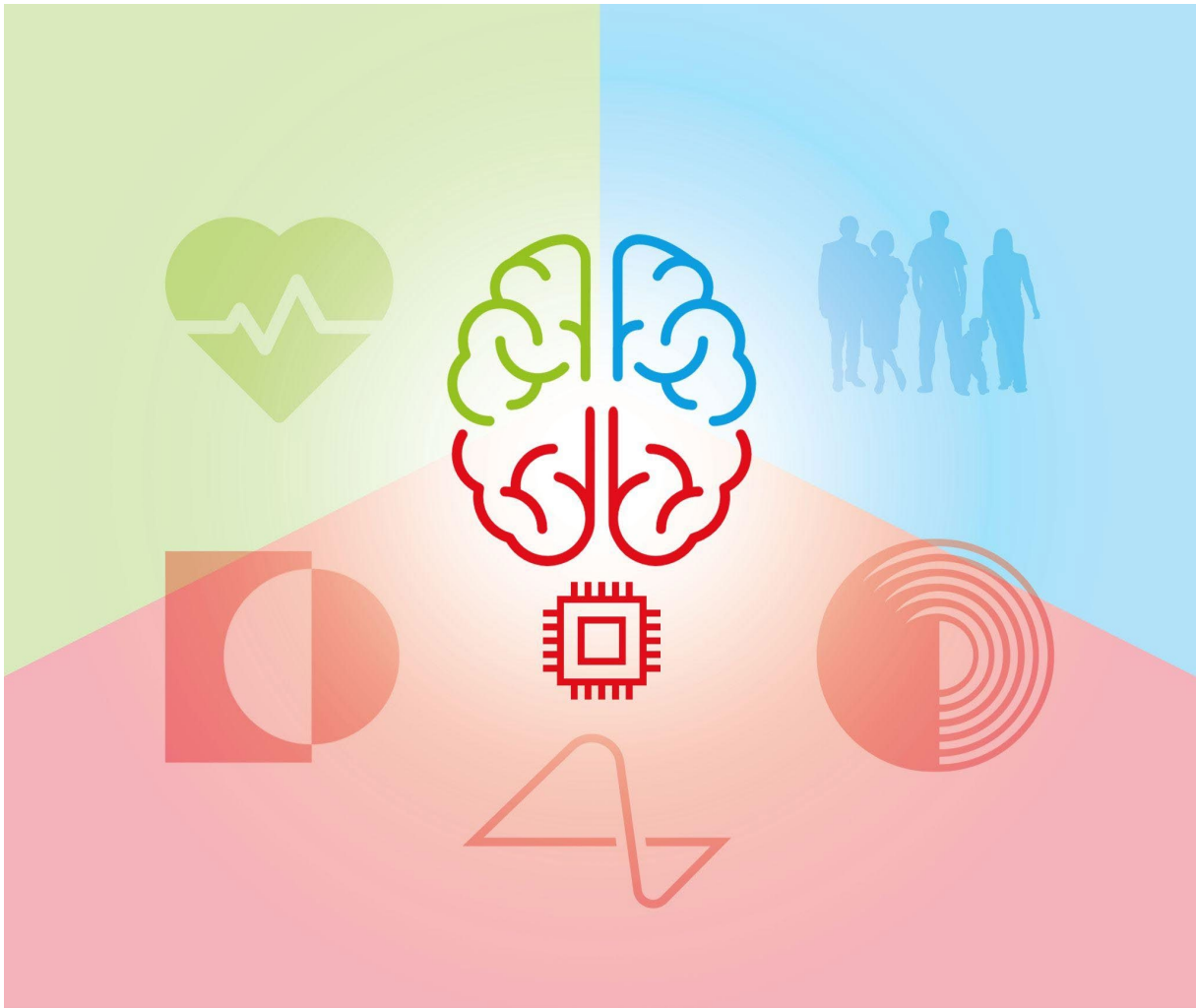




How do BCI companies draw their vision in light of social and medical discourses?

Sociotechnical Futures in BCI Engineering

Robert Moors · Franziska Raab · Philipp Schuster · Maria Zharova

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
2	Ziel.....	5
3	Brain-Computer-Interface	5
4	Forschungsfrage.....	6
5	Methodisches Vorgehen.....	6
5.1	Analyse-Raster.....	8
6	Medizinischer Diskurs.....	9
6.1	Auswertung.....	10
6.1.1	Risiken des Experiments und Implantation.....	10
6.1.2	Produkt- und Nutzungssicherheit	11
6.1.3	Psychologische Auswirkungen	12
6.1.4	Potenzial und Fortschritt der BCI-Technologie	14
6.1.5	Inklusive Kommunikation.....	16
6.1.6	Medizinische Anwendungen	17
6.1.7	Zukunft der Medizin.....	19
6.1.8	Falsche Versprechungen	21
6.2	Fazit	21
7	Gesellschaftlicher Diskurs.....	22
7.1	Studien.....	22
7.1.1	Studie 1.....	22
7.1.2	Studie 2.....	24
6.2	Auswertung.....	27
7.2.1	Risiken des Experiments und Implantation.....	31
7.2.2	Produkt- und Nutzungssicherheit	31
7.2.3	Psychologische Auswirkungen	32
7.2.4	Potenzial und Fortschritt der BCI-Technologie / Inklusive Kommunikation / Medizinische Anwendungen.....	32
7.2.5	Zukunft der Medizin.....	32
7.2.6	Falsche Versprechungen	32
8	Firmen und Kommunikation	35
8.1	Blackrock Neurotech	35
8.1.1	Risiken des Experiments und Implantation.....	35
8.1.2	Produkt- und Nutzungssicherheit	35

8.1.3	Psychologische Auswirkungen	36
8.1.4	Potenzial und Fortschritt der BCI-Technologie	36
8.1.5	Inklusive Kommunikation.....	37
8.1.6	Medizinische Anwendungen	37
8.1.7	Zukunft der Medizin.....	37
8.1.8	Falsche Versprechungen	38
8.2	Paradromics	38
8.2.1	Risiken des Experiments und Implantation.....	38
8.2.2	Produkt- und Nutzungssicherheit	39
8.2.3	Psychologische Auswirkungen	39
8.2.4	Potenzial und Fortschritt der BCI-Technologie	40
8.2.5	Inklusive Kommunikation.....	40
8.2.6	Medizinische Anwendungen	40
8.2.7	Zukunft der Medizin.....	41
8.2.8	Falsche Versprechungen	41
8.3	Neuralink	41
8.3.1	Risiken des Experiments und Implantation.....	41
8.3.2	Produkt- und Nutzungssicherheit	42
8.3.3	Psychologische Auswirkungen	43
8.3.4	Potenzial und Fortschritt der BCI-Technologie	43
8.3.5	Inklusive Kommunikation.....	44
8.3.6	Medizinische Anwendungen	44
8.3.7	Zukunft der Medizin.....	45
8.3.8	Falsche Versprechungen	45
9	Ergebnisse.....	46
10	Schlussfolgerung / Ausblick	47
11	Literaturverzeichnis	49

1 Einleitung

In der Soziologie gibt es nicht nur Theorien, bei denen vorrangig gegenwärtige Objekte und Handlungskontexte beleuchtet werden, sondern auch Ansätze, die die Entstehung und Wirkung imaginierter Zukünfte analysieren. (vgl. Roßmann 2020) In Technikvisionen, Entwicklungsleitbildern und Zukunftsszenarien drücken sich Vorstellungen weitreichender „soziotechnischer Zukünfte“ aus, die vorgestellte Technikentwicklungen in Relation zu gesellschaftlichen Veränderungen stellen. (vgl. Lösch 2017) Soziotechnische Zukünfte sind wichtige Elemente bei der Steuerung von Innovationsprozessen. Im Allgemeinen bezieht man sich dabei auf das Potenzial von Technik und Wissenschaft und wie dadurch gesellschaftliche Veränderungen einhergehen können. (vgl. Böhle/Konrad 2019) In der Technikfolgenabschätzung werden Szenarien entwickelt, in denen zukünftige Technik in einen gesellschaftlichen Zusammenhang gestellt wird, um frühzeitig zu überlegen, ob es hier zu unerwünschten und nicht intendierten Folgen kommen kann, und was im Falle des Falles ebenso frühzeitig getan werden kann, um diese zu verhindern oder zu minimieren. (vgl. Grunwald 2012) Es existiert eine Vielzahl an Formen, durch die Technikzukünfte kommuniziert werden können: Erwartungen, Szenarien, Visionen. Und eine Vielzahl an Materialisierungen, die sie annehmen können: Roadmaps, Filme, Science Fiction Comics etc. (vgl. Schönewolf 2020) Soziotechnischen Zukünften werden im Unterschied zu etablierten Technologien ein hohes transformatives Potential beigemessen, obwohl sie zumeist noch sehr weit von der Anwendung entfernt sind bzw. es sogar unklar ist, ob eine praktische Umsetzung der Vision überhaupt möglich ist. Vor allem die Analyse der Debatte um mögliche Folgen der Nanotechnologie verlangte nach einer methodischen Erweiterung der Technikfolgenabschätzung (TA), was den Analysefokus von den möglichen Folgen neuer oder im Entstehen begriffener Wissenschaften und Technologien auf die Debatten um diese und die Folgen dieser Debatten verlagert. Die Folgeerwartungen, die mit visionären Technologien wie Nanotechnologie, Human-Enhancement, Synthetischer Biologie oder Künstlicher Intelligenz verbunden sind, wirken sich nicht nur auf die Gestaltung der Technologien aus, sondern in ihnen spiegeln sich zudem gegenwärtige Ängste und Hoffnungen. (vgl. Dobroc/Frey/Hausstein/Heil/Lösch/Roßmann/Schneider 2022)

2 Ziel

Als Ausgangspunkt dieses Projekts dienen die Kommunikationsstrategien ausgewählter Unternehmen, deren Produkte sich unter Umständen noch vollständig in der Entwicklungsphase befinden. Ziel ist es dabei zu verstehen, wie soziotechnische Zukünfte entstehen und wie Firmen ihre Innovationsziele im Kontext gesellschaftlicher und medizinischer Diskurse kommunizieren. Anhand eines geeigneten Forschungsfeldes soll nachvollziehbar gemacht werden, wie diese Wechselwirkung im Einzelnen stattfindet. Aufgrund der Neuartigkeit einer Technologie, sowie der Aussicht, dass in unmittelbarer Zeit keine flächendeckende Etablierung entsprechender Produkte stattfindet, wird im Rahmen dieser Forschungsarbeit auf die Auswertung möglicher politischer Standpunkte und Diskussionen verzichtet.

3 Brain-Computer-Interface

Bei „Brain-Computer-Interface“ (BCI) handelt es sich um eine Technologie, die direkte Kommunikationswege zwischen Gehirn und externen Geräten ermöglicht. BCIs erfassen und interpretieren Gehirnaktivitäten, meist durch Elektroenzephalographie (EEG) oder Implantate, um Signale in Befehle für Computer oder andere Maschinen umzuwandeln. Dies erlaubt es Nutzern, Geräte nur durch ihre Gedanken zu steuern (vgl. Shih & Krusienski & Wolpaw, 2012). BCIs werden in verschiedenen Bereichen eingesetzt, darunter Medizin, Neurorehabilitation und Unterhaltung. In der Medizin helfen sie beispielsweise gelähmten Patienten, Computer zu bedienen oder Prothesen zu steuern. In der Neurorehabilitation unterstützen sie Patienten bei der Wiedererlangung von Bewegungsfähigkeiten nach Schlaganfällen. Auch in Videospielen könnten BCIs zukünftig Anwendung finden. (vgl. Fehrenberg 2020) Die Entwicklung und Anwendung von BCIs wirft sowohl technische als auch ethische Fragen auf, insbesondere in Bezug auf Datenschutz, Sicherheit und die langfristigen Auswirkungen auf das menschliche Gehirn. Damit fallen BCIs in den Bereich des Transhumanismus. Der Begriff beschreibt in erster Linie, dass durch die Nutzung modernster Technologien die menschliche Natur überwunden wird, wodurch beispielsweise die Lebensdauer erhöht oder die Intelligenz verbessert werden könnte. Letztlich ist der Transhumanismus allerdings seit jeher umstritten und wird entweder als gefährliche Ideologie oder Zukunft der Medizin gesehen (vgl. Dreher, 2023).

4 Forschungsfrage

Analog zur Zielsetzung des Projekts wird folgende Forschungsfrage formuliert: „How do BCI companies draw their vision in light of social and medical discourses?“

5 Methodisches Vorgehen

Im nächsten Schritt erfolgt die Suche nach geeigneten Firmen, die im Bereich der BCI-Technologie tätig sind. Hierbei fällt die Wahl auf die drei prominenten Akteure „Blackrock Neurotech“, „Neuralink“ und „Paradromics“. Während einer ersten Arbeitsphase werden grundlegende Informationen zu den Firmen, ihren Visionen sowie ihrer Kommunikationsstrategie gesammelt. (Abbildung 1-3)



BLACKROCK NEUROTECH

- **Gründer:**
Florian Solzbacher & Marcus Gerhardt
- **Gründungsjahr:**
2008
- **Hauptsitz:**
Salt Lake City, Utah, USA
- **Social Media:**
LinkedIn (24.000 Follower:innen)
X (5.523 Follower:innen)
Instagram (2.093 Follower:innen)
YouTube (1.190 Follower:innen)

Vision

- **Zielgruppe:**
 - Menschen mit Querschnittslähmung und anderen neurologischen Störungen, wie z.B. ALS
- **Ziel:**
 - Wollen Millionen von Menschen mit Lähmungen das Laufen, Reden, Hören, Sehen und Fühlen wieder ermöglichen
 - Kommunikation über Gedanken und Nutzung von Computern
 - Betroffene Menschen sollen wieder am Leben teilnehmen können
 - Wollen allen ALS Patienten Zugang zu ihren BCIs ermöglichen
- **Zukunft:**
 - Kleinere und leistungsfähigere Implantate in 20 bis 30 Jahren
 - Wollen nicht zu weit in die Zukunft schauen, sondern sich auf die aktuellen Probleme konzentrieren
 - „Ich halte es aber für falsch, den Leuten, die diese Technologie jetzt benötigen, den Weg zu versperren, nur weil man sie vielleicht in 15 bis 20 Jahren anders einsetzen könnte.“ Florian Solzbacher

Aktueller Stand

- **Besonderheit:**
 - Haben mit die meiste Erfahrung im Gebiet
 - Haben eigenes Ökosystem mit kompatiblen Neuroprothesen etc.
 - Viele Partnerschaften
 - FDA Breakthrough Device Designation erhalten
- **Anzahl der Patienten:**
 - 28 (Stand 2021) – insgesamt 30.000 Einsatztage von BCIs in Patienten (2022)
- **Erfahrungen von Patienten:**
 - „Knowing the technology and knowing where it's going I definitely would do it again because I know it's something that would improve my quality of life.“ Ian Burkhardt
 - Patient James Johnson konnte 2022 als erster Mensch ein Fahrzeug mit Gedanken steuern; in einem Video wurde zudem gezeigt, wie er mit Photoshop Bilder über seine Gedanken erstellt und bearbeitet
 - Patienten konnten zudem wieder Wörter tippen und Spiele spielen
- **Kritik:**
 - -

Abbildung 1: Steckbrief zu „Blackrock Neurotech“



NEURALINK

- **Gründer:**
Elon Musk
- **Gründungsjahr:**
2016
- **Hauptsitz:**
San Francisco, Kalifornien, USA
- **Social Media:**
X (1,4 Mio Follower:innen)
YouTube (381.000 Follower:innen)
LinkedIn (340.000 Follower:innen)
Instagram (160.000 Follower:innen)
Facebook (190 Follower:innen)

Vision

- **Zielgruppe:**
 - Menschen mit Tetraplegie (Form von Querschnittslähmung)
- **Ziel:**
 - Steuerung von Computern und mobilen Geräten mit Gedanken für Menschen mit Tetraplegie
- **Zukunft:**
 - Sehkraft, motorische Funktion und Sprache wiederherstellen
 - Human Enhancement in Verbindung mit künstlicher Intelligenz

Aktueller Stand

- **Besonderheit:**
 - Implantation gestützt durch chirurgischen Roboter
 - Verwendung von sehr feinen, flexiblen Elektroden (sog. „Threads“), um neuronale Signale zu verarbeiten
 - Invasiver Eingriff
- **Anzahl der Patienten:**
 - 1
- **Erfahrungen von Patienten:**
 - N. Arbaugh (Tetraplegiker): Nutzung des Implantats unter der Woche bis zu acht Stunden täglich für Forschungssitzungen und am Wochenende bis zu zehn Stunden pro Tag für persönliche Zwecke. Beispielsweise zur Kommunikation auf sozialen Medien oder für Fantasy Sport wie Civilization 6. Auf den sozialen Medien von Neuralink wurden einige Videos mit Arbaugh veröffentlicht, inklusive eines Livestreams auf X.
- **Kritik:**
 - Mangelnde Transparenz seitens Neuralink bezüglich detaillierter Informationen über die Technologie und ethische Überlegungen (Musk Must Open Up Neuralink After Teasing Details On Human Experiments, Experts Warn (forbes.com)).
 - 2022 Beschwerde des Physicians Committee for Responsible Medicine beim US-Landesministerium aufgrund Aufzeichnungen, bei denen Affen „extremes Leid“ erfahren hätten. Neuralink wies Vorwürfe zurück: „Wir bei Neuralink haben uns verpflichtet, mit Tieren auf möglichst humane und ethische Weise zu arbeiten“ (Blogpost Neuralink)
 - „Skandal“, da sich etwa einem Monat nach dem Einsatz bei N. Arbaugh unerwartet Drähte des Geräts lösten. Kritik an der Wirksamkeit des Devices, allerdings reagierte Neuralink darauf, indem zum Ausgleich u.a. der Algorithmus zum Registrieren der Gehirnaktivität empfindlicher gemacht wurde. (Erstes Neuralink-Implantat hat sich zu 85 Prozent vom Gehirn gelöst (futurezone.at))

Abbildung 2: Steckbrief zu „Neuralink“



PARADROMICS

- **Gründer:**
Matt Angle
- **Gründungsjahr:**
2015
- **Hauptsitz:**
Austin, Texas, USA
- **Social Media:**
LinkedIn (17.000 Follower:innen)
X (2.942 Follower:innen)

Vision

- **Zielgruppe:**
 - Patienten mit ALS, Wirbelsäulenverletzungen oder Schlaganfällen
- **Ziel:**
 - Patienten sollen wieder Cursor bewegen und über Text oder synthetische Sprache kommunizieren können
 - Patienten sollen zudem wieder sehen, laufen und fühlen können
 - Wollen damit Millionen Menschen helfen
 - Reframing des Hirns als Datenorgan, um neue Erkenntnisse in der Behandlung von Krankheiten zu gewinnen
 - Langlebige und zuverlässige BCIs produzieren
- **Zukunft:**
 - Behandlung von mentalen Krankheiten zukünftig vermutlich möglich (Depression, OCD, PTBS)
 - Erweiterung der eigenen Technologie um das Patientenspektrum auszuweiten
 - BCIs sollen zukünftig so selbstverständlich wie Herzschrittmacher werden

Aktueller Stand

- **Besonderheit:**
 - Geräte mit hoher Datenrate > können Signale von über 1000 Elektroden aufnehmen (höhere Qualität der Daten) > Vorteil gegenüber Mitbewerbern
 - Bewährte und sichere Eingriffe, um neue Regularien und gesundheitliche Risiken zu umgehen
 - FDA Breakthrough Device Designation erhalten
- **Anzahl der Patienten:**
 - derzeit noch keine
- **Erfahrungen von Patienten:**
 - -
- **Kritik:**
 - Operation am offenen Gehirn > BCIs vom Hirn weniger angenommen

Abbildung 3: Steckbrief zu „Paradromics“

Anschließend beschäftigt sich ein Teil der Gruppe mit der Recherche zu medizinischen Diskursen, in denen sich Ärzte und Experten gezielt mit dem Thema BCI auseinandersetzen. Ein weiterer Teil untersucht den gesellschaftlichen Diskurs und die öffentliche Wahrnehmung dieser Technologie. Die dritte Gruppe beschäftigt sich mit den Kommunikationskanälen und -inhalten der zu untersuchenden Firmen.

5.1 Analyse-Raster

Für die Auswertung von Ergebnissen und die Identifikation möglicher Korrelationen zwischen den untersuchten Punkten wird für das weitere Vorgehen ein Analyse-Raster als elementares methodisches Werkzeug erstellt. Diese Matrix soll dazu dienen, die Ergebnisse so anzuordnen und zu positionieren, dass Zusammenhänge grafisch zueinander ausgerichtet sind. Somit wird während einer laufenden Untersuchung schnell deutlich, welche Kriterien sich als besonders wichtig herausstellen, da sie für alle Aspekte relevant sind. Zu Beginn wird ein Template erstellt, das im weiteren Verlauf des Projekts befüllt werden soll. (Abbildung 4)

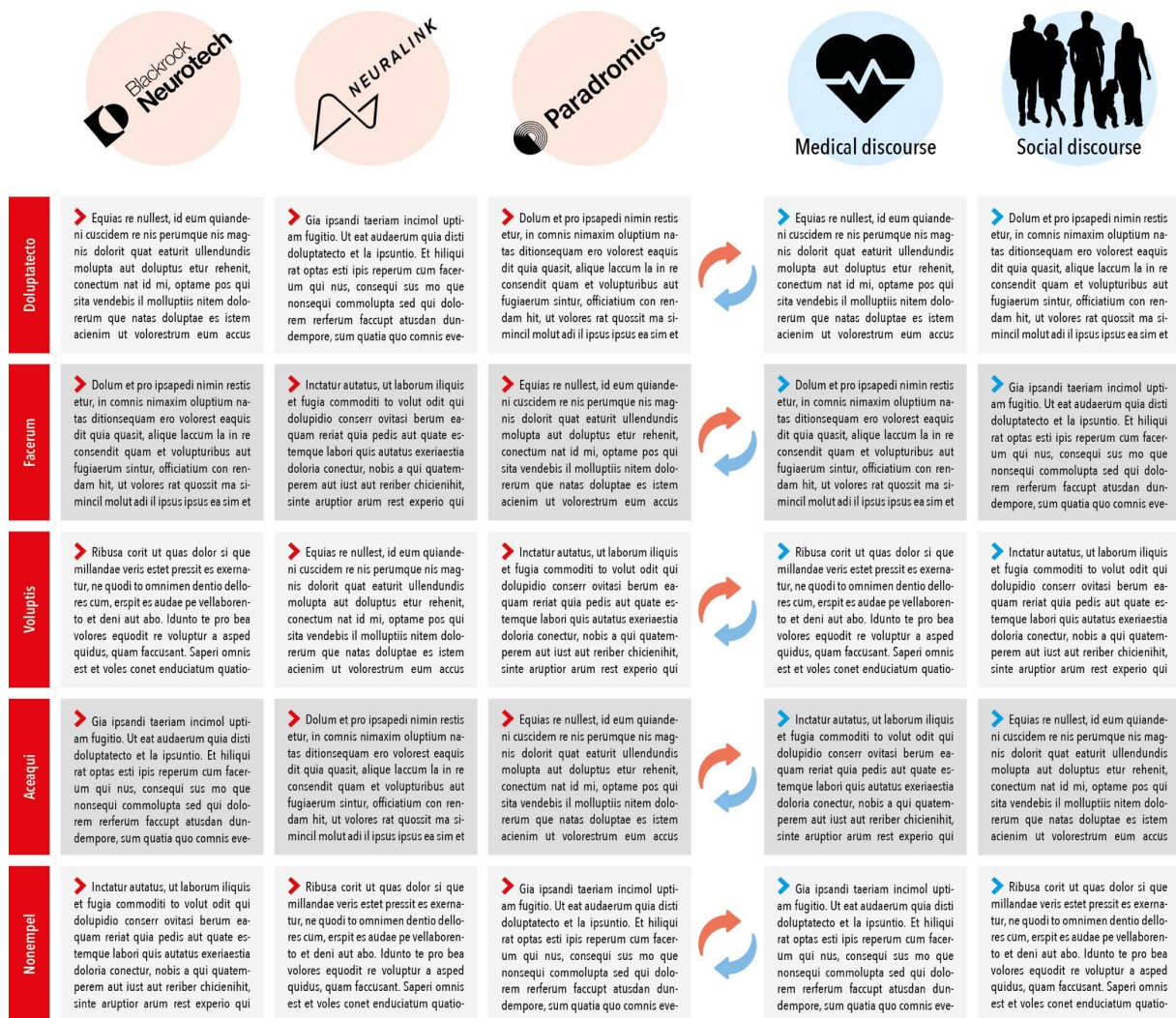


Abbildung 4: Template Analyse-Raster

6 Medizinischer Diskurs

Invasive Brain-Computer-Interfaces (BCIs) für medizinische Zwecke sind ein zentraler Punkt im aktuellen medizinischen Diskurs, da sie sowohl erhebliche Risiken als auch ethische Herausforderungen mit sich bringen. Diese Technologie ermöglicht direkte Kommunikationswege zwischen dem Gehirn und externen Geräten und bietet insbesondere Menschen mit schweren neurologischen Erkrankungen oder Behinderungen die Chance, ihre verlorenen körperlichen und geistigen Funktionen wiederherzustellen (Clément, 2023). Trotz des vielversprechenden Potenzials von BCIs müssen jedoch verschiedene Risiken und Bedenken berücksichtigt werden. Diese umfassen nicht nur medizinische Komplikationen, wie etwa Infektionen und mögliche Gewebeschäden durch die Invasivität der Verfahren, sondern auch tiefgreifende ethische Fragen, wie die Gewährleistung der Datensicherheit und den Schutz der persönlichen Autonomie (Alghamdi et al., 2024). Solche Risiken erfordern eine sorgfältige

Abwägung, um die Vorteile dieser innovativen Technologien verantwortungsvoll nutzen zu können.

6.1 Auswertung

6.1.1 Risiken des Experiments und Implantation

Die Implantation invasiver Brain-Computer Interfaces (BCIs) birgt erhebliche medizinische Risiken, die sorgfältig berücksichtigt werden müssen. Eines der gravierendsten Risiken ist die potenzielle Schädigung des Gehirns. Da diese Geräte chirurgisch in das empfindliche Hirngewebe eingeführt werden, besteht immer die Gefahr, dass dieses Gewebe verletzt wird. Studien zeigen, dass postoperative Komplikationen wie Hirnblutungen oder -schwellungen bei etwa fünf bis zehn Prozent der Patienten auftreten können. Diese Komplikationen können zu langfristigen neurologischen Schäden führen und erfordern eine sorgfältige postoperative Überwachung und Behandlung (vgl. Fenoy & Simpson, 2014). Grundsätzlich gilt, dass jeder operative Eingriff das Risiko einer Hirnblutung begünstigt.

Zum Vergleich: Bei herkömmlichen neurochirurgischen Eingriffen, wie der Entfernung eines Gehirntumors, treten postoperative Komplikationen wie Blutungen oder Schwellungen ebenfalls auf. Die Raten variieren je nach Komplexität des Eingriffs und der Erfahrung des Chirurgen, liegen jedoch im Allgemeinen ebenfalls bei etwa fünf bis zehn Prozent. Eine Studie von McClelland & Hall (2007) zeigt, dass postoperative Komplikationen, einschließlich Blutungen, in diesem Bereich ähnlich häufig auftreten, was darauf hinweist, dass das Risiko bei invasiven BCI-Implantationen vergleichbar mit anderen komplexen Gehirnoperationen ist. Ein weiteres erhebliches Risiko ist die Möglichkeit von Infektionen. Jede Gehirnoperation öffnet eine direkte Eintrittspforte für Bakterien, was zu schweren Infektionen wie Meningitis oder Enzephalitis führen kann. Die Infektionsrate bei invasiven BCI-Implantationen liegt zwischen zwei bis fünf Prozent, abhängig von den spezifischen chirurgischen Techniken und den verwendeten Materialien. Diese Infektionen können lebensbedrohlich sein und erfordern oft eine intensive antibiotische Behandlung und möglicherweise weitere chirurgische Eingriffe (vgl. Paluzzi et al., 2006).

Da die Implantation von BCIs häufig in die Großhirnrinde (cortex cerebri) erfolgt, kann eine Schädigung dieses Bereichs zu motorischen Defiziten führen. In einigen Fällen wurden dauerhafte Lähmungen beobachtet, die die Lebensqualität der Betroffenen erheblich

beeinträchtigen können. Diese motorischen Defizite können zu erheblichen Einschränkungen im täglichen Leben führen und erfordern eine umfassende Rehabilitation.

Im Extremfall kann die Implantation von invasiven BCIs zum Tod führen. Obwohl dies selten ist, wurden Fälle dokumentiert, in denen Patienten an den Folgen von Komplikationen nach der Operation gestorben sind. Diese Todesfälle sind in der Regel auf schwerwiegende postoperative Komplikationen wie massive Blutungen oder schwere Infektionen zurückzuführen (vgl. Fenoy & Simpson, 2014; McClelland & Hall, 2007; Paluzzi et al., 2006).

6.1.2 Produkt- und Nutzungssicherheit

Die Produkt- und Nutzungssicherheit invasiver Brain-Computer Interfaces (BCIs) ist ein kritischer Aspekt, der im medizinischen Diskurs intensiv diskutiert wird. Technologische Fehlfunktionen könnten schwerwiegende Auswirkungen auf das mentale und physische Wohlbefinden der Nutzer haben. Beispielsweise könnten falsch interpretierte Signale zu unerwünschten Bewegungen oder anderen unerwarteten Reaktionen führen.

Ein häufig diskutiertes Problem ist die Zuverlässigkeit der Signalinterpretation durch das BCI. Da BCIs darauf angewiesen sind, elektrische Signale aus dem Gehirn präzise zu interpretieren, können Fehler in der Signalverarbeitung gravierende Folgen haben. Studien zeigen, dass etwa 10 bis 15 Prozent der BCI-Nutzer unerwartete Bewegungen oder Fehlfunktionen erleben, die auf fehlerhafte Signalinterpretation zurückzuführen sind (vgl. Abdulkader, Atia & Mostafa, 2015).

Ein weiteres wichtiges Thema ist die Langlebigkeit und Stabilität der implantierten Geräte. Da BCIs über längere Zeiträume im Gehirn verbleiben müssen, besteht das Risiko, dass die Implantate im Laufe der Zeit verschleifen oder beschädigt werden. Dies könnte nicht nur zu einem Verlust der Funktionalität führen, sondern auch zu körperlichen Schäden, wenn sich Teile des Implantats lösen oder das umliegende Gewebe schädigen. Untersuchungen haben gezeigt, dass bei etwa 20 Prozent der Langzeit-BCI-Nutzer Komplikationen auftreten, die auf die Degradation, also auf die Alterung der Implantate zurückzuführen sind (vgl. Gharabaghi, 2016).

Zusätzlich zu den physischen Risiken gibt es Bedenken hinsichtlich der psychischen Auswirkungen. Nutzer von BCIs müssen sich an die Präsenz eines technischen Geräts im Gehirn anpassen, was zu Stress, Angst oder anderen psychischen Belastungen führen kann. Einige Studien berichten, dass Nutzer depressive Symptome oder eine Verschlechterung ihrer

psychischen Gesundheit erfahren haben, die mit der Nutzung des BCIs in Zusammenhang stehen (vgl. Lebedev & Nicolelis, 2006).

Ein weiteres Risiko besteht in der potenziellen Fehlfunktion der externen Geräte, die mit dem BCI kommunizieren. Wenn diese Geräte ausfallen oder fehlerhaft arbeiten, könnte dies die Kommunikation zwischen dem Gehirn und der externen Umgebung beeinträchtigen. Beispielsweise könnte ein Geräteausfall zu einem plötzlichen Verlust der Bewegungssteuerung führen, was besonders gefährlich für Nutzer ist, die auf das BCI angewiesen sind, um grundlegende Funktionen wie das Gehen oder Greifen zu steuern (vgl. Fenoy & Simpson, 2014).

6.1.3 Psychologische Auswirkungen

Die psychologischen Auswirkungen invasiver Brain-Computer Interfaces (BCIs) sind ein bedeutendes, jedoch noch wenig erforschtes Thema. Während die technologische Weiterentwicklung von BCIs voranschreitet, bleiben die psychologischen und kognitiven Konsequenzen für die Nutzer oft unzureichend beleuchtet. Wichtige Bereiche, die einer detaillierteren Untersuchung bedürfen, umfassen kognitive Ermüdung, Veränderungen in den kognitiven Funktionen sowie die Auswirkungen auf persönliche Identität und psychische Gesundheit.

Ein wesentlicher Aspekt, der im Zusammenhang mit BCIs untersucht werden sollte, ist die kognitive Ermüdung. Die kontinuierliche Interaktion mit dem Gerät, das ständige Erfordernis der Aufmerksamkeit und Kontrolle, kann zu einer Überlastung der kognitiven Ressourcen führen. In diesem Kontext berichten Studien von einer erhöhten Ermüdung und Konzentrationsschwierigkeiten bei Nutzern von BCIs, insbesondere nach längeren Nutzungszeiten (vgl. Ramos-Murguialday et al., 2013). Diese Erkenntnisse verdeutlichen die Notwendigkeit, die Auswirkungen der kontinuierlichen BCI-Nutzung auf die kognitive Belastung der Nutzer besser zu verstehen.

Darüber hinaus sind Veränderungen in den kognitiven Funktionen ein weiteres bedeutendes Forschungsfeld im Zusammenhang mit BCIs. Die ständige Interaktion mit diesen Technologien kann die neuronale Plastizität beeinflussen, was sowohl positive als auch negative Effekte auf die kognitiven Fähigkeiten haben kann. Auf der positiven Seite zeigen Studien, dass BCIs zu signifikanten Verbesserungen in motorischen und sensorischen Fähigkeiten führen können. Zum Beispiel hat eine Untersuchung gezeigt, dass BCIs durch gezielte Stimulation und Feedback Fortschritte bei der motorischen Rehabilitation von Patienten mit motorischen

Einschränkungen ermöglichen können (vgl. Gharabaghi et al., 2016). In diesem Zusammenhang illustriert Abbildung 5 die numerischen Ergebnisse der wahren Positivrate (TPR) (A) und der falschen Positivrate (FPR) (B) für beide Probanden, basierend auf dem Durchschnitt über die Versuche, und verdeutlicht die Effizienz der BCI-Stimulation in der Verbesserung motorischer Fähigkeiten.

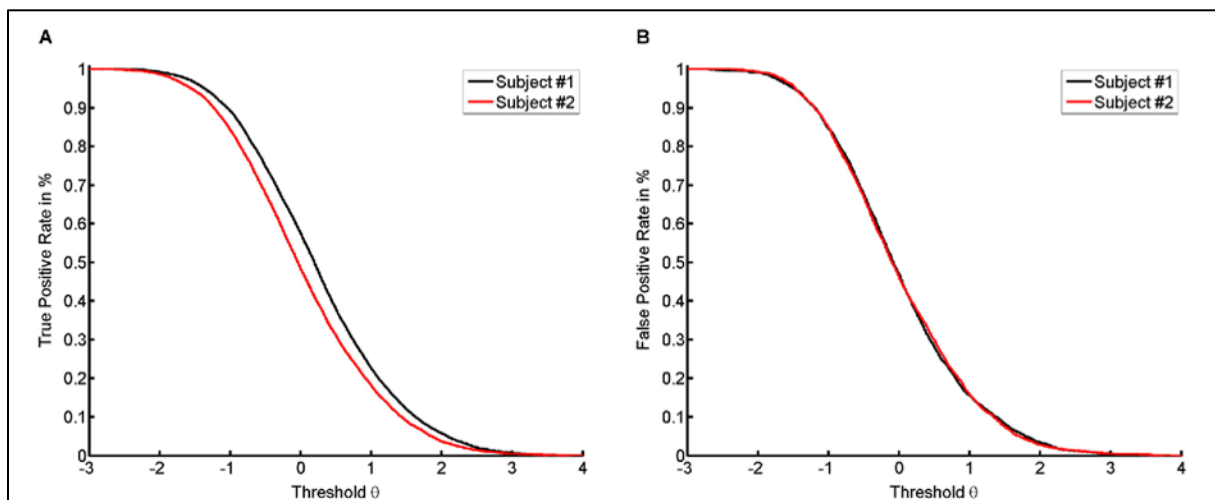


Abbildung 5: Quelle: (PDF) Estimating cognitive load during self-regulation of brain activity and neurofeedback with therapeutic brain-computer interfaces (researchgate.net).

Neben den positiven Aspekten, müssen in Anbetracht der BCI-Technologie auch negative Auswirkungen in Bezug auf kognitive Funktionen berücksichtigt werden. Es gibt Hinweise darauf, dass die Nutzung solcher Technologien andere kognitive Bereiche, wie Gedächtnis oder exekutive Funktionen, beeinträchtigen könnte (vgl. Lebedev & Nicolelis, 2006). Diese dualen Effekte unterstreichen die Notwendigkeit, sowohl die positiven als auch die negativen Auswirkungen der BCI-Nutzung umfassend zu untersuchen.

Die Integration eines technischen Geräts in das Gehirn bringt zudem komplexe Veränderungen im Selbstbild und in der persönlichen Identität mit sich. Die Nutzer könnten Schwierigkeiten haben, ihre Identität als „Mensch“ und „Maschine“ zu vereinbaren, was zu Identitätskrisen und psychischen Belastungen führen kann. Darüber hinaus könnte die ständige Überwachung und Kontrolle durch das Gerät das Gefühl von Autonomie und Freiheit beeinträchtigen, was zu erhöhtem Stress, Angstzuständen und Depressionen führen kann (vgl. Lebedev & Nicolelis, 2006). Diese psychischen Aspekte erfordern ebenfalls besondere Aufmerksamkeit, da sie die Lebensqualität der Nutzer erheblich beeinflussen können.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit, dass die Nutzung von BCIs die soziale Isolation verstärken könnte. Da die Technologie möglicherweise nicht weit verbreitet oder gut verstanden wird,

könnten Nutzer sich von anderen Menschen entfremdet fühlen. Dies könnte das Gefühl der Einsamkeit verstärken und die psychische Gesundheit negativ beeinflussen (Reinhart & Nguyen, 2019).

Abschließend ist es wichtig zu beachten, dass die langfristigen psychologischen Auswirkungen von BCIs derzeit weitgehend unerforscht sind. Die meisten bestehenden Studien konzentrieren sich auf kurzfristige Effekte und klinische Ergebnisse, während die langfristigen Konsequenzen für die kognitive und emotionale Gesundheit der Nutzer noch unklar sind. Um die vollständige Bandbreite der psychologischen Auswirkungen zu verstehen und geeignete Unterstützungsmaßnahmen zu entwickeln, sind umfassende, langfristige Studien erforderlich (vgl. Sitaram et al., 2017).

6.1.4 Potenzial und Fortschritt der BCI-Technologie

Die Brain-Computer-Interface (BCI)-Technologie hat in den letzten Jahren bedeutende Fortschritte gemacht und bietet ein enormes Potenzial zur Transformation verschiedener medizinischer und technischer Anwendungsbereiche. BCIs ermöglichen tiefgehende Einblicke in die Gehirnfunktionen und bieten innovative Ansätze zur Behandlung und Unterstützung von Menschen mit neurologischen und psychiatrischen Erkrankungen.

Ein herausragendes Anwendungsgebiet von BCIs ist die Behandlung neurologischer Erkrankungen und die Rehabilitation nach Schlaganfällen. Durch die direkte Kommunikation mit dem Gehirn können BCIs die Erholung und Wiederherstellung motorischer Funktionen fördern. Patienten, die nach einem Schlaganfall teilweise gelähmt sind, können durch gezielte neuronale Stimulation und Feedback trainiert werden, ihre Bewegungsfähigkeiten (siehe Abbildung 6) zurückzuerlangen (vgl. Gharabaghi, 2016).



Abbildung 6: Quelle: KI generiertes Bild "Querschnittgelähmter Mensch, schafft es mithilfe einer BCI Technologie zu laufen". Generiert am: 19.06.2024 auf Adobe Firefly. Generiert von: Zharova, Maria.

Darüber hinaus spielen BCIs eine entscheidende Rolle bei der Steuerung von Prothesen. Menschen mit amputierten Gliedmaßen können durch BCIs Prothesen mit ihren Gedanken steuern, was ihre Unabhängigkeit und Lebensqualität erheblich verbessert. Diese Technologie nutzt neuronale Signale, um komplexe Bewegungen zu ermöglichen, die nahezu natürliche Bewegungen nachahmen (vgl. Clement et al., 2021).

BCIs haben auch das Potenzial, die Behandlung von psychischen Erkrankungen wie Depressionen und posttraumatischen Belastungsstörungen (PTBS) zu revolutionieren. Durch die Überwachung und Regulierung der Gehirnaktivität können BCIs helfen, abnorme neuronale Muster zu identifizieren und zu korrigieren, was zu einer Linderung der Symptome führen kann. Beispielsweise können neuronale Stimulationstechniken verwendet werden, um die Aktivität

in bestimmten Hirnregionen zu modulieren und dadurch depressive Zustände zu mildern (vgl. Reinhart & Nguyen, 2019).

Ein weiterer vielversprechender Bereich ist die Wiederherstellung und Verbesserung kognitiver und sensorischer Fähigkeiten. BCIs können genutzt werden, um die Informationsverarbeitung im Gehirn zu beschleunigen, das Lernen zu verbessern und neue Sinneserfahrungen zu ermöglichen. Dies könnte erhebliche Auswirkungen auf die Bildung und berufliche Schulungen haben, indem es neue Methoden zur Wissensvermittlung und Fähigkeitsentwicklung bietet. Schüler und Berufstätige könnten durch BCIs effizienter lernen und komplexe Aufgaben schneller bewältigen (vgl. Sitaram et al., 2017).

Die Auswirkungen von BCIs auf das tägliche Leben und die Interaktion der Menschen mit Technologie sind ebenfalls tiefgreifend. BCIs könnten die Art und Weise revolutionieren, wie Menschen mit Computern und anderen technischen Geräten interagieren. Anstatt herkömmliche Eingabegeräte wie Tastaturen oder Mäuse zu verwenden, könnten Menschen ihre Geräte direkt mit ihren Gedanken steuern, was eine natürliche und intuitive Interaktion ermöglicht (vgl. Lebedev & Nicolelis, 2006).

6.1.5 Inklusive Kommunikation

Die Brain-Computer-Interface (BCI)-Technologie bietet bedeutende Fortschritte in der inklusiven Kommunikation, insbesondere für Menschen mit Behinderungen wie Lähmungen oder Amyotropher Lateralsklerose (ALS). BCIs dekodieren neuronale Aktivitäten und ermöglichen es den Nutzern, Aktionen auszulösen und so ihre Kommunikationsfähigkeiten und die Kontrolle über Prothesen wiederzuerlangen. Diese Technologie trägt erheblich zur Inklusion und Barrierefreiheit bei und verbessert die Lebensqualität der Betroffenen.

Ein wesentliches Anwendungsgebiet von BCIs ist die Unterstützung von Menschen mit schweren motorischen Einschränkungen. Für Menschen mit Lähmungen oder ALS, die keine herkömmlichen Kommunikationsmittel wie Sprache oder Gesten nutzen können, bieten BCIs eine direkte Schnittstelle zum Gehirn. Durch die Dekodierung neuronaler Signale können BCIs es diesen Personen ermöglichen, über Gedankensteuerung zu kommunizieren. Dies geschieht beispielsweise durch die Verwendung von virtuellen Tastaturen oder Sprachsynthesizern, die durch Gehirnaktivität gesteuert werden (vgl. Wolpaw et al., 2012).

Ein konkretes Beispiel für den Einsatz von BCIs ist die Kommunikation über neuronale Textverarbeitungssysteme. Menschen mit ALS können durch BCIs neuronale Signale in

Buchstaben und Wörter umwandeln, die dann auf einem Bildschirm angezeigt oder durch einen Sprachsynthesizer ausgegeben werden. Studien haben gezeigt, dass solche Systeme die Kommunikationsgeschwindigkeit und -effizienz erheblich verbessern können, was den Nutzern eine größere Unabhängigkeit und Teilhabe am gesellschaftlichen Leben ermöglicht (vgl. Nuyujukian et al., 2018).

Darüber hinaus bieten BCIs Lösungen für die Steuerung von Prothesen. Menschen mit amputierten Gliedmaßen oder motorischen Einschränkungen können durch die Dekodierung von Hirnsignale Prothesen steuern. Diese Technologie ermöglicht es den Nutzern, komplexe Bewegungen auszuführen, was ihre Selbstständigkeit und Lebensqualität erheblich steigert. Beispielsweise können Personen mit Armprothesen durch BCIs feinmotorische Aufgaben wie das Greifen von Gegenständen oder das Schreiben ausführen (vgl. Collinger et al., 2013).

Die Fortschritte in der BCI-Technologie tragen auch zur Barrierefreiheit bei, indem sie physische und kommunikative Barrieren überwinden. Menschen, die aufgrund ihrer Behinderungen von vielen Aktivitäten des täglichen Lebens ausgeschlossen waren, können durch BCIs wieder aktiv am sozialen und beruflichen Leben teilnehmen. Dies fördert die Inklusion und ermöglicht es den Betroffenen, ihre Fähigkeiten und Potenziale voll auszuschöpfen (vgl. Hochberg et al., 2012).

Ein weiterer Vorteil der BCI-Technologie ist ihre Fähigkeit, personalisierte Lösungen für individuelle Bedürfnisse zu bieten. BCIs können an die spezifischen Anforderungen und Fähigkeiten der Nutzer angepasst werden, was die Effektivität und Benutzerfreundlichkeit der Systeme erhöht. Diese maßgeschneiderten Lösungen ermöglichen es den Nutzern, die Technologie optimal zu nutzen und ihre Lebensqualität zu verbessern (vgl. Lebedev & Nicolelis, 2006).

6.1.6 Medizinische Anwendungen

Die Brain-Computer-Interface (BCI)-Technologie hat ein enormes Potenzial, traditionelle Rehabilitationsmethoden zu verbessern und neue Behandlungsmöglichkeiten für eine Vielzahl von neurologischen Erkrankungen zu bieten. Besonders hervorzuheben sind Anwendungen in der Schlaganfall-Rehabilitation, der Behandlung von Rückenmarksverletzungen und der Unterstützung bei schweren Lähmungen. Darüber hinaus wird BCI-Technologie in der Behandlung von neurodegenerativen Erkrankungen wie Alzheimer, Parkinson und Epilepsie untersucht.

In der Schlaganfall-Rehabilitation bietet die BCI-Technologie innovative Ansätze zur Wiederherstellung motorischer Funktionen. Nach einem Schlaganfall kann die Fähigkeit, bestimmte Bewegungen auszuführen, stark beeinträchtigt sein. BCIs ermöglichen es Patienten, durch gedankengesteuerte Rehabilitationsübungen die Neuroplastizität des Gehirns zu nutzen – also die Fähigkeit des Gehirns, sich an neue Situationen anzupassen, zu lernen und sich zu regenerieren – sowie motorische Funktionen zu trainieren und wiederherzustellen. Studien haben gezeigt, dass Patienten, die BCI-gestützte Rehabilitationsprogramme nutzen, signifikante Verbesserungen in ihrer motorischen Leistungsfähigkeit erzielen können (vgl. Bundy et al., 2017).

Ähnlich ist das Potenzial der BCI-Technologie bei der Rehabilitation von Rückenmarksverletzungen. Patienten mit Rückenmarksverletzungen können mithilfe von BCIs neuronale Signale nutzen, um Bewegungen zu steuern und die Wiederherstellung von Funktionen zu unterstützen. Durch die direkte Verbindung zwischen Gehirn und Prothesen oder externen Geräten können Patienten Bewegungen ausführen, die durch die Verletzung ansonsten nicht möglich wären. Dies fördert nicht nur die physische Rehabilitation, sondern auch die psychologische Genesung, da die Patienten ein Gefühl der Kontrolle und Selbstständigkeit zurückgewinnen (vgl. Ang et al., 2010).

Ein weiteres bedeutendes Anwendungsfeld der BCI-Technologie ist die Unterstützung von Patienten mit schweren Lähmungen. Neuroprothesen, die durch BCIs gesteuert werden, ermöglichen es diesen Patienten, zu kommunizieren und ihre Umgebung zu kontrollieren. Dies ist besonders wichtig für Patienten mit Erkrankungen wie Amyotrophe Lateralsklerose (ALS), die ihre Fähigkeit zu sprechen und sich zu bewegen verlieren. BCIs dekodieren neuronale Signale und übersetzen sie in Befehle für Computer, Sprachsynthesizer oder andere Kommunikationsgeräte, wodurch die Patienten wieder in der Lage sind, mit ihrer Umwelt zu interagieren und an sozialen Aktivitäten teilzunehmen (vgl. Silvoni et al., 2009).

Darüber hinaus hat die BCI-Technologie das Potenzial, bei der Behandlung von neurodegenerativen Erkrankungen wie Alzheimer, Parkinson und Epilepsie zu helfen. BCIs können verwendet werden, um die Gehirnaktivität kontinuierlich zu überwachen und Anomalien frühzeitig zu erkennen. Bei Parkinson-Patienten könnten BCIs beispielsweise dazu beitragen, die Motorik zu verbessern und Tremor zu reduzieren, indem sie gezielte neuronale Stimulation bieten. Bei Epilepsie könnte die Technologie helfen, Anfälle vorherzusagen und zu verhindern, indem sie abnorme neuronale Muster erkennt und rechtzeitig eingreift (vgl. Geng et al., 2020).

6.1.7 *Zukunft der Medizin*

Die Zukunft der Medizin könnte durch neuronale Chips und Brain-Computer-Interfaces (BCIs) grundlegend verändert werden. Diese Technologien haben das Potenzial, verlorene Fähigkeiten wie Sehen, Motorik und Sprache wiederherzustellen und somit die menschliche Interaktion mit der Welt neu zu definieren. Diese Entwicklungen erfordern jedoch eine sorgfältige Aufsicht und Regulierung, um sicherzustellen, dass sie sicher und ethisch eingesetzt werden.

Neuronale Chips und BCIs könnten in der Zukunft revolutionäre Fortschritte in der Medizin ermöglichen. Ein bedeutendes Beispiel ist die Wiederherstellung des Sehens. Forscher arbeiten an der Entwicklung von visuellen Prothesen, die über neuronale Chips direkt mit dem visuellen Teil der Großhirnrinde verbunden sind. Diese Chips könnten Menschen, die ihr Sehvermögen verloren haben, wieder das Sehen ermöglichen, indem sie visuelle Informationen in neuronale Signale umwandeln, die das Gehirn interpretieren kann. Erste klinische Studien zeigen vielversprechende Ergebnisse, die darauf hindeuten, dass blinde Patienten teilweise wieder visuelle Eindrücke wahrnehmen können (vgl. Fernández, 2018).

Ähnlich könnten neuronale Chips die Motorik wiederherstellen. Menschen mit Rückenmarksverletzungen oder neurodegenerativen Erkrankungen können durch neuronale Implantate wieder die Kontrolle über ihre Bewegungen erlangen. Diese Chips können Signale vom Gehirn an die Muskeln oder an externe Prothesen weiterleiten und so die Bewegungsfähigkeit wiederherstellen. Solche Entwicklungen könnten die Lebensqualität von Millionen von Menschen weltweit erheblich verbessern (vgl. Donati et al., 2016).

Auch die Wiederherstellung der Sprachfähigkeit ist ein vielversprechendes Anwendungsfeld für neuronale Chips. Patienten, die ihre Sprachfähigkeit aufgrund von Schlaganfällen, ALS oder anderen neurologischen Störungen verloren haben, könnten durch BCIs und neuronale Implantate wieder kommunizieren. Diese Technologien könnten Gehirnsignale, die für die Sprachproduktion zuständig sind, dekodieren und in gesprochene Sprache oder Text umwandeln, was den Patienten eine neue Möglichkeit der Kommunikation bietet (vgl. Pandarinath et al., 2017).

Trotz des enormen Potenzials dieser Technologien ist eine umfassende Aufsicht und Regulierung unerlässlich. Die Implantation und Nutzung von neuronalen Chips und BCIs bringt erhebliche ethische und sicherheitstechnische Herausforderungen mit sich. Es müssen strenge klinische Tests und Sicherheitsprüfungen durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass diese Technologien keine unvorhergesehenen Nebenwirkungen haben oder gesundheitliche Risiken darstellen. Darüber hinaus müssen ethische Fragen geklärt werden, wie der Schutz der

Privatsphäre und die Autonomie der Patienten, da diese Technologien direkte Eingriffe in das Gehirn und die neuronalen Prozesse beinhalten (vgl. Yuste et al., 2017).

Eine weitere wichtige Überlegung ist die Zugänglichkeit und Fairness beim Zugang zu diesen Technologien. Es muss sichergestellt werden, dass nicht nur wohlhabende Patienten Zugang zu diesen bahnbrechenden Behandlungen haben, sondern dass sie breit verfügbar und erschwinglich sind. Regulierungsbehörden müssen Richtlinien entwickeln, die eine gerechte Verteilung und den Zugang zu neuronalen Chips und BCIs gewährleisten (vgl. Ienca & Andorno, 2017).

6.1.8 *Falsche Versprechungen*

Ein weiteres Problem der BCIs ist die Notwendigkeit minimalinvasiver Technologien. Viele aktuelle BCIs erfordern invasive Eingriffe wie die Implantation von Elektroden direkt ins Gehirn, was Risiken birgt und die Technologie weniger zugänglich macht. Nicht-invasive Methoden wie EEGs sind zwar sicherer, bieten jedoch eine geringere Signalqualität und Präzision (vgl. *Frontiers & Penn Today*).

Ein weiteres Problem ist die Signalqualität. Neuronale Signale, die von BCIs erfasst werden, sind oft von Rauschen und Störungen betroffen, die durch Bewegungen und externe elektrische Aktivitäten verursacht werden. Dies beeinträchtigt die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der BCIs erheblich.

Zudem müssen BCIs an die individuellen Unterschiede jedes Gehirns angepasst werden, was personalisierte Algorithmen und aufwändige Kalibrierungen erfordert. Langzeitstabilität ist ebenfalls eine Herausforderung, da BCIs über lange Zeiträume stabil und zuverlässig funktionieren müssen, was oft nicht gewährleistet ist (vgl. *Penn Today & MedXpress*).

6.2 **Fazit**

Die Diskussion um Brain-Computer-Interfaces (BCIs) in der Medizin umfasst eine Vielzahl von Themen, die von den Risiken invasiver Eingriffe bis hin zu den weitreichenden Möglichkeiten dieser Technologie reichen.

Ein bedeutendes Risiko bei der Verwendung invasiver BCIs sind potenzielle Hirnschädigungen, Infektionen, Lähmungen und sogar Todesfälle. Die Notwendigkeit chirurgischer Eingriffe und die damit verbundenen Komplikationen schränken die Zugänglichkeit und Akzeptanz dieser Technologien ein. Technologische Fehlfunktionen könnten zudem schwerwiegende Auswirkungen auf das mentale und physische Wohlbefinden der Nutzer haben, da falsch interpretierte Signale unerwünschte Bewegungen oder andere unerwartete Reaktionen hervorrufen könnten. Darüber hinaus sind die psychologischen Auswirkungen von BCIs, wie kognitive Ermüdung und Veränderungen in kognitiven Funktionen, noch weitgehend unerforscht.

Trotz dieser Herausforderungen bieten BCIs ein enormes Potenzial für die Medizin. Sie ermöglichen tiefgehende Einblicke in die Gehirnfunktionen und können bei der Behandlung neurologischer und psychiatrischer Erkrankungen, der Rehabilitation nach Schlaganfällen und der Steuerung von Prothesen helfen. BCIs könnten auch kognitive und sensorische Fähigkeiten

wiederherstellen oder verbessern, das Lernen beschleunigen und neue Sinneserfahrungen ermöglichen, was tiefgreifende Auswirkungen auf Bildung, berufliche Schulungen und das tägliche Leben haben könnte.

Besonders hervorzuheben ist das Potenzial von BCIs, die Kommunikation und Inklusion für Menschen mit Behinderungen, wie Lähmungen oder Amyotropher Lateralsklerose (ALS), erheblich zu verbessern. Durch die Dekodierung neuronaler Aktivitäten können BCIs Aktionen auslösen und so die Kontrolle über Prothesen und Kommunikationshilfen ermöglichen.

Insgesamt hat die BCI-Technologie das Potenzial, traditionelle Rehabilitationsmethoden zu verbessern, insbesondere bei Schlaganfall-Rehabilitation und Rückenmarksverletzungen, und könnte in der Behandlung von Krankheiten wie Alzheimer, Parkinson und Epilepsie eingesetzt werden. Für die Zukunft könnte die Entwicklung neuronaler Chips Fähigkeiten wie Sehen, Motorik und Sprache wiederherstellen und die menschliche Interaktion mit der Welt revolutionieren. Dieses Potenzial erfordert jedoch umfassende Aufsicht und Regulierung, um sicherzustellen, dass die Technologien sicher und zugänglich sind.

Dennoch bleiben viele der Versprechen von BCIs bislang unerfüllt, da nicht-invasive Methoden zwar sicherer sind, jedoch eine geringere Signalqualität und Präzision bieten. Außerdem müssen BCIs an die individuellen Unterschiede jedes Gehirns angepasst werden, was personalisierte Algorithmen und aufwändige Kalibrierungen erfordert. Schließlich bleibt die Langzeitstabilität ein erhebliches Problem, da BCIs über lange Zeiträume stabil und zuverlässig funktionieren müssen, was oft nicht gewährleistet ist.

7 Gesellschaftlicher Diskurs

7.1 Studien

Um die gesellschaftliche Perspektive bezüglich BCI-Technologie zu untersuchen, werden die folgenden Studien herangezogen.

7.1.1 Studie 1

Die Studie „Do Publics Share Experts’ Concerns about Brain–Computer Interfaces? A Trinational Survey on the Ethics of Neural Technology“ der Autoren Matthew Sample, Sebastian Sattler, Stefanie Blain-Moraes, David Rodríguez-Arias und Eric Racine wurde im November 2020 in der Fachzeitschrift „Science, Technology, & Human Values“ des

unabhängigen amerikanischen Wissenschafts-Verlags „SAGE Publications“ veröffentlicht. Diese Studie zielt darauf ab, zwei wesentliche Lücken in der bestehenden Literatur zu schließen: (1) den Mangel an empirischen Untersuchungen bezüglich öffentlicher Einstellungen gegenüber BCIs und (2) wie die öffentliche Meinung zu verschiedenen ethischen Aspekten in Bezug auf BCIs aussieht und inwieweit diese mit dem akademischen Meinungsbild übereinstimmt. Die Umfrage wurde in den Ländern Kanada, Deutschland und Spanien mit insgesamt 1.403 Teilnehmern online durchgeführt. Dabei wurden 36 Fragen entwickelt, die die am häufigsten diskutierten ethischen Bedenken bezüglich BCI-Technologie abdecken sollten. Neben demografischen Daten umfasste der Fragenkatalog die nachfolgenden Themengebiete. Sorgen und Begeisterung: Teilnehmer wurden nach ihren Sorgen und ihrem Enthusiasmus bezüglich der Anwendung von BCI-Technologie in sechs Bereichen gefragt: Militär, Marketing, Beruf, Unterhaltung, Bildung und Gesundheitswesen. Bedenken zur BCI-Nutzung: Es wurden 26 Fragen verwendet, um Bedenken hinsichtlich der BCI-Nutzung zu erfassen. (Abbildung 7) Beispielsweise veränderte Selbstwahrnehmung oder Ermöglichung neuer Formen des Hackens. Behinderung: Die Teilnehmer wurden auch gefragt, ob sie selbst oder jemand in ihrem Umfeld eine Behinderung haben, insbesondere ob eine Lähmung vorliegt. (vgl. Blain-Moraes/Racine/Rodríguez-Arias/Sample/Sattler 2020)

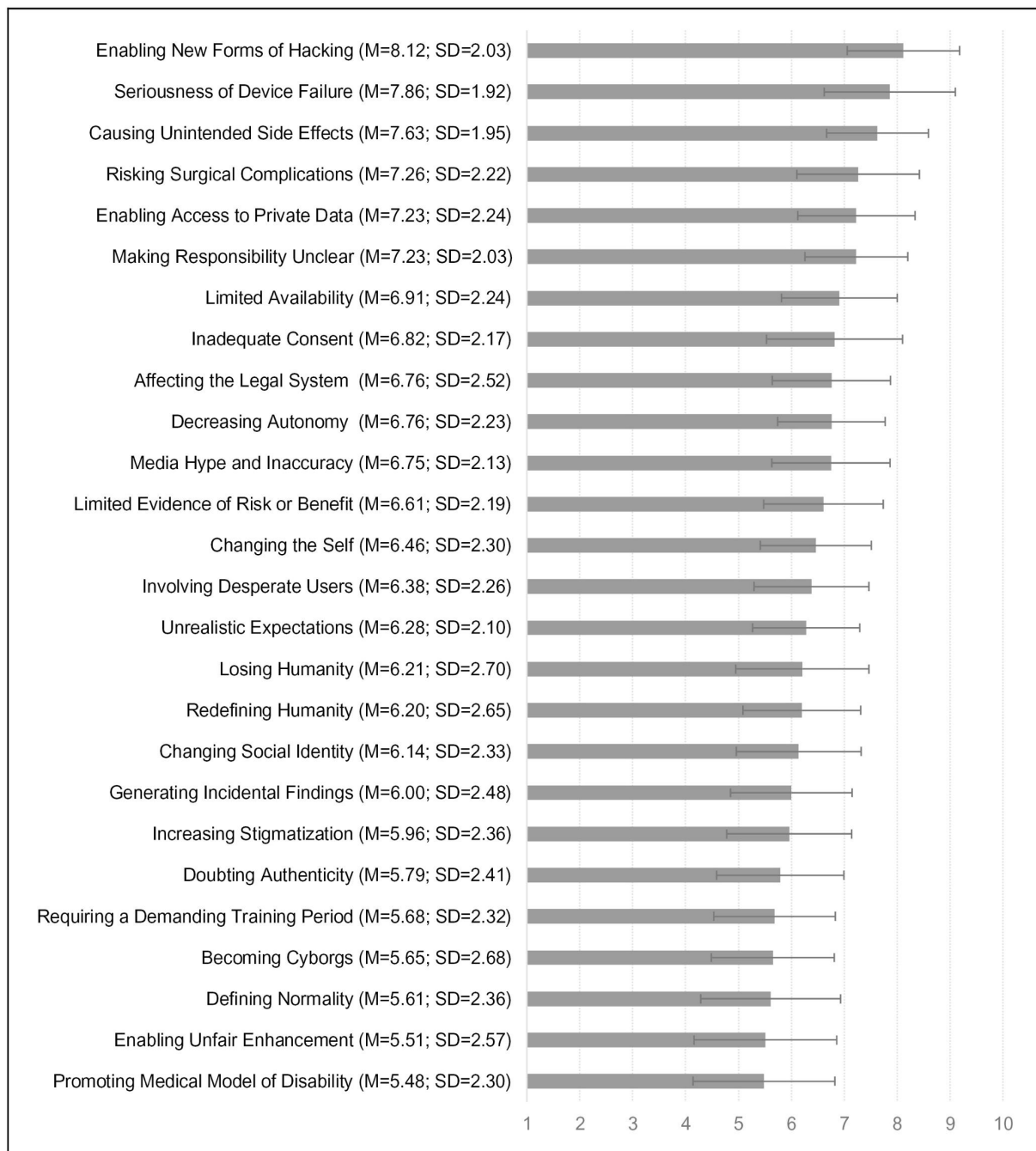


Abbildung 7: Fragenkatalog der Studie „Do Publics Share Experts’ Concerns about Brain–Computer Interfaces? A Trinational Survey on the Ethics of Neural Technology“ (vgl. Blain-Moraes/Racine/Rodríguez-Arias/Sample/Sattler 2020)

7.1.2 Studie 2

Die Studie „Thoughts Unlocked by Technology—a Survey in Germany About Brain-Computer Interfaces“ der Autoren Jennifer Regina Schmid, Orsolya Friedrich, Stefanie Kessner und Ralf J. Jox wurde im November 2021 in der Fachzeitschrift „NanoEthics: Studies of New and Emerging Technologies“ im Springer-Verlag veröffentlicht. Diese wurde im Sommer 2018

mittels einer repräsentativen Online-Umfrage mit 20 Fragen durchgeführt (n = 1000). Unter den Teilnehmern befanden sich deutsche Bürgerinnen und Bürger im Alter von 18 bis 65 Jahren. Neben demografischen Abfragen wurden die folgenden Aspekte beleuchtet: Technologieaffinität, Vorwissen und Erfahrungen mit BCIs sowie die Einstellung zu ethischen, sozialen und rechtlichen Implikationen der BCI-Nutzung. Ziel der Studie war es, die allgemeine, nicht-akademische Öffentlichkeit in BCI-bezogene Themen mit einzubeziehen und sich auf die tatsächliche und potenzielle Nutzung von BCIs zu konzentrieren. Auf diese Weise soll ein möglichst breiter Diskurs innerhalb der Gesellschaft angeregt und Debatten über die Zukunft von Neurotechnologie und insbesondere BCIs etabliert werden. Neben Fragen zu Demografie und Vorwissen untersuchte die Umfrage (1) allgemeine Technologieaffinität (3 Fragen); (2) Wunsch, BCIs zu nutzen (4 Fragen); (3) Erwartungen hinsichtlich der Nutzung von BCIs (3 Fragen); (4) potenzielle ethische, soziale und rechtliche Implikationen der BCI-Nutzung (8 Fragen). Dabei wurde für fast alle Fragen durchgängig eine 7-Punkte-Skala verwendet (1 = stimme überhaupt nicht zu; 2 = stimme überwiegend nicht zu; 3 = stimme eher nicht zu; 4 = bin neutral; 5 = stimme eher zu; 6 = stimme überwiegend zu; 7 = stimme voll zu). (Abbildung 8) (vgl. Friedrich/Jox/Kessner/Schmid 2021)

Statement	Completely Disagree (%) Disagreement	Mostly Disagree (%)	Slightly Disagree (%)	Neutral (%) Neutral	Slightly Agree (%) Agreement	Mostly Agree (%)	Completely Agree (%)
-----------	---	---------------------	-----------------------	------------------------	---------------------------------	------------------	----------------------

Table 2 Results of the questionnaire concerning ‘affinity for technology’

I’m excited when a new electronical device comes on the market	4.7	6.6	11.6	26.6	21.3	17.3	11.9
It’s easy for me to learn how an electronical device works	1.4	3.4	4.8	17.3	24.0	25.3	23.8
Electronical devices make daily life easier	0.6	1.0	4.0	16.9	27.3	26.0	24.2

Table 3 Results of the questionnaire concerning ‘desire to use a BCI’

I would like to use a BCI myself	11.1	5.7	8.2	18.0	18.6	14.3	24.1
I wouldn’t use a BCI, if I had to wear a cap with electrodes	15.9	11.8	14.3	20.2	12.8	10.5	14.5
I would be concerned about BCI use because it looks unfavorable	27.7	14.8	13.9	20.7	10.7	5.0	7.2
I would be ready to practice four weeks on a daily basis to use a BCI	13.2	7.5	12.1	22.1	19.6	9.8	15.7

Table 4 Results of the questionnaire concerning ‘expectations towards BCI use’

You should need a license for BCI use	12.7	6.6	9.4	26.7	16.2	12.6	15.8
The use of BCIs should be regulated by law	5.4	4.5	8.0	25.8	19.8	15.7	20.8
I trust scientists that they develop BCIs in a responsible way	7.8	5.6	11.1	29.0	22.1	11.8	12.6

Table 5 Results of the questionnaire concerning ‘anthropological implications’

A BCI-modulated action is still a human action	2.4	1.6	4.3	22.6	25.3	20.0	23.8
The user is responsible for BCI-modulated actions	1.1	1.0	3.7	18.1	22.0	21.1	33.0
BCI users are a mixture between man and machine	15.0	11.2	12.2	23.2	18.1	9.6	10.7
BCIs change the understanding of personhood	9.5	7.4	14.0	25.7	18.9	13.5	11.0

Table 6 Results of the questionnaire concerning ‘fears towards BCI technology’

BCI users with high expectations could get disappointed	2.7	2.8	8.5	30.7	26.0	14.7	14.6
BCI users shouldn’t be able to gain unfair advantages (e.g. faster reaction times)	3.3	4.1	6.8	29.7	18.3	15.0	22.8
I’m afraid that my thoughts could be read by a BCI	13.3	7.3	12.5	20.1	18.9	11.9	16.0
I’m afraid of BCI misuse	4.8	3.4	8.0	19.1	22.9	15.6	26.2

Abbildung 8: Fragenkatalog der Studie „Thoughts Unlocked by Technology—a Survey in Germany About Brain-Computer Interfaces“ (vgl. Friedrich/Jox/Kessner/Schmid 2021)

6.2 Auswertung

Die Kategorien, die sich bei der Einteilung der medizinischen Diskurs-Themen ergeben haben, dienen im nächsten Schritt als Orientierungssystem, um zu untersuchen, ob soziotechnische Vorstellungen im gesellschaftlichen sowie im medizinischen Diskurs in einer Linie stehen. (Abbildung 9-16)

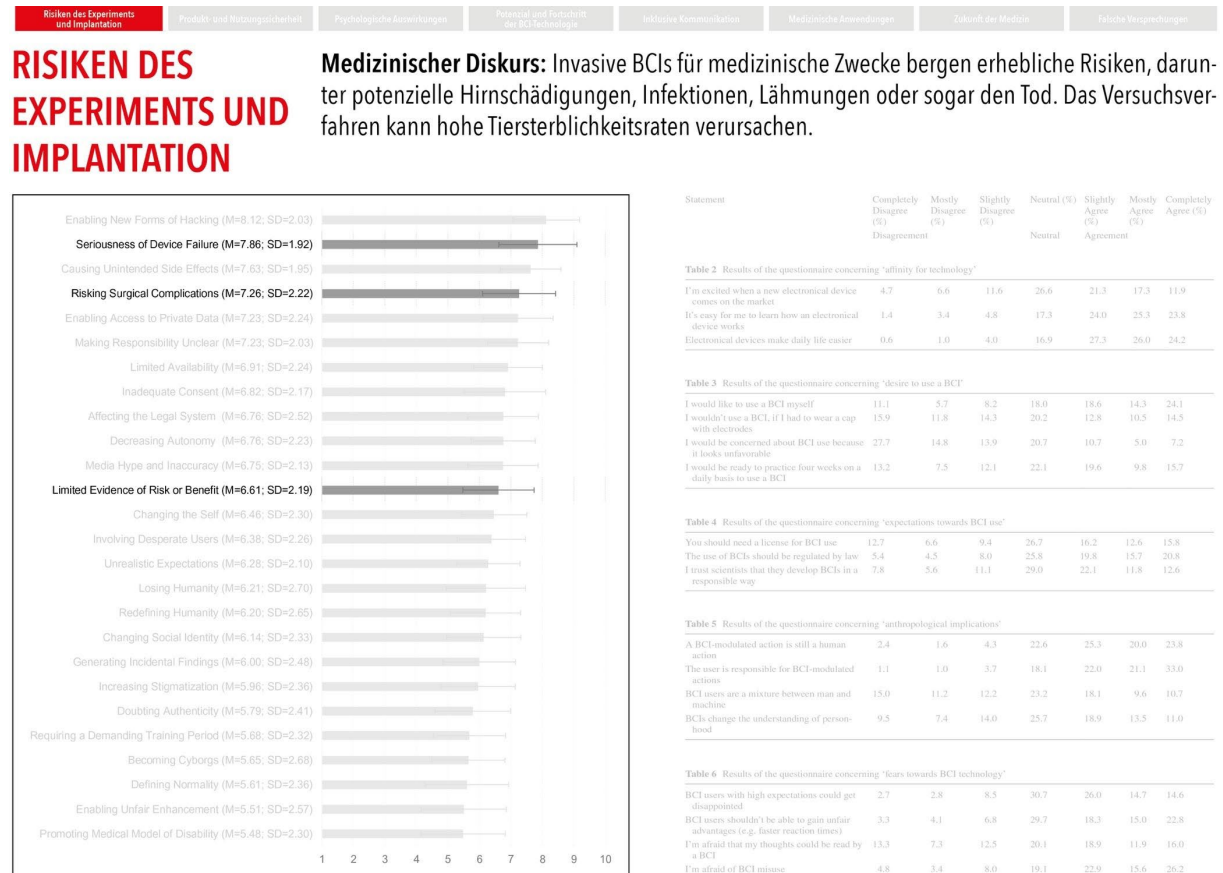
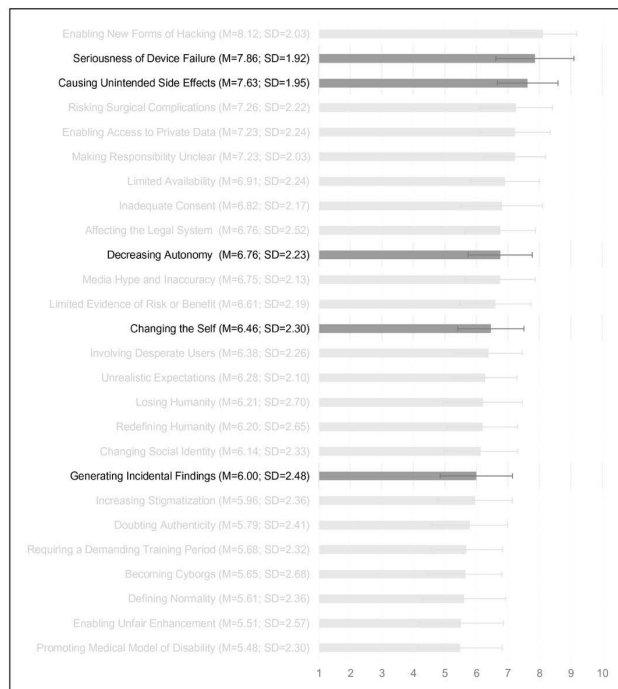


Abbildung 9: Studienergebnisse zu "Risiken des Experiments und Implantation"

PRODUKT- UND NUTZUNGS-SICHERHEIT

Medizinischer Diskurs: Technologische Fehlfunktionen könnten schwerwiegende Auswirkungen auf das mentale und physische Wohlbefinden der Nutzer haben. Beispielsweise könnten falsch interpretierte Signale zu unerwünschten Bewegungen oder anderen unerwarteten Reaktionen führen.

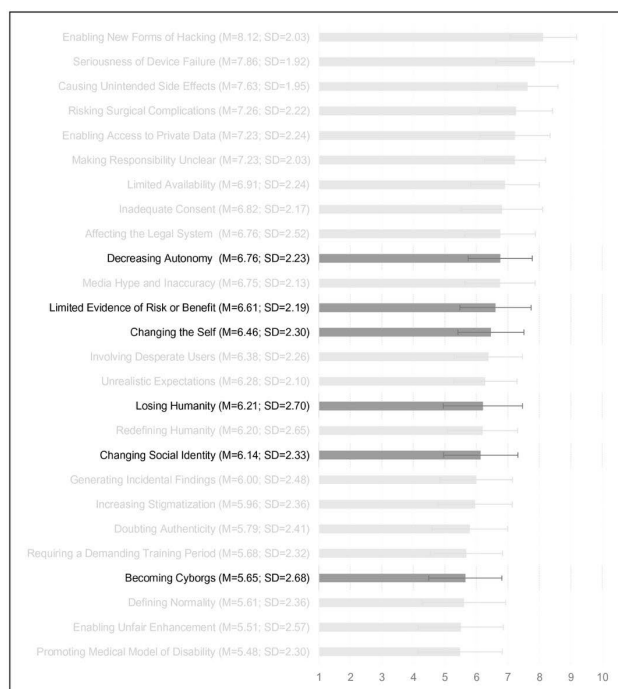


Statement	Completely Disagree (%)	Mostly Disagree (%)	Slightly Disagree (%)	Neutral (%)	Slightly Agree (%)	Mostly Agree (%)	Completely Agree (%)
Table 2 Results of the questionnaire concerning "affinity for technology"							
I'm excited when a new electronic device comes on the market	4.7	6.6	11.6	26.6	21.3	17.3	11.9
It's easy for me to learn how an electronic device works	1.4	3.4	4.8	17.3	24.0	25.3	23.8
Electronical devices make daily life easier	0.6	1.0	4.0	16.9	27.3	26.0	24.2
Table 3 Results of the questionnaire concerning "desire to use a BCI"							
I would like to use a BCI myself	11.1	5.7	8.2	18.0	18.6	14.3	24.1
I wouldn't use a BCI, if I had to wear a cap with electrodes	15.9	11.8	14.3	20.2	12.8	10.5	14.5
I would be concerned about BCI use because it looks unfavorable	22.7	14.8	13.9	20.7	10.7	5.0	7.2
I would be ready to practice four weeks on a daily basis to use a BCI	13.2	7.5	12.1	22.1	19.6	9.8	15.7
Table 4 Results of the questionnaire concerning "expectations towards BCI use"							
You should need a license for BCI use	12.7	6.6	9.4	26.7	16.2	12.6	15.8
The use of BCIs should be regulated by law	5.4	4.5	8.0	25.8	19.8	15.7	20.8
I trust scientists that they develop BCIs in a responsible way	7.8	5.6	11.1	29.0	22.1	11.8	12.6
Table 5 Results of the questionnaire concerning "anthropological implications"							
A BCI-modulated action is still a human action	2.4	1.6	4.3	22.6	25.3	20.0	23.8
The user is responsible for BCI-modulated actions	1.1	1.0	3.7	18.1	22.0	21.1	33.0
BCI users are a mixture between man and machine	15.0	11.2	12.2	23.2	18.1	9.6	10.7
BCIs change the understanding of personhood	9.5	7.4	14.0	25.7	18.9	13.5	11.0
Table 6 Results of the questionnaire concerning "fears towards BCI technology"							
BCI users with high expectations could get disappointed	2.7	2.8	8.5	30.7	26.0	14.7	14.6
BCI users shouldn't be able to gain unfair advantages (e.g. faster reaction times)	3.3	4.1	6.8	29.7	18.3	15.0	22.8
I'm afraid that my thoughts could be read by a BCI	13.3	7.3	12.5	20.1	18.9	11.9	16.0
I'm afraid of BCI misuse	4.8	3.4	8.0	19.1	22.9	15.6	26.2

Abbildung 10: Studienergebnisse zu "Produkt- und Nutzungssicherheit"

PSYCHOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN

Medizinischer Diskurs: Psychologische Auswirkungen, wie kognitive Ermüdung, Veränderungen in kognitiven Funktionen und Implikationen für die persönliche Identität und psychische Gesundheit, sind bislang unerforscht.



Statement	Completely Disagree (%)	Mostly Disagree (%)	Slightly Disagree (%)	Neutral (%)	Slightly Agree (%)	Mostly Agree (%)	Completely Agree (%)
Table 2 Results of the questionnaire concerning "affinity for technology"							
I'm excited when a new electronic device comes on the market	4.7	6.6	11.6	26.6	21.3	17.3	11.9
It's easy for me to learn how an electronic device works	1.4	3.4	4.8	17.3	24.0	25.3	23.8
Electronical devices make daily life easier	0.6	1.0	4.0	16.9	27.3	26.0	24.2
Table 3 Results of the questionnaire concerning "desire to use a BCI"							
I would like to use a BCI myself	11.1	5.7	8.2	18.0	18.6	14.3	24.1
I wouldn't use a BCI, if I had to wear a cap with electrodes	15.9	11.8	14.3	20.2	12.8	10.5	14.5
I would be concerned about BCI use because it looks unfavorable	22.7	14.8	13.9	20.7	10.7	5.0	7.2
I would be ready to practice four weeks on a daily basis to use a BCI	13.2	7.5	12.1	22.1	19.6	9.8	15.7
Table 4 Results of the questionnaire concerning "expectations towards BCI use"							
You should need a license for BCI use	12.7	6.6	9.4	26.7	16.2	12.6	15.8
The use of BCIs should be regulated by law	5.4	4.5	8.0	25.8	19.8	15.7	20.8
I trust scientists that they develop BCIs in a responsible way	7.8	5.6	11.1	29.0	22.1	11.8	12.6
Table 5 Results of the questionnaire concerning "anthropological implications"							
A BCI-modulated action is still a human action	2.4	1.6	4.3	22.6	25.3	20.0	23.8
The user is responsible for BCI-modulated actions	1.1	1.0	3.7	18.1	22.0	21.1	33.0
BCI users are a mixture between man and machine	15.0	11.2	12.2	23.2	18.1	9.6	10.7
BCIs change the understanding of personhood	9.5	7.4	14.0	25.7	18.9	13.5	11.0
Table 6 Results of the questionnaire concerning "fears towards BCI technology"							
BCI users with high expectations could get disappointed	2.7	2.8	8.5	30.7	26.0	14.7	14.6
BCI users shouldn't be able to gain unfair advantages (e.g. faster reaction times)	3.3	4.1	6.8	29.7	18.3	15.0	22.8
I'm afraid that my thoughts could be read by a BCI	13.3	7.3	12.5	20.1	18.9	11.9	16.0
I'm afraid of BCI misuse	4.8	3.4	8.0	19.1	22.9	15.6	26.2

Abbildung 11: Studienergebnisse zu "Psychologische Auswirkungen"

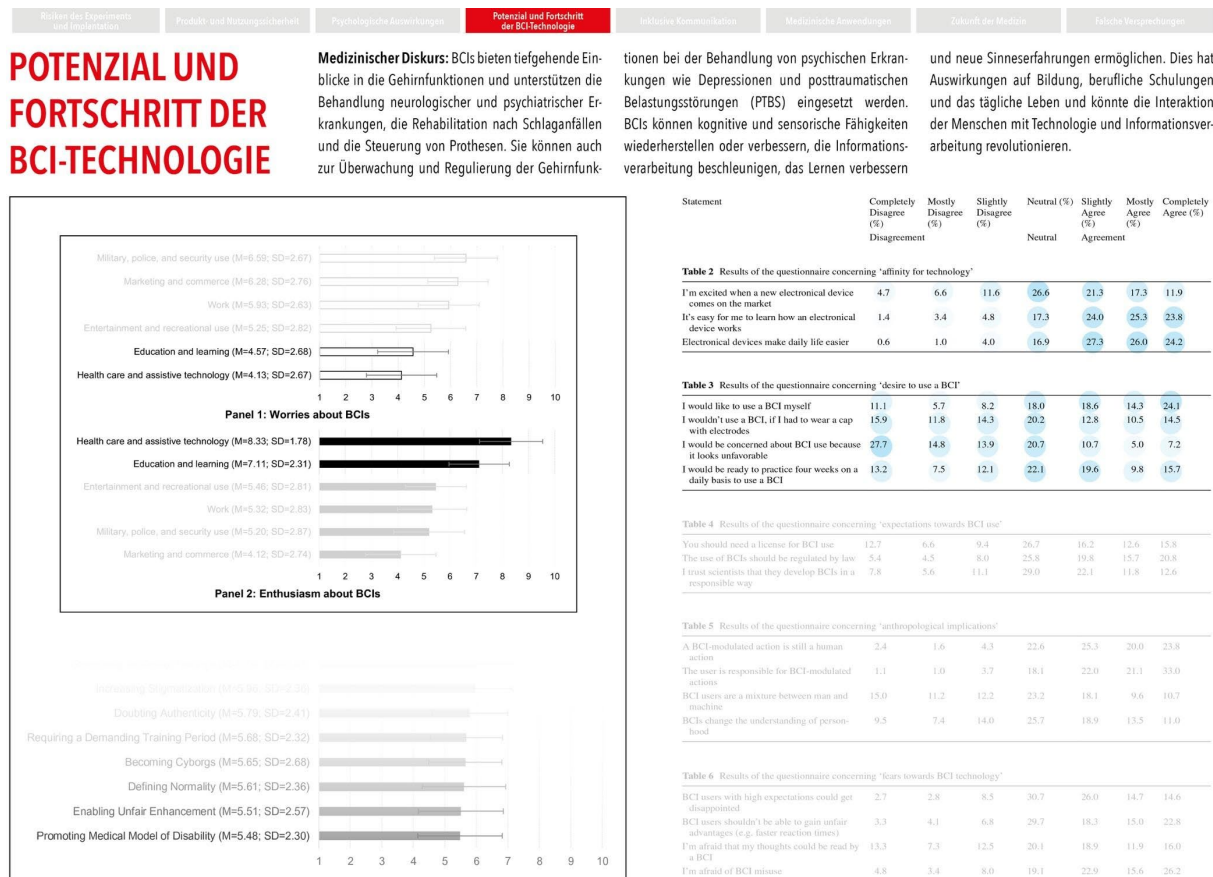


Abbildung 12: Studienergebnisse zu "Potenzial und Fortschritt der BCI-Technologie"

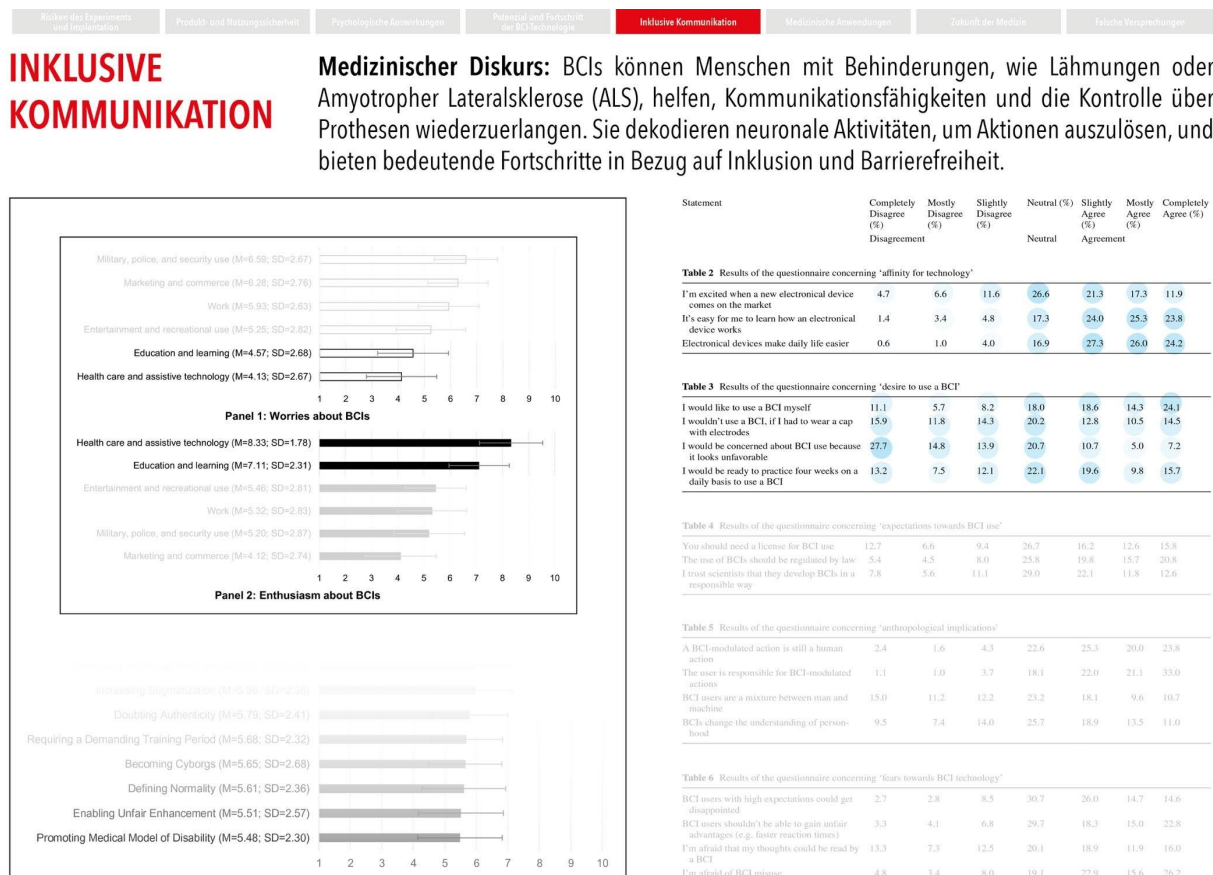


Abbildung 13: Studienergebnisse zu "Inklusive Kommunikation"

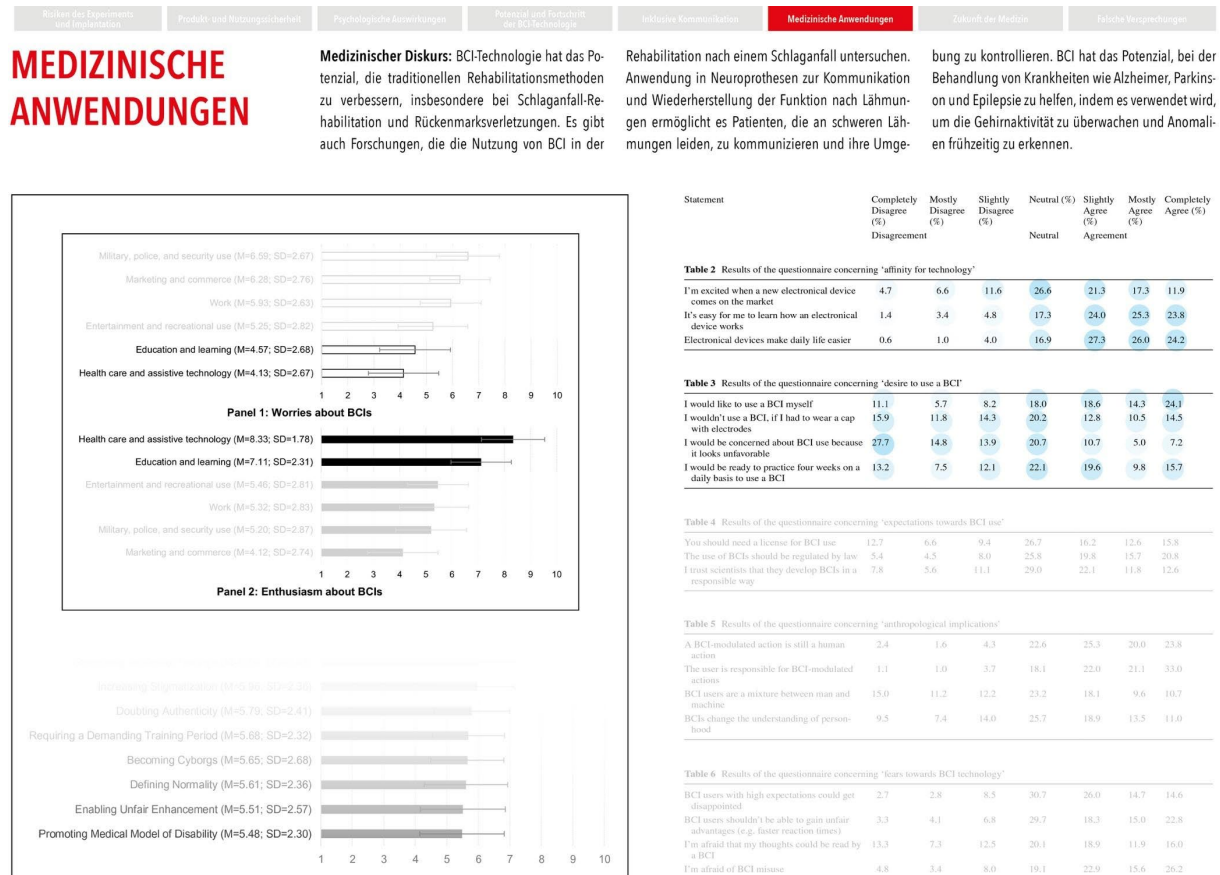


Abbildung 14: Studienergebnisse zu "Medizinische Anwendungen"

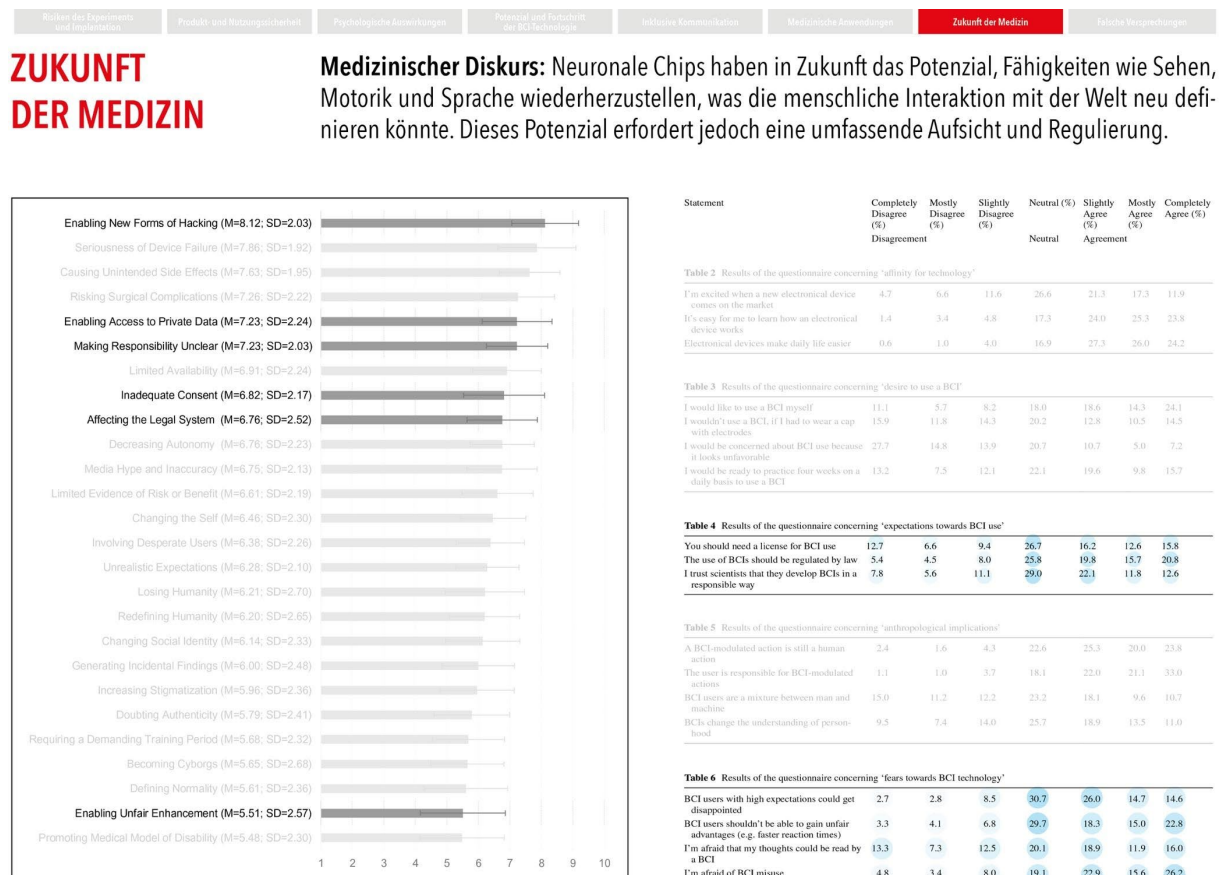


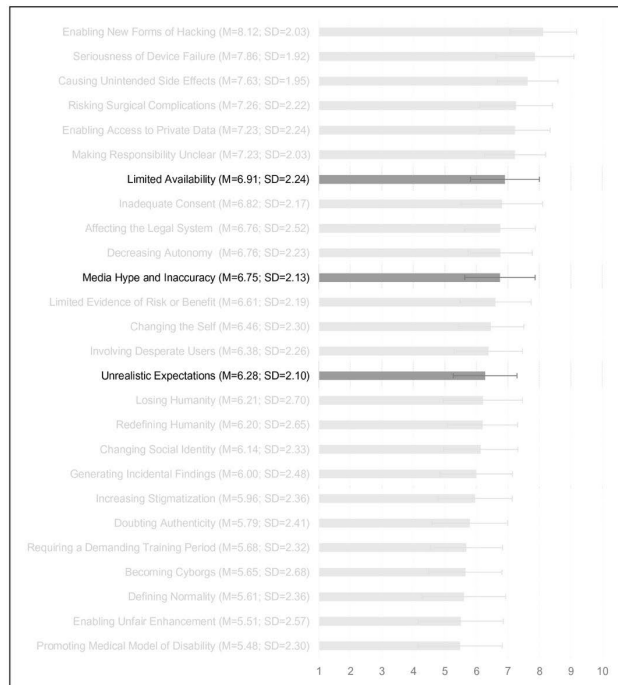
Abbildung 15: Studienergebnisse zu "Zukunft der Medizin"

FALSCHES VERSPRECHEN

Medizinischer Diskurs: Viele aktuelle BCIs erfordern invasive Eingriffe wie die Implantation von Elektroden direkt ins Gehirn, was Risiken birgt und die Technologie weniger zugänglich macht. Nicht-invasive Methoden wie EEGs sind zwar sicherer, bieten jedoch eine geringere Signalqualität und Präzision.

Zudem sind die neuronalen Signale, die von BCIs erfasst werden, oft von Rauschen und Störungen betroffen, die durch Bewegungen und externe elektrische Aktivitäten verursacht werden, was die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der BCIs erheblich beeinträchtigt. Darüber hinaus müssen BCIs an die individuellen Un-

terschiede jedes Gehirns angepasst werden, was personalisierte Algorithmen und aufwändige Kalibrierungen erfordert. Schließlich ist die Langzeitstabilität ein weiteres Problem, da BCIs über lange Zeiträume stabil und zuverlässig funktionieren müssen, was oft nicht gewährleistet ist.



Statement	Completely Disagree (%)	Mostly Disagree (%)	Slightly Disagree (%)	Neutral (%)	Slightly Agree (%)	Mostly Agree (%)	Completely Agree (%)
-----------	-------------------------	---------------------	-----------------------	-------------	--------------------	------------------	----------------------

Table 2 Results of the questionnaire concerning "affinity for technology"

I'm excited when a new electronic device comes on the market	4.7	6.6	11.6	26.6	21.3	17.3	11.9
It's easy for me to learn how an electronic device works	1.4	3.4	4.8	17.3	24.0	25.3	23.8
Electronic devices make daily life easier	0.6	1.0	4.0	16.9	27.3	26.0	24.2

Table 3 Results of the questionnaire concerning "desire to use a BCI"

I would like to use a BCI myself	11.1	5.7	8.2	18.0	18.6	14.3	24.1
I wouldn't use a BCI, if I had to wear a cap with electrodes	15.9	11.8	14.3	20.2	12.8	10.5	14.5
I would be concerned about BCI use because it looks unfavorable	27.7	14.8	13.9	20.7	10.7	5.0	7.2
I would be ready to practice four weeks on a daily basis to use a BCI	13.2	7.5	12.1	22.1	19.6	9.8	15.7

Table 4 Results of the questionnaire concerning "expectations towards BCI use"

You should need a license for BCI use	12.7	6.6	9.4	26.7	16.2	12.6	15.8
The use of BCIs should be regulated by law	5.4	4.5	8.0	25.8	19.8	15.7	20.8
I trust scientists that they develop BCIs in a responsible way	7.8	5.6	11.1	29.0	22.1	11.8	12.6

Table 5 Results of the questionnaire concerning "anthropological implications"

A BCI-modulated action is still a human action	2.4	1.6	4.3	22.6	25.3	20.0	23.8
The user is responsible for BCI-modulated actions	1.1	1.0	3.7	18.1	22.0	21.1	33.0
BCI users are a mixture between man and machine	15.0	11.2	12.2	23.2	18.1	9.6	10.7
BCIs change the understanding of personhood	9.5	7.4	14.0	25.7	18.9	13.5	11.0

Table 6 Results of the questionnaire concerning "fears towards BCI technology"

BCI users with high expectations could get disappointed	2.7	2.8	8.5	30.7	26.0	14.7	14.6
BCI users shouldn't be able to gain unfair advantages (e.g. faster reaction times)	3.3	4.1	6.8	29.7	18.3	15.0	22.8
I'm afraid that my thoughts could be read by a BCI	13.3	7.3	12.5	20.1	18.9	11.9	16.0
I'm afraid of BCI misuse	4.8	3.4	8.0	19.1	22.9	15.6	26.2

Abbildung 16: Studienergebnisse zu "Falsche Versprechungen"

7.2.1 Risiken des Experiments und Implantation

Im Hinblick auf die Risiken des Experiments und der Implantation von BCIs gibt es verschiedene Ängste und Bedenken. Viele Menschen befürchten mögliche Folgen und Auswirkungen eines Gerätefehlers und haben Angst vor operativen oder chirurgischen Komplikationen. Zudem gibt es begrenzte Hinweise auf die tatsächlichen Risiken und Nutzen von BCIs, was die Unsicherheit weiter verstärkt.

7.2.2 Produkt- und Nutzungssicherheit

In Bezug auf die Produkt- und Nutzungssicherheit von BCIs gibt es neben der Angst vor Gerätefehlern auch Sorgen über unbeabsichtigte Nebenwirkungen. Ein weiterer großer Aspekt ist die Angst vor dem Verlust des freien Willens und der Selbstwahrnehmung.

7.2.3 Psychologische Auswirkungen

Die psychologischen Auswirkungen von BCIs sind ebenfalls ein wichtiges Thema. Viele Menschen haben Angst davor, ihre Menschlichkeit und ihre soziale Identität zu verlieren. Es herrscht auch Unentschlossenheit darüber, ob man sich eher als Mensch oder Maschine identifizieren würde.

7.2.4 Potenzial und Fortschritt der BCI-Technologie / Inklusive Kommunikation / Medizinische Anwendungen

Trotz dieser Ängste erkennen die Menschen das Potenzial und den Fortschritt der BCI-Technologie. Medizin und Bildung werden als bevorzugte Anwendungsgebiete für zukünftige BCI-Technologie gesehen. Es herrscht allgemeine Begeisterung und Aufgeschlossenheit gegenüber technischen Innovationen, was sich auch in geringen Berührungsängsten gegenüber neuen Geräten und Anwendungen zeigt. Zudem sind viele bereit, selbst Zeit in diese neuen Technologien zu investieren.

7.2.5 Zukunft der Medizin

Die Zukunft der Medizin mit BCIs birgt jedoch auch zahlreiche Ängste. Es gibt Sorgen vor allgemeinem Missbrauch und neuen Formen des Hackings sowie Angst vor Fremdzugriff auf private Daten. Auch die unklare Bewertung von Verantwortung, Absicht und Vorsatz bei der Nutzung von BCIs wird als beunruhigend empfunden. Es bestehen zudem Bedenken über die Auswirkungen auf das Rechtssystem. Daher gibt es den Wunsch nach gesetzlicher Überwachung und Kontrolle der BCI-Anwendungen sowie die Forderung an die Wissenschaft, verantwortungsbewusst mit BCI-Technologie umzugehen. Viele Menschen haben auch Angst, dass „normale“ Menschen gegenüber denen mit BCI benachteiligt sein könnten.

7.2.6 Falsche Versprechungen

Es gibt auch Bedenken bezüglich falscher Versprechungen, die mit der BCI-Technologie gemacht werden könnten. Die Menschen sind skeptisch hinsichtlich der flächendeckenden Verfügbarkeit und der Kosten dieser Technologie. Es besteht die Sorge, dass durch einen

Medienhype ein ungenaues Bild der Technologie gezeichnet wird und dadurch unrealistische Erwartungen erzeugt werden.

MEDICAL DISCOURSE

SOCIAL DISCOURSE

Risiken des Experiments und Implantation	➤ Invasive BCIs für medizinische Zwecke bergen erhebliche Risiken, darunter potenzielle Hirnschädigungen, Infektionen, Lähmungen oder sogar den Tod. Das Versuchsverfahren kann hohe Tiersterblichkeitsraten verursachen.	➤ 1. Angst vor möglichen Folgen und Auswirkungen eines Gerätefehlers / 2. Angst vor operativen/chirurgischen Komplikationen / 3. Begrenzte Hinweise auf Risiko oder Nutzen von BCI
Produkt- und Nutzungssicherheit	➤ Technologische Fehlfunktionen könnten schwerwiegende Auswirkungen auf das mentale und physische Wohlbefinden der Nutzer haben. Beispielsweise könnten falsch interpretierte Signale zu unerwünschten Bewegungen oder anderen unerwarteten Reaktionen führen.	➤ 1. Neben möglichen Gerätefehlern auch Angst vor unbeabsichtigten Nebenwirkungen / 2. Angst vor Verlust des freien Willens und der Selbstwahrnehmung
Psychologische Auswirkungen	➤ Psychologische Auswirkungen, wie kognitive Ermüdung, Veränderungen in kognitiven Funktionen und Implikationen für die persönliche Identität und psychische Gesundheit, sind bislang unerforscht.	➤ 1. Angst vor Verlust des Menschseins und der sozialen Identität / 2. Unentschlossenheit bzgl. Identifikation als Mensch oder als Maschine
Potenzial und Fortschritt der BCI-Technologie	➤ BCIs bieten tiefgehende Einblicke in die Gehirnfunktionen und unterstützen die Behandlung neurologischer und psychiatrischer Erkrankungen, die Rehabilitation nach Schlaganfällen und die Steuerung von Prothesen. Sie können auch zur Überwachung und Regulierung der Gehirnfunktionen bei der Behandlung von psychischen Erkrankungen wie Depressionen und posttraumatischen Belastungsstörungen (PTBS) eingesetzt werden. BCIs können kognitive und sensorische Fähigkeiten wiederherstellen oder verbessern, die Informationsverarbeitung beschleunigen, das Lernen verbessern und neue Sinneserfahrungen ermöglichen. Dies hat Auswirkungen auf Bildung, berufliche Schulungen und das tägliche Leben und könnte die Interaktion der Menschen mit Technologie und Informationsverarbeitung revolutionieren.	➤ 1. Medizin und Bildung als bevorzugte Anwendungsgebiete zukünftiger BCI-Technologie / 2. Allgemeine Begeisterung und Aufgeschlossenheit gegenüber technischen Innovationen / 3. Niedrige Berührungängste bzgl. neuen Geräten und Anwendungen / 4. Bereitschaft, selbst Zeit zu investieren
Inklusive Kommunikation	➤ BCIs können Menschen mit Behinderungen, wie Lähmungen oder Amyotropher Lateralsklerose (ALS), helfen, Kommunikationsfähigkeiten und die Kontrolle über Prothesen wiederzuerlangen. Sie dekodieren neuronale Aktivitäten, um Aktionen auszulösen, und bieten bedeutende Fortschritte in Bezug auf Inklusion und Barrierefreiheit.	
Medizinische Anwendungen	➤ BCI-Technologie hat das Potenzial, die traditionellen Rehabilitationsmethoden zu verbessern, insbesondere bei Schlaganfall-Rehabilitation und Rückenmarksverletzungen. Es gibt auch Forschungen, die die Nutzung von BCI in der Rehabilitation nach einem Schlaganfall untersuchen. Anwendung in Neuroprothesen zur Kommunikation und Wiederherstellung der Funktion nach Lähmungen ermöglicht es Patienten, die an schweren Lähmungen leiden, zu kommunizieren und ihre Umgebung zu kontrollieren. BCI hat das Potenzial, bei der Behandlung von Krankheiten wie Alzheimer, Parkinson und Epilepsie zu helfen, indem es verwendet wird, um die Gehirntätigkeit zu überwachen und Anomalien frühzeitig zu erkennen.	
Zukunft der Medizin	➤ Neuronale Chips haben in Zukunft das Potenzial, Fähigkeiten wie Sehen, Motorik und Sprache wiederherzustellen, was die menschliche Interaktion mit der Welt neu definieren könnte. Dieses Potenzial erfordert jedoch eine umfassende Aufsicht und Regulierung.	➤ 1. Angst vor allgemeinem Missbrauch / 2. Angst vor neuen Formen/Möglichkeiten des Hackings / 3. Angst vor Fremdzugriff auf private Daten / 4. Angst vor unklarer Bewertung von Verantwortung/Absicht/Vorsatz / 5. Angst vor Auswirkungen auf das Rechtssystem / 6. Wunsch nach (gesetzlicher) Überwachung/Kontrolle bzgl. BCI-Anwendungen / 7. Forderung an Wissenschaft verantwortungsbewusst mit BCI-Technologie umzugehen / 8. Angst vor möglichen Nachteilen „normaler“ Menschen gegenüber BCI
Falsche Versprechungen	➤ Viele aktuelle BCIs erfordern invasive Eingriffe wie die Implantation von Elektroden direkt ins Gehirn, was Risiken birgt und die Technologie weniger zugänglich macht. Nicht-invasive Methoden wie EEGs sind zwar sicherer, bieten jedoch eine geringere Signalqualität und Präzision. Zudem sind die neuronalen Signale, die von BCIs erfasst werden, oft von Rauschen und Störungen betroffen, die durch Bewegungen und externe elektrische Aktivitäten verursacht werden, was die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der BCIs erheblich beeinträchtigt. Darüber hinaus müssen BCIs an die individuellen Unterschiede jedes Gehirns angepasst werden, was personalisierte Algorithmen und aufwändige Kalibrierungen erfordert. Schließlich ist die Langzeitstabilität ein weiteres Problem, da BCIs über lange Zeiträume stabil und zuverlässig funktionieren müssen, was oft nicht gewährleistet ist.	➤ 1. Bedenken bzgl. (flächendeckender) Verfügbarkeit und Kosten / 2. Bedenken, dass durch Medienhype ein ungenaues Bild der Technologie gezeichnet wird und zu hohe (unrealistische) Erwartungen erzeugt werden

Abbildung 17: Medizinischer und gesellschaftlicher Diskurs im Analyse-Raster

8 Firmen und Kommunikation

8.1 Blackrock Neurotech

8.1.1 *Risiken des Experiments und Implantation*

Die BCI von Blackrock Neurotech werden von außen invasiv in das Hirn eingesetzt (The BCI Guy, 2022) und mit den Neuronen des Nervensystems verbunden. Für den Eingriff wird ein Loch mit einem Durchmesser von zwei Zentimeter in die Schädeldecke des Patienten gebohrt. Die BCIs haben dann die Aufgabe, Reize, die von Nervenzellen angegeben werden, bei einer gelähmten Person aber keine Auswirkung haben, zu verstärken und sie anschließend weiterzuleiten. Aus diesem Signal wird ein Muster abgelesen, welches dann verschiedene Reaktionen hervorruft, wie z.B. eine Aktion an einem Computer. Die BCIs können aber wiederum auch Impulse stimulieren und den Körper des Patienten darauf reagieren lassen. Dass der eigentliche Eingriff Risiken haben kann, ist dem CO-Founder von Blackrock Neurotech, Florian Solzbacher, bewusst. Die Vorteile für den Patienten überwiegen für ihn jedoch, schließlich bringt jede Operation Risiken mit sich (Sixel, 2021). Ein eher seltenes Risiko der Operation sind beispielsweise Infektionen, die aber auch leicht behandelt werden können (The BCI Guy, 2022). Da Blackrock Neurotech bereits mindestens 29 aktive Patienten haben, die ihre BCIs seit teilweise über sieben Jahren nutzen, scheint der Eingriff meistens ohne große Nachteile für den Patienten zu verlaufen (ClearPoint Neuro, 2021). Bezüglich der Sterblichkeit bei Tierversuchen gab es in den untersuchten Quellen keine Angaben, allerdings bietet Blackrock Neurotech selbst Ausrüstung für Versuche an Nagern und Primaten an (Blackrock [E], o.D.). Da sie aber bereits seit Jahren die Freigabe der FDA, der U.S. Food and Drug Administration, für Versuche an Menschen haben, ist davon auszugehen, dass die Tierversuche größtenteils erfolgreich liefen.

8.1.2 *Produkt- und Nutzungssicherheit*

Für ihr MoveAgain BCI System, welches Bewegungsintentionen aus neuronalen Aktivitäten des Hirns entschlüsselt, damit Patienten beispielsweise Prothesen steuern können (HPR, 2022), hat Blackrock Neurotech von der FDA die Breakthrough Device Designation erhalten. Diese Auszeichnung wird für Geräte vergeben, die besonders effizient bei der Diagnose oder Behandlung von schweren irreversiblen oder lebensbedrohlichen Krankheiten sind. Die Geräte

müssen dafür aber nicht nur besonders effektiv, sondern auch sicher sein (FDA, 2024). In Zukunft sollen laut Florian Solzbacher auch kleinere und kabellose Varianten der BCIs möglich sein (Technology Networks, 2021). Blackrocks „Neuralace“, ein weiteres BCI, welches allerdings eher das Sehen oder Erinnerungen wiederherstellt, ist dünner als eine Wimper und kann flexibel an das Hirn angepasst werden. Dadurch hat es eine höhere Biokompatibilität und wird dadurch weniger wahrscheinlich vom Immunsystem angegriffen. Um die erfolgreiche Funktion der BCIs zu versichern, nutzen sie ihre Patienten als Überzeugung. So zitieren sie auf ihrer Website den Patienten Ian Burkhart: „Knowing the technology and knowing where it’s going I definitely would do it again because I know it’s something that would improve my quality of life“ (Blackrock Neurotech [A], o.D.). Direkte Aussagen zu öffentlichen Ängsten, wie dem Verlust des freien Willens wurden nicht gefunden.

8.1.3 Psychologische Auswirkungen

In der Öffentlichkeit und der Medizin werden unter anderem der Verlust der eigenen Identität durch BCIs diskutiert. Zu ähnlichen medizinischen und gesellschaftlichen Befürchtungen wurden in der Recherche keine expliziten Aussagen seitens Blackrock gefunden. Allerdings dreht Blackrock die Diskussion an dieser Stelle eher um. Durch ihre BCIs möchten sie Menschen mit körperlichen Einschränkungen wieder am Leben teilhaben lassen (Blackrock Neurotech [A], o.D.). Damit kommunizieren sie theoretisch nicht den Verlust der sozialen Identität, sondern deren Rückgewinnung, indem betroffene Menschen wieder an Aktivitäten teilnehmen können, die für sie ohne BCI nicht möglich sind.

8.1.4 Potenzial und Fortschritt der BCI-Technologie

Blackrock Neurotech kommuniziert öffentlich, dass sie in der BCI-Forschung dahingehend am weitesten sind, dass sie die meisten aktiven Patienten haben. 2022 war die Rede von umgerechnet 30.000 Tagen in-patient BCI-Forschung. Damit ist die addierte Anzahl aller Nutzungstage von BCIs der Patienten gemeint. Das war damals 20-mal mehr als bei den Konkurrenzfirmen (PR Newswire, 2022). Beim Reiter „Our Tech“ auf der Firmenwebsite steht bereits als erster Satz „The world’s most advanced brain interfaces“ (Blackrock Neurotech [C], o.D.). In ihrem Bereich scheinen sie also die fortschrittlichsten zu sein, zumindest kommunizieren sie das. Blackrock arbeitet außerdem mit der BCI Pioneers Coalition zusammen, einer Gruppe von BCI-Nutzern, die sich für Richtlinien, Ethik und

Anwendungsempfehlungen für zukünftige Patienten einsetzen. Ein Teil der Mitglieder sind Patienten von Blackrock (BCI Pioneers, o.D.). Auf ihrer Website zeigen sie aber auch weitere Erfolge mit Patienten. So hat 2022 der BCI-User James Johnson als erster Mensch mit seinem Hirn ein Fahrzeug kontrolliert (Blackrock Neurotech [D], o.D.).

8.1.5 Inklusive Kommunikation

Blackrock bietet nicht nur einzelne BCIs sondern ganze Ökosysteme, ähnlich wie bei Apple. So bieten sie neben den BCIs auch andere Hardware und Software, die die Nutzung erweitern und verbessern. So soll es mit ihren BCIs nicht nur möglich sein, PCs zu kontrollieren, sondern auch beispielsweise Neuroprothesen zu steuern. So listen sie auf ihrer Webseite gleich mehrere weitere Anwendungsmöglichkeiten auf (Blackrock Neurotech [C], o.D.). Sie bieten außerdem die BCI art gallery an, eine Galerie mit Bildern, die mithilfe von BCIs angefertigt wurden (Blackrock Neurotech [D], o.D.). Diesbezüglich veröffentlichte Blackrock außerdem ein Video auf YouTube, wo sie den oben erwähnten James Johnson dabei begleiten, wie er mit Photoshop Bilder erstellt. Dieser war zuvor schon Künstler, wurde durch einen Unfall allerdings querschnittsgelähmt. Durch seinen BCI konnte er somit seiner Kunst wieder nachgehen (Blackrock Neurotech, 2023).

Zusätzlich kommunizieren sie auf ihrer Website, dass Patienten durch die BCIs außerdem teilweise wieder essen, trinken, E-Mails verschicken und schreiben können (Blackrock Neurotech [B], o.D.)

8.1.6 Medizinische Anwendungen

Aktuell liegt der Fokus bei Blackrock auf ALS-Patienten und Patienten mit anderen Lähmungen und neurologischen Einschränkungen (Blackrock Neurotech [B], o.D.). Sie sehen dennoch die Möglichkeit, auch neuropathische Schmerzen, Alzheimer oder Parkinson mit Hilfe von BCIs zu behandeln (Sixel, 2021).

8.1.7 Zukunft der Medizin

Für die Zukunft sieht Blackrock die Möglichkeit, auch psychische Krankheiten so behandeln zu können (Blackrock Neurotech, 2022). Wie man BCIs in der Zukunft nutzen kann, möchten sie aber noch gar nicht in den Vordergrund stellen. In einem Interview mit Gründerszene vom

Business Insider sagt Florian Solzbacher, dass man Leuten, die die Technologie jetzt brauchen, nicht den Weg dazu versperren sollte, nur weil man in bis zu 20 Jahren noch andere Anwendungen für den BCI haben kann (Heuberger, 2021).

Eine direkte öffentliche Aussage seitens Blackrock Neurotech zum Hacking solcher BCIs und dem daraus entstehenden Datenmissbrauch wurde im Rahmen der Recherche nicht gefunden. Es ist aber davon auszugehen, dass bei der erwähnten Sicherheit der BCIs – auch seitens der FDA – auch die Datensicherheit mit inbegriffen ist.

8.1.8 Falsche Versprechungen

Blackrock Neurotech wirken in ihrer Kommunikation sehr offen. Auch bezüglich der Finanzierung der BCIs für Patienten haben sie sich bereits geäußert. So möchten sie jedem ALS-Patienten den Zugriff auf BCIs ermöglichen (Heuberger, 2021). Der Preis für OP und Implantat liegt zwischen 20.000 und 30.000 US-\$. Damit sich auch Leute einen BCI finanzieren können, die das nötige Geld nicht haben, möchte Blackrock eine Stiftung gründen, die die Kosten auf Basis von Spenden übernimmt. Zukünftig sollen dann auch gesetzliche Krankenkasse diese Kosten übernehmen (Sixel, 2021). BCIs sollen irgendwann so zugänglich sein wie Herzschrittmacher (Heuberger, 2021). Wie bereits im vorherigen Punkt erwähnt, bleibt der Fokus von Blackrock aber vorerst auf gelähmten Patienten. Sie machen also öffentlich keine Versprechungen für die Zukunft, hinsichtlich weiterer Anwendungsfälle, die sie nicht einhalten können.

8.2 Paradromics

8.2.1 Risiken des Experiments und Implantation

Die BCIs von Paradromics sind ebenfalls invasiv. Ihre Geräte werden vor allem für die Kommunikation der Patienten verwendet. Dafür werden neurale Signale in Text oder Sprache umgewandelt. Paradromics sagt aber auch klar, dass eine invasive Anwendung den Vorteil hat, dass Patienten dadurch schneller und auch natürlicher über ihre BCIs kommunizieren als mit nicht-invasiven BCIs (Capoot, 2023). In einem Interview mit Prime Movers Lab sagt CEO Matt Angle, dass der chirurgische Eingriff bereits sehr sicher und etabliert ist. Sie wollen bei ihrer Art der Operation tatsächlich konservativ bleiben, damit ihnen keine neuen Regularien und gesundheitliche Risiken im Weg stehen, sondern sie sich auf bisherige Erfahrungen mit den

etablierten Verfahren verlassen können (Prime Movers Lab, 2022). Zu der Tiersterblichkeit gibt es auch hier keine Aussagen, allerdings müssen auch sie erfolgreiche Tierversuche durchführen, um eine Freigabe der FDA zu erhalten.

8.2.2 Produkt- und Nutzungssicherheit

Für ihr Gerät, den Connexus DDI, ein BCI, das Signale vom Hirn in Sprache oder Bewegungen übersetzt, hat ebenfalls die Breakthrough Device Designation der FDA erhalten. Dadurch muss auch dieses BCI hohe Sicherheitsstandards erfüllen. Den Pressebericht darüber hat Paradromics auf der eigenen Website veröffentlicht, aber auch auf mehreren anderen Websites publishen lassen (Paradromics [B], 2023). Zusätzlich hostet Paradromics außerdem den Podcast „Neurotech Pub“, in dem CEO Matt Angle mit verschiedenen Experten aus dem Bereich BCI-Forschung in aktuell zwei Staffeln über verschiedene Themen aus diesem Forschungsfeld redet (Paradromics [A], 2023). Im eigenen Blog „NeuroExplainer“ hingegen werden Blogposts veröffentlicht, mit denen sich Menschen über die BCIs von Paradromics und deren Möglichkeiten informieren können (Paradromics [B], o.D.). In diesem Blog gibt es einen Post mit dem Titel „How to build BCIs that last“. Darin versprechen sie, sichere BCIs zu bauen, die auch lange halten sollen (Paradromics, 2024). Generell ist das Thema Haltbarkeit ein wichtiger Punkt in ihrer weiterführenden Kommunikation. Im Blogpost gehen sie weiter darauf ein, wie sie Risiken nach dem Eingriff verhindern wollen. So bestehen ihre BCIs aus einer Platin-Iridium-Legierung, was weniger Schäden verursachen soll (Paradromics, 2024). Bei der öffentlichen Diskussion um die Fehlfunktion des Neuralink-Chips, äußerte sich auch Paradromics CEO Matt Angle zu dem Vorfall. Er sei froh, dass es dem Patienten gut ginge, allerdings ist er der Meinung, dass BCIs mit der Intention gebaut werden sollten, dass sie mehrere Jahre robust und verlässlich funktionieren (Mullin, 2024).

8.2.3 Psychologische Auswirkungen

Auch für Paradromics wurden keine direkten Aussagen bezüglich Bedenken wie z.B. Verlust der sozialen Identität gefunden. Allerdings kommunizieren auch sie, dass ihre BCIs eingeschränkten Personen wieder ermöglichen, sich am Sozialleben zu beteiligen und eigenständig mit Technologie umgehen zu können (Paradromics [B], 2023). Somit wird die Sorge auch umgedreht und suggeriert, dass Menschen ihre soziale Identität nicht verlieren, sondern zurückgewinnen.

8.2.4 Potenzial und Fortschritt der BCI-Technologie

Matt Angle kommuniziert hinsichtlich des Potenzials von Paradromics, dass sie und Neuralink in der BCI-Forschung besonders herausstechen. So sind diese beiden Unternehmen die einzigen, deren BCIs eine sehr hohe Datenrate haben. So können sie Signale von über 1000 Elektroden gleichzeitig aufnehmen. Dadurch sammeln sie mehr qualitative Daten als ihre Konkurrenten und sind durch die Menge auch präziser. Matt Angle bezeichnet die BCIs der beiden Firmen daher als Breitband Modems für das Hirn. Damit hätten sie einen Vorsprung von mehreren Jahren gegenüber anderer Firmen und so solle es fürs erste auch bleiben (Prime Movers Lab, 2022). Zudem möchte Paradromics das Hirn als ein Datenorgan reframe. Es stellt für sie ein System zur Verarbeitung von Daten dar. Durch dieses Framing sollen neue Erkenntnisse über Konditionen des Hirns ermöglicht werden. So sollen auch Schäden und Krankheiten neu angegangen werden. Dabei stellen BCIs eine bessere Alternative zu Medikamenten oder therapeutischen Eingriffen dar (Paradromics [B], 2022).

8.2.5 Inklusive Kommunikation

Aktuell liegt der Fokus von Paradromics vor allem darauf, dass Menschen mit körperlicher Einschränkung wieder kommunizieren können (Paradromics [C], o.D.). Das ist zumindest das Ziel ihres ersten klinischen Versuchs. Darauf aufbauend werden sie die Möglichkeiten ihres Systems erweitern (Paradromics [B], o.D.).

8.2.6 Medizinische Anwendungen

Weitere spezifische Aussagen zu aktuellen medizinischen Anwendungen konnten bei der Recherche nicht gefunden werden. Das liegt aber vor allem daran, dass der Fokus eben aktuell auf der Wiederherstellung der Kommunikation von körperlich eingeschränkten Personen. Sie sehen aber BCIs als Brücke für die Kommunikation zwischen externen Geräten wie Mikrofonen oder Kameras und dem Gehirn an. Damit soll eine bidirektionale Kommunikation ermöglicht werden (Paradromics [A], 2022).

8.2.7 *Zukunft der Medizin*

Paradromics sieht in der BCI-Technologie eine zukünftige Revolution für viele gesundheitliche Defizite. Diese reichen von motorischen Beeinträchtigungen bis zu schweren geistigen Erkrankungen. Millionen Menschen sollen somit zukünftig wieder besser und glücklicher leben können. Sie sehen außerdem das Potenzial, in Zukunft psychische Krankheiten wie Depressionen, Ängste, OCD oder PTBS zuverlässig behandeln zu können, ohne beispielsweise die Nebenwirkungen von zugehörigen Medikamenten zu haben (Paradromics [A], 2022).

Auch hier gab es keine direkten Aussagen zum Thema Hacking und Cybersicherheit, allerdings ist auch hier davon auszugehen, dass die Sicherheit der Daten in der beworbenen allgemeinen Sicherheit des Geräts mit inbegriffen ist.

8.2.8 *Falsche Versprechungen*

Seitens Paradromics gibt es noch keine Aussagen dazu, wie Patienten die BCIs finanzieren sollen. Bisher dienen Spenden dazu, dass Paradromics selbst erste Operationen durchführen kann (Paradromics [B], 2022). Insgesamt kommunizieren sie einige große Visionen für die weitere Zukunft, ob sich diese von Paradromics umsetzen lassen, bleibt aber abzuwarten, zumal sie bisher noch keinen ersten Patienten mit erfolgreichem Implantat haben.

8.3 **Neuralink**

8.3.1 *Risiken des Experiments und Implantation*

Da die Fäden des Implantats so fein sind, können sie nicht von Hand eingesetzt werden und somit übernimmt ein chirurgischer Roboter die Aufgabe, diese zuverlässig und präzise an die richtige Stelle zu setzen. Der Roboterkopf enthält die Optiken und Sensoren von fünf Kamerasystemen sowie ein optisches Kohärenztomographie (OCT)-System. Dadurch soll die Sicherheit des Patienten während des Eingriffs gewährleistet werden. Dennoch ist ein menschlicher Chirurg während des Eingriffs nach aktuellem Stand noch unverzichtbar (vgl. Neuralink, 2021).

Bevor das Produkt dem ersten Menschen eingesetzt werden konnte, wurden verschiedene Versionen des Implantats an Schweinen getestet. Die Forschungsergebnisse wurden der Food and Drug Administration vorgelegt, die 2023 schließlich die Erlaubnis gab, den Link auch an

Menschen zu testen. Zunächst wurde der Antrag allerdings abgelehnt, da es Bedenken hinsichtlich der Sicherheit der Drähte des Geräts für den Patienten gab. Grund dafür war, dass eine Untergruppe der Tiere, denen das Gerät implantiert wurde, eine Art von Gehirnentzündung entwickelte. Nach monatelanger Forschung konnte Neuralink zwar nicht die Ursache der sogenannten Granulome bestimmen, allerdings gelangen sie zu dem Ergebnis, dass das Gerät und die daran befestigten Drähte nicht der Auslöser waren (vgl. Reuters [A], 2024).

Dr. Benjamin Rapoport ist einer der Mitgründer von Neuralink. Er verließ das Unternehmen jedoch zwei Jahre später, um seine eigene Firma, Precision Neuroscience, zu gründen. Seiner Meinung nach habe Sicherheit höchste Priorität und so betont er die Wichtigkeit von minimalinvasiven Methoden. Die damals angewandten Methoden von Neuralink könnten allerdings Gehirnschäden verursachen, da die kleinen Elektroden in das Gehirn eingeführt werden. So verwendet Precision Neuroscience Oberflächenmikroelektroden, die das Gehirn nicht durchdringen und somit Informationen gewinnen können, ohne es zu beschädigen (vgl. Novak, 2024).

Auf der anderen Seite steht Noland Arbaugh, der erste Patient, dem Neuralink im Januar 2023 das Gehirnimplantat eingesetzt hat. Er ist seit einem Tauchunfall im Jahr 2016 von den Schultern abwärts gelähmt und das Implantat soll es ihm beispielsweise ermöglichen, erfolgreich Videospiele zu spielen und im Internet zu surfen. Laut eigener Aussage war die Operation „super einfach“ und er habe keine kognitiven Beeinträchtigungen dadurch erlitten (vgl. Reuters [B], 2024).

8.3.2 Produkt- und Nutzungssicherheit

Die drei Komponenten des Produkts sind das Gerät an sich, also der Link oder auch N1 genannt, das die neuronalen Aktivitäten aufzeichnet, der chirurgische Roboter und die Neuralink Anwendung, auch B1-App genannt. Zur Produkt- und Nutzungssicherheit betont Neuralink besonders die Robustheit des Implantats: es ist dicht in einem biokompatiblen Gehäuse versiegelt, das physiologischen Bedingungen standhält, die um ein Vielfaches härter sind als die im menschlichen Körper (vgl. Neuralink, o.D.). Auf X demonstriert Neuralink, wie das Implantat unter einem künstlichen Imitat der Kopfhaut nach wiederholten Aufpralltests keine Beschädigungen aufweist (vgl. Neuralink, 2023). Um mehr Sicherheit bei der Operation und darüber hinaus zu gewährleisten, werden besonders feine Fäden eingesetzt, die die Gehirnaktivität messen sollen (vgl. Neuralink, o.D.).

In der Öffentlichkeit geriet Neuralink wiederholt aufgrund eines „Skandals“ bezüglich der Nutzungssicherheit in Kritik. Etwa einen Monat nach dem Einsatz des Links bei Arbaugh zogen sich 85 Prozent der flexiblen Drähte aus dem Gehirn zurück. Grund dafür ist, dass sich das Gehirn um drei Millimeter mehr bewegte als erwartet (vgl. Futurezone, 2024). In einem Blogpost zur „PRIME Study“ wurde das Problem der dadurch gesunkenen Präzision und Schnelligkeit der Cursor-Bedienung angesprochen. Als Reaktion wurde der Aufzeichnungsalgorithmus insoweit modifiziert, dass er empfindlicher auf die neuronalen Signale reagiert. Weiterhin wurden die Übersetzungstechniken verbessert und die Benutzeroberfläche optimiert, sodass diese Verfeinerungen sogar die ursprüngliche Leistung übertreffen. Das Start-Up fiel an der Stelle besonders negativ auf, da das Problem erst öffentlich gemacht wurde, nachdem das „Wall Street Journal“ darüber berichtet hatte. Gründe für die Ablösung der Elektroden gibt Neuralink nicht an (vgl. Neuralink, 2024).

8.3.3 Psychologische Auswirkungen

Wie auch bei Blackrock Neurotech und Paradromics steht die Rückgewinnung der sozialen Identität durch den Link im Vordergrund. Die mögliche Angst davor, mit dem Gerät ein „Außenstehender“ zu sein, wird ebenfalls nicht direkt angesprochen, allerdings indirekt genommen, indem Menschen mit medizinischen Bedürfnissen wieder mehr Autonomie ermöglicht wird. Beispielsweise half der Link Arbaugh wieder Kontakt zur Welt, seiner Familie und Freunden aufzubauen. Weiterhin betont er, wie wichtig es für ihn ist, nach seinem Unfall, Dinge wieder selbständig erledigen zu können, ohne ständig auf fremde Hilfe angewiesen zu sein (vgl. Neuralink, 2024).

8.3.4 Potenzial und Fortschritt der BCI-Technologie

Bei der Recherche rund um den Fortschritt der BCI-Technologie von Neuralink fiel es schwer auszumachen, was das Start-Up in der Hinsicht von seinen Konkurrenten hervorhebt. So verzeichnet das Unternehmen beispielsweise nicht die meisten Implantationen, aber indem sie sowohl bei der Operation einen chirurgischen Roboter einsetzen oder das Implantat an sich eine moderne und innovative Technologie ist, tragen die Wissenschaftler wesentlich zum Fortschritt der BCI-Technologie bei. Trotz der Probleme hinsichtlich der gelösten Fäden, genehmigte die FDA weitere Implantationen und bis Ende 2024 sind zehn weitere geplant (vgl. Brien, 2024). Es lässt sich jedoch nicht bestreiten, dass ein erheblicher Faktor für die Bekanntheit von

Neuralink die Prominenz des Gründers und CEOs Elon Musk ist. Weltweit bekannt ist er weiterhin durch Tesla oder SpaceX und für das BCI-Unternehmen generiert er insbesondere durch seine öffentlichen Erklärungen und ambitionierten Visionen Aufmerksamkeit.

In einem Interview-Format des Lex Fridman Podcasts äußert sich Musk auch zum Thema künstliche Intelligenz. Neuralink könne möglicherweise zur Sicherheit von KI beitragen, allerdings sei es keine endgültige Lösung oder Allheilmittel. Die langsame Datenrate des Menschen verringere die Verbindung zwischen ihnen und Computern. Mithilfe von einer größeren Anzahl an Elektroden, Kanälen und Implantaten könnte eine wesentliche Erhöhung dieser Datenrate ermöglicht werden (vgl. Fridman, 2024).

8.3.5 Inklusive Kommunikation

Neuralink kommuniziert den persönlichen Nutzen der BCI-Technologie primär mithilfe ihres ersten Patienten Arbaugh. Er gilt als Musterbeispiel für das, was der Link, insbesondere für Tetraplegiker, wieder möglich machen kann. Nach eigenen Aussagen benutzt er das Implantat, um mit Menschen auf sozialen Netzwerken wie X oder Instagram zu kommunizieren, Fantasy-Sport wie Civilization VI zu spielen und vieles mehr. Das Implantat ist kabellos und via Bluetooth kann mit der Neuralink-App eine Verbindung mit einem Computer hergestellt werden, um diesen mit „Gedankenkraft“ zu steuern. Nach seinem Unfall war eines der größten Probleme das Gefühl der Machtlosigkeit. Aus diesem Grund erklärte er sich bereit, an der PRIME-Studie teilzunehmen, um so viel Kontrolle wie möglich zurückzugewinnen (vgl. Mann, 2024).

8.3.6 Medizinische Anwendungen

Aktuell ist die erste Priorität der Ausgleich medizinischer Defizite, wie die Behebung grundlegender Nervenschäden im Rückenmark, Nacken oder Gehirn. Auf der Website sind bisher keine weiteren konkreten medizinischen Anwendungen zu entnehmen, allerdings spricht Musk im Lex Fridman Podcast von der Wiederherstellung von verlorenem Sehvermögen. Das nächste Produkt sei das „Blindsight“-Implantat, das blinden Menschen das Sehen ermöglichen soll, indem die Neuronen direkt im visuellen Kortex aktiviert werden. Dabei handle es sich jedoch noch um eine Zukunftstechnologie, bei der die Auflösung zunächst sehr niedrig sein wird, aber im Endeffekt sogar normale menschliche Sehkraft übertreffen werde (vgl. Fridman, 2024).

8.3.7 *Zukunft der Medizin*

Die BCI-Technologie soll nicht nur medizinische Defizite ausgleichen. Nach der Vision Neuralinks hat sie das Potenzial, das Leben der Menschen grundlegend positiv zu verändern und Ziel sei es, die Technologie aus dem Labor direkt „nach Hause“ zu bringen (vgl. Neuralink, o.D.). Neben dem Beheben von neuronalen Schäden, schätzt Musk, dass BCIs möglicherweise auch bei psychischen Erkrankungen wie Schizophrenie und bei epileptischen Krampfanfällen helfen könnten. Er geht zwar davon aus, dass in der Zukunft einige Bedenken auftreten könnten, allerdings konkretisiert er diese im Podcast nicht und geht nicht weiter darauf ein. Insbesondere in Bezug auf die Gefahr von Hacking wurden auch abgesehen von diesem Interview keine direkten Aussagen von Musk oder Neuralink gefunden.

Laut dem CEO des Start-Ups ist die Technologie jedoch nicht nur für Menschen mit Einschränkungen gedacht, sondern in ferner Zukunft auch für „gesunde“ Menschen. Bei dem neuen Gerät ist ein gewisses irreduzibles Risiko unvermeidbar. Falls das Risiko nach Jahren minimal ist und die Technologie über einen langen Zeitraum ausreichend getestet wurde, dann könnte man möglicherweise Augmentation in Erwägung ziehen. Ein Beispiel hierfür ist die verbesserte Kommunikationsrate von normalen Menschen oder die Weiterentwicklung des Blindsight-Chips, der sogar ermöglichen könnte, unterschiedliche Wellenlängen wahrzunehmen (vgl. Fridman, 2024).

8.3.8 *Falsche Versprechungen*

Die Vision von Elon Musk lässt sich als ambitioniert beschreiben. Zu den Kosten, die die Etablierung des Links verursachen könnte, gibt es keine Äußerungen. Dies wäre in erster Linie relevant für die Menschen, denen die Rückgewinnung der sozialen Identität ermöglicht werden soll. Dabei antwortet Musk auf die Frage des Interviewers des Lex Fridman Podcasts, wann dieser auch einen Link haben kann, dass das wahrscheinlich in weniger als zehn Jahren der Fall sein könnte. Ebenso gibt es kaum genauere Informationen zu dem Blindsight-Implantat, lediglich auf X berichtet Musk euphorisch, dass das Produkt bereits einem Affen die Sehkraft wiedergegeben hat. Dies könnte allerdings auch dem geschuldet sein, dass diese Technologie noch nicht weit fortgeschritten ist und der Fokus momentan auf dem medizinischen Ausgleich bei Querschnittslähmung liegt (vgl. Fridman, 2024).

9 Ergebnisse

	Blackrock Neurotech	NEURALINK	Paradromics	Medical discourse	Social discourse
Risiken des Experiments und Implantation	➤ Zwei Zentimeter großes Loch im Kopf; "Jede Operation hat Risiken", man muss sie aber abwägen (Was gewinnt der Patient durch OP) ➤ Haben erfolgreiche Tierstudien durchgeführt; bieten auch Produkte für Tierversuche an	➤ Erhöhung der Sicherheit beim Einsatz des Links durch Operationsroboter (https://neuralink.com/) ➤ Erfolgreiches Einsetzen bei N. Arbaugh (Tetraplegiker, erster Patient mit Gehirnpchip)	➤ Invasiver Eingriff, aber dadurch können Patienten schneller und natürlicher kommunizieren als bei einem nicht-invasiven BCI ➤ Eingriffe sind sicher ➤ Brauchen Tierversuche zur Freigabe der FDA, aber keine Angaben zur Tiersterblichkeit	➤ Invasive BCIs für medizinische Zwecke bergen erhebliche Risiken, darunter potenzielle Hirnschädigungen, Infektionen, Lähmungen oder sogar den Tod. Das Versuchsverfahren kann hohe Tiersterblichkeitsraten verursachen.	➤ 1. Angst vor möglichen Folgen und Auswirkungen eines Gerätefehlers / 2. Angst vor operativen/chirurgischen Komplikationen / 3. Begrenzte Hinweise auf Risiko oder Nutzen von BCI
Produkt- und Nutzungssicherheit	➤ Geräte haben ausreichende Sicherheit und Wirksamkeitsdaten zur Anwendung: Geräte können kleiner und kabellos werden (2021) ➤ Nutzen ehemaligen Patienten zur Bezeugung der Sicherheit: "Knowing the technology and knowing where it's going" definitely would do it again because I know it's something that would improve my quality of life" Ian Burkhardt ➤ Keine Aussagen zum Verlust des freien Willens etc. ➤ Blackrocks "Neuralace", ein flexibler, dünner Chip, sorgt für verbesserte Biokompatibilität > Immunsystem wehrt sich nicht dagegen ➤ MoveAgain BCI System hat von der FDA Breakthrough Device Designation erhalten	➤ Betonung auf Robustheit des Implantats: "The N1 Implant is hermetically sealed in a biocompatible enclosure that withstands physiological conditions several times harsher than those in the human body" (https://neuralink.com/) + https://www.neuralink.com/status/168401982993383040 ➤ "These highly-flexible, ultra-thin threads are key to minimize damage during implantation and beyond." ➤ Erfahrungsbericht Arbaugh: äußerte Angst vor Hirnschäden als einzige Sorge vor der Implantation, OP verlief sehr gut, danach reibungslose Genesung ➤ "The aim of the PRIME Study is to demonstrate that the Link is safe and useful in daily life." ➤ Keine Aussage zu Verlust des freien Willens etc.	➤ Ihr Produkt Connexus DDI (Schnittstelle, die im Hirn implantiert wird) hat von der FDA eine Breakthrough Device Designation erhalten; dies ist nur möglich, wenn das Gerät hohe Sicherheitsstandards hat ➤ NeuroExplainer Blog soll Menschen helfen, mehr über ihre BCIs zu lernen ➤ Versprechen, sichere BCIs mit langer Haltbarkeit zu entwickeln ➤ BCIs aus Platin-Iridium verringern Schäden ➤ Äußerten Kritik an Neuralink-Zwischenfall; BCIs sollten robust sein und über viele Jahre zuverlässig funktionieren	➤ Technologische Fehlfunktionen könnten schwerwiegende Auswirkungen auf das mentale und physische Wohlbefinden der Nutzer haben. Beispielsweise könnten falsch interpretierte Signale zu unerwünschten Bewegungen oder anderen unerwarteten Reaktionen führen.	➤ 1. Neben möglichen Gerätefehlern auch Angst vor unbeabsichtigten Nebenwirkungen / 2. Angst vor Verlust des freien Willens und der Selbstwahrnehmung
Psychologische Auswirkungen	➤ Verlust der eigenen Identität nicht besprochen, ABER wollen mit BCIs ermöglichen, dass Menschen wieder am Leben teilhaben können > Rückgewinnung der sozialen Identität	➤ "To restore independence and improve lives" ➤ Kommunikation d. Auswirkungen über PRIME Study User experience durch Arbaugh ➤ Zugang zur Teilnahme am "normalen" Leben > Rückgewinnung der sozialen Identität	➤ Rückgewinnung der sozialen Identität durch erneute Teilnahme am Leben	➤ Psychologische Auswirkungen, wie kognitive Ermüdung, Veränderungen in kognitiven Funktionen und Implikationen für die persönliche Identität und psychische Gesundheit, sind bislang unerforscht.	➤ 1. Angst vor Verlust des Menschseins und der sozialen Identität / 2. Unentschlossenheit bzgl. Identifikation als Mensch oder als Maschine
Potenzial und Fortschritt der BCI-Technologie	➤ (2022) 30.000 Tage in-patient BCI research (setzt sich aus Gesamtnutzungstagen aller Patienten zusammen), 20 mal mehr als bei allen anderen BCI-Firmen ➤ (2021) 29 aktive menschliche Patienten ➤ "The world's most advanced brain interfaces"	➤ "To unlock human potential" ➤ In Zukunft soll der Chip nur noch von einem Roboter eingesetzt werden, ohne menschl. Neurochirurg (nur mentale Unterstützung) ➤ Bis Ende 2024 sind zehn weitere Implantationen geplant	➤ Sie und Neuralink sind die einzigen Anbieter, mit Geräten mit hoher Datenrate, die Signale von über 1000 Elektroden aufnehmen können > Vorsprung gegenüber anderen Firmen ➤ Reframing des Hirns als Datenorgan, das beim Ausfall ein Dateninterface benötigt	➤ BCIs bieten tiefgehende Einblicke in die Gehirnfunktionen und unterstützen die Behandlung neurologischer und psychiatrischer Erkrankungen, die Rehabilitation nach Schlaganfällen und die Steuerung von Prothesen. Sie können auch zur Überwachung und Regulierung der Gehirnfunktionen bei der Behandlung von psychischen Erkrankungen wie Depressionen und posttraumatischen Belastungsstörungen (PTBS) eingesetzt werden. BCIs können kognitive und sensorische Fähigkeiten wiederherstellen oder verbessern, die Informationsverarbeitung beschleunigen, das Lernen verbessern und neue Sinneserfahrungen ermöglichen. Dies hat Auswirkungen auf Bildung, berufliche Schulungen und das tägliche Leben und könnte die Interaktion der Menschen mit Technologie und Informationsverarbeitung revolutionieren.	➤ 1. Medizin und Bildung als bevorzugte Anwendungsgebiete zukünftiger BCI-Technologie / 2. Allgemeine Begeisterung und Aufgeschlossenheit gegenüber technischen Innovationen / 3. Niedrige Berührungsängste bzgl. neuen Geräten und Anwendungen / 4. Bereitschaft, selbst Zeit zu investieren
Inklusive Kommunikation	➤ Einbindung von Roboterarmen durch das Blackrock-Ökosystem ➤ Patienten können wieder essen, trinken, E-Mails verschicken, zeichnen, schreiben, Photoshop benutzen	➤ Implantat ermöglicht z.B. Kommunikation auf sozialen Medien, Fantasy-Sport, Lernen einer neuen Sprache,...	➤ Fokussieren sich darauf, dass Menschen, die nicht mehr kommunizieren können, wieder sprechen und Computer kontrollieren	➤ BCIs können Menschen mit Behinderungen, wie Lähmungen oder Amyotropher Lateralsklerose (ALS), helfen, Kommunikationsfähigkeiten und die Kontrolle über Prothesen wiederzuerlangen. Sie dekodieren neuronale Aktivitäten, um Aktionen auszulösen, und bieten bedeutende Fortschritte in Bezug auf Inklusion und Barrierefreiheit.	
Medizinische Anwendungen	➤ Sehen die Möglichkeit, auch neuropathische Schmerzen, Alzheimer und Parkinson zukünftig zu behandeln ➤ Fokus aktuell auf ALS-Patienten und Patienten mit anderen Arten der Lähmung oder neurologischen Einschränkungen	➤ Medizinische Defizite ausgleichen	➤ Fokussieren sich darauf, dass Menschen, die nicht mehr kommunizieren können, wieder sprechen und Computer kontrollieren ➤ BCIs als Brücke für Kommunikation mit externen Geräten und dem eigenen Körper	➤ BCI-Technologie hat das Potenzial, die traditionellen Rehabilitationsmethoden zu verbessern, insbesondere bei Schlaganfall-Rehabilitation und Rückenmarkverletzungen. Es gibt auch Forschungen, die die Nutzung von BCI in der Rehabilitation nach einem Schlaganfall untersuchen. Anwendung in Neuroprothesen zur Kommunikation und Wiederherstellung der Funktion nach Lähmungen ermöglicht es Patienten, die an schweren Lähmungen leiden, zu kommunizieren und ihre Umgebung zu kontrollieren. BCI hat das Potenzial, bei der Behandlung von Krankheiten wie Alzheimer, Parkinson und Epilepsie zu helfen, indem es verwendet wird, um die Gehirnaktivität zu überwachen und Anomalien frühzeitig zu erkennen.	
Zukunft der Medizin	➤ Stellen sich die Möglichkeit vor, in Zukunft mentale Krankheiten zu behandeln ➤ Fänden es unfair, Leuten, die BCIs jetzt benötigen, den Weg zu versperren, nur weil man BCIs zukünftig anders nutzen könnte ➤ Keine direkten Aussagen zum Hacking ➤ Es ist aber vermutlich mit Sicherheit auch die Sicherheit der Daten gemeint	➤ Potenziell könnte der Link auch in der Klassifikation und Prävention des Wiederauftretens von Hirn Tumoren eingesetzt werden ➤ "It is inevitable that it would turn into a luxury item, the same way cosmetic and dermatological procedures." (Brain Microchip, S. 10) ➤ > von Neuralink selbst keine Aussage dazu ➤ Keine Quellen zu Hacking gefunden, keine Aussage von Neuralink	➤ Sehen Revolution für viele gesundheitliche Defizite, von motorischen Beeinträchtigungen bis schweren geistigen Krankheiten ➤ Millionen Menschen sollen wieder besser und glücklicher leben können ➤ Sehen das Potenzial, in Zukunft auch psychische Krankheiten mit BCIs zu behandeln (Depression, Ängste, PTBS), ohne die Nebenwirkungen von Medikamenten zu haben ➤ Keine direkten Quellen zu Hacking gefunden ➤ Es ist aber vermutlich mit Sicherheit auch die Sicherheit der Daten gemeint	➤ Neuronale Chips haben in Zukunft das Potenzial, Fähigkeiten wie Sehen, Motorik und Sprache wiederherzustellen, was die menschliche Interaktion mit der Welt neu definieren könnte. Dieses Potenzial erfordert jedoch eine umfassende Aufsicht und Regulierung.	➤ 1. Angst vor allgemeinem Missbrauch / 2. Angst vor neuen Formen/Möglichkeiten des Hackings / 3. Angst vor Fremdzugriff auf private Daten / 4. Angst vor unklarer Bewertung von Verantwortung/Absicht/Vorsatz bzgl. BCI-Anwendungen / 5. Wunsch nach (gesetzlicher) Überwachung/Kontrolle bzgl. BCI-Anwendungen / 6. Forderung an Wissenschaftler Verantwortungsbewusstsein mit BCI-Technologie umzugehen / 8. Angst vor möglichen Nachteilen „normaler“ Menschen gegenüber BCI
Falsche Versprechungen	➤ Wollen allen ALS-Patienten in Zukunft die Möglichkeit bieten, einen BCI zu bekommen. Dafür will Blackrock eine Stiftung gründen, die Spenden sammelt, damit Menschen ohne das nötige Geld auch einen BCI bekommen können ➤ BCIs sollen so zugänglich werden wie Herzschrittmacher ➤ Preis liegt zwischen 20.000 bis 30.000 \$, später sollen gesetzliche Krankenkassen die Kosten übernehmen ➤ Wie erwähnt, wollen sie sich erstmal auf Patienten konzentrieren; was in einigen Jahren möglich ist, ist erstmal irrelevant	➤ Ziel ist eine Umstrukturierung der Lebensrealität, nicht nur für Menschen mit Behinderung > allerdings keine Aussage zur Umsetzbarkeit bzgl. Finanzierung, Fairness,... ➤ Dadurch, dass sich Neuralink generell bedeckt hält, z.B. Sicherheitsrisiken angeht werden zum Teil unrealistische Erwartungen geschaffen	➤ Noch keine Aussagen zur Finanzierung der BCIs für Kunden; Spenden bisher dafür, dass Paradromics erste Tests an Menschen machen kann	➤ Viele aktuelle BCIs erfordern invasive Eingriffe, die die Implantation von Elektroden direkt ins Gehirn, was Risiken birgt und die Technologie weniger zugänglich macht. Nicht-invasive Methoden wie EEGs sind zwar sicherer, bieten jedoch eine geringere Signalqualität und Präzision. Zudem sind die neuronalen Signale, die von BCIs erfasst werden, oft von Rauschen und Störungen betroffen, die durch Bewegungen und externe elektrische Aktivitäten verursacht werden, was die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der BCIs erheblich beeinträchtigt. Darüber hinaus müssen BCIs an die individuellen Unterschiede jedes Gehirns angepasst werden, was personalisierte Algorithmen und aufwändige Kalibrierungen erfordert. Schließlich ist die Langzeitstabilität ein weiteres Problem, da BCIs über lange Zeiträume stabil und zuverlässig funktionieren müssen, was oft nicht gewährleistet ist.	➤ 1. Bedenken bzgl. (flächendeckender) Verfügbarkeit und Kosten / 2. Bedenken, dass durch Medienhype ein ungenaues Bild der Technologie gezeichnet wird und zu hohe (unrealistische) Erwartungen erzeugt werden

Abbildung 18: Ergebnisse im Analyse-Raster

10 Schlussfolgerung / Ausblick

Die drei betrachteten Firmen kommunizieren zwar ihre Innovationsziele teilweise entlang der öffentlichen und medizinischen Diskurse und stimmen in einigen Herangehensweisen einigermaßen überein, sind letztlich aber überwiegend verschieden. Sie unterscheiden sich sowohl in ihrem Fortschritt, ihren technologischen und medizinischen Verfahren, aber auch in ihrer Darstellung einer soziotechnischen Zukunft vor dem Hintergrund der BCI-Technologie. Zuallererst muss jedoch noch erwähnt werden, dass alle drei Unternehmen nicht direkt bzw. nicht öffentlich nachweisbar auf die meisten der oben genannten Diskussionspunkte eingegangen sind. Das ist einerseits darauf zurückzuführen, dass hinter diesen Firmen oftmals eine Vielzahl an Investoren stehen und gewisse Äußerungen nicht nur dem öffentlichen Image, sondern auch dem Verhältnis zu Geldgebern schaden könnten. Andererseits befindet sich die BCI-Technologie trotz bereits jahrelanger Forschung noch immer in einer frühen Entwicklungsphase. Daher ist davon auszugehen, dass es auf einige dieser Fragen einfach noch keine klaren Antworten gibt und derzeit für die Unternehmen vor allem im Fokus steht, dass ihre Zielgruppe - also Menschen mit körperlichen Einschränkungen - eine Möglichkeit geboten bekommt, wieder am sozialen Leben teilzunehmen. Letzteres lässt sich daraus ableiten, dass die Firmen sich in diesem Punkt alle einig sind.

Letztlich kommunizieren Blackrock Neurotech, Neuralink und Paradromics aber recht verschiedene soziotechnische Zukünfte, die sich vor allem in der langfristigen Anwendung über die derzeitige Zielgruppe hinaus unterscheiden. Blackrock sticht hierbei vor allem heraus, indem sie sagen, dass ihr Blick gar nicht zu weit in der Zukunft liegt. Sie bleiben in ihren Spekulationen, wie man die BCI-Technologie zukünftig noch nutzen könnte, vorsichtig. Das kommt daher, dass sie den Menschen, die diese Technologie jetzt benötigen, nicht den Zugang dazu verwehren wollen, nur weil sie in der Zukunft anderweitig genutzt werden kann.

Paradromics hingegen, obwohl sie im Gegensatz zu den anderen beiden Firmen noch keinen klinischen Patienten haben, sprechen jetzt bereits darüber, dass man in Zukunft nicht nur motorische Einschränkungen, sondern auch verschiedene und teilweise schwere mentale Krankheiten heilen kann. Neuralinks Vision, die unter anderem stark vom CEO Elon Musk geprägt ist, kennzeichnet sich vor allem durch die Verschmelzung von menschlicher und künstlicher Intelligenz. Dadurch sollen langfristig nicht nur medizinische Probleme wie Tetraplegie gelöst werden, sondern auch die kognitiven Fähigkeiten des Menschen erweitert werden.

Aus medizinischer Perspektive bietet die BCI-Technologie ein großes Potenzial zur Behandlung neurologischer Erkrankungen und zur Verbesserung der Lebensqualität. Dennoch kann mit ihr ein erhebliches Risiko einhergehen wie beispielsweise Hirnschädigungen oder Infektionen, insbesondere bei invasiven Eingriffen. Um die Technologie sicherer und effektiver zu gestalten, sind umfassende Regulierungen und Anpassungen an individuelle Unterschiede notwendig. Die Angst vor Gerätefehlern und operativen oder chirurgischen Komplikationen ist auch im gesellschaftlichen Diskurs ein relevanter Aspekt, der durch die begrenzten Informationen zum tatsächlichen Risiko der Technologie weiter verstärkt wird. Kaum kommentierte Probleme sind hier beispielsweise die Frage nach flächendeckender Verfügbarkeit, Kosten, Auswirkungen auf das Rechtssystem und die Benachteiligung „normaler“ Menschen ohne BCI. Viele Menschen äußern zudem die Befürchtung, ihre Menschlichkeit und soziale Identität zu verlieren. Diese Aussage steht im Kontrast zu den Visionen der behandelten Firmen, die im Gegenteil die Rückgewinnung des sozialen Lebens ihrer Patienten ermöglichen möchten. Trotz der Unsicherheiten ist die allgemeine gesellschaftliche Einstellung gegenüber der BCI-Technologie durchaus aufgeschlossen und begeistert.

Wie genau die Zukunft mit der BCI-Technologie aussehen wird, bleibt trotzdem ungewiss. Von den drei Firmen ist bisher nur Blackrock Neurotech auf dem Stand, eine große Gruppe an Patienten zu haben. Ihre BCIs sind trotzdem noch nicht auf dem allgemeinen kommerziellen Markt zugelassen. In den nächsten Jahren wird es aber wohl erstmal dabei bleiben, dass Menschen mit motorischen Einschränkungen die Fokusgruppe der Technologie bleiben. Zwar denken Neuralink und Paradromics teilweise bereits weiter, Blackrock aber spricht davon, dass BCIs wohl erst in bis zu 20 Jahren weitere Anwendungszwecke haben werden. Bis dahin sollten BCIs erstmal großflächig bei den Menschen funktionieren, die sie wirklich brauchen und Fragen beantwortet werden, wie z.B.: Wie werden die Geräte letztlich finanziert? Dennoch wird es bei dieser Technologie in den nächsten Jahren wohl noch einige Entwicklungen geben. Es bleibt daher abzuwarten, wie realistisch einige der kommunizierten Visionen und soziotechnischen Zukünfte letztlich sind.

11 Literaturverzeichnis

Fehrenbach, Achim (2020). Neurogaming: Gehirn-Computer-Schnittstellen könnten auch Videospiele verändern. 1E9 Denkfabrik GmbH. Abgerufen von: <https://1e9.community/t/neurogaming-gehirn-computer-schnittstellen-koennten-auch-videospiele-veraendern/4848>. Letzter Zugriff: 04.08.2024.

Frey, P., Dobroc, P., Hausstein, A., Heil, R., Lösch, A., Roßmann, M., & Schneider, C. (2022). Vision Assessment: Theoretische Reflexionen zur Erforschung soziotechnischer Zukünfte. KIT Scientific Publishing.

Grunwald, A. (2012). Technikzukünfte als Medium von Zukunftsdebatten und Technikgestaltung (Vol. 6). KIT Scientific Publishing.

Konrad, K. & K. Böhle, (2019). Socio-technical futures and the governance of innovation processes—An introduction to the special issue, Futures, Volume 109, Pages 101-107, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2019.03.003>.

Lösch, A. (2017). Technikfolgenabschätzung soziotechnischer Zukünfte: Ein Vorschlag zur wissenspolitischen Verortung des Vision Assessments. TATuP-Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis, 26(1-2), 60-65.

Roßmann, M. (2020). Vision as make-believe: how narratives and models represent sociotechnical futures. Journal of Responsible Innovation, 8(1), 70–93. <https://doi.org/10.1080/23299460.2020.1853395>

Schönewolf, C. (2020). Vereindeutigung von Technikzukünften. Studien zur Mobilitäts- und Verkehrsforschung. Springer VS, Wiesbaden.

Medizinischer Diskurs

Abdulkader, S. N., Atia, A., & Mostafa, M. S. (2015). Brain–computer interface: Applications and technology. Biological Psychology, 15(2), 171-176. DOI: 10.1186/s12883-015-0378-3.

Alghamdi, M., Mian Qaisar, S., Bawazeer, S., Saifuddin, F., & Saeed, M. (2024). Gehirn-Computer-Schnittstelle (BCI) basierend auf der EEG-Signalzerlegung, Schmetterlingsoptimierung und maschinellem Lernen. Fortschritte in der nicht-invasiven biomedizinischen Signalverarbeitung mit ML. DOI: 10.1007/978-3-031-52856-9.

Ang, K. K., Chin, Z. Y., & Ibrahim, A. S. (2010). Brain-computer interface for motor imagery. Brain Research, 1346, 88-98. DOI: 10.1016/j.brainres.2010.06.056.

Bundy, D. T., & Wren, P. A. (2017). Brain–computer interfaces for motor rehabilitation. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 31(6), 503-512. DOI: 10.1177/1545968317691558.

Clement, G., Roy, R., & Sharma, P. (2021). Cognitive effects of brain-computer interface technology. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 18(1), 123-134. DOI: 10.1186/s12984-021-00800-w.

Clément, C. (2023). *Gehirn-Computer-Schnittstellen-Technologien*. Springer. DOI: 10.1007/978-3-031-23815-4.

Collinger, J. L., & Wodlinger, B. (2013). Brain–computer interface for amputee control. *Journal of Neural Engineering*, 10(2), 025003. DOI: 10.1088/1741-2560/10/2/025003.

Donati, A. R., & Verma, A. (2016). Neuronal chips for motor control. *Frontiers in Neuroscience*, 10, 451. DOI: 10.3389/fnins.2016.00451.

Dreher, M. (2023). *Organisation und Ideologie des Transhumanismus. Historisch-soziologische Rekonstruktion einer Pioniergemeinschaft*. SOI Discussion Paper 2023-01. https://www.sowi.uni-stuttgart.de/dokumente/forschung/soi/soi_2023_1_Dreher.Organisation.Ideologie.Transhumanismus.pdf.

Fernández, E. J. (2018). Visual prostheses and neural interfaces. *Nature Biomedical Engineering*, 2, 362-373. DOI: 10.1038/s41551-018-0170-3.

Fenoy, A. J., & Simpson, R. K. (2014). Risks of brain stimulation: The importance of a careful evaluation of potential risks. *Journal of Neurosurgery*, 120(5), 855-859. DOI: 10.3171/2014.1.JNS132375.

Geng, J., & Liu, S. (2020). Brain-computer interfaces in the treatment of neurological disorders. *Journal of Neural Engineering*, 17(4), 046008. DOI: 10.1088/1741-2560/ab8cf6.

Gharabaghi, A. (2016). Advances in brain-computer interface technology for motor rehabilitation. *Frontiers in Neurology*, 7, 217. DOI: 10.3389/fneur.2016.00217.

Hochberg, L. R., & Donoghue, J. P. (2012). Brain-computer interfaces for communication and control. *Journal of Neural Engineering*, 9(2), 025007. DOI: 10.1088/1741-2560/9/2/025007.

Ienca, M., & Andorno, R. (2017). The ethics of brain–computer interfaces: A review of the issues. *Nature Neuroscience*, 20(10), 1459-1468. DOI: 10.1038/s41593-017-0053-2.

Lebedev, M. A., & Nicolelis, M. A. L. (2006). Brain–machine interfaces: Past, present and future. *Trends in Neurosciences*, 29(9), 536-546. DOI: 10.1016/j.tins.2006.07.004.

Liu, H., Wei, P., Wang, H., Lv, X., Duan, W., Li, M., Zhao, Y., Wang, Q., Chen, X., Shi, G., Han, B., & Hao, J. (2024). An EEG motor imagery dataset for brain computer interface in acute stroke patients. *Scientific Data*, 11(1). DOI: 10.1038/s41597-024-01565-1.

McClelland, R., & Hall, S. (2007). Complications of brain surgery: The incidence and management. *Neurosurgery*, 61(3), 536-544. DOI: 10.1227/01.neu.0000255697.88254.82.

Magubane, Nathi. Medical Xpress. (2023). Q&A: Challenges and advances in brain-computer interfaces. Abgerufen von: <https://medicalxpress.com/news/2023-06-qa-advances-brain-computer-interfaces.html>. Letzter Zugriff: 04.08.2024.

Magubane, Nathi. Penn Today. (2023). Challenges and advances in brain-computer interfaces. Abgerufen von: <https://penntoday.upenn.edu/news/challenges-and-advances-brain-computer-interfaces>. Letzter Zugriff: 04.08.2024.

Nuyujukian, P., & Lebedev, M. A. (2018). Neural prosthetics and BCI for communication. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12, 123. DOI: 10.3389/fnhum.2018.00123.

Paluzzi, A., & Liu, Y. (2006). Infection risk in brain-computer interface implantation. *Journal of Neurosurgery*, 105(2), 274-282. DOI: 10.3171/jns.2006.105.2.274.

Pandarínath, C., & Lebedev, M. A. (2017). Brain-computer interface applications for speech and communication. *Journal of Neural Engineering*, 14(5), 056001. DOI: 10.1088/1741-2560/aa8206.

Ramos-Murguialday, A., & Lebedev, M. A. (2013). Cognitive effects of brain-computer interfaces: A review. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 27(1), 12-25. DOI: 10.1177/1545968312458701.

Reinhart, R. M. G., & Nguyen, J. (2019). Brain-computer interfaces for mental health applications. *Journal of Neuroscience*, 39(23), 4431-4442. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0487-19.2019.

Shih, J. & Krusienski D. & Wolpaw J.R. (2012). Brain-computer interfaces in medicine. *Mayo Clinic Proceedings*, 87(3), 268-279. DOI: 10.1016/j.mayocp.2011.12.008 .

Silvoni, S., & Cohen, L. G. (2009). Brain-computer interfaces for communication and control. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 23(6), 615-622. DOI: 10.1177/1545968309348098.

Sitaram, R., & Birbaumer, N. (2017). Brain-computer interface technology: Current status and future directions. *Biological Psychology*, 128, 105-118. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2017.05.002.

Wolpaw, J. R., & Wolpaw, E. W. (2012). Brain-computer interface research. *The New England Journal of Medicine*, 366(6), 495-501. DOI: 10.1056/NEJMr1107600.

Yuste, R., & Goering, S. (2017). The ethics of brain–computer interfaces: Toward a framework. *Nature Reviews Neuroscience*, 18(11), 717–729. DOI: 10.1038/s41583-017-0015-4.

Gesellschaftlicher Diskurs

Blain-Moraes, Stefanie; Racine, Eric; Rodríguez-Arias, David; Sample, Matthew; Sattler, Sebastian (2020): Do Publics Share Experts’ Concerns about Brain–Computer Interfaces? A Trinational Survey on the Ethics of Neural Technology. *Science, Technology, & Human Values*. SAGE Publications.

Friedrich, Orsolya; Jox, Ralf J.; Kessner, Stefanie; Schmid, Jennifer Regina (2021): *Thoughts Unlocked by Technology—a Survey in Germany About Brain-Computer Interfaces*. NanoEthics: Studies of New and Emerging Technologies. Springer.

Firmen und Kommunikation

Blackrock

BCI Pioneers. (o.D.). Home. <https://bcipioneers.org/>

Blackrock Neurotech. (2023, April 05). A mind controlled masterpiece: James Johnson creates art in Photoshop with BCI [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=eW0jn7jAe1w>

Blackrock Neurotech [A]. (o.D.). For patients and clinicians. <https://blackrockneurotech.com/for-patients-and-clinicians/>

Blackrock Neurotech [B]. (o.D.). Home. <https://blackrockneurotech.com/>

Blackrock Neurotech [C]. (o.D.). Our tech. <https://blackrockneurotech.com/our-tech/>

Blackrock Neurotech [D]. (o.D.). Our Vision. <https://blackrockneurotech.com/our-vision/>

Blackrock Neurotech [E]. (o.D.). Products. <https://blackrockneurotech.com/products/?page=1&model=22>

Blackrock Neurotech. (2022, November 16). Blackrock Neurotech reveals Neuralace: 10,000 channel next-gen BCI. <https://blackrockneurotech.com/insights/blackrock-neurotech-reveals-neuralace-10000-channel-next-gen-bci/>

ClearPoint Neuro. (2021, Juli 21). Blackrock Neurotech, ClearPoint Neuro to Address Neurological Disorders With Novel Brain-Computer Interface Surgical Solution. <https://ir.clearpointneuro.com/news-events/press-releases/detail/1044/blackrock-neurotech-clearpoint-neuro-to-address>

FDA. (2024, März 21). Breakthrough devices program. <https://www.fda.gov/medical-devices/how-study-and-market-your-device/breakthrough-devices-program>

Heuberger, S. (2021, Juli 27). Verbindung von Gehirn und Computer: Diese Deutschen machen Elon Musk Konkurrenz. Gründerszene. <https://www.businessinsider.de/gruenderszene/health/schnittstelle-computer-gehirn-deutsche-blackrock-neurotech-interview-elon-musk-f/>

HPR. (2022, Januar 18). Blackrock Neurotech – MoveAgain Brain-Computer Interface System [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=S1xRF_gS3Tg

PR Newswire. (2022, Juni 28). Record set for implantable brain tech: Blackrock Neurotech celebrates 30,000 patient days. <https://www.prnewswire.com/news-releases/record-set-for-implantable-brain-tech-blackrock-neurotech-celebrates-30-000-patient-days-301576994.html>

Sixel, J. (2021, September 13). Die Gedanken sind frei. Forbes. <https://www.forbes.at/artikel/die-gedanken-sind-frei.html>

Technology Networks. (2021, November 25). Blackrock Neurotech's MoveAgain brain-computer interface system receives breakthrough device designation from the FDA. <https://www.technologynetworks.com/neuroscience/product-news/blackrock-neurotechs-moveagain-brain-computer-interface-system-receives-breakthrough-device-356226>

The BCI Guy. (2022, Juli 25). Brain Implants are Here: Blackrock's Neuroport & Synchron's Stentrode [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=L4kDDrX-HpQ>

Paradromics

Capoot, A. (2023, Mai 18). Brain implant company Paradromics one step closer to FDA approval. CNBC. <https://www.cnbc.com/2023/05/18/brain-implant-company-paradromics-one-step-closer-to-fda-approval.html>

FDA. (2024, März 21). Breakthrough devices program. <https://www.fda.gov/medical-devices/how-study-and-market-your-device/breakthrough-devices-program>

Mullin, E. (2024, Mai 09). Elon Musk's Neuralink had a brain implant setback. It may come down to design. WIRED. <https://www.wired.com/story/neuralinks-brain-implant-issues/>

Paradromics [A]. (2022, Juli 07). Beyond assistive communication: BCI and the future of medicine. <https://www.paradromics.com/blog/beyond-assistive-communication-bci-and-the-future-of-medicine>

Paradromics [A]. (o.D.). Blog. <https://www.paradromics.com/blog>

Paradromics [B]. (o.D.). Building a direct data interface with the brain that will enable people and improve lives. <https://www.paradromics.com/about>

Paradromics [C]. (o.D.) Home. <https://www.paradromics.com/>

Paradromics. (2024, Mai 14). How to build BCIs that last. <https://www.paradromics.com/blog/how-to-build-bcis-that-last>

Paradromics [A]. (2023, März 22). Neurotech Pub Podcast. <https://www.paradromics.com/podcast>

Paradromics [B]. (2023, Mai 18). Paradromics raises \$33 million in funding, achieves breakthrough medical device designation from FDA. <https://www.paradromics.com/news/paradromics-raises-33-million-in-funding-achieves-breakthrough-medical-device-designation-from-fda>

Paradromics [B]. (2022, Oktober 18). Reframing the brain as a data organ. <https://www.paradromics.com/blog/reframing-the-brain-as-a-data-organ>

Prime Movers Lab. (2022, Mai 23). Featured founder: Paradromics founder and CEO Matt Angle. Medium. <https://medium.com/prime-movers-lab/featured-founder-paradromics-founder-and-ceo-matt-angle-4f960b79331d>

Neuralink

Brien, Jörg (2024, Mai 21). Trotz Problemen: Neuralink darf 10 weiteren Personen Gehirnhcips einsetzen – im Juni geht es weiter. T3n. [https://t3n.de/news/neuralink-gehirnhcips-genehmigung-](https://t3n.de/news/neuralink-gehirnhcips-genehmigung-1625258/#:~:text=10%20Implantationen%20bis%20Ende%202024,Beh%C3%B6rden%20in%20Kanada%20und%20Gro%C3%9Fbritannien.)

1625258/#:~:text=10%20Implantationen%20bis%20Ende%202024,Beh%C3%B6rden%20in%20Kanada%20und%20Gro%C3%9Fbritannien.

Fridman, Lex (2024, August 2). Elon Musk: Neuralink and the Future of Humanity. <https://www.youtube.com/watch?v=Kbk9BiPhm7o>

Futurezone (2024, Mai 22). Neuralink-Implantat hat sich zu 85 Prozent vom Gehirn des Patienten gelöst. Futurezone. <https://futurezone.at/science/neuralink-gehirn-chip-85-prozent-geloest-noland-arbaugh-elon-musk/402903420>

Mann, Jyoti (2024, Mai 29). Ich habe den Neuralink-Chip von Elon Musk im Gehirn – jetzt lerne ich damit Japanisch. Business Insider. <https://www.businessinsider.de/wissenschaft/international-science/ich-habe-einen-neuralink-gehirnchip-von-musk-und-lerne-damit-sprachen/>

Neuralink (o. D.). Neuralink - Pioneering Brain Computer Interfaces. Neuralink. <https://neuralink.com/>

Neuralink. (2021, Januar 30). Working on the Neuralink Robot. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=-gQn-evdsAo>

Neuralink (2023, Juli 26). Our implant, placed under a thin silicone rubber that mimics the scalp, shows no damage after a repeated impact test. X. <https://x.com/neuralink/status/1684019836903383040>

Neuralink (2024, Mai 8). PRIME Study Progress Update - User Experience. Neuralink Blog. <https://neuralink.com/blog/prime-study-progress-update-user-experience/>

Novak, Matt (2024, Mai 7). A Neuralink co-founder on why he left Elon Musk's brain chip startup. Quartz. <https://qz.com/neuralink-brain-chip-safety-elon-musk-benjamin-rapoport-1851460604>

Reuters [A]. (2024, Mai 15). Musk's Neuralink has faced issues with its tiny wires for years, Reuters sources say. CNBC. <https://www.cnbc.com/2024/05/15/neuralink-has-faced-issues-with-its-wires-for-years-reuters-sources.html>

Reuters [B] (2024, März 21). Musk's Neuralink shows first brain-chip patient playing online chess. Reuters. <https://www.reuters.com/business/healthcare-pharmaceuticals/neuralink-shows-first-brain-chip-patient-playing-online-chess-2024-03-21/>

Grafiken

Design Circle. (o.D.) flaticon.com. Abgerufen von: https://www.flaticon.com/free-icon/robot-arm_9791676

Fathema Khanom (o.D.) flaticon.com. Abgerufen von: https://www.flaticon.com/free-icon/minus_10308996

Freepik. (o.D.) flaticon.com. Abgerufen von: https://www.flaticon.com/free-icon/brain_109827

Freepik. (o.D.) flaticon.com. Abgerufen von: https://www.flaticon.com/free-icon/cardiogram_3004451

Freepik. (o.D.) flaticon.com. Abgerufen von: <https://www.flaticon.com/free-icon/>

eeg_9851777

Freepik. (o.D.) flaticon.com. Abgerufen von: https://www.flaticon.com/free-icon/inclined-key_82463

Freepik. (o.D.) flaticon.com. Abgerufen von: https://www.flaticon.com/free-icon/microchip_4263711

gankogroup. (o.D.) vecteezy.com. Abgerufen von: <https://www.vecteezy.com/vector-art/8884914-silhouettes-of-people-vector-illustration>

Golubev, Nikita. (o.D.) flaticon.com. Abgerufen von: https://www.flaticon.com/free-icon/computer_2004580

kliwir art. (o.D.) flaticon.com. Abgerufen von: https://www.flaticon.com/free-icon/plus_4315609

Smashicons. (o.D.) flaticon.com. Abgerufen von: https://www.flaticon.com/free-icon/flash_248053

Bilder

barbhuiya, Towfiqu. (2021) unsplash.com. Abgerufen von: https://unsplash.com/de/fotos/person-im-schwarzen-langarmshirt-mit-macbook-pro-em5w9_xj3uU

Bianchetti, Marco. (2022) unsplash.com. Abgerufen von: <https://unsplash.com/de/fotos/eine-holzpuppe-die-von-einer-hand-gehalten-wird-7-BaXYWxpQo>

Freepik (o.D.) freepik.com. Abgerufen von: https://de.freepik.com/fotos-kostenlos/seitenansicht-frau-cyberpunk-aesthetik_29302329.htm

Spiske, Markus. (2015) pixabay.com. Abgerufen von: <https://pixabay.com/de/photos/spielfigur-symbolik-anfuhrer-gruppe-598036/>

succo. (2015) pixabay.com. Abgerufen von: <https://pixabay.com/de/photos/hammer-waage-gericht-justiz-recht-802296/>

Zimmerman, Polina. (2020) pexels.com. Abgerufen von: <https://www.pexels.com/de-de/foto/schwarzes-smartphone-das-fehler-anzeigt-3747139/>