutzen.“	“(...) people have control. BCIs are voluntary devices. In the next few years, I don’t see a lot of ways you could use them against the will of people.”	I. 17, Z. 519-520
„(...) die Menschen werden Entscheidungen treffen auf Basis der technischen Möglichkeiten, die ihnen zur Verfügung stehen.“	“(...) people will make choices based on the possibilities of the technology.”	I. 15, Z. 423
„Ich denke nicht, dass wir irgendetwas einschränken sollten. Ich denke, jede Person sollte alles selbst entscheiden.“	“I don’t think we should restrict anything, I think everything should be left for the person to decide.”	I. 7, Z. 580
„(...) die Interaktion zwischen den Menschen verändert sich, aber der Mensch selbst verändert sich durch die Technologie nicht.“	“(...) interaction between people change, but people don't really change themselves due to technology.”	I. 24, Z. 152-153
„(...), wenn Enhancement durch Implantate oder BCIs generell möglich wird. (...) Wenn das der Fall sein sollte, dann ja, dann werden gesunde Nutzer damit anfangen sie wie Drogen zu nutzen, wie Doping für den Sport.“	“(...) once enhancement by implants or BCIs in general will come. (...) If so, then yes, then healthy people will start to use them like they use drugs, like they do use doping and sports.”	I. 15, Z. 217-219
„Es gibt viele Gesellschaften und alle haben unterschiedliche Regeln, aber es gibt auch eine gemeinsame Moral, universelle Regeln. Wenn man solche Überlegungen anstellt, bevor man mit einer Technologie beginnt, dann ist es eine gute Technologie.“	“There are many societies and they have different rules but there’s some common morality, rules which are universal. If you use these kinds of things before you start in technology, then it is a good technology.”	I. 15, Z. 336-339
„Wird das auch mit invasiven BCIs passieren?“	“Is this going to happen with invasive BCIs?”	I. 17, Z. 685
„(...) im Moment (...) ist es völlig unangebracht, sich ein Loch in den Kopf bohren zu lassen, außer es besteht eine hohe medizinische Notwendigkeit dafür. Aber die Menschen könnten das im Lauf der Zeit anders sehen, zum Beispiel, dass ein solcher Eingriff für Neurofeedback sehr hilfreich sein könnte. Wenn sie sich einen kleinen Chip in ihren Kopf stecken, könnten sie lernen, sich viel effektiver zu entspannen (...). Und die Menschen könnten beginnen zu sagen: Entspannung ist Gesundheit, wenn man Stress reduziert, könnten wir länger leben.“	“(...) right now (...) it’s completely inappropriate to drill a hole in someone’s head unless there is a strong medical need for it, but might people start to see it differently over time, so maybe for example, they find that this can be very helpful for neurofeedback. that if you put a little chip in your head, you could learn to relax much more effectively (...). And people start to say, well, relaxation is health, I mean, if you can reduce stress, people might live longer.”	I. 17, Z. 686-693

Deutsch	Englisch	Transkript
„Das könnte der Beginn eines Wandels sein, bei dem es im Extremfall – den ich jetzt wirklich schrecklich finde – Routine werden könnte. Alle Leute machen das und du sagst, ja, ich muss mein Handy auch mit einem Gerät im Kopf steuern können. Wenn ich das nicht habe, fühle ich mich minderwertig.“	“That could be the beginning of a change, where, in the most extreme case – which I think right now would be horrifying – but it could change, it becomes routine. people do it and you say “yeah, I need to be able to control my cellphone with a device in my head. if I don’t have this, I’m inferior to everyone else.”	I. 17, Z. 695-699
„(...) der menschliche Körper, das Gehirn, sind sehr limitiert. Menschen machen sehr dumme Fehler, selbst wenn sie hochgebildet sind.“	“(…) the human body, including brain, is very limited. Humans make very stupid mistakes, even if they are highly educated.”	I. 15, Z. 293-294
„(...) natürlich sind die Menschen besser als die Technologie, sie beherrschen die Technologie, indem sie Grenzen festlegen und somit Probleme vermeiden (...).“	“(…) of course humans are better than technology, they rule technology, so they can build in limits to avoid problems (...).”	I. 15, Z. 302-303
„Nebeneffekte“	„side effects“	I. 15, Z. 305
„nicht wirklich unethisch“	„not really unethical“	I. 17, Z. 502
„(...) Technologie wird immer anders verstanden, als es ursprünglich gedacht war.“	“(…) technology is always understood differently than it was supposed to.”	I. 15, Z. 319
„(...) du kannst [Technologie] für gute Dinge und für nicht so gute Dinge verwenden, die Situation ist manchmal nicht nur Schwarz oder Weiß.“	„(...) you can use [technology] for good things and you can use it for not so good things and sometimes the situation is not black and white.”	I. 24, Z. 166-167
„(...) die Wissenschaftler, die von Beginn an daran arbeiteten. Viele davon dachten nicht, dass ihre Werkzeuge für den Krieg eingesetzt werden könnten (...).“	“(…) the scientists who were working on this early on, many of them did not consider that their tools might be used for war.”	I. 17, Z. 323-325
„(...) BCIs könnten das auf ein noch extremeres Niveau bringen, wenn du einfach nur dasitzt und ein intelligentes Zuhause kontrollieren kannst, Spiele spielen kannst. Es gibt bereits Roboter, die das Essen und Trinken und Dinge bringen können.“	“(…) BCIs could take that to a much more extreme level, where you, if you can sit there and you could control a smart home, you could play games. They already have robots that can bring you food and drink and things.”	I. 17, Z. 458-460
„Zwei-Klassen-Staatsbürgerschaft“; „normalen Menschen“	“two-way citizenship”; “regular people”	I. 24, Z. 249-250
„Elite-Anwender“	“elite users”	I. 17, Z. 225
„Ich sage nicht, dass es bald passieren wird, aber wenn man ein solches Gerät besitzen würde, könnte man die Realität immer entsprechend seiner eigenen Ziele verändern oder sie daran anpassen.“	“I don't say it will happen soon but if you have this kind of device, then ... you can always change or adapt the reality to what you want to say.”	I. 24, Z. 267-268

Appendix 2: Formblatt Teilnehmerinformation und Formblatt Einwilligungserklärung (3 Seiten)



Informationsschrift und Einwilligungserklärung zur Interview-Studie „Brain-Computer-Interfaces: Chance oder Risiko? Eine qualitative Studie bei Experten und gesunden Nutzern“

Studienleiter:

Prof. Dr. med. Dr. phil. Ralf J. Jox, Stellvertretender Vorstand Institut für Ethik, Geschichte und Theorie der Medizin der Ludwig-Maximilians-Universität München, Lessingstr. 2, D-80336 München, Email: [REDACTED]

Sehr geehrte Dame, sehr geehrter Herr,

wir möchten Sie einladen, an einer Interviewstudie zu ethischen/sozialen Fragen in Bezug auf Brain-Computer-Interfaces teilzunehmen.

Hintergrund der Interviewstudie:

Die BCI-Technologie konfrontiert die Gesellschaft mit vielen neuen Fragen und hat sich mittlerweile zu einem etablierten Forschungs- und Praxisbereich entwickelt. Einzelne Publikationen thematisieren ethische Fragen, mit denen die handelnden Akteure in diesem Bereich konfrontiert sind. Bisher wurde aber noch nicht systematisch untersucht, ob und - wenn ja - mit welchen ethischen sowie sozialen Fragestellungen gesunde Nutzer¹ sowie Experten konfrontiert sind. In der vorliegenden Studie möchten wir deshalb 15 bis 20 BCI-Akteure zu ihrer Erfahrung und Expertise in diesem Bereich befragen.

Ablauf der Studie und Datenschutz:

Die ca. 60-minütigen Interviews werden von einer Doktorandin des internationalen Forschungsprojektes ‚INTERFACES‘ geführt und mit einem Diktiergerät digital aufgezeichnet. Anschließend werden die Gespräche verschriftlicht, die Audiodatei wird unwiderruflich gelöscht.

Bei der vorliegenden Studie werden die Vorschriften zum Datenschutz eingehalten. Der Interviewer unterliegt der Schweigepflicht. Die Inhalte des Interviews werden vertraulich behandelt. Sie werden ausschließlich zu Studienzwecken gespeichert, verwendet und nicht an Dritte weitergegeben. Vor der Auswertung und der Veröffentlichung werden die Daten anonymisiert. Dies bedeutet, dass ein Rückschluss auf Sie als Person durch Dritte nicht mehr möglich ist.

Die von Ihnen unterschriebene Einwilligung zur Interviewteilnahme wird in einem gesonderten Ordner an einer gesicherten und nur der Projektleitung zugänglichen Stelle aufbewahrt. Sie dient lediglich dazu, bei einer Überprüfung durch den

¹ Aus Gründen der Lesbarkeit werden für gemischtgeschlechtliche Gruppen die etablierten maskulinen Formen verwendet. Dabei sind stets auch die anderen Geschlechter mitgemeint.

Datenschutzbeauftragten nachweisen zu können, dass Sie mit der Teilnahme an der Interviewstudie einverstanden sind. Sie kann mit dem Interview nicht mehr in Verbindung gebracht werden.

Die Abschrift der Daten erfolgt anonymisiert. Auf Wunsch können wir Ihnen eine Kopie Ihres Transkriptes zukommen lassen. Die Transkripte sind nur für die Mitarbeiter des Projektes (Prof. Dr. Dr. Ralf Jox, Dr. Dr. Orsolya Friedrich, Jennifer Regina Schmid, Johannes Kögel, Steffen Steinert) einsehbar. Sie werden fünf Jahre nach Beendigung der Studie gelöscht. Einzelne Zitate können in Veröffentlichungen eingehen, selbstverständlich ohne dass erkennbar ist, von welcher Person sie stammen.

Ihre Teilnahme an der Studie trägt dazu bei, eine gesellschaftlich verantwortungsvolle Weiterentwicklung der BCI-Technologie zu fördern und somit auch künftigen Anwendern zu helfen. Es entsteht kein individueller Nutzen durch die Teilnahme, jedoch lassen wir Ihnen die Ergebnisse der Auswertung bzw. eine Abschrift meiner Dissertation auf Wunsch selbstverständlich gerne zukommen.

Die Studie wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität als ethisch und rechtlich unbedenklich beurteilt.

Ihre Einwilligung ist freiwillig. Wir möchten Sie darauf hinweisen, dass alle Angaben zu den Teilnehmern bereits beim Verschriftlichen des Interviews irreversibel anonymisiert werden. Dies bedeutet, dass ein Widerruf Ihrer Einwilligung nach Verschriftlichung des Interviews nicht mehr möglich ist, da wir das anonymisierte Transkript den Teilnehmern nicht mehr zuordnen können.

Aus einer Nichtteilnahme erwachsen Ihnen keinerlei Nachteile. Sie können Antworten auf einzelne Fragen verweigern.

Weitere Informationen zum Projekt finden Sie auf unserer Internetseite www.bci-ethics.de. Sie können mit uns telefonisch unter [REDACTED] oder per E-Mail an [REDACTED] in Kontakt treten.

Prof. Dr. med. Dr. phil. Ralf Jox
Projektleitung, Stellvertretender
Vorstand des Instituts

Jennifer Regina Schmid, M.A.
zuständig für die Interviewstudie,
Doktorandin des Projekts

Für Rückfragen stehen wir jederzeit gerne zur Verfügung!

**EINWILLIGUNGSERKLÄRUNG ZUR TEILNAHME AN DER STUDIE
„Brain-Computer-Interfaces: Chance oder Risiko? Eine qualitative Studie bei
Experten und gesunden Nutzern“**

des Instituts für Ethik, Geschichte und Theorie der Medizin der Ludwig-Maximilians-
Universität München:

Name: _____

Institution: _____

Aufgeklärt von: _____

1. Ich wurde über Sinn und Zweck sowie den Inhalt der Studie aufgeklärt. Ich hatte ausreichend Zeit, alle meine aufkommenden Fragen zu meiner Zufriedenheit zu klären, auch im Hinblick auf die datenschutzrechtlichen Fragen.
2. Ich erkläre mich bereit, an oben genannter Studie teilzunehmen. Den Inhalt der vorliegenden Einwilligungserklärung habe ich verstanden, mit der oben geschilderten Vorgehensweise bin ich einverstanden.
3. Ich verstehe, dass meine Teilnahme freiwillig ist und ich meine Einwilligung bis zur irreversibel anonymisierten Verschriftlichung des Interviews zurückziehen kann, ohne dass mir hieraus Nachteile entstehen.
4. Ich bin mit der Aufzeichnung von persönlichen Daten/Auskünften im Rahmen der Studie einverstanden. Ich habe verstanden, dass mein Name im Rahmen dieser Studie nicht genannt wird und alle Informationen nur in anonymisierter Form wiedergegeben werden. Ich bin einverstanden, dass Berichte erstellt werden, ohne dass es meiner Zustimmung bedarf. Ich bin auch einverstanden, dass die anonymisierten Aufzeichnungen in kleineren Gruppen von mehreren Wissenschaftlern (sogenannten qualitativen Werkstätten) diskutiert werden.
5. Eine Kopie der Information und der Einwilligungserklärung wurde mir ausgehändigt.

Teilnehmer: Die oben genannten Punkte sind erfüllt und ich bin mit der Erhebung und Verwendung persönlicher Daten einverstanden.

Ort, Datum

Unterschrift Teilnehmer/in

Interviewer: Ich habe den Teilnehmer umfassend über die Studie sowie die Verwendung seiner Daten aufgeklärt.

Ort, Datum

Unterschrift Interviewer

Anhang 3: Leitfaden (2 Seiten)

Leitfaden Interviews ‚Mixed-Methods-Studie mit gesunden BCI-Nutzern‘

Fragen	Follow-Ups	Checkliste	Themenblock	Erklärung
1. Inwiefern waren Sie bereits mit BCIs in Kontakt?	<ul style="list-style-type: none"> • evtl. Teilnahme an wissenschaftlichen Studien/Gaming/Enhancement 			Verstehen des Kontextes in Bezug auf BCI-Nutzung/der Lebenswelt
2. Haben Sie schon einmal selbst ein BCI getestet?	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitpunkt? Art des BCIs und Dauer? 			
3. Wie sieht ein typisches Training mit einem BCI aus? Wie kann man sich das vorstellen?			Technologie/ Trainingsprozess	Nutzung von BCIs
4. Wie lang hat es gedauert, bis Sie das BCI zum ersten Mal erfolgreich nutzen konnten?				
5. Welche mentale Strategie haben Sie angewendet?				
6. Was waren Ihre anfänglichen Erwartungen?				Erwartungshaltung gegenüber BCI
7. Wie fühlt es sich an, an ein BCI angeschlossen zu sein?	<ul style="list-style-type: none"> • Worin unterscheidet es sich von der Anwendung anderer Technologien? 		BCI-Agency	Selbstbeschreibung
8. Hatten Sie dabei das Gefühl, dass Sie aktiv sind, der Computer, oder eine Mischung daraus?	<ul style="list-style-type: none"> • Haben Sie das Gefühl, dass der Computer sich an Sie anpasst oder Sie sich an den Computer oder spielt das keine Rolle? 		BCI-Agency	

1

Leitfaden Interviews ‚Mixed-Methods-Studie mit gesunden BCI-Nutzern‘

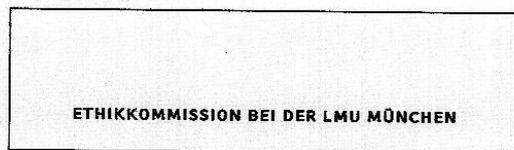
9. Waren die Ergebnisse bei der BCI-Nutzung manchmal nicht beabsichtigt?	<ul style="list-style-type: none"> • Wenn ja: woran könnte das gelegen haben? 		BCI-Agency	Eigenzurechnung von BCI-Aktivitäten; Erfolg vs. Misserfolg
10. Haben Sie nach der BCI-Nutzung Auswirkungen gespürt?	<ul style="list-style-type: none"> • physischer Art, evtl. auch psychische/kognitive Auswirkungen? 			Persönliche Wahrnehmung der BCI-Nutzung
11. Haben Sie sich für die BCI-Handlungen selbst verantwortlich gefühlt?	<ul style="list-style-type: none"> • evtl. Unterschiede bei Erfolg/Misserfolg? • evtl. emotionale Reaktionen (z.B. Ärger bei Misserfolg?) 		Verantwortung	Eigenzurechnung von BCI-Aktivitäten
12. Was bedeutet Selbstbestimmung für Sie?				
13. Hat sich durch die BCI-Nutzung Ihr Menschenbild in Bezug auf die Funktionsweise des menschlichen Gehirns verändert?	<ul style="list-style-type: none"> • Verschmelzung von Mensch und Maschine mittels BCI? • Mensch nicht mehr biologische Einheit im ursprünglichen Sinne? 			Menschenbild
14. Haben Sie Befürchtungen gegenüber BCIs?	<ul style="list-style-type: none"> • evtl. negative Erlebnisse • Schwachstellen von BCIs, z.B. Bedenken hinsichtlich Datenschutz, Privatheit, Manipulation (Stichpunkt: Auslesen von Gedanken?!) 			Persönliche Einstellung gegenüber BCIs
15. Wie beurteilen Sie das zukünftige Entwicklungspotential von BCIs?	<ul style="list-style-type: none"> • wichtigste Anwendungsfelder (5-10 Jahre vs. 20 Jahre) 			Erwartungshaltung gegenüber BCIs

2

Leitfaden Interviews ‚Mixed-Methods-Studie mit gesunden BCI-Nutzern‘

	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung im Alltag/ evtl. kommerzielle Nutzung 			
16. Welche Rolle spielt Technik in Ihrem Leben?	<ul style="list-style-type: none"> • Welche Technologien haben Sie bisher verwendet und welche verwenden Sie gegenwärtig? • evtl. Studiengang? 		Technologieeinsatz /Technikaffinität	Verstehen der allgemeinen Technikaffinität
17. Was sollte Ihrer Meinung nach Technologie möglich machen?			Technologie	Persönliche Einstellung gegenüber Technologie
18. Würden Sie die Rolle der Technik in Ihrem Leben gerne einschränken?			Technologie	Persönliche Einstellung gegenüber Technologie
19. Wo sehen Sie Grenzen neuer Technologien?	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz im Alltag: Was würde die Privatsphäre einschränken? 		Technologie	Persönliche Einstellung gegenüber Technologie
20. Gibt es sonst noch etwas, was Sie für relevant halten und was bisher nicht angesprochen wurde?				Schlussfrage, Lücken?

Appendix 4: Genehmigungen Ethik-Kommission



Ethikkommission · Pettenkoferstr. 8 · 80336 München

Jennifer Regina Spreider
Institut f. Ethik, Geschichte u. Theorie d. Medizin
Lessingstr. 2
80336 München

Vorsitzender:
Prof. Dr. W. Eisenmenger
Telefon+49 (0)89 440055191
Telefax+49 (0)89 440055192
Ethikkommission@
med.uni-muenchen.de
www.ethikkommission.med.uni-muenchen.de

Anschrift:
Pettenkoferstr. 8a
D-80336 München

04.07.2017 BV /sc

Projekt Nr: **17-238** (bitte bei Schriftwechsel angeben)

Beratung nach Fakultätsrecht Votum

Studientitel: Brain-Computer-Interfaces – Chance oder Risiko? – Eine qualitative Studie bei Experten und gesunden Nutzern
Antragsteller: Jennifer Regina Spreider, Institut f. Ethik, Geschichte u. Theorie d. Medizin, Lessingstr. 2, 80336 München

Sehr geehrte Frau Spreider,

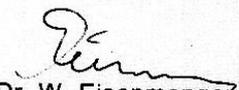
besten Dank für Ihr Schreiben mit der Beantwortung unserer Fragen bzw. Erfüllung der Auflagen und den noch ausstehenden bzw. überarbeiteten Unterlagen.

Die Ethikkommission (EK) kann Ihrer Studie nun die ethisch-rechtliche Unbedenklichkeit zuerkennen.

- Vorsorglich möchte ich darauf hinweisen, dass auch bei einer positiven Beurteilung des Vorhabens durch die EK die ärztliche und juristische Verantwortung für die Durchführung des Projektes uneingeschränkt bei Ihnen und Ihren Mitarbeitern verbleibt.
- Änderungen des Studienprotokolls sind der EK mitzuteilen.
- Das Ende der Studie ist anzuzeigen und das Ergebnis der Studie mitzuteilen.

Für Ihre Studie wünsche ich Ihnen viel Erfolg.

Mit freundlichen Grüßen


Prof. Dr. W. Eisenmenger
Vorsitzender der Ethikkommission

Mitglieder der Kommission:

Prof. Dr. W. Eisenmenger (Vorsitzender), Prof. Dr. E. Heid (Vorsitzender), Prof. Dr. H. Angstwurm, Prof. Dr. C. Bausewein, PD Dr. Th. Beinert, Prof. Dr. C. Belka, Prof. Dr. H. Dörfler, Prof. Dr. B. Emmerich, Prof. Dr. St. Endres, Prof. Dr. H. U. Gallwas, Prof. Dr. O. Genzel-Boroviczeny, Prof. Dr. A. Gerbes, Prof. Dr. K. Hahn, Prof. Dr. N. Harbeck, Dr. B. Henrikus, Prof. Dr. Ch. Heumann, Prof. Dr. V. Klaus, Prof. Dr. G. Marckmann, Dr. V. Mönch, Prof. Dr. A. Nassehi, Prof. Dr. D. Nowak, Prof. Dr. R. Penning, Prof. Dr. J. Peters, Prof. Dr. K. Pfeifer, Dr. I. Saake, Prof. Dr. M. Schmauss, Prof. Dr. U. Schroth, Prof. Dr. A. Spickhoff, Prof. Dr. O. Steinlein, PD Dr. U. Wandl, Prof. Dr. C. Wendtner, Dr. A. Yassouridis, Dr. Ch. Zach



LUDWIG-
MAXIMILIANS-
UNIVERSITÄT
MÜNCHEN

ETHIKKOMMISSION BEI DER LMU MÜNCHEN



Ethikkommission · Pettenkoferstr. 8 · 80336 München
Institut f. Ethik, Geschichte u. Theorie d. Medizin
Frau Jennifer Regina Schmid
Lessingstr. 2
80336 München

Vorsitzender:
Prof. Dr. W. Eisenmenger
Telefon+49 (0)89 440055191
Telefax+49 (0)89 440055192
Ethikkommission@
med.uni-muenchen.de
www.ethikkommission.med.uni-muenchen.de

Anschrift:
Pettenkoferstr. 8a
D-80336 München

14.08.2018 Hb /om

Projekt Nr.: **18-600 UE** (bitte bei Schriftwechsel angeben)

Unbedenklichkeitserklärung

Projekt: Brain-Computer-Interfaces – Chance oder Risiko? – Eine qualitative Studie bei Experten und gesunden Nutzern
Teil II: Bevölkerungsrepräsentative Umfrage
Antragsteller: Jennifer Regina Schmid, Institut f. Ethik, Geschichte u. Theorie d. Medizin, Lessingstr. 2, 80336 München
Untersucher: Jennifer Regina Schmid, Institut f. Ethik, Geschichte u. Theorie d. Medizin, Lessingstr. 2, 80336 München

Sehr geehrte Frau Schmid,

besten Dank für Ihr Schreiben vom 21.06.2018, mit dem Sie um eine Stellungnahme zum o.g. Projekt bitten.

Die Ethikkommission geht davon aus, dass die Daten anonymisiert erhoben werden, d. h. dass auch den Bearbeitern kein Rückschluss auf die personenbezogenen Daten der Probanden möglich ist. In diesem Fall besteht keine Beratungspflicht durch die Ethikkommission.

Für Ihre Untersuchungen wünsche ich Ihnen viel Erfolg.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr. W. Eisenmenger
Vorsitzender der Ethikkommission

Mitglieder der Kommission:

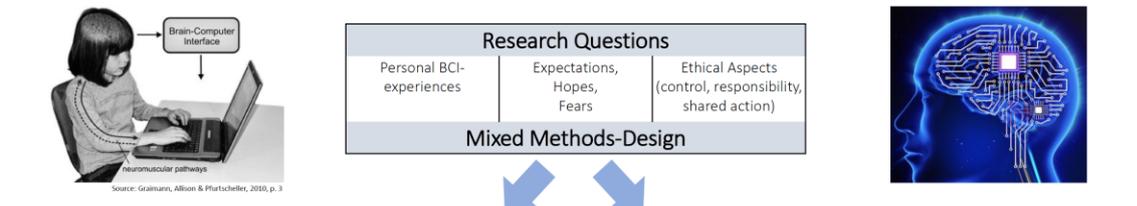
Prof. Dr. W. Eisenmenger (Vorsitzender), Prof. Dr. E. Held (Vorsitzender), Prof. Dr. H. Angstwurm, Prof. Dr. S. Böck, J. Eckert, Prof. Dr. B. Emmerich, Prof. Dr. S. Endres, Prof. Dr. R. Fischer, Prof. Dr. H. U. Gallwas, Prof. Dr. O. Genzel-Boroviczény, Prof. Dr. K. Hahn, Prof. Dr. N. Harbeck, Dr. B. Henrikus, Prof. Dr. C. Heumann, Prof. Dr. A. Holstege, Prof. Dr. Huber, Prof. Dr. V. Klauss, Dr. F. Kohlmayer, Prof. Dr. J. Lindner, Prof. Dr. S. Lorenzl, Prof. Dr. G. Marckmann, Dr. V. Mönch, PD Dr. Dr. H. Mückter, Prof. Dr. A. Nassehi, Prof. Dr. R. Penning, Prof. Dr. J. Peters, Prof. Dr. K. Pfeifer, Dr. I. Saake, Prof. Dr. H. Schardey, Prof. Dr. M. Schmauss, Prof. Dr. U. Schroth, Prof. Dr. O. Steinlein, PD Dr. G. Stüben, Prof. Dr. H. Waldner, PD Dr. U. Wandl, Prof. Dr. C. Wendtner, Dr. A. Yassouridis, Dr. C. Zach

Appendix 5: Poster INS Annual Meeting 2018, San Diego (USA)

	<p>LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN</p>	<p>Ethics and Brain-Computer Interfaces: A Mixed-Methods-Study with Healthy Users</p> <p>J.R. Schmid and R.J. Jox Institute of Ethics, History and Theory of Medicine</p>	
---	--	--	---

What is a Brain-Computer Interface (BCI)?
 A brain-computer interface provides the brain with a new, non-muscular communication and control channel.

Relevance of BCI and Healthy Users
 Next step in the evolution of human machine interaction.
 e.g. FACEBOOK (Typing with thoughts), NEURALINK (Invasive BCI)



Qualitative Interview Study
 n = 24
 Conducted in 2017 & 2018
 Maximum Variation Sampling
 Qualitative Content Analysis (Mayring)

Sample	
sex	6 female / 18 male
age	24-56 years; Ø 35 years
duration	Ø 39 min

Results

Quantitative Survey in the German Public
 n = 1000
 Conducted in July 2018
 7-point likert scale
 Statistical Analysis with SPSS

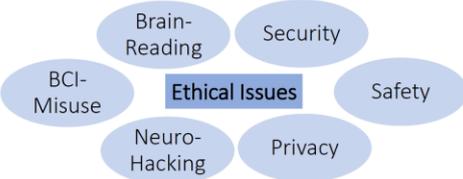
Sample	
sex	500 female / 500 male
age	18-65 years; Ø 44 years
duration	Ø 6 min

Results

<p>BCI as a „tool“ BCI as a „button“ „strange“</p> <p>„it’s like learning to ride a bike“ „you would need a driving license for use“</p> <p>BCI as „Science Fiction“ „Star Wars“ „Captain Future“ „Terminator“</p> <p>„the best technology is technology that’s invisible.“</p>	<p>A BCI-modulated action is still a human action! (M=5.22, SD=1.425)</p> <p>The user is responsible for BCI-modulated actions! (M=5.54, SD=1.354)</p> <p>BCI users shouldn’t be able to gain unfair advantages! (M=4.92, SD=1.589)</p> <p>I’m afraid of BCI-Misuse! (M=5.03, SD=1.670)</p>
---	---

Conclusion

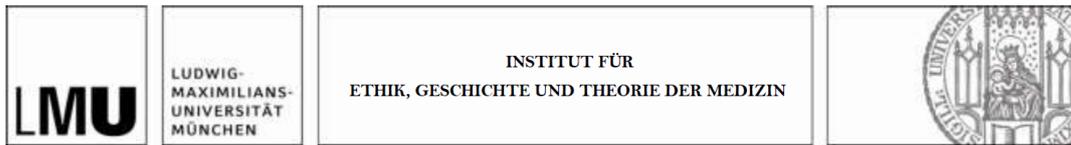
- BCI is a complete new form of communication and control, though it’s still in it’s early stages of development
- BCI is perceived as the next generation of tools
- Very positive view towards BCI-technology (“**overtrust in technology**”)
- Responsibility remains with the user



The diagram shows 'Ethical Issues' at the center, surrounded by six related concepts: Brain-Reading, Security, Safety, Privacy, Neuro-Hacking, and BCI-Misuse.

Disclosures none. Financial support by the Hanns-Seidel-Stiftung is greatly acknowledged.

Appendix 6: Fragebogen der Bevölkerungsumfrage (bereitetgestellt an den durchführenden Anbieter ‚Lightspeed Research‘)



Herzlich Willkommen zur Bevölkerungsumfrage zum Thema Gehirn-Computer-Schnittstellen (engl.: Brain-Computer-Interfaces)

Wir möchten Sie herzlich einladen, an einer wissenschaftlichen Befragung teilzunehmen. Es geht dabei um die Frage, wie Bürgerinnen und Bürger zu einer neuen Technologie stehen, die man Gehirn-Computer-Schnittstelle (englisch „Brain-Computer Interface“) nennt. Das Forschungsprojekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert.

Die Umfrage ist freiwillig und vollständig anonym. Sie können sich jederzeit entscheiden, eine Frage nicht zu beantworten oder Ihre Teilnahme ohne Begründung zu beenden. Ihre Antworten werden ausschließlich für wissenschaftliche Zwecke gespeichert und ausgewertet. Der Fragebogen ist sehr kurz gehalten und lässt sich in 5 Minuten beantworten.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme. Sie leisten damit einen wichtigen Beitrag zu einer verantwortungsvollen Entwicklung von Technologien in unserer Gesellschaft.

Bitte bewerten Sie diese Aussagen auf einer Skala von 1 (Stimme gar nicht zu) bis 7 (Stimme voll und ganz zu).
Wie sehr stimmen Sie diesen Aussagen zu?

	Stimme gar nicht zu					Stimme voll und ganz zu	
	1	2	3	4	5	6	7
1. Ich bin begeistert, wenn ein neues elektronisches Gerät auf den Markt kommt.	<input type="checkbox"/>						
2. Es fällt mir leicht, die Bedienung eines elektronischen Geräts zu lernen.	<input type="checkbox"/>						
3. Elektronische Geräte erleichtern mir den Alltag.	<input type="checkbox"/>						

4. Ich weiß, was eine Gehirn-Computer-Schnittstelle (auch Brain-Computer Interface genannt) ist.	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein
5. Ich habe bereits eine Gehirn-Computer-Schnittstelle getestet.	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein

Im Folgenden bitten wir Sie, einen kurzen Filmausschnitt von 2 Minuten anzusehen, in dem es um die Technologie der Gehirn-Computer-Schnittstelle geht. Das ist wichtig, um die Fragen danach zu beantworten.

→ Präsentation **Videoausschnitt**

Was sind Gehirn-Computer-Schnittstellen?

<i>Bitte bewerten Sie diese Aussagen auf einer Skala von 1 (Stimme gar nicht zu) bis 7 (Stimme voll und ganz zu).</i>							
	Stimme gar nicht zu					Stimme voll und ganz zu	
	1	2	3	4	5	6	7
1. Ich würde eine Gehirn-Computer-Schnittstelle selbst einmal nutzen wollen.	<input type="checkbox"/>						
2. Wenn man eine Kappe mit Elektroden verwenden muss, würde ich die Technik nicht nutzen.	<input type="checkbox"/>						
3. Ich wäre bereit, für die Nutzung dieser Technik vier Wochen jeden Tag zu üben.	<input type="checkbox"/>						
4. Diese Technik sollten nur solche Menschen nutzen dürfen, die zuvor einen Führerschein dafür gemacht haben.	<input type="checkbox"/>						
5. Ich hätte Bedenken, eine Gehirn-Computer-Schnittstelle zu nutzen, da man dabei unvorteilhaft aussieht.	<input type="checkbox"/>						
6. Wenn eine Handlung mit Hilfe von Gehirn-Computer-Schnittstellen ausgeführt wird, handelt immer noch der Mensch.	<input type="checkbox"/>						
7. Die Verantwortung für Handlungen mittels einer Gehirn-Computer-Schnittstelle trägt der Nutzer selbst.	<input type="checkbox"/>						
8. Nutzer von Gehirn-Computer-Schnittstellen können in ihren hohen Erwartungen an die Technik enttäuscht werden.	<input type="checkbox"/>						
9. Die Anwendung von Gehirn-Computer-Schnittstellen sollte gesetzlich geregelt werden.	<input type="checkbox"/>						
10. Nutzer dieser Technik sollten sich keine unfairen Vorteile (z.B. schnellere Reaktionszeiten) verschaffen können.	<input type="checkbox"/>						
11. Nutzer von Gehirn-Computer-Schnittstellen wären für mich eine Mischung aus Mensch und Maschine.	<input type="checkbox"/>						
12. Gehirn-Computer-Schnittstellen verändern das Verständnis vom Menschsein.	<input type="checkbox"/>						
13. Bei der Nutzung einer solchen Technik hätte ich Sorgen, dass Gehirninhalte ausgelesen werden könnten.	<input type="checkbox"/>						
14. Ich hätte Bedenken, dass Gehirn-Computer-Schnittstellen missbräuchlich verwendet werden könnten.	<input type="checkbox"/>						
15. Ich vertraue Forschern, dass sie verantwortungsvoll mit der Entwicklung dieser Technik umgehen.	<input type="checkbox"/>						

Bitte geben Sie im Folgenden ein paar Informationen zu Ihrer Person an:	
Alter:	
Geschlecht:	<input type="checkbox"/> weiblich <input type="checkbox"/> männlich
Höchster Bildungsabschluss:	<input type="checkbox"/> Hauptschulabschluss <input type="checkbox"/> Mittlerer Schulabschluss <input type="checkbox"/> Allgemeine Hochschulreife <input type="checkbox"/> Bachelor <input type="checkbox"/> Master/Diplom <input type="checkbox"/> Promotion
Beruf:	

Appendix 7: Übersicht über den Anhang auf CD-Rom**(1) Transkripte**

Nr.	Dauer (in Minuten)
1	40
2	55
3	25
4	33
5	21
6	36
7	45
8	32
9	41
10	20
11	44
12	53
13	65
14	38
15	40
16	43
17	51
18	24
19	43
20	19
21	40
22	36
23	50
24	36

(2) Feldnotizen

11. Eidesstattliche Versicherung

Schmid, Jennifer Regina

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt,
dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel

Die Kraft der Gedanken:

**Eine explorative Studie zum Einsatz von Gehirn-Computer-Schnittstellen bei
gesunden Nutzern**

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, 08.12.2019

Jennifer Regina Schmid

Ort, Datum

Unterschrift Doktorandin