

# Einsatz von Brain Computer Interfaces in der industriellen Produktion

Konzeption und Umsetzung einer BCI-Anwendung mit Hilfe eines  
Industrieroboters und einem BCI für die Evaluierung der  
Einsatztauglichkeit potenzieller industrieller AnwenderInnen

## Masterarbeit

Ausgeführt zum Zweck der Erlangung des akademischen Grades  
**Dipl.-Ing. für technisch-wissenschaftliche Berufe**

am Masterstudiengang interaktive Technologien an der Fachhochschule  
St. Pölten, **Masterklasse Industrie 4.0**

von:

**Maryrose Mercado, BA**

[it201815]

Betreuer\*in: Dipl.-Ing. Christian Jandl, BSc.  
Zweitbetreuer\*in: Dipl.-Ing. Lucas Schöffler, BSc.

[St. Pölten, 15.01.2023]

# Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere, dass

- ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

- ich dieses Thema bisher weder im Inland noch im Ausland einem Begutachter/einer Begutachterin zur Beurteilung oder in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Diese Arbeit stimmt mit der vom Begutachter bzw. der Begutachterin beurteilten Arbeit überein.

Judenau, 11.9.2022

Ort, Datum

.. 

Unterschrift

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich bei der Umsetzung dieser Arbeit während des Studiums unterstützt und an mich geglaubt haben.

Zuerst gebührt mein Dank an Dipl.-Ing. Christian Jandl, BSc., der meine Diplomarbeit betreut und begutachtet hat. Für die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit möchte ich mich bedanken. Ebenso möchte ich auch einen großen Dank für die entgegengebrachte Hilfsbereitschaft an meinem Zweitbetreuer Dipl.-Ing. Lucas Schöffler, BSc. aussprechen, der mich außerdem bei der Fertigstellung des Prototypen betreut, viel Neues in der Programmierung beigebracht und ebenfalls hilfreiche Anregungen in Bezug auf die Diplomarbeit gegeben hat. Bedanken möchte ich mich außerdem für seine Ideen, die maßgeblich dazu beigetragen haben, dass diese Masterarbeit jetzt in dieser Form vorliegt. Außerdem möchte ich ein großes Dankeschön an FH-Prof. Dr. Markus Wagner, BSc MSC für die Motivation der Fertigstellung meiner Arbeit, aussprechen.

Ich bedanke mich bei der Fachhochschule St. Pölten, für die finanzielle Unterstützung meiner Forschung.

Ein persönliches Dankeschön an Dipl.-Ing. Christoph Braun, BSc. für die Hilfsbereitschaft und für die Zurverfügungstellung des Industrieroboters.

Ebenfalls gilt ein besonderer Dank allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern meiner Befragung, ohne die diese Arbeit nicht hätte entstehen können.

Außerdem möchte ich mich bei der Wiener Stipendienstelle bedanken, die mir mein Studium durch ihre Unterstützung ermöglicht hat.

Abschließend möchte ich mich bei meinem Lebensgefährten bedanken, der mir mit viel Geduld, Unterstützung und Hilfsbereitschaft zur Seite stand.

# Kurzfassung

Die industrielle Welt steht in der Zeit des digitalen Wandels laufend vor neuen Herausforderungen. Produzierende Unternehmen streben nach Transparenz, Nachverfolgbarkeit und Prozessoptimierung, sowie einer höheren Verfügbarkeit von Maschinen und einer generellen Effizienzsteigerung. Neue Technologien, die bis vor kurzem noch unvorstellbar waren, werden in der heutigen Zeit in Bereichen wie Medizin, in Geschäftsprozessen und in den Medien eingesetzt (Mühlfelder, 2019). Durch den immer stärkeren Einsatz neuer Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), wird der Wandel in der produzierenden Industrie ausgelöst (Deckert, 2019).

Diese Arbeit befasst sich mit der Fragestellung, inwieweit der Einsatz mit einem Brain Computer Interface (BCI) für den industriellen Bereich geeignet ist. Das BCI hat ein hohes Potenzial um eine Veränderung der heutigen digitalen Zeit zu bewirken (Fox, Ullrich, & Gronau, 2022).

Bislang wurde noch keine Veröffentlichung bekannt gegeben, dass das BCI in einem Industriebetrieb eingesetzt wird. Mit Hilfe der Gedankensteuerung, zum Beispiel in einer Großserienproduktion, könnte dadurch die Arbeitsroutine vereinfacht oder sogar effektiver gestaltet werden.

Das Ziel dieser Arbeit ist, eine BCI Anwendung zu entwickeln und diese in einen simulierten industriellen Arbeitsablauf zu integrieren. Dazu wird untersucht, ob ein BCI in einer Produktion nützlich und effizient wäre. Dafür wird ein Prototyp zur Steuerung der industriellen Anlagen entwickelt. Die Basis für die Gestaltung der BCI Anwendung und der nachfolgenden Evaluierung wird anhand eines mehrphasigen Forschungsprozesses durchgeführt. Zuerst wird die Grundlage der Mensch-Maschine-Interaktion in der Produktion erforscht. Folglich wird das BCI auf Funktionalität untersucht, die für die Gestaltung und Gedankensteuerung erforderlich ist. Abschließend werden Usability-Tests durchgeführt, evaluiert und mit Hilfe des Resultats, die Gebrauchstauglichkeit und Userakzeptanz analysiert.

# Abstract

The industrial world is constantly facing new challenges in the age of digital transformation. Producing companies are striving for transparency, traceability and process optimization, as well as higher machine availability and a general increase in efficiency. New technologies that were unimaginable just a short time ago are now being used in areas such as medicine, business processes and media (Mühlfelder, 2019). The change is triggered by the ever-increasing use of new information and communication technologies (ICT) in the manufacturing industry (Deckert, 2019).

This thesis addresses the question to what extent the use with a Brain Computer Interface (BCI) is suitable for the industrial sector. The BCI has a high potential to bring about a change in today's digital age (Fox, Ullrich, & Gronau, 2022).

To date, BCI has not been used in an industrial setting.

With the help of thought control, for example in a large-scale production, this could simplify work routines or even make them more effective.

The goal of this thesis is to develop a BCI application and to integrate it into a simulated industrial workflow. For this purpose, it is investigated whether a BCI would be useful and efficient in a production environment. For this purpose, a prototype is developed to control the industrial equipment. The basis for the design of the BCI application and subsequent evaluation is conducted using a multi-phase research process.

First, the basis of human-machine interaction in manufacturing is explored. Consequently, the BCI is examined for functionality required for design and thought control. Finally, usability tests are conducted, evaluated and with the help of the result, usability and user acceptance are analyzed.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Ehrenwörtliche Erklärung</b>	<b>II</b>
<b>Danksagung</b>	<b>III</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>IV</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>VI</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Wissenschaftliche Methoden und Ziel der Arbeit	2
1.2 Forschungsfragen und Hypothesen	4
1.3 Motivation	5
1.4 Über die Autorin	5
1.5 Abkürzungsverzeichnis	6
1.6 Glossar	7
<b>2 Historische Grundlagen</b>	<b>10</b>
2.1 Die industrielle Revolution	10
2.1.1 Erste Phase der industriellen Revolution	10
2.1.2 Zweite Phase der industriellen Revolution	11
2.1.3 Dritte Phase der industriellen Revolution	11
2.1.4 Industrie 4.0	12
2.1.5 Industrie 4.0 heute	12
2.1.6 Digitalisierung	12
2.2 Mensch-Maschine-Interaktion in der Industrie 4.0	13
2.2.1 HCI und BCI	15
2.2.2 Anwendungen in der Industrie	15
2.2.3 Potenzial Mensch-Maschinen-Interaktion	18

2.2.4	Privatsphäre in der HCI	19
2.2.5	MitarbeiterInnen und der Umgang mit der Digitalisierung	20
<b>3</b>	<b>Fachliche Grundlagen</b>	<b>25</b>
3.1	Definition Brain Computer Interface	25
3.1.1	Artefakte	26
3.1.2	Gehirnwellen	26
3.1.3	Aktionspotentiale	27
3.2	Visueller Kortex und Messung im EEG	29
3.2.1	Aufbau visueller Kortex	29
3.2.2	Visuelle Wahrnehmung	33
3.2.3	Funktion eines EEG-Headsets	35
3.2.4	Evozierte Potenziale	35
3.2.5	Visuell evoziertes Potenzial	36
3.2.6	Visueller Reiz für konstante Stimulierung	37
3.2.7	Stimulation	37
3.2.8	Einflüsse des VEP	38
3.3	Bestehende BCI Arten	39
3.3.1	Invasive und noninvasive BCI	39
3.3.2	Neurofeedback-basierte und klassifikationsbasierte BCI	39
3.3.3	Abhängige und unabhängige BCI	40
3.3.4	Passive und aktive BCI	40
3.4	Einsatz von BCI	41
3.5	Skepsis	41
<b>4</b>	<b>BCI-Prototyp für den industriellen Einsatz</b>	<b>46</b>
4.1	BCI „NextMind“	46
4.1.1	Spezifikation	47

4.1.2	SDK	48
4.2	Industrieroboter „Dobot MG400“	52
4.2.1	Spezifikation	53
4.2.2	Kinematik und Schnittstellen	54
4.2.3	Vakuumpumpe	55
4.3	Raspberry Pi4	56
4.3.1	Spezifikation	56
4.4	MQTT	57
4.4.1	MQTT Aufbau	57
4.4.2	MQTT Funktionsweise	58
4.5	Konzept und Design	60
4.5.1	Design	60
4.5.2	Zielgruppe	61
4.5.3	Idee	62
4.6	Technische Umsetzung	63
4.6.1	Systemarchitektur	63
4.7	Pre-Test	67
4.7.1	Informationen zum Pre-Test Raum	67
4.7.2	Teilnehmende Personen	68
4.7.3	Einführung	69
4.7.4	Sensor aufsetzen	69
4.7.5	Kalibrierung und Fokus bewerten	70
4.7.6	Roboterarm steuern	71
4.7.7	Eindrücke der Testpersonen	71
4.7.8	Feedback	73
4.8	Neue Idee der Gestaltung	74

<b>5</b>	<b>Usability Test</b>	<b>76</b>
5.1	Usability Test	76
5.2	System Usability Scale	78
5.3	Informationen zum Usability Test Raum	79
5.4	Personen	79
5.5	Durchführung	80
5.5.1	Einführung	81
5.5.2	Erste Aufgabe: Sensor aufsetzen	82
5.5.3	Zweite Aufgabe: Kalibrierung und Fokus bewerten	82
5.5.4	Dritte Aufgabe: erstes Objekt mit Gedanken auslösen	83
5.5.5	Vierte Aufgabe: Warm-Up	84
5.5.6	Fünfte Aufgabe: Industrieroboter steuern	84
5.5.7	Interview	85
<b>6</b>	<b>Results</b>	<b>87</b>
6.1	Testergebnisse	87
6.1.1	SUS Auswertung	90
6.2	Aufmerksamkeit	91
6.2.1	Selektierte visuelle Aufmerksamkeit	91
6.2.2	Fokussierte Aufmerksamkeit	93
6.2.3	Selektive Aufmerksamkeit im visuellen Kortex	98
<b>7</b>	<b>Diskussion</b>	<b>100</b>
<b>8</b>	<b>Fazit</b>	<b>102</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>104</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>112</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>114</b>

<b>Anhang</b>	<b>115</b>
A. Datenschutzerklärung	115
B. Pre-Test Fragebogen	115
C. SUS Fragen	115
D. weitere Antworten der Befragten in Grafik	115

# 1 Einleitung

Die industrielle Welt steht vor immer neuen Herausforderungen. Produzierende Unternehmen streben nach Transparenz, Rückverfolgbarkeit und Prozessoptimierung, aber auch nach hoher Maschinenverfügbarkeit und allgemeiner Effizienzsteigerung. Die Mitarbeiter wünschen sich die bestmögliche Unterstützung in einer modernen, digitalen Arbeitsumgebung. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wird der Frage nachgegangen, ob der Einsatz des Brain Computer Interface im industriellen Bereich effizient ist bzw. die Arbeit mit der neuartigen Technologie vereinfacht wird. Es wird ein grundlegendes Verständnis während der Forschung für das Brain Computer Interface erlangt. Dazu werden Literaturen über Elektrophysiologie, Neuropsychologie, Neurologie, industrielle Revolution und verschiedene wissenschaftliche Arbeiten recherchiert. Darüber hinaus wurde zu diesem Zweck ein Prototyp entwickelt. Bei dem Prototyp handelt es sich um eine Brain Computer Interface-Anwendung, die für die Gedankensteuerung von Industrieanlagen entwickelt wurde. Dieser Prototyp besteht aus einem kleinen Industrieroboter, einem BCI-Sensor und einer Applikation. Der Industrieroboter ahmt die großen, steuerbaren Geräte in der Industrie nach. Der BCI-Sensor wird zur Steuerung des Industrieroboters verwendet. Die Schnittstelle dient als Kontrollfeld für den BCI-Sensor. Anhand des Prototyps soll untersucht werden, ob der Einsatz des Brain Computer Interface im industriellen Bereich die Arbeit der Beschäftigten im Arbeitsalltag optimiert und damit effizienter macht. Zu diesem Zweck werden Usability-Tests durchgeführt, um die Akzeptanz der neuartigen Technologie im industriellen Bereich zu untersuchen. Die Usability-Tests werden anschließend qualitativ ausgewertet.

## 1.1 Wissenschaftliche Methoden und Ziel der Arbeit

Das Ziel der Forschung ist es herauszufinden, ob der Einsatz des Brain Computer Interface im industriellen Bereich effizient ist und/oder mit der neuartigen Technologie das Arbeiten vereinfacht. Zusätzlich wird mit Hilfe der Forschungsfragen versucht, ein Grundverständnis des Brain Computer Interface zu erlangen. Dazu gehört das Verständnis der Funktion des visuellen Kortex und die Funktion der Elektroenzephalographie, um nachvollziehen zu können, wie und wo genau die Messung stattfindet. Folgend wird untersucht, ob psychophysiologische Prozesse wie zum Beispiel Wahrnehmung, die Gehirnaktivitäten mit der verbundenen Messung, beeinflussen können.

Ferner wurde dazu ein Prototyp entwickelt. Der Prototyp ist eine Anwendung für ein Brain Computer Interface, die zur Gedankensteuerung für industrielle Anlagen entwickelt wurde. Dieser Prototyp besteht aus einem kleinen Industrieroboter, einem BCI-Sensor und einer Applikation. Der Industrieroboter ahmt die großen steuerbaren Geräte in der Industrie nach. Der BCI-Sensor dient zum Steuern des Industrieroboters. Das Interface dient als Steuerfeld für den BCI-Sensor. Mit Hilfe des Prototypens wird untersucht, ob der Einsatz des Brain Computer Interface im industriellen Bereich das Arbeiten der angestellten Personen im Arbeitstag optimiert und damit effizienter macht. Dafür werden Usability Tests durchgeführt, um die Akzeptanz der neuartigen Technologie im industriellen Bereich zu untersuchen. Die Usability Tests werden danach qualitativ ausgewertet.

In der Tabelle 1 wurde ein Forschungsdesign erstellt, um die wichtigsten Parameter grob zusammenzufassen.

		Input	TeilnehmerIn	Output
1	Literaturrecherche	Verständnis aufbauen der neuen Themengebiete des Autors, Recherche div.	Die Autorin	Rechercheergebnisse

## 1 Einleitung

		wissenschaftlicher Arbeiten		
Umsetzung				
2	<b>Pre-Tests</b>	Erstellung: Leitfaden und BCI-Applikation Version 1	7 Teilnehmende Personen	Erste Datenaufzeichnung
3	<b>Usability-Tests</b>	Version 2 der BCI-Applikation	11 Teilnehmende Personen	Zweite Datenaufzeichnung, Notizen, Foto- und Videodokumentation
4	<b>Resultat</b>	Ergebnis von Literatur und Usability-Tests	Die Autorin	Grafische Ergebnisse

*Tabelle 1: Forschungsdesign*

## 1.2 Forschungsfragen und Hypothesen

Diese Arbeit ist ein Teil einer empirischen Forschung, die sich der Umsetzung und nachfolgender Evaluierung widmet. Die Subforschungsfragen werden während der Untersuchung recherchiert und beantwortet. Ferner werden folgende Hauptforschungsfragen und Hypothesen als Leitthese für die Diplomarbeit formuliert:

1. Wo werden die Brain Computer Interfaces im Kontext eingesetzt?
  - a. Diese Forschungsfrage wird mit Hilfe der Literaturrecherchen untersucht und ausgewertet.
  
2. Welche Vorteile und Herausforderungen bringen die Brain Computer Interfaces im industriellen Bereich?
  - a. Mittels Literaturrecherchen im Bereich Neuropsychologie, Neurologie, Elektrophysiologie und Entwicklung der industriellen Revolution und die Entwicklung eines Prototypen sowie der daraus resultierenden Usability Test, wird diese Forschungsfrage analysiert.
  
3. Wird das Brain Computer Interface außerhalb der Forschung bereits eingesetzt?
  - a. Diese Forschungsfrage wird mittels Literaturrecherchen, das Entwickeln eines Prototypens und der daraus resultierenden Usability Test untersucht.
  
4. Was braucht es noch um das Brain Computer Interface für die Produktion einsetzbar zu machen?
  - a. Diese Frage wird mit Hilfe der Literaturrecherche, das Entwickeln eines Prototypens und der daraus resultierenden Usability Test untersucht.

## **1.3 Motivation**

Viele Assistenztechnologien, wie die Geste- und Sprachsteuerung, wurden hauptsächlich für den medizinischen Bereich entwickelt (Sullivan et al., 2018, S. 494–497). Diese Technologien haben es unerwartet in den globalen Markt geschafft und werden in vielen bekannten Systemen, wie Smartphones oder Autos, integriert (Sullivan et al., 2018, S. 494–497). Das BCI hat das Potenzial in den globalen Markt zu gelangen und in verschiedensten Systemen integriert zu werden.

Aus allen bisherigen Literaturrecherchen geht hervor, dass das Brain Computer Interface (BCI) noch nicht im industriellen Bereich eingesetzt wird. Die Idee das BCI in der Industrie einzusetzen, wurde in einigen wissenschaftlichen Arbeiten und Büchern erwähnt. Ein Beispiel dazu wäre der Fraunhofer-Forschungsfokus (Neugebauer, 2018). Die Forschungsgruppen konzentrieren sich auf das Abbauen der Barrieren bei Nutzung von Assistenzsystemen wie die neurowissenschaftliche Methode (Neugebauer, 2018). Jedoch kam es noch zu keiner Realisierung der Ideen (Neugebauer, 2018). Mit diesem Wissen möchte die Autorin herausfinden, wie groß die Möglichkeit wäre das BCI in der digitalisierten Produktion einzusetzen.

## **1.4 Über die Autorin**

Die Autorin hat ein dreijähriges Bachelorstudium im Bereich Grafik- und Informationsdesign absolviert. Sie hat sich auf Datenvisualisierung, vor allem User Interface und User Experience, spezialisiert. Außerdem absolvierte sie einige Praktika als Mediendesignerin im Bereich interaktive Technologien in Unternehmen wie Ars Electronica (das sich außerdem mit gesellschaftlichen Fragestellungen und Kunst beschäftigt) und AR/VR Unternehmen wie „Innovation Rocks“ (heute „Svarmony“). Die Autorin lässt in dieser Arbeit ihre Vorkenntnisse in Bezug auf User Interface und User Experience miteinfließen.

## 1.5 Abkürzungsverzeichnis

BCI	Brain Computer Interface
EEG	Elektroenzephalographie
fMRT	Magnetresonanztomografie
IoT	Internet of Things, Internet der Dinge
LIS	Locked-In-Syndrom
HCI	Human-Centered-Interface/ Mensch-Maschine-Interaktion
MMI	Mensch-Maschine-Interaktion
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
SDK	Software Development Kit
UCD	User-Centered Design

## 1.6 Glossar

<b>Artefakte</b>	Als Artefakte bezeichnet man Potenzialschwankungen, die nicht im EEG registriert werden. Dafür gibt es unterschiedliche Arten, nämlich die technischen und biologischen Artefakte (Milnik, 2009a).
<b>Assistenzsysteme</b>	Unterstützung von Entscheidungsfindung und Durchführung von verändernden Prozessen, Tätigkeiten und Qualifikationsanforderungen (Blutner et al., 2009). Sie sind ein Teil der Mensch-Maschine-Interaktion.
<b>Axonale Läsion</b>	Degeneration eines Nerven distal mit Untergang der Fasern („3.3 Axonale Läsionen“, 2008).
<b>Digitale Vernetzung</b>	Unter der digitalen Vernetzung versteht man die Verbindung zwischen Mensch, Computer und/oder Maschine mit dem Internet (Deckert, 2019). Das Internet ist die Voraussetzung um die Dinge, wie zum Beispiel ein Computer und einen Menschen, terminologisch zu verbinden (Deckert, 2019).
<b>Diskriminative Information</b>	Ein diskriminativer Reiz, das auf eine Reaktion reagiert und daraufhin eine Verstärkung erfolgt (Becker & Pschyrembel Redaktion, 2016). Der diskriminativer Reiz assoziiert ein verstärktes Verhalten und bei einer bestimmten Wirkungsweise konditioniert (Becker & Pschyrembel Redaktion, 2016).
<b>Elektrokortikogramm</b>	Der Begriff ist ein Hirnstrombild, das von der Großhirnrinde mit elektrischen Potenzialen abgeleitet wird (Dubey & Ray, 2019).
<b>Extreme Programming</b>	Ist ein Vorgehensmodell für die Softwareentwicklung mit kleinen bis mittelgroßen Teams, die auf sich rasch ändernde Anforderungen reagieren, kurze Entwicklungszyklen haben und Programmieraufgaben lösen (K. Beck, 2003).
<b>Fordismus</b>	Fordismus wird bezeichnet als ein gesellschaftliches Verhalten der Massenproduktion und Konsumation, die

	ebenfalls auch auf Perfektionierung des Fließbandsystem fokussiert (Hachtmann, 2011).
<b>Intelligente Fabrik, Smart Factory</b>	Fertigungsanlagen und Logistiksysteme, die sich selbst organisieren. Auf Produktionsprozesse muss nicht mehr vom Menschen eingegriffen werden (Pollmeier et al., 2020).
<b>Lean</b>	Ist ein Projektmanagementkonzept, dass unnötige und überflüssige Elemente bei der Projektarbeit, zugunsten des Kunden einspart. (Boes, Kämpf, Langes, & Lühr, 2016).
<b>Locked-In-Syndrom</b>	Der Begriff bedeutet Eingesperrt sein. Es bezeichnet die komplette Lähmung einer Person, dessen Bewusstsein erhalten ist (Bauer, Golaszewski, & Gerstenbrand, 2010).
<b>Kanban</b>	Kanban ist eine agile Projektmanagementmethode, die auf geringe Durchlaufzeiten während des Entwicklungsprozesses abzielt (Fischer, Endmann, & Krökel, 2015b).
<b>Nahinfrarot Spektroskopie</b>	Der Begriff ist im Bereich der Neurologie, eine nichtinvasive Methode zur Erfassung der Veränderung der Durchblutung im Hirnrindbereich (Kajdi, 2018, S. 26).
<b>Mandelkern</b>	Der Begriff wird auch Amygdala genannt und ist ein Teil des limbischen Systems. Der Mandelkern regelt mit dem Hippocampus primär die Entstehung der Angstgefühle (Hollmann & Strüder, 2000).
<b>Merkmalextraktion</b>	Charakteristische Merkmale werden aus einem Pixel gewonnen (Korn, 1982, S. 135–136).
<b>Optikusneuritis</b>	Der Begriff ist eine Sehnervenkrankung (Wilhelm, Heine, & Tonagel, 2014).
<b>Pauperismus</b>	Verelendung großer Bevölkerungsteile vor der Industrialisierung (Wendt, 2017).
<b>Somatosensorisch evoziertes Potenzial</b>	Der Begriff beschreibt ein elektrisches Potenzial, das in der sensorischen Leitungsbahn, auf bestimmten Ebenen der Gehirnrinde durch Reiz generiert wird (Waberski, 2005)
<b>Technikphilosophie</b>	Die Untersuchung der Bedeutung im technischen Bereich in Kombination mit der Auseinandersetzung von Menschen und deren Tätigkeiten (Kiepas, 2010).

**Verwissenschaftlichung**

Das praktische Handeln wird von der Wissenschaft begründet und gesteuert (Pohlmann, 2017).

## 2 Historische Grundlagen

Dieses Kapitel beschreibt, wie es zur Entstehung der Verwendung moderner Technologien in der Industrie kommt. Darüber hinaus wird ab Anfang der industriellen Revolution bis zur Verwendung der sogenannten Mensch-Computer-Interaktion nachgeforscht. Zudem wird den Forschungsfragen nachgegangen, wie es dazu kam neue Technologien in der Industrie einzusetzen und ob es Sinn macht diese zu verwenden.

### 2.1 Die industrielle Revolution

#### 2.1.1 Erste Phase der industriellen Revolution

Um 1750 startete die erste industrielle Revolution, welche durch die Entwicklung der Dampfmaschine vorangetrieben wurde (Vogel-Heuser, Bauernhansl, & Hompel, 2017, S. 1). Mit Hilfe der Kraft- und Arbeitsmaschinen gab es in industriell geprägten Ländern keine Hungerkatastrophen mehr (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 1). Durch die Hilfe der verbesserten Transportsysteme wie zum Beispiel der Dampfschiffahrt und Eisenbahn, war es möglich, die Bevölkerung mit Bekleidung und Nahrung zu versorgen (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 1). Außerdem wurde durch die damals neueste Technologie, die Produktivität in der Herstellung wie zum Beispiel im Bereich der Landwirtschaft, enorm verbessert (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 1).

Durch die industrielle Revolution entstanden zwei Gesellschaftsschichten, nämlich die Fabrikarbeiterschaft und die Fabrikbesitzer (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 1). Einige Fabrikbesitzer verdienten durch die industrielle Wertschöpfung, während die Arbeiterschaft ausgebeutet wurde (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 1). Dazu gehörte auch die Kinderarbeit (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 1). Mehr Menschen zogen in die Städte. Es kam zur Bevölkerungsexplosion, was ein Überangebot an

Lohnarbeit nach sich zog und somit zu Pauperismus führte (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 1).

### **2.1.2 Zweite Phase der industriellen Revolution**

Neue Energieformen wie zum Beispiel Elektrizität, wurden genutzt (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 9). Mit Hilfe der elektrischen Energie wurden Fließbänder, Verbrennungsmotoren und insbesondere Antriebssysteme entwickelt (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 9). In der Chemieindustrie, Elektroindustrie, im Maschinenbau und in der Automobilindustrie kam es zum Fortschritt, welcher die groß industrielle Massenproduktion ermöglichte (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 9). Durch den enormen Fortschritt neuer Technologien, wuchs die Bevölkerung in den Städten weiter an (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 9). Fabrikarbeiter konnten dadurch nicht mehr weiter ausgebeutet werden (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 9). Wohlstandbedürfnisse stehen nun in Frage, um somit soziale Spannungen abzubauen (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 9). Großindustrielle Massenproduktionen ermöglichen es kostengünstige Produkte herzustellen (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 9).

### **2.1.3 Dritte Phase der industriellen Revolution**

Ab den 1960er Jahren startete die dritte Phase der industriellen Revolution (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 9). Viele Arbeiten wurden in verschiedensten Bereichen von neuen Technologien und Designs abgelöst (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 9). Die Revolution beschäftigte sich mehr mit Informations- und Kommunikationstechnologie, welche die Automatisierung der Produktionsprozesse möglich machte (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 9). Arbeitskräfte wurden aufgrund dessen zunehmend in der Produktion ersetzt. Zusätzlich wurde während dieser Phase das Internet geboren. Dies führte zu einer Wissensexplosion (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 9).

### **2.1.4 Industrie 4.0**

Durch die enorme Wissensexplosion verschmelzen IT und Fertigungstechniken (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 9). Industrie 4.0 soll mit moderner Technologie und Produktion die starken Veränderungen durch die Digitalisierung zum Ausdruck bringen (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 9). Der Begriff Industrie 4.0 verkörpert nicht nur die industriellen Entwicklungen, sondern auch die Produktions- und Arbeitswelt der heutigen Zeit (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 9). Zu dem gehören die Vernetzungen zwischen realer und virtueller Welt, auch "Internet der Dinge" genannt (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 9). Sensoren, die in Bauteilen verbaut sind und Maschinen, können nun sowohl mit Produktion, Vertrieb als auch mit Kunden kommunizieren (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 9). Fertigungsanlagen und Logistiksysteme organisieren sich selbst mithilfe der intelligenten Fabrik, die auch Smart Factory genannt wird (Vogel-Heuser et al., 2017, S. 9).

### **2.1.5 Industrie 4.0 heute**

Neben der Industrie 4.0, ist auch die Digitalisierung ein wichtiger Eckpunkt, welcher das neue Zeitalter moderner Technologien repräsentiert (Deckert, 2019). In vielen Bereichen hat sich die Digitalisierung festgesetzt wie z.B. die digitale Medizin, die digitalen Geschäftsprozesse oder die digitalen Medien (Deckert, 2019). Diese zeigen, dass die Vernetzung zwischen Menschen, Daten und Artefakten fortschreitet (Mühlfelder, 2019).

### **2.1.6 Digitalisierung**

Ziele der Digitalisierung wären die Flexibilisierungs-, humanorientierten- und wirtschaftlichen Ziele (Ellmann, 2022; Mühlfelder, 2019). Die Flexibilisierungsziele fokussieren sich auf rasche Anpassungsfähigkeiten des Produktionssystems bei Fluktuation von Kundenaufträgen (Ellmann, 2022; Mühlfelder, 2019). Das Resultat sind herkömmliche Produktionslinien im Interesse flexibler Fertigungszellen, welche einfach aufgebaut und miteinander kombiniert werden können (Ellmann, 2022; Mühlfelder, 2019). Die humanorientierten Ziele beschäftigen sich mit den Steuerungs- und Planungsaufgaben, welche die Produktionstätigkeiten bereichern

(Ellmann, 2022; Mühlfelder, 2019). Weiters werden Digitalisierungsstrategien verfolgt, um Fertigungskosten und Herstellkosten der Produktion zu reduzieren. Diese werden als wirtschaftliches Ziel betrachtet. (Ellmann, 2022; Mühlfelder, 2019)

Um eine aufsteigende Entwicklung in der Industrie 4.0 und Digitalisierung zu ermöglichen, ist ein hohes Maß an Intelligenz und Kreativität in der Informatik und Softwareentwicklung notwendig (Ellmann, 2022; Mühlfelder, 2019). Anforderungen werden anhand von Kundenwünschen als User Stories dargestellt und entwickelt (Ellmann, 2022; Mühlfelder, 2019). Zudem entstanden im Laufe der Jahre neue Projektmanagement-Methoden um (je nach Komplexität der Projekte) effektiver, schneller und klarer Projekte zu entwickeln (Ellmann, 2022, S. 96). Einige Beispiele wären Methoden wie Scrum, Lean, Kanban oder Extreme Programming.

## **2.2 Mensch-Maschine-Interaktion in der Industrie 4.0**

In den letzten Jahren wurden vermehrt innovativ komplexe Technologie zu niedrigen Preisen verfügbar (Celaschi, 2017a). Diese Technologien verfügen über einige Jahrzehnte Forschung und werden seit über 15 Jahren und mehr in innovativen und speziellen Produktionsbereichen genutzt, wie zum Beispiel in der militärischen Luftfahrt, in der Medizin, in der Kernforschung oder auch in der Industrie (Celaschi, 2017a).

Mit den modernsten Erfindungen ist es nun möglich alle Technologien gleichzeitig zu nutzen (Celaschi, 2017a). Die Kultur in Fertigungsunternehmen entwickelt sich weiter (Celaschi, 2017a). Die Gestaltung, die Geisteswissenschaften und die Kreativität werden zu einem Themenbereich (Celaschi, 2017a). Sich Wissen aus verschiedensten Fachbereichen anzueignen ist nun erforderlich, um Plattformen für den kulturellen Austausch zu schaffen. Celaschi (2017b) weist darauf hin, dass nur traditionelles Ingenieurswesen aus diesem Grund nicht mehr ausreicht und ist der Meinung dieser mit anderen Fachbereichen zu kombinieren ist.

## 2 Historische Grundlagen

---

Aus der Sicht der Unternehmen die in der Produktion tätig sind, entsteht großer Druck wegen der ständigen Änderung der Nachfrage, der sich immer schneller entwickelnden Technologiezyklen und der zunehmenden Konkurrenz (wie der Zuwachs von BRICS Staaten und anderen aufstrebenden Ökonomien) (Lüder, 2014).

In der Untersuchung von Arndt Lüder (2014) hat sich das Produktionssystem in den letzten zwanzig Jahren verändert. Es verändert sich auch weiterhin. Laut Bundesministerium für Bildung und Forschung in Deutschland, passen sich durch die ständigen Veränderungen die Kunden, die Mitbewerber, die Lieferanten und die Konsumenten schneller an (Lüder, 2014).

Die produzierenden Unternehmen können ihr Produktionssystem an die kontinuierlichen Veränderungen anpassen, indem bestehende Flexibilitätspotenziale ausgenutzt werden (Lüder, 2014). Dazu sind bereits die Architektur und die Steuerung im Produktionssystem integriert, welche die dazu ändernden Anforderungen wie Kosten und Zeit anpasst (Lüder, 2014). Ingenieure müssen zu diesem Zweck die Fähigkeit haben, die notwendige Flexibilität im Produktionssystem zu antizipieren und deren Anforderungen zu integrieren (Lüder, 2014).

Des Weiteren schreibt Lüder (2014) über eine zweite Möglichkeit zur Anpassung, die deutlich länger im Produktionssystem bestehen kann und neue Anforderungen miteinbezieht. Diese nennt er die Wandelbarkeit. Prozesse, Ressourcen und andere Strukturen (wie auch Steuerungsstrukturen), werden auf Anforderungen der Veränderbarkeit und dem Veränderungsaufwand evaluiert, konzipiert und im Produktionssystem umgesetzt.

Auf Grund der beiden Möglichkeiten fokussieren sich deutsche Unternehmen und deutsche Institutionen auf das IoT und deren Dienste (Lüder, 2014). Dadurch fordern sie die Nutzung von flexiblen und wandelbaren Produktionssystemen (Lüder, 2014). Außerdem postulieren sie damit die Entwicklung und die Nutzung der Cyber Physical Production Systems (CPPS) (Lüder, 2014).

Die Industrie hat sich nach der vierten Revolution aus der Sicht der MitarbeiterInnen ebenfalls verändert. MitarbeiterInnen der Industrie 4.0 legen an erster Stelle die

Produktionsstrategie fest (Gorecky, Schmitt, & Loskyll, 2017, S. 219). Sie überwachen die umgesetzte Strategie und greifen zur Not im CPPS ein (Gorecky et al., 2017, S. 219). Wie Dominik Gorecky et al die Position einer Fachkraft in der heutigen Produktion beschreibt, ist die Person ein Teil eines „cyber-physischen Gefüges“ und übernimmt größtenteils die Verantwortung (Gorecky et al., 2017, S. 219). Außerdem dient die angestellte Person als Unterstützung der Lösungen der Technologie. Zudem ist ein grundlegendes Verständnis, der Umgang mit Informationen, das Wissen der Methoden und das Wissen der Technologie der zuständigen Fachkraft, in der Produktion eine Voraussetzung (Gorecky et al., 2017, S. 219). Außerdem sollte die Fachkraft Lösungsaffin sein (Gorecky et al., 2017, S. 219). Dafür sollte die Person einen transparenten Einblick in die verschiedensten Produktionssysteme haben, um seine Aufgaben erfüllen zu können (Gorecky et al., 2017, S. 219).

### **2.2.1 HCI und BCI**

Aus dem Standpunkt der Technikphilosophie schreibt Schönau (2019) über die Feststellung der Wissenschaftler Hubig, dass aus der bio- und neurowissenschaftlich entwickelten Technologien, das Zusammentreffen von Mensch und Maschine, ein zweiseitiges Interaktionsverhältnis entsteht. Die nutzende Person trägt als (teil)autonomes System zu Erfüllung der Aufgaben bei, welches als Biofakte genannt wird (Schönau, 2019). Dadurch werden klassische Aufgaben, die normalerweise von Menschen durchgeführt werden, von den Technologien ersetzt, während der Mensch mit technischen Funktionselementen implementiert wird (Schönau, 2019). Ferner entsteht durch diese Verschmelzung eine neue Form von Hybridisierung (Schönau, 2019).

### **2.2.2 Anwendungen in der Industrie**

In diesem Kapitel werden Beispiele in der Produktion aufgezählt, wo die Digitalisierung im Arbeitsalltag angewendet wird.

Der Begriff Industrie 4.0 ist prägend für viele Diskussionsrunden über Digitalisierung im Maschinenbau und hat sich international durchgesetzt. Erstmals

## 2 Historische Grundlagen

---

erschienen ist der Begriff im Jahr 2011 auf der Hannover Messe (item Industrietechnik GmbH 2022, 2021).

Die Erklärung dieser Begrifflichkeit bezieht sich auf die Vernetzung der Maschinen untereinander sowie die Vernetzung der Maschinen mit dem Menschen. Wichtig zu beachten dabei ist, dass der Mensch niemals gegen eine Maschine ausgetauscht werden soll, sondern immer eine Kontrollfunktion beibehalten soll (item Industrietechnik GmbH 2022, 2021).

AIXLAB, das Forschungslabor am WLZ der RWTH Aachen, rief ein Projekt ins Leben bei dem es um Optimierung der manuellen Montage ging. Dafür richtete man vier ergonomisch korrekte Arbeitsplätze ein und verknüpfte diese mit digitaler Technologie (item Industrietechnik GmbH 2022, 2021).

Eine Lösung für Montageunterstützung wurde von dem Forschungsprojekt „AuQua“ entwickelt. Eine KI erstellt eine Montageanleitung die die Mitarbeiter während des Arbeitsprozesses und auch für Fortbildungen verwenden können (item Industrietechnik GmbH 2022, 2021).

Die Montageanleitung wird jedoch nicht auf einem Smartphone oder Tablet angezeigt, sondern auf dem zu fertigende Werkstück abgebildet.

Auch werden dabei die Montageanleitungen und Qualitätsüberprüfungen automatisch optimiert (item Industrietechnik GmbH 2022, 2021).

Weiters wird sich mit Virtual Reality und Augmented Reality beschäftigt um diese Techniken der manuellen Produktion anzupassen. Allerdings ist dies im Hinblick auf das Internet of production zu sehen und weniger auf das Internet of things (item Industrietechnik GmbH 2022, 2021).

Beim Internet of Things geht es im Wesentlichen um die menschliche Interaktion mit Dingen mit bequemer Bedienung. Im Zuge der Erscheinung der Industrie 4.0 wurden die Technologien ebenfalls für die Industrie 4.0 verwendbar gemacht (Bimos, 2022). Das Industrial Internet of Things (oder Internet of Production) wird das Internet of Things verfeinern. Das heißt, es werden hochwertigere Teile verbaut die sensibler, genauer und schneller arbeiten und damit präzisere Informationen zu liefern. Konkret geht es um die Senkung der Kosten bei

## 2 Historische Grundlagen

---

Effizienzsteigerung und um Flexibilität. Dies wiederum hat Einfluss auf das Wachstum und die Konkurrenzfähigkeit des Unternehmens (Bimos, 2022).

Der Begriff „Big Data“ ist hier bereits ein unumgängliches Thema für Unternehmen. Durch das Industrial Internet of Things, werden noch größere Mengen an Daten zusammengetragen, diese unverzüglich ausgewertet und zum Beispiel sofort eine Bestellung ausgeschickt sobald Material fehlt (Bimos, 2022). Dies kann dann auch gleich von Maschine zu Maschine weitergegeben werden und eventuell Differenzen erkennen. Fehler werden dann von Menschen gelöst. Tritt der gleiche Fehler wieder auf, weiß die Maschine bereits wie dies zu lösen ist und es erscheint keine Meldung mehr (Bimos, 2022).

Im Hinblick auf die manuelle Produktion kümmert sich zum Beispiel das Start-up „Aucobo“ um Informationsbereitstellung. Diese Firma entwickelte eine Software für die Analyse von Maschinendaten und delegiert danach die Aufgaben (item Industrietechnik GmbH 2022, 2021). Letztendlich bleiben die Entscheidungen wer welche Aufgabe annimmt konkret bei den Mitarbeitern selbst. Dies kann durch den Scan eines QR-Codes geschehen, um Aufgaben im System umzustellen. Das Ganze kann auf einem Endgerät eingetragen werden (item Industrietechnik GmbH 2022, 2021).

Ebenso gibt es auch eine App die in der Corona-Pandemie die besonderen Arbeitsbedingungen anspricht. Diese App versendet automatisch einen Hinweis wenn der Mindestabstand zu Kollegen in der Produktion nicht eingehalten wird (item Industrietechnik GmbH 2022, 2021).

Eine weitere Anwendung von Digitalisierung in der Industrie findet sich im „digitalen Zwilling“ (item Industrietechnik GmbH 2022, 2021). Dies ist ein dreidimensionales Ebenbild eines echten oder sich noch in der Entwicklungsphase befindlichen Gegenstands oder Objekts. Mit der VR oder AR Technik taucht man immer mehr in die Darstellung der Simulation ein. Dies ermöglicht zum Beispiel auf Daten einer Maschine zuzugreifen und mögliche neue oder effizientere Bauteile zu simulieren (item Industrietechnik GmbH 2022, 2021).

In einem virtuellen Raum kann man das Bauteil von allen Seiten betrachten und findet auf einem Dashboard auch gleich die Leistungsmerkmale (item

## 2 Historische Grundlagen

---

Industrietechnik GmbH 2022, 2021). Dadurch können sogar Wartungsvorgänge oder Fehlerdiagnosen stattfinden, ohne vor Ort sein zu müssen (item Industrietechnik GmbH 2022, 2021).

Auch kann man dies in virtuellen Büroräumlichkeiten wiedergeben, inklusive whiteboard oder slides. Durch die Unabhängigkeit werden Dienstreisen weitaus weniger erforderlich sein (item Industrietechnik GmbH 2022, 2021). Dies bringt Effizienzsteigerung sowie Nachhaltigkeit für die Umwelt (item Industrietechnik GmbH 2022, 2021).

In der manuellen Montage können sogenannte Leichtbauroboter, auch „Cobots“ genannt, zum Einsatz kommen. Vergleichbar mit einem menschlichen Arm, bieten sie Vielschichtigkeit in der Anwendung und benötigen nur einen minimalen Arbeitsplatzbedarf (item Industrietechnik GmbH 2022, 2021).

Hauptsächlich sollen die Cobots monotone bzw. sich wiederholende Aufgaben übernehmen und damit die MitarbeiterInnen entlasten (item Industrietechnik GmbH 2022, 2021). Ebenso verringert sich dadurch auch die Fehlerquote (item Industrietechnik GmbH 2022, 2021). Sensoren, die Menschen und Objekte erkennen können, erlauben es, dass die Cobots mit Menschen gemeinsam an einem Bauteil arbeiten (item Industrietechnik GmbH 2022, 2021).

Auf einer rollbaren Funktionsinsel, die über eine Andockstation am Arbeitsplatz installierbar ist, kann der Industrieroboterarm befestigt werden (item Industrietechnik GmbH 2022, 2021). Ebenso kann dieser in wenigen Sekunden wieder abgedockt und bis zum nächsten Einsatz aufbewahrt werden (item Industrietechnik GmbH 2022, 2021).

### **2.2.3 Potenzial Mensch-Maschinen-Interaktion**

In der Studie von Daniel-Leonhard Fox et al (2022), wird eine Skala gezeigt, wie hoch das Potenzial und wie weit der Reifegrad der Technologie verschiedenster HCIs ist. Das BCI hat das höchste Potenzial, aber die Technologie ist im Vergleich zu den anderen noch nicht ausgereift (Fox et al., 2022). Das BCI ist im Vergleich zu den anderen HCIs von der Entwicklung noch zu neu, um im globalen Markt einzutreffen (Fox et al., 2022). Es sollte laut Forschung bis zu 10 Jahre in die

Zukunft weiterentwickelt bzw. erforscht werden, sodass das BCI eine gewisse Marktreife bekommt (Fox et al., 2022).

### **2.2.4 Privatsphäre in der HCI**

Giovanni Iachello und Jason Hong (2007) untersuchten die Privatsphäre im Bereich der Mensch-Maschinen-Interaktion bei Endnutzern. Interaktive Systeme haben unterschiedliche Anforderungen, wenn es um die Privatsphäre geht. Iachello und Hong (2007) stellen fest, dass einerseits einige Technologien persönliche Informationen brauchen, um Interaktionen rationalisieren zu können und Dienstleistungen zu verbessern. Andererseits bringen persönliche Informationen auch Risiken mit sich, die sogar bis zu Bedrohung reichen können (Iachello & Hong, 2007). Aufgrund wachsender Zahlen von Umfragen, sowie Studien und Experimenten, wurde der Schutz der Privatsphäre im MMI zum Hauptthema (Iachello & Hong, 2007). Das MMI hat fünf priorisierende Herausforderungen, die dringend bearbeitet werden müssen, um den Stand der Technik in der MMI zu verbessern (Iachello & Hong, 2007). Diese wären:

- Bessere Interaktionstechniken und Standardvorgaben, die von Benutzern leicht verstanden werden können (Iachello & Hong, 2007).
- Bessere Analysetechniken und Erhebungswerkzeuge (Iachello & Hong, 2007).
- Organisatorische Unterstützung für die persönliche Datenverwaltung (Iachello & Hong, 2007).
- Rigorose Theorien der Akzeptanzdynamik der Nutzer entwickeln (Iachello & Hong, 2007).
- Effektive Gestaltungstools für Privatsphäre dokumentieren, sowie auch Schaffung einer "Privatsphären-Werkzeugbox" (Iachello & Hong, 2007).

Die Datenschutzforschung gibt es seit über 30 Jahren (Iachello & Hong, 2007). Die beiden Forscher Iachello und Hong (2007) hoffen mit ihrer Untersuchung und der Zusammenfassung ihrer Arbeit, dass sie damit Praktiker und Forscher bei komplexen Themen unterstützen können.

### **2.2.5 MitarbeiterInnen und der Umgang mit der Digitalisierung**

Die Digitalisierung ist in allen Bereichen, wie auch im alltäglichen Leben präsent (Zink & Bosse, 2019, S. 1). Das Verwenden von Smartphones mit einem Zugang zum Internet, womit diese auch Haushaltsgeräte sowie Elektrogeräte fernsteuern können, sind in der heutigen Zeit zum alltäglichen Gebrauch geworden (Zink & Bosse, 2019, S. 1). Durch die (meist) einfachen Handbewegungen wie zum Beispiel Finger wischen („Swipen) oder das Tätigen eines einzigen Knopfdrucks, ist es möglich, Informationen sowie Daten und Befehle abzurufen (Zink & Bosse, 2019, S. 1). Dadurch werden einfache Aufgaben von neuen Technologien ausgeführt (Zink & Bosse, 2019, S. 1). Sei es Privat oder auch in der Arbeitswelt (Zink & Bosse, 2019, S. 1).

Ferner bedeutet die Digitalisierung nicht nur eine Software zu installieren sondern Fertigungsstätten mit Automatisierung zu vernetzen und diese in Betrieb zu nehmen (Zink & Bosse, 2019, S. 16). Darüber hinaus sollten die Technologien nicht einzig und allein als Problemlösung angesehen werden, sondern als ein Gestaltungselement für eine organisatorische Weiterentwicklung (Zink & Bosse, 2019, S. 16).

Das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) hat sich im Thema Digitalisierung mit den Hauptpunkten wie die Herausforderungen, die Sichtweisen und die neue Gestaltung in der Arbeitswelt auseinandergesetzt (Zink & Bosse, 2019, S. 4). Der Fokus bei der Diskussion lag auf den sozialen Bedingungen und Spielregeln der zukünftigen Arbeitsgesellschaft (Zink & Bosse, 2019, S. 4). Aus der Diskussion kam heraus, dass generell die Arbeiten der Personen vernetzter, digitaler und flexibler sein werden (Zink & Bosse, 2019, S. 4). Der Arbeitskreis "Arbeit 4.0" hatte eine ähnliche Sichtweise, dessen Thema sich auf die „Arbeit 4.0 im Mittelstand“ bezog. Aus ihrem Diskurs waren die Veränderungen von Flexibilität, Komplexität, Interaktion und der Kompetenzerfordernungen ein großes Thema (Zink & Bosse, 2019, S. 4).

Laut Arbeitskreis werden die Arbeitsvorgänge durch die Zunahme und die Ansammlung der Übertragung von bestehenden Daten und Informationen in Echtzeit, komplexer (Zink & Bosse, 2019, S. 5). Somit könnte das Risiko bestehen,

## 2 Historische Grundlagen

---

dass die MitarbeiterInnen zu Überforderung, fehlender Motivation und sinkender Effizienz tendieren (Zink & Bosse, 2019, S. 5). Der Arbeitskreis ist zugleich der Meinung, dass die neuen Assistenzsysteme die Ausführung der Tätigkeiten der MitarbeiterInnen unterstützen und somit bei der Entscheidungsfindung entlasten können (Zink & Bosse, 2019, S. 5). Darüber hinaus werden die Zusammenarbeit sowohl in der internen als auch in der externen Kommunikation durch neue Kollaborationstools und Softwarelösungen effizienter (Zink & Bosse, 2019, S. 5).

Da sich die Arbeitswelt stetig verändert und die Mehrheit der Unternehmen auf Softwarelösungen, Tools und Assistenzsysteme stützen, werden die MitarbeiterInnen weiter herausgefordert. Je nach Tätigkeiten werden die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen fachübergreifend und kontinuierlich gezielt gefördert und weitergebildet (Zink & Bosse, 2019, S. 5). Die primäre Ursache für eine Vielzahl dieser Entwicklung ist die Globalisierung und der demografischen Wandel (Zink & Bosse, 2019, S. 72).

Angesichts der Globalisierung lassen sich die Technologien, die Produkte und deren Prozesse stetig wachsen (Zink & Bosse, 2019, S. 72). Aktuelle Informationen und Produkte sind wegen der Globalisierung laufend verfügbar (Zink & Bosse, 2019, S. 72). Dadurch hat sich das Verhalten der Endkunden verändert wie zum Beispiel beim Kauf bestimmter Produkte, die vor der Zeit der Digitalisierung nur in bestimmten Ländern erhältlich und nicht leicht zu bekommen waren. Die Ansprüche der Kunden steigen (Zink & Bosse, 2019, S. 72). Damit die Unternehmer weiterhin für Kunden interessant und wettbewerbsfähig bleiben, müssen Güter rascher auf Lager sein und stetig weiterentwickelt werden (Zink & Bosse, 2019, S. 72).

Infolgedessen kommt, laut Hans Böcker Stiftung, die Arbeitswelt zu einem demografischen Wandel. Die Vereinbarkeit von Familie, Beruf, Migration, sowie auch die sozialen Rollen der Männer und der Frauen werden dadurch neu in Frage gestellt (Zink & Bosse, 2019, S. 5). Durch den demografischen Wandel kam es zur Schrumpfung der Erwerbsbevölkerung (Zink & Bosse, 2019, S. 5). Es fehlen Arbeitskräfte in einzelnen Berufen, so dass sich Unternehmen um neues Personal bemühen müssen (Zink & Bosse, 2019, S. 5). Aufgrund der fehlenden Fachkräfte, ist es wichtig, dass die Arbeitgeber für die Arbeitssuchenden attraktiver werden

## 2 Historische Grundlagen

---

(Zink & Bosse, 2019, S. 5). Desweiteren sollten die Arbeitsinhalte wie die Anwendung von fortgeschrittenen Informations- und Kommunikationstechnologien, sowie die Bedeutung von Mensch-Technik-Schnittstellen für Bewerber und BewerberInnen attraktiv bleiben (Zink & Bosse, 2019, S. 5). Trotz der stetig wachsenden technologischen Entwicklung, ist die Bereitschaft für die Digitalisierung dennoch für viele Unternehmen unsicher (Zink & Bosse, 2019, S. 8). Beispiele dafür wären die unklaren Kosten-Nutzen Verhältnisse des Technologieeinsatzes, sowie fehlender Erfahrung in der Umsetzung (Zink & Bosse, 2019, S. 8). Christian K. Bosse und seine MitarbeiterInnen (2019, S. 14) sind sich einig, dass wenn sich der Mensch auf den digitalen Wandel einlässt, die Digitalisierung (sowie auch ihre Technologien) ihren wirtschaftlichen Nutzen bringen kann.

Damit die Digitalisierung erfolgreich implementiert wird, sollte das Wohl das Beschäftigten bzw. der Mensch selbst im Mittelpunkt stehen (Zink & Bosse, 2019, S. 14). Somit bleiben die Beschäftigten längerfristig motiviert. Außerdem sollte vor der Integrierung neuer Technologien im Unternehmen die Frage gestellt werden, wie sinnvoll diese im Betrieb implementiert werden und ob es von den Mitarbeitern akzeptiert als auch genutzt werden kann (Zink & Bosse, 2019, S. 16).

Ferner haben Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer wegen der Globalisierung, die Möglichkeit nicht nur national, sondern auch international zu arbeiten. Länder oder Stadtzentren mit besseren Entwicklungschancen können die ArbeitnehmerInnen in deren beruflichen Weiterentwicklung vorantreiben (Zink & Bosse, 2019, S. 73). In der jetzigen Zeit ist dies nun zur Standardanforderung geworden, was zur Folge hat, dass die Ausbildungs niveaus und Einkommen steigen (Zink & Bosse, 2019, S. 73).

Die Gesamtbevölkerung besteht aus einem geringeren Anteil von Kindern und Jugendlichen als der Anteil der über 50-jährigen, was längerfristig zu einer Überalterung der Gesellschaft führt (Zink & Bosse, 2019, S. 74). Wegen dem Mangel an Arbeitskräften und der längeren Lebensarbeitszeiten der bereits bestehenden älteren Arbeitnehmer im Unternehmen, sorgten die Politik sowie auch die Arbeitgeber für die Anpassung der Arbeitsfähigkeit und Produktivität (Zink & Bosse, 2019, S. 73). Die jüngeren Generationen hingegen, fokussieren sich,

## 2 Historische Grundlagen

---

sowohl privat als auch beruflich, mehr auf ihre Selbstverwirklichung und Selbstbestimmtheit (Zink & Bosse, 2019, S. 73). Laut Kagermann werden flexiblere Arbeitszeiten und Arbeitsorte als einer der wichtigsten Kriterien für die Arbeitssuchenden angesehen (Zink & Bosse, 2019, S. 73).

Rump und Eilers sind der Meinung, dass die Menge der technischen Entwicklungen der Arbeitswelt, sowie die soziale Rolle des Menschen deutlich verändert wird (Zink & Bosse, 2019, S. 75). Für das allgemeine Wohl der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen und bei Veränderungen wegen Digitalisierungsmaßnahmen am Arbeitsplatz, werden bestimmte Analysen durchgeführt, um zu wissen ob die Anforderungen für sie und ihrer Arbeitstätigkeiten passen (Zink & Bosse, 2019, S. 76). Zusätzlich gibt es die Anforderungsanalysen, welche eine speziellere Form der Arbeitsanalyse sind (Zink & Bosse, 2019, S. 76). Die Arbeitsanalyse umfasst alle Methoden, um die genaue Arbeitstätigkeiten der Fachkräfte, ihre Bedingungen und ihre Auswirkungen zu bewerten (Zink & Bosse, 2019, S. 76). In der Anforderungsanalyse werden die Arbeitstätigkeiten, die Bedingungen und die Anforderungen der MitarbeiterInnen erfasst und bewertet (Zink & Bosse, 2019, S. 76). Zudem wird der Arbeitsplatz, die Arbeitssystemelemente, das Umfeld und die Anforderungen des Fachpersonals erfasst und analysiert (Zink & Bosse, 2019, S. 76). Das Ziel der Analyse ist das Ergebnis der Übereinstimmung mit ihren Anforderungen, der tatsächlichen Tätigkeitsanforderungen und der Personenmerkmale, zu erfassen (Zink & Bosse, 2019, S. 76). Stimmen die Auswertungen nicht überein, könnte dies ein Zeichen für eine Über- oder Unterqualifizierung sein (Zink & Bosse, 2019, S. 76). Beide Kriterien führen zu Leistungsverlusten, weshalb diese vermieden werden sollen (Zink & Bosse, 2019, S. 76).

Im Zuge dessen können Unternehmen frühzeitig erkennen, ob bei betroffenen MitarbeiterInnen rechtzeitig Maßnahmen zu ergreifen und ob sie für zukünftige Arbeitsaufgaben weiterzubilden sind (Zink & Bosse, 2019, S. 76).

Aus der Sicht der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen spielt die Sicherheit und die Transparenz eine wichtige Rolle (Zink & Bosse, 2019, S. 88). Weiters führt ein offener und ein transparenter Umgang gegenüber der MitarbeiterInnen zum

## 2 Historische Grundlagen

---

Projekterfolg (Zink & Bosse, 2019, S. 88). Durch die rechtzeitige Schulungsmaßnahme bei Veränderungen oder im Umgang mit neuen Technologien am Arbeitsplatz, wird den Beschäftigten die Angst genommen (Zink & Bosse, 2019, S. 88).

Dementsprechend bedeutet die Transparenz eine persönliche Einschätzung der eigenen Kompetenzen und verbessert den Wissenstand des Fachpersonals (Zink & Bosse, 2019, S. 88). Infolgedessen kann es zum Wunsch nach Weiterqualifizierung kommen und die Motivation zu einer neuen Herausforderung bzw. zu neuen Arbeitsaufgaben gesteigert werden (Zink & Bosse, 2019, S. 88).

## 3 Fachliche Grundlagen

### 3.1 Definition Brain Computer Interface

Ein Brain Computer Interface (BCI) ist ein Hardware- und Software Kommunikationssystem, das allein durch Gehirnaktivität externe Geräte oder Computer steuert (Nicolas-Alonso & Gomez-Gil, 2012, S. 1211).

Durch die Arbeit von Jacques Vidal, begann die erste BCI-Forschung in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts an der Universität von Kalifornien (Björn Mindermann, 2018, S. 13).

Um ein Brain Computer Interface zu nutzen, wird ein elektrophysiologisches Kontrollsignal verwendet, ohne dass Nerven und Muskeln beteiligt werden (Nicolas-Alonso & Gomez-Gil, 2012, S. 1212). Das BCI schafft somit einen nicht-muskulären Kanal zur Übermittlung der Informationen, die in erster Linie für Personen mit schweren motorischen Behinderungen interessant wäre (Nicolas-Alonso & Gomez-Gil, 2012, S. 1212). Durch diese Schnittstelle könnte ihre Lebensqualität gesteigert und einiges an Kosten in Bezug auf die Intensivpflege gesenkt werden (Nicolas-Alonso & Gomez-Gil, 2012, S. 1212).

Das BCI ist in der Lage bestimmte Muster in Gehirnaktivitäten zu erkennen und gehört somit zum System der künstlichen Intelligenz (Nicolas-Alonso & Gomez-Gil, 2012, S. 1212). Um Signale in digitale Befehle umwandeln zu können, beschreiben die ForscherInnen Luis Fernando Nicolas-Alonso und Jaime Gomez-Gil (2012) fünf aufeinanderfolgenden Phasen: Signalerfassung, Signalverbesserung (oder Vorverarbeitung), Merkmalextraktion, Klassifizierung und Steuerungsschnittstelle.

In der Signalerfassung werden Gehirnsignale erfasst, eventuelles Rauschen unterdrückt und Artefakte im EEG verarbeitet (Milnik, 2009a; Nicolas-Alonso & Gomez-Gil, 2012). Um eine passende Form für digitalisierte Befehle zu erzielen, werden die Signale in der Vorverarbeitung in eine weitere Verarbeitung zu einer

geeigneten Form aufbereitet. In der Merkmalextraktion werden diskriminative Informationen in den gespeicherten Gehirnsignalen identifiziert und auf einen Vektor abgebildet, der eine niedrige Dimension haben muss – ohne dass wichtige Informationen verloren gehen. Grund dafür sind viele verschiedene Signale die das Gehirn aussendet, für die das Extrahieren eine Herausforderung ist (Milnik, 2009c; Nicolas-Alonso & Gomez-Gil, 2012, S. 1212). Danach werden die Signale klassifiziert, die schließlich in der Steuerungsschnittstelle sinnvolle Befehle für eine angeschlossene Apparatur übersetzt (Nicolas-Alonso & Gomez-Gil, 2012, S. 1212).

#### **3.1.1 Artefakte**

Als Artefakte bezeichnet man Potenzialschwankungen, die nicht im EEG registriert werden (Milnik, 2009a). Diese werden auch als ein unerwünschtes Phänomen bezeichnet, dass bei Messungen auftritt (Milnik, 2009a). Dafür gibt es unterschiedliche Arten, nämlich die technischen und biologischen Artefakte (Milnik, 2009a).

Biologische Artefakte sind zum Beispiel die Muskelartefakte, die als elektrische Reize bei Muskelaktivitäten hervorgerufen werden (Milnik, 2009a). Ein weiteres Beispiel wäre auch die Bewegung der Augäpfel bei geschlossenen Augenlidern (Arnold, 2003, S. 29–30; Paszkiel, 2022, S. 42).

Technische Artefakte können hervorgerufen werden, indem zum Beispiel Elektroden unwillentlich auf der Kopfhaut verschoben werden (Milnik, 2009a). Kabelbewegungen, sowie technische Störungen wie zum Beispiel Stecker, Buchsen oder fehlende Erdung am Gerät (oder am Patienten), könnten auch zu technischen Artefakten führen (Milnik, 2009a). Das BCI verwendet die Artefakte für die Steuerung der Applikationen (Ionita Ciolacu & Popp, 2017).

#### **3.1.2 Gehirnwellen**

Die Gehirnforschung hat herausgefunden, dass Gehirnwellen Energieimpulse erzeugen (Gehlert, 2015). Diese Gehirnwellen haben bestimmte Frequenzen die nach einem Bewusstseins-Zustand gemessen werden können (Gehlert, 2015). Ein

Beispiel dafür, sind die Alpha-Wellen, die vor dem Einschlafen und nach dem Aufwachen auftreten (Gehlert, 2015). Diese haben eine Frequenz von 8-13Hz (Birbaumer & Schmidt, 2007, S. 193). Die Gehirnforschung hat herausgefunden, dass bei einer körperlichen Entspannung nach dem Aufwachen, eine bessere Wahrnehmung und Lernfähigkeit festgestellt wurde (Gehlert, 2015). Wenn das Gehirn durch Reize stimuliert wird, so erstrecken sich die gesamten Gehirnwellen über den ganzen Kortex (Gehlert, 2015).

Die Alpha-Wellen strahlen im visuellen Kortex aus (Gehlert, 2015). Die Gehirnwellen Alpha, Beta, Delta und Theta schwingen zur gleichen Zeit und je nach Stimmung zwischen 2 und 20 Hz (Hering, 2005). Außerdem kommen bei den elektrischen Mustern von Netzwerken aus millionenfachen neuronalen Energieschwankungen die Alpha- und Thetawellen zusammen (Hering, 2005).

Des Weiteren gibt es eine alphaähnliche Welle, die als Mu-Welle bezeichnet wird (Schmelz, 2016, S. 28). Diese tritt über den motorischen Kortex auf.

Thomas Gehlert (2015) hat den Zusammenhang zwischen Spiegelneuronen und Gehirnwellen untersucht. Spiegelneuronen sind Nervenzellen, welche Signale bei Durchführung oder auch Beobachtung einer Handlung, im Gehirn aussenden.

Gehlert (2015) stellt fest, dass die sogenannte Mu-Welle die Ruheaktivität des Motorcortex reflektiert. Diese ähnelt den Alpha-Wellen und tritt nicht immer auf (Gehlert, 2015). Der Motorcortex hat die Aufgabe freie Bewegungen zu kontrollieren und zu regulieren. Wenn die Impulse in den einzelnen Gehirnbereichen aktiviert werden, entsteht eine Desynchronisation, welche die Mu-Welle unterdrückt (Gehlert, 2015). Das bedeutet, dass vorgestellte oder reale Bewegungen die Spiegelneuronen produzieren lassen und damit der Motorcortex angeregt wird (Gehlert, 2015).

Ferner werden die visuellen Aktivitäten über dem visuellen Kortex zu Beta-Wellen oder in Richtung Theta- und Delta-Wellen verändert (Gehlert, 2015).

#### **3.1.3 Aktionspotentiale**

Wenn das Ruhepotential aktiv ist, entsteht eine positive Potentialänderung, worauf auf die Muskelzellen kontrahieren (Schmidt, 1971). Diese Nervenimpulse wird als

### 3 Fachliche Grundlagen

---

Aktionspotential bezeichnet (Schmidt, 1971). Die Aktionspotentiale werden an einem Nervenfasern ausgebildet (H. Beck, Anastasiadou, & Meyer zu Reckendorf, 2018a, S. 109). Nervenzellen wie zum Beispiel Neuronen und andere Zelltypen schicken Nervenimpulse, die zum Beispiel von der Netzhaut kommen, entlang der Nervenfasern (H. Beck et al., 2018a, S. 109).

Für eine einwandfreie Kommunikation mit den Nervenzellen und anderen Zelltypen werden die Aktionspotentiale weitergeleitet (H. Beck et al., 2018a, S. 108). Grundsätzlich ist das Zellinnere negativ geladen, weil die erregbare Zelle zu der Zeit im Ruhezustand ist. Diese werden Ruhepotential genannt (Schmidt, 1971). Aktionspotentiale werden weitergeleitet, indem sich die Kanäle in der Zellmembran öffnen und positiv geladene Natriumionen in die Nervenzelle einströmen (H. Beck et al., 2018a, S. 109). Das elektrische Feld wird dadurch umgekehrt, worauf die Zelle positiv geladen wird (H. Beck et al., 2018a, S. 109). Der Impuls verläuft nur in einer Richtung an den Nervenfasern (H. Beck et al., 2018a, S. 109).

Aktionspotentiale, sowie Ruhepotentiale können durch die Messung elektrischer Aktivität (anhand der Elektrode) einer Zelle, wie zum Beispiel die Nerven-, die Muskel- oder auch Herzmuskelzellen, durchgeführt werden (Schmidt, 1971). Demzufolge verbreiten Aktionspotentiale Informationen, welches je nach Frequenz verändert werden kann (H. Beck et al., 2018a, S. 109).

## 3.2 Visueller Kortex und Messung im EEG

Für die Untersuchung der Arbeit, wird ein Sensor von NextMind, der nur Informationen vom virtuellen Kortex entnimmt, verwendet. In diesem Kapitel möchte die Autorin das Verständnis aufbauen, wie die Gehirnsignale im visuellen Kortex gemessen werden.

### 3.2.1 Aufbau visueller Kortex

Das menschliche Gehirn ist ein komplexes System, das aus Milliarden von Nervenzellen (auch Neuronen genannt) besteht, die wiederum mit Milliarden Synapsen verbunden sind (Mainzer, 1997). Ferner besteht das Gehirn aus Großhirn, Zwischenhirn, Mittelhirn, Kleinhirn und den Hirnstamm (Mainzer, 1997). Der Hirnstamm enthält das Mittelhirn, das verlängerte Mark und die Brücke. Das Großhirn besteht aus zwei Hemisphären, das vom Balken verbunden wird (Mainzer, 1997). Die zwei Hemisphären verarbeiten unterschiedliche Informationen der gegenüberliegenden Körperseiten (Mainzer, 1997). Der Balken besteht aus circa 200 Millionen Fasern, die aus Axonen und Dendriten bestehen (Mainzer, 1997).

Die Dendriten dienen zum Empfang der Signale von anderen Nervenzellen. Die Axone sind zuständig für die Weiterleitung der Signale (H. Beck, Anastasiadou, & Meyer zu Reckendorf, 2018b).

Ferner hat das menschliche Gehirn eine stark entwickelte Großhirnrinde, was es im Vergleich zu anderen Säugetieren, besonders macht. Die Großhirnrinde hat um die 20 Milliarden Nervenzellenkörper. Sie wird auch „graue Substanz“ genannt. Der Grund dafür ist die graue Farbe in der äußeren Schicht. Außerdem befinden sich im inneren des Großhirns Fortsätze, die „Weiße Substanz“ genannt werden. (H. Beck et al., 2018b)

Das Großhirn- und die Großhirnrinde werden in verschiedene Lappen eingeteilt (H. Beck et al., 2018b):

- Frontallappen
- Parietallappen

### 3 Fachliche Grundlagen

---

- Temporallappen
- Okzipitallappen

In dieser wissenschaftlichen Arbeit ist der Okzipitalbereich der Fokus, da der Prototyp sich mit der visuellen Information beschäftigt.

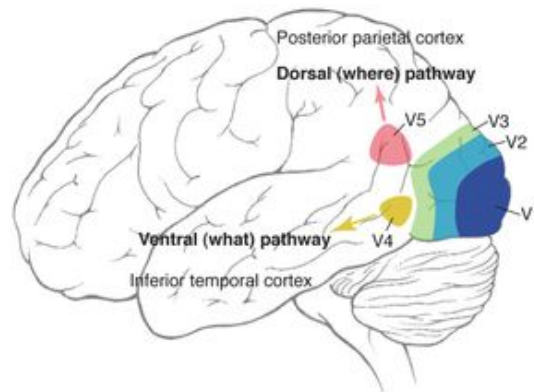


Abbildung 1: Visueller Kortex („American Academy of Ophthalmology“, 2022)

Im Allgemeinen beginnt die Analyse eines Bildes bereits im Auge, genauer in der Retina, die dann durch die einzelnen Stationen in der Sehbahn weitergeleitet wird. Diese kommt, so in den optischen Assoziationsfeldern des Gehirns, als aufgelöstes Bild an (Gegenfurtner, Walter, & Braun, 2002; Milnik, 2009d). Alle unsere Eindrücke werden im Auge aufgenommen. In nur einigen Millimetern liegen im Sehnerv- und Tractus-Bereich ca. 1 Mio. Fasern zusammen, die dann im Sehbahnbereich weiter aufgefächert sind (Milnik, 2009d, S. 235).

Um ein Objekt scharf sehen zu können, sollte die Einstellung der Linsenkrümmung und die Nah- und Ferneinstellung des Auges angepasst werden (Korn, 1982, S. 68). Auch spielen die Elemente des Objektes eine wichtige Rolle wie zum Beispiel die Dicke, die Abstände, der Mindestkontrast und die Beleuchtungsstärke (Korn, 1982, S. 68).

Das Auge kann sich in einer bestimmten Zeit an verschiedene Lichtverhältnisse anpassen. Diesen Vorgang nennt man Adaption. Außerdem braucht das Auge eine bestimmte Mindestzeit, damit die bewegten Bilder mit einer bestimmten Geschwindigkeit nachfolgen können (Korn, 1982, S. 69). Nach einer Untersuchung

### 3 Fachliche Grundlagen

---

von Dr. Axel Korn ist das neuronale Netzwerk ein Filter, sodass bei negativen Einflüssen die Bildqualität zum Teil wieder ausgeglichen wird (Korn, 1982, S. 80).

Das Sinnessystem wurde damals als streng hierarchisch und schrittweise vorgestellt. Es geht vom ersten Reiz bis zu den Rezeptoren (wie zum Beispiel dem Auge) (H. Beck et al., 2018b, S. 142). Somit interpretierten die damaligen ForscherInnen die fertige Zusammensetzung einer Sinneswahrnehmung (H. Beck et al., 2018b, S. 142). Aktuell wird angenommen, dass das menschliche Nervensystem die Sinnesinformationen, zwischen den verschiedensten Verarbeitungsebenen im Netzwerk, verteilt werden. Die Informationen werden als Sinneseindrücke schneller erfasst (H. Beck et al., 2018a, S. 54).

Zuerst treffen Seheindrücke auf die Netzhaut, die dann als elektrische Impulse entlang der Sehbahn bis zur Sehrinde weitergeleitet werden (Kolb & Whishaw, 1996, S. 61). Die Netzhaut enthält Zapfen und Stäbchen, die auch als zwei Arten der Photorezeptoren bezeichnet werden (Kolb & Whishaw, 1996, S. 61). Die Photorezeptoren sind mit Bipolarzellen verbunden und haben die Aufgabe, die Lichtenergie in Aktionspotentiale umzuwandeln (Kolb & Whishaw, 1996, S. 61). Weiters senden die Bipolarzellen in den Ganglienzellen die Aktionspotentiale aus, die diesbezüglich Axone (Fortsatz einer Nervenzelle) zum Gehirn senden (Kolb & Whishaw, 1996, S. 61).

Die visuellen Informationen, die wahrgenommen werden, werden im Okzipitallappen verarbeitet (Kolb & Whishaw, 1996, S. 61). Die vielen Informationen, die wir im Gesichtsfeld erhalten, werden in verschiedensten Bereichen im Okzipitallappen kategorisiert um das Wahrgenommene zu konkretisieren (Kolb & Whishaw, 1996, S. 61). Das Gesichtsfeld erfasst den Bereich, welches das Auge ohne Augenbewegung erkennt und festhält (Kolb & Whishaw, 1996, S. 61). Jeder Bereich hat unterschiedliche Aufgaben, weshalb der visuelle Kortex in Kategorien unterteilt wird (Kolb & Whishaw, 1996, S. 61).

Der primäre visuelle Kortex (V1 oder Areal 17) beschäftigt sich mit dem Antwortverhalten der Neuronen auf visuelle Reize, die sehr stark auf kurze Lichtstreifen reagieren und schwach auf punktförmige Lichtreize (Gegenfurtner et al., 2002) (Kolb & Whishaw, 1996, S. 63). Zusätzlich werden die visuellen

### 3 Fachliche Grundlagen

---

Informationen im V1 abgebildet. Der primäre visuelle Kortex und das zweite visuelle Areal, reagieren auf die visuellen Reize (Kolb & Whishaw, 1996, S. 63).

Informationen, die durch den V1 gewonnen wurden, werden in die sekundäre Sehrinde weitergeleitet, die in zwei Areale geteilt ist: das zweite visuelle Areal (V2 oder Areal 18) und dritte visuelle Areal (V3) (Rottschy, 2009, S. 65–73) (Kolb & Whishaw, 1996, S. 63).

Das vierte visuelle Areal (V4) und das fünfte visuelle Areal (V5 oder MT) werden als tertiäre Sehrinde benannt. V4 ist für die Erkennung von Formen und Farben zuständig (Gegenfurtner et al., 2002), (Kolb & Whishaw, 1996, S. 63). V5 ist für die Bewegungswahrnehmung zuständig (Gegenfurtner et al., 2002, S. 11–12).

Der primäre visuelle Kortex (V1) arbeiten mit dem Prinzip der Linearität. Farben, die im Okzipitallappen wahrgenommen werden, werden im V1 vorgezogen und verarbeitet (H. Beck et al., 2018a, S. 16–17) Im sekundäre visuelle Kortex (V2) werden nicht lineare Informationen verarbeitet (H. Beck et al., 2018a, S. 16–17). Neuronen im V2 antworten auf bestimmte Farbtöne (H. Beck et al., 2018a, S. 16–17).

Generell antworten die Neuronen bei isoluminanten Farbunterschieden zunehmend seltener (Karnath & Thier, 2003, S. 16–17). Im V4 zeigte sich bei den Studien mit bildgebenden Verfahren, dass oft eine erhöhte, farbspezifische Gehirnaktivierung gezeigt wird (Karnath & Thier, 2003, S. 18). Karl Gegenfurtner ist der Meinung, dass die Aktivierung sich quantitativ nicht mit den anderen Bereichen des visuellen Kortex unterscheidet (Karnath & Thier, 2003, S. 18).

In V4 wurden Neuronen mit Eigenschaften gefunden, die auf „relativ komplexe Interaktionen von Zentrums- und Umfeldfarbe“ reagieren (Karnath & Thier, 2003, S. 18). Objekte werden unter der gleichen Farbe, trotz wechselnder Beleuchtungen, wahrgenommen (Karnath & Thier, 2003, S. 18).

Mittlerweile hat man herausgefunden, dass das menschliche Sehsystem viele „Hinweisreize“ benutzt, um die Konstanz der Farben zu erhalten (Karnath & Thier, 2003, S. 18). Die Mittelwertfarbe, die bildlich wahrgenommen wird, hängt sehr stark von der Beleuchtung ab (Karnath & Thier, 2003, S. 18).

Karl R. Gegenfurter ist der Meinung, dass im visuellen Kortex nur Farbinformationen verarbeitet werden und andere Areale keine wichtigen Beiträge zur Verarbeitung der Farbinformation liefern (Karnath & Thier, 2003, S. 18). Einfache Farbunterscheidungen werden im primären visuellen Kortex definiert, die schon im Kindesalter von 4 Monaten möglich sind (Karnath & Thier, 2003, S. 18). Außerdem schreibt Gegenfurter über den emotionalen Aspekt, der eine wichtige Rolle in der Verbindung mit Wahrnehmung und Farben spielt (Karnath & Thier, 2003, S. 18). Die kortikalen Farbsehmechanismen mit den limbischen Strukturen kann anhand seiner Meinung angenommen werden, da der Großteil der emotionalen Reaktionen und kulturellen Faktoren abhängt (Karnath & Thier, 2003, S. 19).

#### **3.2.2 Visuelle Wahrnehmung**

Im vorherigen Kapitel (Kapitel 3.2.1) wurde erläutert, dass bestimmte Farb-, Struktur- und Bewegungsinformationen in bestimmten Arealen im visuellen Kortex verarbeitet werden. In diesem Kapitel wird untersucht, ob die visuelle Wahrnehmung eine wichtige Rolle für die Funktion im visuellen Kortex spielt und ob die Messung im BCI dadurch beeinflusst werden könnte.

Generell erfolgt die visuelle Wahrnehmung im visuellen Kortex (Karnath & Thier, 2003, S. 531). Voraussetzung für eine visuellen Wahrnehmung wäre die Integrität der subkortikalen Strukturen, um eine primäre kortikale Leistung gewährleisten zu können (Karnath & Thier, 2003, S. 531). Die subkortikalen Strukturen befinden sich unterhalb der Großhirnrinde und bestehen aus dem Zwischenhirn, der Hirnhangdrüse, dem limbischen System und dem Basalganglien (Karnath & Thier, 2003, S. 531).

Wie im Kapitel 3.2.1 erklärt, ist das Gesichtsfeld ein wesentliches Fundament für die visuelle Wahrnehmung um die visuellen Informationen im visuellen Kortex zu kategorisieren und die visuelle Wahrnehmung zu konkretisieren (Karnath & Thier, 2003, S. 73). Bevor die visuellen Impulse zum visuellen Kortex gelangen, kommen diese zuerst im größten Teil des Zwischenhirns, den sogenannten Nucleus

### 3 Fachliche Grundlagen

---

geniculatum laterale (NGL) (Karnath & Thier, 2003, S. 531). Der Nucleus geniculatum laterale (oder auch laterale Kniehöcker genannt) ist der primäre Übermittler zum visuellen Kortex (Karnath & Thier, 2003, S. 531). Zudem schreibt Thier über eine sechste Schicht im visuellen Kortex, welche die Informationen in die Kategorie „Tiefenbeurteilung“ zuteilt. Dort werden die Bildelemente erkannt, die Erfahrungen, Erinnerungen interpretiert und abgeglichen (Gesundheitsamt Kreis Lippe, 2018). Dadurch wird zum Beispiel das Gesamtbild, das von der Person wahrgenommen wird, erfasst. Anschließend werden die visuellen Reize vom Nucleus geniculatum laterale zum visuellen Kortex mit Hilfe der Sehbahn weitergeleitet (Karnath & Thier, 2003, S. 61; Pschyrembel Redaktion, 2018).

Ein weiterer Einfluss für eine Wahrnehmung, wäre die Basalganglien. Diese befinden sich im Großhirn (Wicht, 2011). Die Basalganglien sind für die Regulierung der Willkürmotorik und das motorische Gedächtnis zuständig (Karnath & Thier, 2003, S. 536; Wicht, 2011). Die Basalganglien sind die Eingänge für alle Bereiche des Kortex und auch des visuellen Kortex (Karnath & Thier, 2003, S. 536). Eine der Aufgaben der Basalganglien wäre die Beeinflussung der Augenbewegungen. Sie kontrollieren kognitiv die Augenbewegungen und sie helfen den Raum zu erkunden. Außerdem verhindern die Basalganglien, bei nicht sachgemäßer Bewegungen, die Augenbewegungen (Karnath & Thier, 2003, S. 536).

Für eine funktionierende visuelle Wahrnehmung ist das Pulvinar (große Kerngruppe im Thalamus) ein weiterer Einfluss, welches die visuellen Objekte die Aufmerksamkeit geschenkt werden soll (Karnath & Thier, 2003, S. 540). Der Colliculus superiorer ist zuständig für die Ausrichtung der Aufmerksamkeit (Karnath & Thier, 2003, S. 540). Das Corpus geniculatum laterale eliminiert unerwünschte visuelle Signale (Karnath & Thier, 2003, S. 540).

Ferner kann bei einer Störung oder Verletzung im Nucleus geniculatum laterale die visuelle Wahrnehmung zum Ausfall führen (Karnath & Thier, 2003, S. 531).

### **3.2.3 Funktion eines EEG-Headsets**

Ein Elektroenzephalograph (EEG) erkennt Aktivitäten mehrerer Gruppen von Neuronen, die zur selben Zeit aktiv sind (Milnik, 2009d, S. 184). Es zeichnet Veränderungen der Potenzialdifferenzen auf und visualisiert die elektrischen Gehirnaktivitäten in Form von Wellen (Milnik, 2009d, S. 184). Für die grafische Darstellung wird die Amplitude, die Frequenz und die höchste und niedrigste Auslenkung einer Welle (auch Potenzial genannt) verwendet (Milnik, 2009d, S. 184). Beim Verwenden des EEGs wird jede Veränderung des Potenzialdifferenz in Echtzeit digital oder analog festgehalten (Milnik, 2009d, S. 184).

### **3.2.4 Evozierte Potenziale**

Evozierte Potenziale sind Potenzialunterschiede im EEG, welche durch Reize in den Sinnesorganen oder im peripheren Nervensystem ausgelöst werden (Milnik, 2009b). Jeder Sinnesreiz löst in den sensorischen Arealen der Großrinde eine Veränderung des elektrischen Potentials aus. Um die evozierten Potenziale messen zu können, ist eine Aufsummierung einer Vielzahl von Reizen notwendig, die „Averaging“ genannt wird (Milnik, 2009b). Die Hirnströme werden durch die Hintergrundaktivität, die jeweils wahrgenommenen kleinen elektrische Aktivitäten, überlagert. Diese wären Reize, Akustik und Visualität (Milnik, 2009b). Die Reize, die Akustik und das Visuelle werden von außen über die Sinnesorgane und über die Nerven aufgenommen (Milnik, 2009b). Darüber hinaus werden sie in bestimmten Nervenbahnen weitergeleitet. Objektive Messungen werden im hörbaren sowie im visuellen System und in der Sensibilität vorgenommen (Milnik, 2009b).

Laut Milnik erfolgt die Ableitung mit Oberflächenelektroden von der Kopfhaut, wobei verschiedene Elektroden über dem jeweiligen Projektionsgebiet wie zum Beispiel okzipital, beim visuell evozierten Potenzial (VEP), und parietal beim somatosensorisch evozierten Potenzial (SEP), platziert werden (Milnik, 2009b). Beim VEP und SEP können aus der Zeit bis zum Auftreten von Reizantworten und aus der Konfiguration des Antwortpotential, Rückschlüsse auf mögliche Störungen der Reizverarbeitung im jeweils sensiblen, visuellen oder akustischen System, geschlossen werden (Milnik, 2009b).

Die jeweils ausgelösten Potentiale werden akustisch, visuell oder sensibel genannt und haben einen festen Platz in der neurophysiologischen Diagnostik gewonnen (Milnik, 2009b).

#### **3.2.5 Visuell evoziertes Potenzial**

Im letzten Kapitel wurde erforscht, wie generell das Messen der Gehirnaktivität funktioniert. Nun stellt sich die Frage, wie man Informationen aus dem visuellen Kortex entnimmt, wenn man ein non-invasives EEG-Headset oder einen non-invasiven Sensor integrierter EEG Technologie, der nur Gehirnaktivitäten aus dem visuellen Kortex entnimmt, verwendet (Milnik, 2009d, S. 184).

Im Okzipitallappen wird die Verarbeitung als Reiz angesehen, welchen der Mensch zur selben Zeit wahrnimmt (Karnath & Thier, 2003, S. 144). Generell beginnt im neuronalen Netz die Sinnesreizaufnahme durch Sinneszellen (wie z.B. Druck in der Haut)(Karnath & Thier, 2003, S. 144). Durch diese Aktivierung wird eine primäre sensorische Nervenzelle, die einen Nervenimpuls auslöst, weitergeleitet (Karnath & Thier, 2003, S. 144). Diese Prozedur wird als „Visuell evoziertes Potenzial“ bezeichnet (Karnath & Thier, 2003, S. 144).

Das visuell evozierte Potenzial (VEP) ist abhängig von Geräten, die den Sehnerv stimulieren, wie zum Beispiel der Blitzbrille, dem Monitor oder dem Abstand zum Auge (Milnik, 2009d, S. 235). Um die Spannung in der Gehirnaktivität messen zu können, wird das „Averaging“ eingesetzt. „Averaging“ summiert kleine Reize elektronisch, sodass Spannungsschwankungen wie zum Beispiel Artefakte, Muskelverspannungen oder Erregungen durch den Reiz deutlich visualisiert werden (Milnik, 2009d, S. 235). Am Hinterhaupt gelegen über der primären Sehrinde, wo im Usability Test der NextMind Sensor befestigt wird, entsteht das visuell evozierte Potenzial (Milnik, 2009d, S. 235). Somit kann man das evozierte Potenzial ableiten.

Bei der klinischen Untersuchung hat Milnik (2009d, S. 235) einen deutlichen positiven Peak im Bereich von 100ms gemessen und bei einer oberen Normgrenze von 114ms. Bei fehlender Konzentration und/oder Müdigkeit, Refraktionsanomalien und axonale Läsionen, wurden die Amplitudenmesspunkte

reduziert (Milnik, 2009d, S. 235). Seine Forschung ergab unter anderem, dass die Latenzzeiten durch das Alter beeinflusst werden (Milnik, 2009d, S. 235). Die längste Latenzzeit befand sich bei Kindern unter 6 Jahren und bei Erwachsenen über 55 Jahren (Milnik, 2009d, S. 235). Werden Elektrodenartefakte ausgeschlossen, so sind die Amplitudenreduktionen bis zu 60% brauchbar (Milnik, 2009d, S. 235).

#### **3.2.6 Visueller Reiz für konstante Stimulierung**

Die visuelle Reizung erfolgt entweder mit Lichtimpulsen, wie zum Beispiel durch Einzelblitze mittels Stroboskops oder mit einem Schachbrettmuster auf einem Bildschirm (Milnik, 2009d, S. 237). Die Retina wird durch den Kontrastwechsel gereizt (Milnik, 2009d, S. 237). Bei Benutzung eines Bildschirms, um die Stimulierung des Auges zu reizen, wird mit Hilfe einer globalen Beleuchtung und einer bestimmten Leuchtdichte das Auge konstant stimuliert (Milnik, 2009d, S. 237). In einer Forschung von Volker Milnik, wurde mit einer LED gefütterten Blitzbrille eine Untersuchung Blitzevozierte Potenziale durchgeführt (Milnik, 2009d, S. 237). Seine Forschung zeigt, dass der Reiz bei gesunden Menschen eine geringere Bedeutung, wegen der großen Vielfältigkeit der Merkmale, aufzeigt als bei Menschen mit Beeinträchtigungen (Milnik, 2009d, S. 238). Menschen mit Beeinträchtigungen (wie zum Beispiel Optikusneuritis), werden bei kleinen Kästchen das Auge gereizt. Bei peripheren Gesichtsfeldstörungen wird bei großem Muster reagiert (Milnik, 2009d, S. 237).

#### **3.2.7 Stimulation**

Volker Minik (2009d) untersuchte zusätzlich einige Größen der einzelnen Kästchen im Schachbrettmuster um herauszufinden, ob die Stimulation (auch Musterumkehrstimulation genannt), veränderbar ist. Die Musterumkehrreize werden durch helle und dunkle Quadrate des Schachbrettmusters erzeugt (Milnik, 2009d, S. 239). Dadurch wird der Kontrastwechsel gereizt. Aus den einzelnen Größen der Kästchen im Schachbrettmuster, stellte sich aus der Untersuchung von Milnik (2009d) heraus, dass bei Veränderungen (Milnik, 2009d, S. 237) der Geräte- und Bildschirmeinstellungen es zu Latenzveränderungen von 5-10 ms

führen kann. Deswegen ist es äußerst wichtig, dass die empfohlenen Ableitparameter eingehalten werden (Milnik, 2009d, S. 239).

#### **3.2.8 Einflüsse des VEP**

Die VEP können durch unterschiedliche Einflüsse verändert werden. Dadurch sollte dann der Wert im EEG anders bewertet werden (Milnik, 2009d, S. 246). Wie im Kapitel 3.2.4 erwähnt, können bei der Messung die Amplitudenreduktionen von mehr als 60% diagnostisch verwertet werden. Dieses Ereignis wird von Milnik als „pathologische Amplitude von P100“ beschrieben (Milnik, 2009d, S. 246).

Bei der Messung des VEPs wurden weitere Latenzunterschiede gefunden wie zum Beispiel bei Schwangeren, Menschen mit Erkrankungen, Brillenträgern ohne Brille, bei Kindern unter 6 Jahren oder Erwachsenen ab 55 Jahren. Auch technische Störungen können die Latenzzeit verändern (Milnik, 2009d, S. 246).

Es gibt weitere Einflüsse auf das VEP, welche auch für die Forschungsarbeit relevant wären. Latenzzeiten können verändert werden bei Kontrast und Helligkeit des Monitors, der Abstand von Patient zum Bildschirm, der Blickwinkel zum Monitor, die Lage des Fixpunktes, das Gesichtsfeld, das Einnehmen von Medikamenten und die technischen Parameter wie zum Beispiel Mustergröße oder Filter (Milnik, 2009d, S. 246).

## **3.3 Bestehende BCI Arten**

Der Forscher Martin Weygandt schreibt in seiner Dissertation, dass es eine Vielfalt von BCI-Ansätzen und Apparaturen gibt, die unterschiedlich funktionieren. Aus diesem Grund werden die BCIs in taxonomische Kategorien unterteilt (Weygandt, 2008, S. 8–10). In diesem Kapitel fasst die Autorin aus Martin Weygandt's (2008) Sicht die Kategorien der BCI zusammen.

### **3.3.1 Invasive und noninvasive BCI**

Invasive und nicht-invasive BCIs beschäftigen sich generell mit der Messtechnik der Gehirnaktivität (Weygandt, 2008, S. 9). In dieser Kategorie gehören Einzelableitungen kortikaler Neurone, Elektrokortikogramm, Nah-Infrarot Spektroskopie, und fMRT (Weygandt, 2008, S. 9).

Eine Invasive BCI ist eine Mensch-Maschine-Interaktion, wo Elektroden operativ innerhalb des Schädels platziert werden (Weygandt, 2008, S. 9). Wenn Hirnaktivitäten außerhalb des Schädels gemessen werden, wie zum Beispiel über EEG, NIRS oder fMRT, dann handelt es sich um nicht-invasive BCIs (Weygandt, 2008, S. 9).

### **3.3.2 Neurofeedback-basierte und klassifikationsbasierte BCI**

Neurofeedback-basierte BCIs beschäftigen sich mit visuellen oder akustischen Reizen, die man mit eigenem Willen kontrollieren kann (Weygandt, 2008, S. 9). Durch die willentliche Kontrolle kann die nutzende Person die Gehirnaktivität, in eine gewünschte Richtung oder Zustand lenken. Diese Methode wird mit einem Neurofeedback-Training erlernt (Kober & Wood, 2020; Weygandt, 2008, S. 9–11). Das neurofeedback-basierte BCI ist nicht-invasiv (Weygandt, 2008, S. 9).

Ein klassifikationsbasiertes BCI wird von einer Testperson durch sensorische, kognitive oder emotionale Prozesse selbst initiiert (Weygandt, 2008, S. 10–11). Dafür ist ein Erlernung des Neurofeedbacks nicht notwendig (Weygandt, 2008, S. 10–11). Es wird ein Klassifikationsalgorithmus verwendet (Weygandt, 2008, S. 10–11). Der Klassifikator erlernt die Relation zwischen Bedienung und

Muster, in dem zum Beispiel die Stimulation im Gehirn durch bestimmte Muster, aktiviert wird (Weygandt, 2008, S. 10–11).

#### **3.3.3 Abhängige und unabhängige BCI**

Abhängige oder unabhängige BCI wird durch Voraussetzung normaler neuromuskulärer Pfade bestimmt (Weygandt, 2008, S. 11–12). Als Beispiel hat Vidal für eine abhängige BCI, einen Prototyp auf Basis des VEPs konstruiert (Weygandt, 2008, S. 11–12). Die nutzende Person steuert oder fokussiert nach einer Einführung, zum Beispiel an einer Matrix aus Buchstaben, am Monitor (Weygandt, 2008, S. 11–12). Die Buchstaben leuchten zufällig und nacheinander, sodass durch das Aufleuchten eines fokussierten Buchstaben ein VEP erzeugt (Weygandt, 2008, S. 11–12). Bei aufleuchtenden Buchstaben, die von teilnehmenden Personen nicht fokussiert wurden, war die Ausprägung eines VEP geringer. Außerdem wird am stärksten auf die rückgeschlossene Blickrichtung der nutzenden Person die VEP gemessen (Weygandt, 2008, S. 11–12). Aus der Untersuchung kam heraus, dass Vidals System ein abhängiges BCI ist (Weygandt, 2008, S. 11–12).

#### **3.3.4 Passive und aktive BCI**

Ferner schreibt der Forscher Mathias Vukelić (2015, S. 438) über ein passives BCI. Das passive BCI (pBCI) wird durch Messung die Gehirnaktivität interpretiert und damit wird das Verhalten des Systems dem Nutzer angepasst. Es wird als eine neue Eingabemodalität genutzt. Damit werden Hirnsignale in einem eigenen Kontext bereit gestellt und der Nutzer braucht keine bewusste Aufmerksamkeit um die Maschine oder den Computer steuern zu können (Weisbecker et al., 2015, S. 438).

Ein aktives BCI hingegen ist eine Gedankensteuerung, die von der NutzerIn bewusst gesteuert werden kann. Bei der aktiven BCI, werden wie im Kapitel 3.1. beschrieben, die Gehirnaktivitäten gemessen und mit Hilfe des EGGs die vorprogrammierten Befehle ausgeführt. Dies erfordert eine aktive Kontrolle durch den Nutzer (Weisbecker et al., 2015, S. 438).

### **3.4 Einsatz von BCI**

Das neurofeedbackbasierte BCI wurde mit 7 Morbus-Parkinson PatientenInnen untersucht (A. Miladinović et al., 2020). Die Idee das neurofeedbackbasierte BCI zu verwenden ging von der Studie von Miladinovic et al (2020) aus, um eine Verbesserung der kognitiven Fähigkeiten der Morbus-Parkinson Patienten zu erzielen. Dies geschah durch Übung, Verstärkung und Feedback des BCIs, sodass Probanden das Erlernen der neuronalen Aktivität mit eigenem Willen steuern (A. Miladinović et al., 2020). Weiters erhoffte man durch die Studie eine positive Verbesserung in der motorischen Ausführung und Koordination (A. Miladinović et al., 2020).

Lähmungen die durch Verletzungen, Infarkte oder andere Krankheiten ausgelöst werden, können zur Folge haben, dass das Gehirn vom Körper abgetrennt wird und die Person keine Bewegungen mehr aus eigenem Willen durchführen kann (A. Miladinović et al., 2020). Eine neuronales Schnittstellensystem könnte hier Abhilfe schaffen und den Menschen ihre Beweglichkeit wieder geben, durch die Umwandlung in Steuersignale für Behelfsmittel (A. Miladinović et al., 2020). Menschen mit kompletter Lähmung aller 4 Gliedmaßen, konnten durch ein derartiges Schnittstellensystem, schon eine Computermouse bedienen und um damit ein konkretes Gerät zu steuern (A. Miladinović et al., 2020).

Einem Studienteilnehmer mit langjähriger Tetraplegie, dem vor einigen Jahren ein solcher Sensor implantiert worden ist, konnte dadurch Kaffee aus einer Flasche trinken (A. Miladinović et al., 2020). Obgleich der benutzte Roboterarm ungenauer und langsamer als ein menschlicher Arm arbeitet, konnte doch gezeigt werden, dass selbst nach langjähriger Verletzung die Möglichkeit besteht, durch eine kleine Probe neuronaler Signale, komplexe Gerätschaften zu steuern (A. Miladinović et al., 2020).

### **3.5 Skepsis**

Ziele der digitalen Assistenzsysteme, wie zum Beispiel das Brain Computer Interface oder Augmented-Reality-Brillen, sind Vereinfachung der Arbeiten in

### 3 Fachliche Grundlagen

---

verschiedensten Bereichen, sowie auch die Reduzierung von Fehlern (Nijboer, 2015). Digitale Assistenzsysteme dienen auch als Hilfestellung für visuelle Informationen (Nijboer, 2015). Dennoch werden einige der Technologien bei den Zielgruppen nicht genutzt .

Neue Technologien werden nicht immer akzeptiert (Nijboer, 2015). Die Ursache könnte an der Ästhetik, an der Komfortzone, an der Nutzung, der Angst vor etwas Neuem oder der Angst vor der Ersetzung der Arbeiten des Menschen liegen (Nijboer, 2015). Darüber hinaus können auch digitale Assistenzsysteme kaum Verbesserung der Lebensqualität aufzeigen, sodass diese dann nicht in der Arbeitswelt integriert werden (Nijboer, 2015).

Des Weiteren kann auch die Ursache an der Herausforderung der Neuerlernung neuer Technologien sein. Laut der Untersuchung von Malte Teichmann et al (2020), sind Herausforderungen eine Kompetenzlücke der MitarbeiterInnen. Die MitarbeiterInnen im Betrieb haben verschiedene Kenntnisse, Fähigkeiten, Kulturwerte sowie veraltete didaktische Ansätze (Teichmann et al., 2020). Infolgedessen sind neue Herausforderungen nebensächlich oder auch gar nicht in ihrer Arbeitsroutine vorhanden.

Ein Beispiel dafür wäre der Einsatz des Brain Computer Interface bei Locked-in-Syndrom PatientenInnen im medizinischen Bereich (Nijboer, 2015). Menschen mit Locked-in-Syndrom könnten mit Hilfe vom BCI in vielen Bereichen unterstützt werden (Nijboer, 2015). Da jedoch derzeit das BCI noch bei den Entwicklungskosten höher ist als andere Assistenztechnologien, gibt es andere Alternativen, welche günstiger und systemtechnisch fortgeschrittener sind (Nijboer, 2015). Aufgrund niedrigen Gewinns, trotz einem erheblichen kommerziellen Engagement, wird das BCI derzeit in Europa subventioniert (Nijboer, 2015).

BCI-Prototypen werden auf Geschwindigkeit und Genauigkeit evaluiert (Nijboer, 2015). Wenn die Prototypen auf Benutzerfreundlichkeit evaluiert werden, dann werden diese meistens nur auf Zuverlässigkeit und Methoden aus den Bereich Mensch-Computer-Interaktion fokussiert (Nijboer, 2015).

### 3 Fachliche Grundlagen

---

Laut Nijboer (2015) warnt der BCI Forscher Joseph P. Lane, dass der Enthusiasmus, der ursprünglichen Idee, den Prototyp oder das Produkt nicht die Notwendigkeit einer gesunden Skepsis gegenüber seiner Einzigartigkeit überschatten sollte. Außerdem sollte im Hinterkopf beibehalten werden, dass Brain Computer Interfaces trotz Durchführbarkeit und Faszination, auf den Wert und den tatsächlichen Bedarf hinterfragt werden müssen (Nijboer, 2015).

In einer belgischen Studie wurden 8 Locked-In-Syndrom-Patienten in den Bereichen Versorgung, Kommunikation und Lebensqualität untersucht (Nijboer, 2015). 6 von 8 LIS-Patienten bevorzugten nicht-technologische Schriftsysteme für die tägliche Kommunikation als technologische Kommunikationshilfe (Nijboer, 2015). Jedoch muss man in dieser Studie beachten, dass trotz Bevorzugung der nontechnologischen Kommunikationshilfe, Menschen mit vollständigem Lock-in-Syndrom das BCI benötigen könnten (Nijboer, 2015).

Das BCI könnte aus der Sicht der Unternehmen nur wenige Zielgruppen ansprechen. Generell sind maßgeschneiderte Technologien für Nischengruppen, die sich nicht auf eine breite Zielgruppe konzentrieren, kommerziell zu wenig rentabel (Nijboer, 2015). Allerdings besteht die Hoffnung, dass entwickelte Assistenztechnologien für Menschen mit Beeinträchtigungen, großes Interesse auch für Menschen ohne Beeinträchtigung wecken und somit die neue Technologie in den globalen Markt gelangt. Ein Beispiel dafür ist die Blick- und Spracheingabesteuerung, welche für Menschen mit motorischen Beeinträchtigungen entwickelt wurde, um Geräte bedienen zu können (Nijboer, 2015). Heute sind die Systeme in Computer, AR/VR Brillen und Smartphones integriert. Infolgedessen kann man im Bereich der Rehabilitation feststellen, dass die Benutzerfreundlichkeit das Hauptaugenmerk ist, für das Erwecken der Interessen größerer Zielgruppen (Nijboer, 2015).

Generell werden Brain Computer Interfaces von Personen entwickelt, die nicht mit dem täglichen Leben der Menschen mit Beeinträchtigungen vertraut sind (Nijboer, 2015).

In einem Experteninterview im Bereich User Centered Design für BCI von Laura Specker Sullivan et al (2018) kam heraus, dass ForscherInnen ihre Zusammenarbeit mit den Endnutzern bei der Untersuchung von Brain Computer

### 3 Fachliche Grundlagen

---

Interfaces schätzen, da sie selbst deren Perspektive nicht immer mit eigenen Erfahrungen umsetzen können. Außerdem erkennen sie durch die Zusammenarbeit, die Prioritäten der Endnutzer und deren gestalterische Präferenzen im BCI. Einige der befragten WissenschaftlerInnen sind der Meinung, dass die bevorzugten Funktionen der Endnutzer die Architektur von BCI-System beeinflussen können (Sullivan et al., 2018). Es gibt auch im Interview einige SkeptikerInnen, die der Meinung sind, dass der Input der Endbenutzer weniger hilfreich ist. Grund dafür sind die Technologien, die sich auf dem Markt durchgesetzt haben, ohne dass sie prognostiziert oder vorhergesagt wurden (Sullivan et al., 2018). Die Personen, die sich mit den BCI-Entwicklungen befassen und auch persönliche Erfahrungen im Bereich Menschen mit Beeinträchtigungen haben, haben den größten Einfluss in der Entwicklung (Sullivan et al., 2018). Dennoch gab es in der Befragung einige ForscherInnen – die begrenzte Erfahrungen mit beeinträchtigten Menschen haben – die aber ihre Annahmen extrapolierten und somit bestimmten, welche Interesse die Zielgruppe haben könnten (Sullivan et al., 2018). Außerdem kam aus dem Interview heraus, dass die BCI-Nutzer und Interessierte mehr Sicherheit oder Optimismus in Bezug auf der genannten HCI-Technologie haben (Sullivan et al., 2018). Um eine erfolgreiche UCD zu erlangen, sollten die Beiträge von verschiedensten TeilnehmerInnen kommen, die idealerweise alle Perspektiven der Endbenutzer repräsentieren. Somit könnte die UCD-Methode zuverlässiger werden und einige Nutzer nicht ausschliessen (Sullivan et al., 2018). Außerdem wäre eine Aus- und Weiterbildung im Bereich der neuralen Technik für die Entwicklung der UCD im BCI oder eine enge Zusammenarbeit mit NeurotechnikerInnen empfehlenswert (Sullivan et al., 2018, S. 494–497).

In einer der weltweit größten BCI-Konferenzen startete Nijboer (2015) eine Umfrage mit ForscherInnen, IngenieurInnen, InformatikerInnen und WissenschaftlerInnen. Diese und auch Personen, die mit Personen mit Beeinträchtigungen arbeiten, sagten aus, dass das BCI – wie die Blick- und Sprachsteuerung – am globalen Markt gute Aussichten haben wird (Nijboer, 2015). 28 teilnehmende Personen, die im Bereich IT-Consulting tätig sind, wurden gebeten das BCI kritisch zu bewerten (Nijboer, 2015). Aus der Evaluierung kam

### 3 Fachliche Grundlagen

---

heraus, dass das BCI keinen Mehrwert im Vergleich zu bestehenden Alternativen hat (Nijboer, 2015). Unter Berücksichtigung der teilnehmenden Personen, sollte die Benutzerfreundlichkeit der BCI-Systeme deutlich verbessert werden (Nijboer, 2015). Ein weiterer kritischer Punkt wären die Aufmerksamkeits- und sensorischen Beeinträchtigungen der Zielnutzer, welche die Steuerung eines BCI beeinflusst (Nijboer, 2015).

Die an der Studie beteiligten Rehabilitationsfachleute empfahlen daher, dass die BCI-Entwickler die Nutzer in das BCI-Design einbeziehen und die Merkmale der Nutzer und die gleichzeitigen neuropsychologischen Symptome berücksichtigen sollen (Nijboer, 2015).

## **4 BCI-Prototyp für den industriellen Einsatz**

Basierend auf der Forschungsfrage, wird der Lösungsentwurf für den Prototypen in diesem Kapitel beschrieben. Dazu werden die verwendete Hardware (Komponente und Architektur), die verwendete Software, sowie die Systemarchitektur und die Schnittstellen erläutert.

### **4.1 BCI „NextMind“**

Für die Untersuchung verwendet die Autorin ein BCI, welches sich auf den virtuellen Kortex fokussiert und das neurale Signale in digitale Befehle umwandelt. Damit ist es möglich mit Gedanken die digitale Benutzeroberfläche in Echtzeit zu steuern. Das BCI von NextMind wurde für die Erstellung neuer Anwendungen so komplexfrei wie möglich aufgebaut, sodass die Gedankensteuerung nur mit bestimmten Objekten in einer Applikation interagieren kann („NextMind“, 2022a). Das NextMind Dev Kit besteht aus folgenden Kernelementen: den NextMind Sensor, den NextMind Engine und den NextMind SDK („NextMind“, 2022a).

Der Sensor hat die Aufgabe neuronale Signale zu erfassen und führt ein permanentes Messen der Gehirnaktivitäten durch. Außerdem verwendet der Sensor die Technologie der Elektroenzephalografie („NextMind“, 2022a). Dadurch wird ein durchgehendes Elektroenzephalogramm durchgeführt. Darüber hinaus hat der Sensor – statt den klassischen Noppen- an der Innenseite eine kammähnliche Struktur. Das Gerät wird am Hinterkopf, wo sich der visuelle Kortex (auch Sehrinde genannt) befindet „gekämmt“, solange bis die Person das Gerät auf der Kopfhaut spürt. Ausserdem besitzt der NextMind Kit ein Stirnband für den festen Halt. Weiters kann man den Sensor mit einer Baseballkappe oder ein

## 4 BCI-Prototyp für den industriellen Einsatz

AR/VR Headset befestigen. Das BCI wird mit Bluetooth gesteuert und die Person kann sich somit frei bewegen und digitale Objekte steuern („NextMind“, 2022a).

Um die Gehirnströme zu empfangen, werden diese über Bluetooth gesendet und schließlich die verschlüsselten Informationen am Engine empfangen („NextMind“, 2022a). Der Engine verwendet eine Kombination aus Algorithmen von Machine Learning und Modelle aus dem neurowissenschaftlichen Bereich („NextMind“, 2022a). Diese wird durch die gezielte Konzentration in ein Ergebnis umgewandelt („NextMind“, 2022a).

Der SDK enthält Tools für das Spiel-Engine Programm „Unity“, die als Grundlage für die Entwicklung einer neuen Anwendung erforderlich ist („NextMind“, 2022a).



Abbildung 2: NextMind Dev Kit für die entwickelte Applikation („NextMind“, 2022a)

### 4.1.1 Spezifikation

Sensor Spezifikation	
Dimension	135x66x55mm
Gewicht	60g

## 4 BCI-Prototyp für den industriellen Einsatz

<b>Stirnband Größe</b>	54 cm bis 62 cm
<b>Clip-On System</b>	Kann direkt am Stirnband, einer Kappe oder an einem VR/AR Headset befestigt werden
<b>EEG</b>	9 hohe Qualitätselektroden
<b>Batterie</b>	Lithium-Polymer Batterie (3.7 V 240 mAh) – 8H bei ständigem Nutzen – aufgeladen in 2 Std.
<b>Konnektivität</b>	USB-C, Verbindung zum Computer oder jedes USB Ladegerät (5V DC)
<b>Software minimal requirements</b>	
<b>Bluetooth</b>	Bluetooth LE support (4.0)
<b>Graphics</b>	DX9 shader model 2.5, Intel HD 2500 equivalent
<b>CPU</b>	Intel i5-4590, AMD FX 8350 equivalent
<b>RAM</b>	8GB
<b>Software Kompatibilität</b>	
<b>Unity</b>	Unity – 2020LTS, 2019LTS
<b>Plattformen</b>	Windows 10 64bits, Apple macOS 64bits (Mojave, Catalina, Big Sur)
<b>Form factor and software tested and approved</b>	Oculus Rift, Oculus Quest 1 & 2, HTC Vive and Pro, HoloLens 1
<b>Verified software compatibility</b>	Valve Index, HoloLens 2

Tabelle 2: NextMind Dev Kit Spezifikationen („NextMind“, 2022a)

### 4.1.2 SDK

Damit die selbst gestaltende Benutzeroberfläche vom Sensor erkannt wird und der Sensor die Objekte mit den Gedanken steuern kann, stellt NextMind ein eigenes Tool zur Verfügung.

### 4.1.2.1 NeuroManager

Der „NeuroManager“ ist zuständig für die Kommunikation zwischen dem „NeuroTag“ und dem „NextMind Engine“. Während der Entwicklung kann der Fokus anhand der Szenen Konfiguration mit einem Mausklick aktiviert werden und ebenso die Verbindung zum Sensor simulieren. Außerdem ist es möglich ein Zusätzliches Gerät, wie zum Beispiel eine Tracking Kamera zu ergänzen.

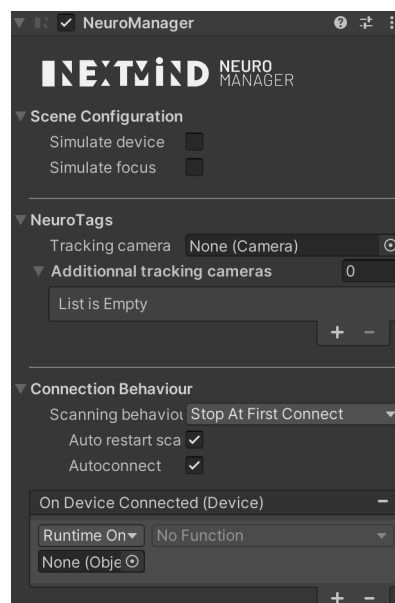


Abbildung 3: Neuromanager („NextMind“, 2022a)

### 4.1.2.2 NeuroTag

Für den Fokus und das Auslösen der Objekte, ist der „NeuroTag“ verantwortlich. Sobald die Person mit dem Sensor das visuelle Objekt fokussiert hat und diese vom System erkannt wurde, wird der Befehl der Person ausgeführt. („NextMind“, 2022b) Als Beispiel, wie in der Abbildung 4 zu sehen, wird eine Kugel mit einem Neurotag angelegt. Im NeuroTag können Informationen angelegt werden, wo zum Beispiel nach dem Auslösen des Objekts die Befehle weitergeleitet werden. Hier werden die Befehle direkt zum MQTT Broker geschickt, um den Industrieroboter Dobot MG400 zu steuern.

## 4 BCI-Prototyp für den industriellen Einsatz

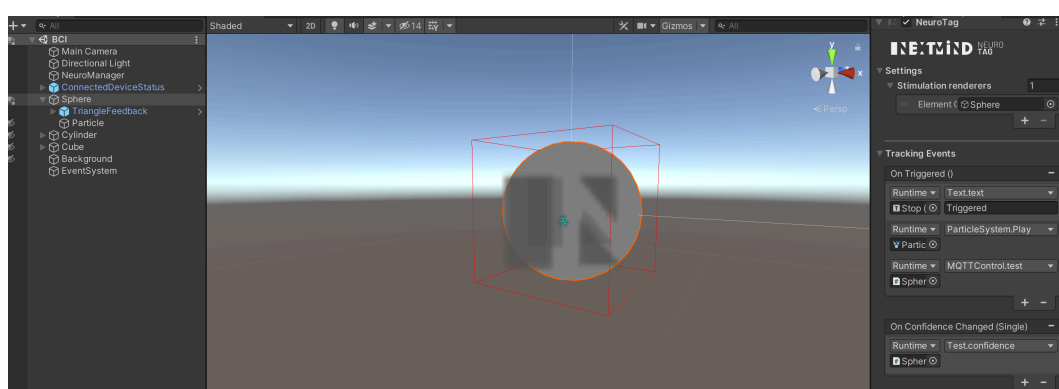


Abbildung 4: NeuroTag („NextMind“, 2022a)

Zum NeuroTag ist ein NeuroTag Feedback vorhanden, der die NutzerInnen visuell bestätigt, dass sie den Befehl ausgelöst haben.

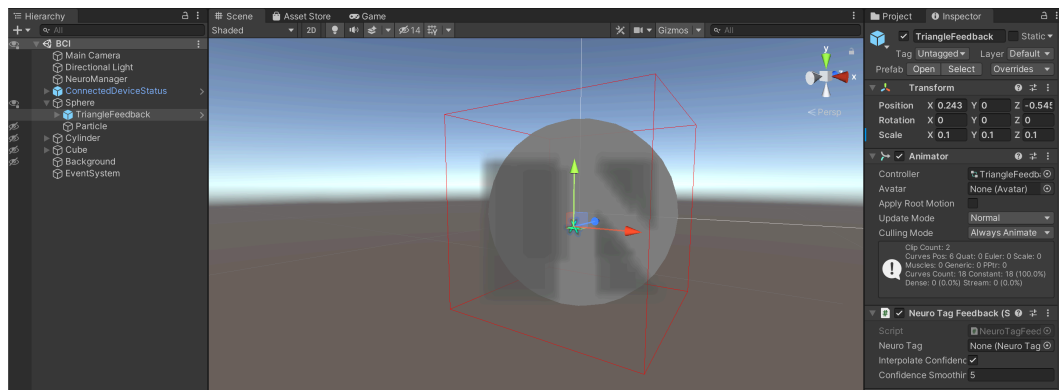
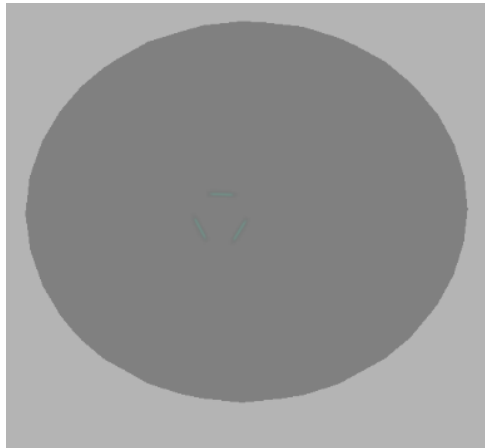
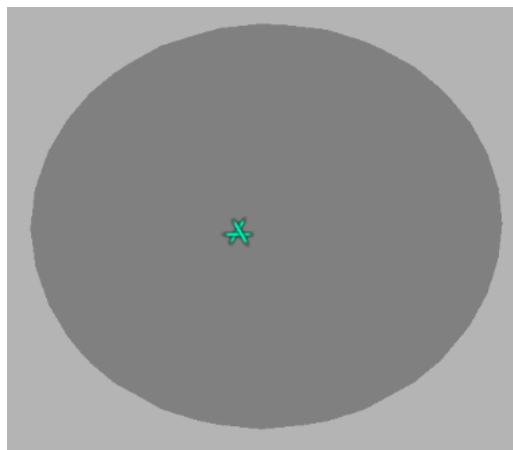


Abbildung 5: NeuroTag Feedback („NextMind“, 2022a)

Das NeuroTag Feedback besteht aus drei einzelnen grünen Stäben, die ein Triangel formen. Die Triangel-geformten grünen Stäbe werden separat vor der Kugel positioniert. Sobald die Applikation läuft, ist der NeuroTag Feedback animiert und formt einen Kreis. Wenn das Objekt erfolgreich ausgelöst wurde, ziehen sich die grünen Stäbe zusammen und der Befehl wurde bestätigt.



*Abbildung 6: Die grünen Stäbe sind in Kreisform („NextMind“, 2022a)*



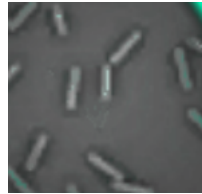
*Abbildung 7: Befehl wurde bestätigt, die grünen Stäbe kommen zusammen („NextMind“, 2022a)*

Die Ziele der grünen Triangel sind einerseits der Fokus auf einem zentralen Punkt im NeuroTag und andererseits wie stark der Fokus der NutzerIn war. Durch das Auslösen des Objekts und das Zusammenziehen der grünen Stäbe, entsteht eine positive Reaktion und das Belohnungssystem im Gehirn seitens NutzerIn wird erregt. Die nutzende Person bekommt damit eine Motivation die Kugel nochmals mit Gedanken auszulösen. Dadurch besteht die Möglichkeit die Gehirnaktivität zu erhöhen, was dem Vorgang vom Neurofeedbacktraining gleicht (Weygandt, 2008, S. 10–11).

#### 4 BCI-Prototyp für den industriellen Einsatz

---

Im Inneren der Kugel erscheinen außerdem weiße Stäbe. Wie im [Kapitel 3.2.5](#) beschrieben, könnten die leuchtenden Stäbe den primären visuellen Kortex zur Stimulation bringen.



*Abbildung 8: Weiße Stäbe im NeuroTag (Quelle: „NextMind“, 2022b)*

## 4.2 Industrieroboter „Dobot MG400“

Der „Dobot MG400“ ist ein kleiner Industrieroboter, der entwickelt wurde, um die Automatisierung für Klein- und Mittelproduktionen zu gestalten. Der Industrieroboter hat die Form eines Roboterarms und benötigt gerade mal eine Grundfläche von weniger als der Größe eines A4 Papiers.

Der Roboterarm dient in diesem Projekt zur Nachahmung einer Produktion in Großbetrieben die zum Beispiel Autos herstellen. Zusätzlich wurde eine passende Vakuumpumpe am Dobot MG400 verwendet. Die Vakuumpumpe diente dazu Pillenschachteln aufzuheben und diese in einer Pillenbox übereinander zu stapeln.



Abbildung 9: Dobot MG400, Die Verwendung zur Simulation einer Produktion („DOBOT MG400 - der kleine Industrieroboter im Shop“, o. J.)

Die technischen Daten werden von der Firma Variobotic zur Verfügung gestellt:

### 4.2.1 Spezifikation

<b>Anzahl der Achsen</b>	4
<b>Traglast</b>	500g (max. 750g bei niedriger Leistung)
<b>Reichweite</b>	440 mm
<b>Wiederholungenauigkeit</b>	+/- 0.5 mm
<b>Temperaturbereich</b>	0° C - 40° C
<b>Abmessung Fuß</b>	190 mm x 190 mm
<b>Gewicht ohne Tools</b>	8 kg
<b>Software</b>	DobotStudio 2020   SCStudio
<b>Schnittstellen</b>	TCP/IP, Modbus TCP
<b>Stromversorgung</b>	100 V - 240 V AC, 50/60 Hz

## 4 BCI-Prototyp für den industriellen Einsatz

<b>Nennspannung</b>	48 V
<b>Nennleistung</b>	150 W
<b>Max. Strom pro Ausgang / Gesamt über alle Ausgänge</b>	0.5 A / 2 A
<b>Max. Ausgangsstrom zwischen 24 V und GND Anschluss</b>	1 A

Tabelle 3: Dobot MG400 Spezifikation („DOBOT MG400 - der kleine Industrieroboter im Shop“, o. J.)

### 4.2.2 Kinematik und Schnittstellen

Bewegungsbereiche	
<b>J1</b>	$\pm 160^\circ$
<b>J2</b>	$-25^\circ \sim 85^\circ$
<b>J3</b>	$-25^\circ \sim 105^\circ$
<b>J4</b>	$-360^\circ \sim 360^\circ$
Max. Geschwindigkeit	
<b>J1</b>	300° / s
<b>J2</b>	300° / s
<b>J3</b>	300° / s
<b>J4</b>	300° / s

Tabelle 4: Dobot MG400 Kinematik („DOBOT MG400 - der kleine Industrieroboter im Shop“, o. J.)

Schnittstellen an Basis	
<b>Digitale Eingänge</b>	16
<b>Digitale Ausgänge</b>	16
<b>Ethernet RJ45</b>	2
<b>USB</b>	2
<b>Encoder Eingang</b>	1
Schnittstellen am Arm	
<b>Digitale Eingänge</b>	2
<b>Digitale Ausgänge</b>	2
<b>Pneumatikanschluss</b>	1

Tabelle 5: Dobot MG400 Schnittstelle („DOBOT MG400 - der kleine Industrieroboter im Shop“, o. J.)

### 4.2.3 Vakuumpumpe

<b>Gewicht</b>	1,5 kg
<b>Größe</b>	270 x 250 x 110 mm
<b>Spezifikationen</b>	
<b>Luftdurchsatz</b>	10L/min
<b>Luftdruckbereich</b>	-70 – 110 kPa
<b>Anschlussdurchmesser Pneumatik</b>	Ø 4mm
<b>Geräuschpegel</b>	65 dB
<b>Schutzklasse</b>	IP20
<b>Steuerungsart</b>	I/O
<b>Nennspannung</b>	24V DC±10%
<b>Nennstrom</b>	0,8 A
<b>Spitzenstrom</b>	1,2 A
<b>Abmessung</b>	163 x 143 x 53 mm

Tabelle 6: Dobot MG400 Vakuumpumpe („DOBOT MG400 - der kleine Industrieroboter im Shop“, o. J.)



Abbildung 10: Vakuumpumpe für Dobot MG400

(„DOBOT MG400 - der kleine Industrieroboter im Shop“, o. J.)

## 4.3 Raspberry Pi4

Für die Verbindung zwischen dem Dobot MG400 und dem Computer, wurde mit Hilfe des Bachelorstudiengang Data Science eine Schnittstelle entwickelt.

Die Schnittstelle besteht aus dem Raspberry Pi 4B, einem Monitor (für Kontrolle), einem Netzkabel und Strom. Die Applikation wurde mit Hilfe von Unity und einer eigenen Software namens Development Kit von NextMind entwickelt.

Das Raspberry Pi ist ein kleines preiswertes und anpassbares Computerboard. Der kleine Computer spielt eine wichtige Rolle in der IoT- Welt (Maksimović, Vujović, Davidović, Milošević, & Perišić, 2014). Es ist ausgestattet mit Informations- und Kommunikationstechnologie und kann sowohl physische als auch virtuelle Objekte vernetzen. Der Endnutzer hat die Möglichkeit mit Hilfe des Raspberry Pi's eine neue Anwendung oder bereichsübergreifende Systeme zu entwickeln (Maksimović et al., 2014).

Für die Inbetriebnahme braucht das Raspberry Pi ein Netzteil, eine Micro-SD-Speicherkarte und ein Stromkabel (Maksimović et al., 2014). Ferner funktioniert es wie ein PC. Der Benutzer benötigt zusätzlich eine Maus, eine Tastatur und einen Monitor um damit arbeiten zu können (Maksimović et al., 2014).

### 4.3.1 Spezifikation

<b>Prozessor</b>	Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @1.5GHz
<b>Speicher</b>	2GB und 4GB Modelle (1GB Modell erhältlich bei okdo.com)
<b>Konnektivität</b>	2,4 GHz und 5,0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac Wireless LAN, Bluetooth 5.0, BLE. Gigabit Ethernet, 2 x USB 3.0 Ports und 2 x USB 2.0 Ports
<b>Video und Audio</b>	2 x Micro HDMI-Ports (bis zu 4Kp60), 2-spuriger MIPI DSI Display-Port, 2-spuriger MIPI CSI Kamera-Port, 4-spuriger Stereo-Audio- und Composite Video-Port

<b>Multimedia</b>	H.265 (4Kp60-Dekodierung), H.264 (1080p60-Dekodierung, 1080p30-Kodierung), OpenGL ES, 3.0-Grafiken
-------------------	--

*Tabelle 7: Spezifikation Raspberry Pi4 („RS Components“, 2022)*

## 4.4 MQTT

MQTT ist ein Messaging-Protokoll, die sich Message Queueing Telemetry Transport nennt (Sallat, 2018). Dieser kommt im Bereich des Internet of Things primär zum Einsatz. Das Ziel des MQTT ist es, die Kommunikation zwischen KommunikationsteilnehmerInnen und Enduser herzustellen (Sallat, 2018). MQTT ist ein Messaging-Protokoll, das sich Message Queueing Telemetry Transport nennt (Sallat, 2018). Dieser kommt im Bereich des Internet of Things primär zum Einsatz (Sallat, 2018). Die Nachrichten werden über einen Broker an die TeilnehmerInnen gesendet (Sallat, 2018).

Das MQTT wurde entwickelt um energiesparende Geräte mit begrenzter Leistung und einer limitierten Infrastrukturnetz, Nachrichten zu vermitteln (Sallat, 2018).

### 4.4.1 MQTT Aufbau

KommunikationsteilnehmerInnen können Nachrichten sowohl versenden, als auch empfangen (Abts, 2022). Dafür wird der sogenannte MQTT Broker verwendet, die als zentraler Verteiler agiert (Abts, 2022). In diesem Kommunikationssystem gibt es den Publisher und den Subscriber (Abts, 2022). Der Publisher hat die Aufgabe die Nachrichten zu versenden, während der Subscriber die Nachrichten empfängt (Abts, 2022). Zusätzlich gibt es noch den sogenannten Topic (Abts, 2022). Das Topic ist eine Art Adressierung, an wen die Nachrichten weitergeleitet werden (Abts, 2022). Möchte zum Beispiel ein Client, der sogenannte EndnutzerIn, die Nachricht erhalten, so muss der Client an einen Broker abonnieren (Abts, 2022).

Der Client-ID stellt eine Verbindung zum MQTT-Client (Abts, 2022). Zusätzlich verwendet der Broker die Client-ID um den MQTT Client zu identifizieren (Abts, 2022). Aus diesem Grund sollte die ID zwischen Client und Broker ident sein.

#### 4.4.2 MQTT Funktionsweise

Das MQTT hat die Möglichkeiten verschiedenste Programmiersprachen für die Implementierung des MQTTs zu nutzen. Als Beispiel wäre der Prototyp. Der Prototyp wurde im Raspberry Pi die Programmiersprache Python und in der Applikation die Programmiersprache C Sharp verwendet. Der Prototyp verwendet für die Kommunikation eine MQTT Client Bibliothek. Der MQTT Broker und MQTT Client wurde HiveMQ MQTT Broker verwendet.

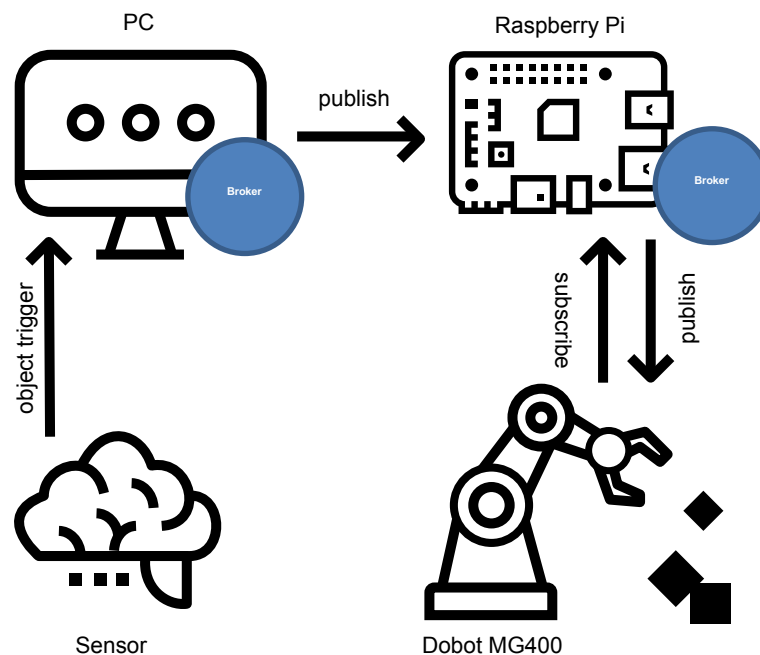


Abbildung 11: Eigene Skizze, Funktion MQTT anhand BCI Projekt

Wie in der Abbildung 14 zu sehen, löst der Sensor in der Applikation mit den Gedanken das Objekt aus. Die Applikation erkennt das Auslösen. Im C-Sharp Skript der Applikation, befindet sich eine MQTT Client Bibliothek, ein Topic, der MQTT Broker und die Nachricht, die an die Raspberry Pi Schnittstelle gesendet werden soll. Nachdem das Objekt ausgelöst wurde, wird die Nachricht an das MQTT Broker gesendet, die dann an das Raspberry Pi weitergeleitet wird. Das Topic in der Applikation, sowie im Raspberry Pi sollten ident sein.

In der Raspberry Pi Schnittstelle befindet sich ebenfalls ein Skript wie die Applikation. Diesmal ist die Programmiersprache in Python geschrieben. Der

#### 4 BCI-Prototyp für den industriellen Einsatz

---

Python Skript enthält wie der C Sharp Skript einen MQTT Broker, ein Topic, eine MQTT Client Bibliothek , sowie die vorprogrammierte Bewegungsabläufe, die dann für die Durchführung des Dobots zuständig ist.

Nachdem die Nachricht vom Broker zum Raspberry Pi weitergeleitet wurde, wird diese dann an den Industrieroboter weitergeleitet bzw. veröffentlicht. Der Industrieroboter „subscribe“ bzw. empfängt die Nachricht und führt schlussendlich den Befehl aus.

## 4.5 Konzept und Design

Das Ziel des Prototypen ist es, dass die Hauptforschungsfrage untersucht, evaluiert und beantwortet werden sollte. Zu diesem Zweck wurden Subforschungsfragen gestellt, die lauten: Wie kann man das Arbeiten mit einem BCI in einer Produktion simulieren? Welches Gerät kann man für die Simulation nutzen?

Während eines Brainstorming, kam die Autorin auf die Idee dafür den Industrieroboter Dobot MG400 zu nutzen. Der Dobot ist ein Kickstarterprojekt aus China und es wurde speziell für die Erstellung kleiner- und mittelgroßer Produktionen realisiert („MG400 - DOBOT | Intelligent Robotic Arms Provider“, o. J.).

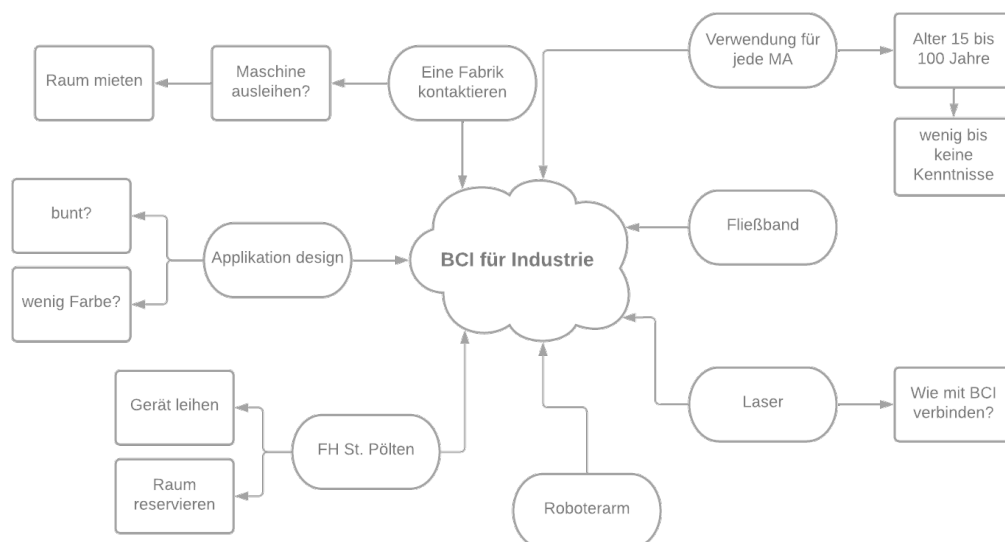


Abbildung 12: Brainstorming mit "Lucid Chart" App, (Quelle: „Lucid“, o. J.)

### 4.5.1 Design

Ein weiterer Punkt wäre das Gestalten einer Applikation, das mit einer weiteren Subfrage gestellt wird: Wie soll die Applikation aussehen und funktionieren, damit MitarbeiterInnen aus der Produktion das BCI – ohne jegliche Vorkenntnisse – in der Arbeitsroutine integrieren und effizient verwenden können?

## 4 BCI-Prototyp für den industriellen Einsatz

---

Die ForscherInnen Michael E. Atwood und Christine E. Wania, sind der festen Überzeugung, dass Evaluierung und Design in Bezug auf interaktive Systeme eine wichtige Rolle spielen (Atwood & Wania, 2006).

Die NutzerInnen einer MMI werden mit zu vielen unterschiedlichen Informationen überflutet. Angela Zang et al haben in ihrer Studie die Einfachheit der Designs in der Mensch-Maschinen-Schnittstelle untersucht und fanden heraus, dass beschränkte Knöpfe oder beschränkte LEDs in einem interaktiven System neue Erkenntnisse liefern kann. Die Beschränkung beeinflusst nicht unbedingt die Ausdruckskraft der Schnittstellen, sondern sie regt eine Diskussion über Ästhetik und Organisation an. Ihre Idee wäre Designs so zu gestalten, dass Interaktionstechniken gefördert werden (Chang, Gouldstone, Zigelbaum, & Ishii, 2007).

Mit diesem Wissen wurde als Ziel der Erstellung des Prototypen festgelegt, eine einfache digitale Benutzeroberfläche für die nutzende Person zu schaffen.

### **4.5.2 Zielgruppe**

Aus der Sicht der Autorin können Fachkräfte, die in der Produktion arbeiten, ab einem Alter von 16 Jahren bis 100 Jahren jedes Geschlechts, mit den Gedanken industrielle Maschinen steuern. Vorsichtshalber sollten die Personen beim Arbeiten mit Gedankensteuerung an großen Maschinen vermehrt auf die entsprechende Sicherheit aufmerksam gemacht werden, wenn die Latenzzeit während der Tätigkeit steigt. Wie im Kapitel 3.2.8 beschrieben, könnten sich auf Grund des Alters, der Asthenie oder der Erkrankung die Latenzzeiten verändern.

### 4.5.3 Idee

Anknüpfend zum Kapitel 4.5.1, wurden die Steuerelemente in der Applikation vereinfacht. Der Hintergedanke der Autorin ist, dass die NutzerInnen so wenig Aufwand wie möglich an der Benutzeroberfläche arbeiten sollten. Die Fachkraft ist in der Produktion mit ständigem Informationsfluss konfrontiert. Je nach Person, könnte dies mehr zur Belastung kommen, als dass es von Nutzen wäre.

In der digitalen Benutzeroberfläche werden verschiedene und einfache Objekte wie zum Beispiel eine Kugel, ein Würfel und ein Zylinder zur Verfügung gestellt.

In jeder dieser Objekte wurden unterschiedliche Bewegungsabläufe gespeichert, die der Dobot MG400 durchführen soll.

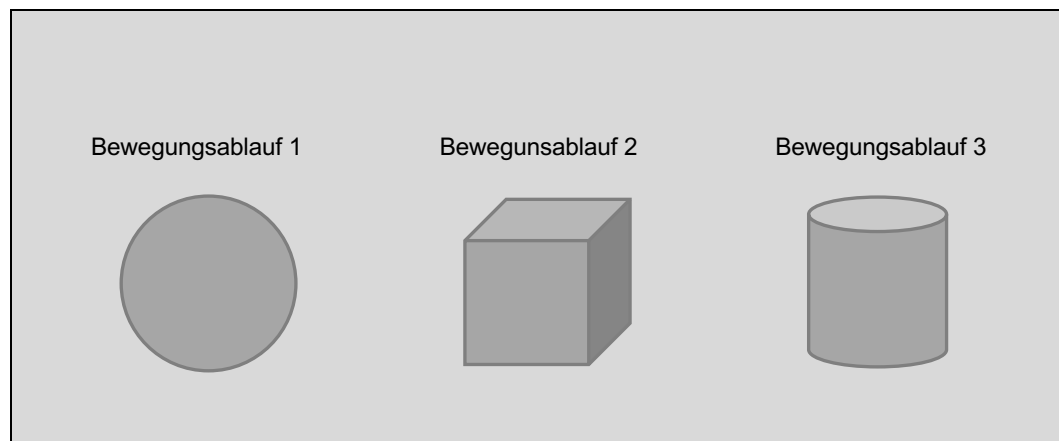


Abbildung 13: Skizze digitale Knöpfe

Wenn ein Knopf ausgelöst wird, so zieht sich, wie im Kapitel 4.1.1.2 der grünen Triangel, das Objekt zusammen und der Industrieroboter startet seinen ersten Bewegungsablauf. Pro Auslöser wird der Befehl nur einmal durchgeführt.

## 4.6 Technische Umsetzung

### 4.6.1 Systemarchitektur

Für den Usability Test wurde eine Schnittstelle zwischen Notebook und dem Roboterarm „Dobot MG400“ aufgebaut. Diese Schnittstelle umfasst ein Raspberry Pi 4B, einen Monitor, eine Maus und ein Keyboard. Der „Dobot MG400“ wird mit dem Raspberry Pi und einem WLAN-Router verbunden. Die Schnittstelle wurde in der Programmiersprache Python geschrieben. Diese enthält drei Libraries damit die Befehle für den Dobot ausgeführt werden können.

Zuerst wurde mit dem NextMind Sensor das Objekt in der App am PC ausgelöst. Bevor die die Daten von der App zur Schnittstelle gesendet werden, müssen die Daten vorerst noch im Message Queuing Telemetry Transport zum Broker „HiveMQ“ ausgegeben werden. Erst danach werden sie zur Schnittstelle gesendet. Diese gibt die Daten dann weiter an den Roboterarm, der den Befehl durchführt.

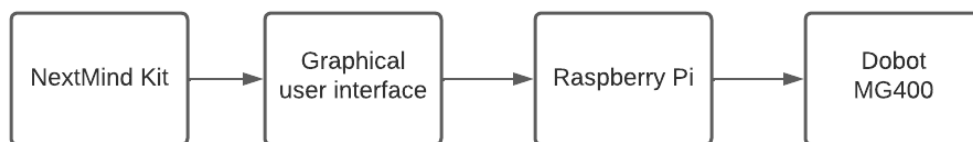


Abbildung 14: Systemarchitektur

#### 4.6.1.1 Unity

Für die Umsetzung wird das plattformübergreifende Spiel-Engine Unity verwendet. Unity bietet sowohl 2D, als auch 3D Modellierungen und Animationen an, um Computerspiele oder andere interaktive Anwendungen – wie auch Simulatoren und Visualisierungsprojekte – zu entwickeln. Die Skripts der Spiel-Engine wird mit der Programmiersprache C# geschrieben.

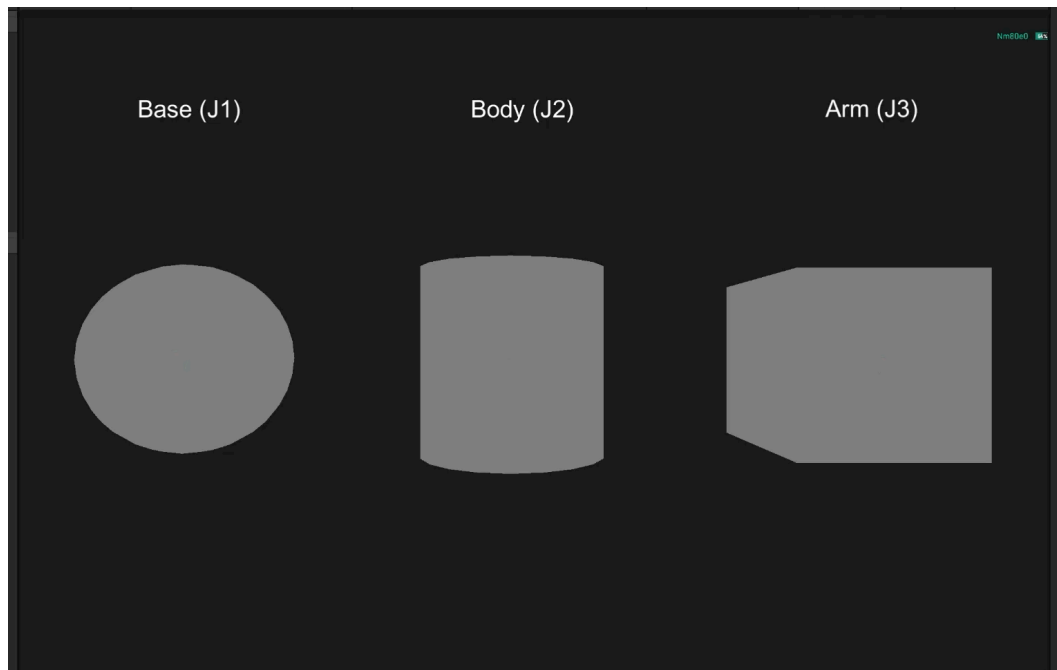


Abbildung 15: Erste Umsetzung in Unity

Jedes Objekt wurde mit einem NeuroTag versehen. Je nach Objekt wurde dieses mit verschiedenen Bewegungsabläufen ausgerüstet, die im Script festgelegt wurden. Im Script wird ein Befehl nach dem Auslösen des jeweiligen Objektes zum MQTT geschickt.

Die nutzende Person löst mit dem am Hinterbein befestigten NextMind-Sensor durch Fokus, die Objekte aus. Dies wird vom Neurotag erkannt und das System bestätigt die erfasste Gehirnaktivität durch das visuelle Aufleuchten des Objektes in Form von farbigen Partikelwolken. Dann werden die im C#-Skript eingebettete Code, mit dem Befehl eine Bewegung auszuführen, zum MQTT-Broker „HiveMQ“ geschickt. Dieser Vorgang wird „publish“ (veröffentlicht) genannt.

### 4.6.1.2 MQTT

Nachdem der Befehl veröffentlicht wurde, sendet der MQTT-Broker die Nachricht an die Schnittstelle weiter. Dies ist nur möglich, wenn die Schnittstelle dasselbe Topic beinhaltet wie das im C#-Script mit den Bewegungsabläufen (Kapitel 4.4.2).

### 4.6.1.3 Raspberry Pi

Den Code mit dem Bewegungsablauf hat nun das Raspberry Pi erhalten. Der kleine Computer veröffentlicht es am Dobot MG400. Der Roboterarm spielt am Ende die Bewegung ab und benachrichtigt den Raspberry Pi über den Erhalt der Nachricht, indem es subscribed. Diese kann man am Shell-Terminal vom RPI sehen.

### 4.6.1.4 Dobot MG400

Der Dobot MG400 ist in diesem Prototyp der Endnutzer. Der Industrieroboter führt die Befehle aus, die von der Applikation geschickt worden sind. Der Roboterarm besteht aus vier beweglichen Komponenten:

- J1 ist das untere, bewegliche Stück und nennt sich die Base Angle.
- J2 ist das Mittelstück und wird als „Rear Arm“ bezeichnet. J2 und J3 bewegen sich wie bei einer Giraffe von oben nach unten oder umgekehrt.
- J3 ist der „Fore Arm“.
- J4 ist der Aufsatz, die sich „End Effector“ nennt.

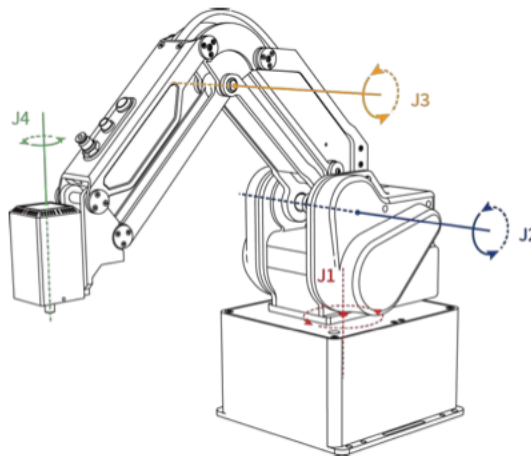


Abbildung 16: Koordinaten Dobot MG400  
(Quelle: „MG400 - DOBOT | Intelligent Robotic Arms Provider“, o. J.)

Im Kapitel 4.2.2 werden die Bewegungsbereiche beschrieben. Für eine Bewegung wird jede einzelne Komponente in kartesischen Koordinaten berechnet.

#### 4 BCI-Prototyp für den industriellen Einsatz

---

Man kann auch die Software „Dobot Studio 2020“ von der Firma Dobot verwenden, um die Bewegungen der einzelnen Bauteile in den jeweiligen kartesischen Koordinaten anzeigen zu lassen. Die Daten werden entnommen und im Skript von Raspberry Pi eingebettet. Für das Verwenden des Dobot Studio 2020, ist das Verbinden des Roboterarms mit der Software durch WLAN notwendig.

## 4.7 Pre-Test

Es wurde ein Pre-Test am 28. April 2022 durchgeführt um den Prototypen bei Fehlern zu korrigieren oder Arbeitsschritte zu überarbeiten. Der Pre-Test verhalf der Autorin auch darauf zu achten, welche Kriterien bei der Durchführung des Usability Tests beobachtet werden müssen, um die Forschungsfrage beantworten zu können.

Rückmeldungen und Bemerkungen beim Erhebungsinstrument wurden bei den Testpersonen erfragt. Direkte Fragen an die Testpersonen die unverständlich waren, wurden korrigiert oder überarbeitet. Der Pre-Test fand an der FH St. Pölten im Industry 4.0 Lab statt.

### 4.7.1 Informationen zum Pre-Test Raum

Die Industry 4.0 Lab ist umgeben mit verschiedensten Geräten aus der IoT. Die Farben des Raumes sind neutral. Sie sind geschmückt mit grauen Tönen und einer weißen Wand. Alle Pre-Tests wurden am Nachmittag bis am Abend durchgeführt. Der Raum ist klimatisiert.



*Abbildung 17: Der Pre-Test Raum (FH St. Pölten)*

### 4.7.2 Teilnehmende Personen

Sieben Personen haben am Pre-Test teilgenommen. Die teilnehmenden Personen waren sowohl Studenten, ForscherInnen und LektorInnen der Fachhochschule, als auch eine Fachperson aus dem medizinischen Bereich. Davon partizipieren drei weibliche Personen und vier männliche Personen.

Der Hauptfokus im Usability Test sind nicht die NutzerInnen, sondern die Anwendung selbst. Generell gibt es für den Usability Test keine klar definierte Zielgruppe, da der ursprüngliche Gedanke war, dass die Personen in der Produktion verschiedene Altersklassen, technische Erfahrungen oder möglicherweise vereinzelt sogar Kenntnisse im neurologischen Bereich haben. Zusätzlich haben alle teilnehmenden Personen bis dato noch keine Erfahrungen bezüglich BCI gehabt. Außerdem nimmt die Autorin an, dass auch die Fachkräfte aus der Produktion wenig bis gar keinen Kontakt mit einem BCI haben, weswegen Alter und Erfahrung in dieser Arbeit keine Rolle spielt. Jede Testperson absolvierte zwei Testläufe und hat dafür maximal eine Stunde zur Verfügung. Im ersten Testlauf wurde ohne Störfaktoren gearbeitet.

Vor dem Start erhielt jede Person eine Datenschutzerklärung. Sie waren verpflichtet diese durchzulesen und zu unterschreiben. Während den Tests wurden die Ergebnisse protokolliert. Folgende Testaufgaben waren zu bewältigen:

	Die teilnehmende Person	Die Autorin
<b>1. Aufgabe</b>	Sensor aufsetzen	Hilfestellung der TeilnehmerIn, Zeit stoppen
<b>2. Aufgabe</b>	Position suchen für Konzentration	TeilnehmerIn bei einer gewissen Angespanntheit die Stimmung lockern und nebenbei einige Tipps geben bei Positionen für eine bessere Konzentration
<b>3. Aufgabe</b>	Kalibrierung	Hilfestellung der TeilnehmerIn
<b>4. Aufgabe</b>	Warmup: erste Objekte mit Gedanken auslösen	Zeit stoppen

*Tabelle 8: Aufgabenaufteilung*

### **4.7.3 Einführung**

In der Einführung wurde erklärt, dass der Prototyp entwickelt wurde um herauszufinden, ob das Verwenden eines BCIs einen Mehrwert in der Produktion hat. Mit Hilfe der teilnehmenden Personen wurde die Verwendung des BCI beobachtet und ausgewertet. Weiters wurde den Personen der Ablauf bekannt gegeben. Zum Pre-Test gab es einen Assistenten, der bei allen Aufgaben die Zeit mitstoppte. Die Einführung dauerte 1-2 Minuten bis der Pre-Test startete.

### **4.7.4 Sensor aufsetzen**

Der NextMind-Sensor wurde mit Hilfe der Autorin am Hinterkopf der TeilnehmerIn aufgesetzt. An der Innenseite des Sensors, befindet sich eine kammähnliche Struktur, die jede Testperson durch ihre Haare kämmen sollte bis sie den Sensor an ihrer Kopfhaut spürte. Für die Befestigung hat der Sensor seitliche Riemen, um diese am Kopf stabilisieren zu können.

Für eine korrekte Positionierung des Sensors, wurde zur Kontrolle die Applikation von NextMind verwendet. In der Applikation, wo auch die Kalibrierung stattfindet, kann die Versuchsperson bei Problemen des Aufsetzens ein Video ansehen, das zeigt, wie der Sensor korrekt aufgesetzt wird. Währenddessen wurde die Zeit mitgestoppt. Zusätzlich wird visuell angezeigt, ob jeder einzelne Zinken die Kopfhaut berührt. Dies wird mit Hilfe einer Farbkennzeichnung und einer Skala von „schwach“ bis „perfekt“ angezeigt. Es leuchtet dann je nach Zinken grün, orange oder rot auf.

Die Farbe Grün visualisiert die perfekte Position. Wenn der Sensor am Hinterkopf locker sitzt, dann wird einer der Zinken orange angezeigt. Sitzt der Sensor gar nicht, leuchtet dieser rot. Sollte es orange oder rot aufleuchten, so hat die Testperson die Aufgabe den Sensor entweder neu zu positionieren oder das Gerät lange durchzukämmen, bis alle Zinken grün leuchten.

Drei von Sieben Versuchspersonen hatten einige Schwierigkeiten beim Aufsetzen und korrekten Positionieren des Sensors. Diese brauchten über fünf Minuten. Die Gründe dafür waren die Struktur und die Länge der Haare, die in diesem Fall eher dicht und lang waren. Die restlichen Vier Versuchspersonen hatten eher kurzes

und dünnes Haar. Diese Personen setzten den NextMind-Sensor in unter zwei Minuten auf.

### **4.7.5 Kalibrierung und Fokus bewerten**

Da jede Testperson unterschiedlich fokussiert, muss der Sensor für jedes Tragen neu kalibriert werden. Die Kalibrierung dauert maximal 45 Sekunden, je nachdem wie viele Informationen vom Sensor erfasst wurden. Ferner wurde ein 21 Zoll Bildschirm für den Pre-Test verwendet.

Dafür muss sich die Testperson auf ein bewegliches Objekt konzentrieren, so wie im Kapitel 4.1.1.2 beschrieben wird. Wenn die drei grünen Stäbe zu einem Dreieck geformt werden, so wird visuell bestätigt, dass der Fokus der Testperson vom Sensor wahrgenommen wurde.

Die Autorin beobachtete die Versuchspersonen, wie sie versucht haben sich auf die vorgegebenen Objekte zu fokussieren. Dabei fiel ihr auf, dass fast alle automatisch in einer Sitzposition mit einem Bildschirmabstand von ca. 0,5 m waren.

Nach der Kalibrierung wird das Auslösen von Objekten mit einem Punktesystem beginnend mit eins (schlecht) bis fünf (perfekt) bewertet. Nach der Bewertung konnte die nutzende Person unterhalb der Punkteschema testen, wie gut oder schlecht ihre Kalibrierung ist. Hier stellt sich die Frage, ob die Kalibrierung Sinn macht, mit Skalen zu arbeiten, wenn danach eine externe Applikation verwendet wird.

Die TeilnehmerInnen hatten mindestens zwei Versuche für die Kalibrierung. Alle Personen hatten in der NextMind Applikation beim ersten Durchlauf eine Bewertung von bis zu 2 Punkten, die sie ab dem zweiten Versuch der Kalibrierung verbesserten.

Beim zweiten Versuch gab die Autorin einige Hinweise, die sie befolgen können um den Fokus zu steigern. Die Testpersonen durften im Stehen, auf dem Boden kniend, mit lauter Musik oder im Stillen die Kalibrierung durchführen. Die Autorin stellte klar, dass es den freiwilligen TeilnehmerInnen freisteht, wie die Kalibrierung durchgeführt werden soll, solange sie sich wohlfühlten und sich konzentrieren

können. Danach wechselten einige Testpersonen entweder ihre Sitzpositionen, indem sie aufstanden oder sich hinknieten. Sie verringerten oder vergrößerten auch den Abstand zum Bildschirm. Einige fanden es auch hilfreicher, wenn im Hintergrund geredet wurde. Vier von sieben Testpersonen verbesserten somit ihre Bewertung auf drei oder vier Punkte.

Nach der Kalibrierung gab es im App bei Fokusbewertung einen kleinen Testlauf. Es wurden drei aneinander gereihete Testobjekte in der NextMind App zur Verfügung gestellt. Die NutzerInnen sollten die Objekte, die mit dem NeuroTag versehen waren, auslösen. Die Personen hatte keine Vorgaben welches Objekt ausgelöst werden sollte. Jedoch mussten sie der Autorin angeben, welcher weitere Schritt gemacht worden war.

### **4.7.6 Roboterarm steuern**

Der Industrieroboter Dobot MG400 wurde am Tag des Pre-Tests ohne Vakuumpumpe verwendet. Dieser zeigte, je nach Auslösung des Objekts, nur verschiedene Bewegungsabläufe, jedoch keine Konstante. Die teilnehmenden Personen sollten mit der Verwendung des Roboterarms den Arbeitsalltag in einer Produktion nachahmen. Aufgrund der schwachen Interpretation eines industriellen Arbeitsablauf, war diese Realisierung ungeeignet. Diese Testaufgabe wurde nicht bewertet.

### **4.7.7 Eindrücke der Testpersonen**

Alle Versuchspersonen fanden die Anwendung und die Gedankensteuerung sehr spannend und auch erlebnisreich. In der Tabelle wird die Befindlichkeit der Personen zusammengefasst. Laut NextMind wird der Sensor anhand des Fokus kalibriert und auch gesteuert. Die Spalte „Fokus“ geht nicht von der Bewertung der NextMind Applikation aus, sondern vom persönlichen Eindruck.

## 4 BCI-Prototyp für den industriellen Einsatz

Auswertung Pre-Test	Fokus	Konzentration	Auslastung	Kalibrierung	Handling	Warm-Up
Testperson 1	2	2	3	2	2	3
Testperson 2	3	2	1	2	3	1
Testperson 3	3	3	1	3	3	1
Testperson 4	1	1	2	1	1	2
Testperson 5	1	1	1	1	3	1
Testperson 6	3	3	1	3	3	1
Testperson 7	1	1	1	1	1	1

*Tabelle 9: Pre-Test Auswertung*

### Legende zu Tabelle 9

- |                 |                                |                 |                    |
|-----------------|--------------------------------|-----------------|--------------------|
| 1, rot .....    | Nicht erfüllt/funktioniert     | 1, rot .....    | Auslastung hoch    |
| 2, orange ..... | Teilweise erfüllt/funktioniert | 2, orange ..... | Auslastung mittel  |
| 3, grün .....   | Erfüllt/funktioniert           | 3, grün .....   | Auslastung niedrig |

### 4.7.8 Feedback

Zuerst ließ die Autorin die teilnehmenden Personen zu ihren Erfahrungen mit dem BCI frei sprechen. Den TeilnehmerInnen ging es generell mit der Verwendung des BCI gut. Vier von sieben Personen hatten beim Aufsetzen des Sensors keine Probleme und konnten den Sensor unter 2 Minuten am Kopf anbringen. Diese Personen trugen einen Kurzhaarschnitt und hatten eine feine Haarstruktur. Die anderen drei teilnehmenden Personen hatten hingegen längere Haare auf Kinnhöhe, was Zeit brauchte um den Sensor aufzusetzen. Dafür haben sie über fünf Minuten gebraucht.

Das Verwenden des BCI war für alle TeilnehmerInnen, mit fortschreitender Testzeit, generell anstrengend. Zwei ProbandInnen sind der Meinung, dass das längere Tragen des Sensors Schmerzen an der Kopfhaut verursacht. Drei ProbandInnen bekamen während des Durchlaufs Augenschmerzen, da sie nicht wussten, ob man beim Fokussieren die Augen blinzeln durfte oder den Bildschirm starr im Fokus behalten sollte.

Weiters stellte die Autorin die Frage, ob die Versuchspersonen sich das längere Verwenden eines BCI in der Arbeit oder auch Privat vorstellen könnten. Fast alle ProbandInnen sind der Meinung, dass das Verwenden eines BCIs privat weniger vorstellbar wäre.

Im Arbeitsalltag wäre jedoch die Verwendung sinnvoller. Den TeilnehmerInnen fielen Beispiele ein, in welchen Situationen sie das BCI nutzen könnten. Eines von den Beispielen wäre das Nutzen für sicherheitskritische Bereiche, wie bei einem Kraftwerk oder Bereiche mit Stromleitungen. Auch die manuelle Lastenhandhabung war ein Thema. Beschäftigte, die über Rücken- und /oder Muskelschmerzen klagen, könnten stattdessen ihre Arbeitsaufgaben mit Gedankensteuerung und Robotik ausüben. Eine andere Versuchsperson sprach über Benutzeroberflächen, die regelmäßig desinfiziert werden müssen. Die Gedankensteuerung könnte das Verwenden der Benutzeroberfläche übernehmen und dadurch die menschliche Hand ersetzen.

Ein weiterer Input wäre noch das Kombinieren mit anderen Assistenztechnologien (z.B. Googlebrille), um das Arbeiten in einer Produktion effizienter zu gestalten.

## 4.8 Neue Idee der Gestaltung

Im Pre-Test wurde der Dobot nicht bewertet, aufgrund mangelnder Interpretation. Die Steuerelemente in der Benutzeroberfläche wurden umprogrammiert und umgestaltet. Anstatt der drei Objekte mit drei verschiedenen Bewegungsabläufen, wurden zwei farbliche Kreise verwendet. Der linke rote Kreis diente als „Stopp“-Taste. Der rechte grüne Kreis wurde als „Play“-Taste verwendet. In der Schnittstelle wurde ein Bewegungsablauf geschrieben, welcher beim Starten der Loop durchgeführt wird. Der Bewegungsablauf kann nur noch mit dem „Stopp“-Element angehalten und mit dem „Play“-Element fortgesetzt werden. Die Bewegungsabläufe wurden im Raspberry Pi abgespeichert. Außerdem wurden die Bewegungsabläufe nur noch als Schleife abgespielt.

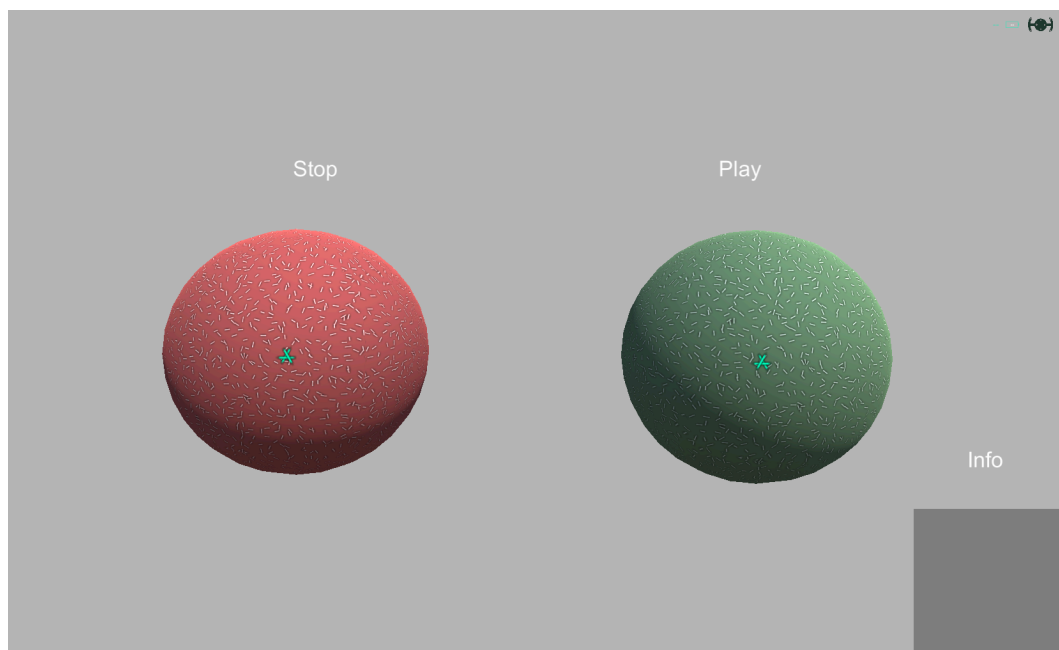


Abbildung 18: Neue Steuerungselemente mit dem NeuroTag von NextMind

Zusätzlich wurde eine Vakuumpumpe am Industrieroboter installiert. Der Dobot MG400 kann mit Hilfe der Vakuumpumpe Objekte aufheben und an einen anderen Platz stellen.

Als „Aufheb- und Abstellobjekte“ wurden mehrere Pillenschachteln verwendet. Diese Pillenschachteln wurden mit verschiedenen Wochentagen beschriftet.

#### 4 BCI-Prototyp für den industriellen Einsatz

---

Zusätzlich wurde eine dünne A3 Holzplatte verwendet, die rechteckig und verteilt ausgeschnitten wurde. Die Holzplatte wurde auf dem Tisch vor dem Roboterarm platziert. Zugleich wurden die Pillenschachteln auf die Rechtecke gesetzt.

Sobald der Roboterarm eingeschalten wurde, hob das Gerät nach Wochentagen die jeweilige Pillenschachtel auf. Der Dobot MG400 setzte die Schachteln einzeln in die Pillenschachtelbox, die sich in der Nähe des Industrieroboters befand. Dies wurde von der Autorin vorprogrammiert.

Die eingeschaltene Vakuumpumpe erzeugte eine gewisse Lautstärke, welches die Autorin als ideales Störelement für die Hauptaufgabe nutzte.

# 5 Usability Test

## 5.1 Usability Test

Usability Tests werden durchgeführt, um die Gebrauchstauglichkeit, wie zum Beispiel die des BCI, zu überprüfen (Witte, 2018, S. 173). Dadurch werden Ergebnisse qualitativ und repräsentativ sichergestellt (Fischer et al., 2015b, S. 286). Generell werden Usability Tests während der Entwicklung, wie in diesem Fall der BCI Prototyp, szenariobasiert durchgeführt (Witte, 2018, S. 173).

Insbesondere sind formative Usability Tests ein Bestandteil des UX Design Prozesses (Fischer et al., 2015b, S. 285). Die Organisationen sowie die Projektteams, die wenig Erfahrung im User Centered Design haben, haben die Tendenz über die Designprozesse selbst zu entscheiden (Fischer et al., 2015b, S. 285). Diskussionen und Uneinigkeiten könnten bei bestimmten Designentscheidungen aufkommen (Fischer et al., 2015b, S. 286). Gelegentlich nimmt ein Team von Experten die Perspektive der nutzenden Person ein (Fischer et al., 2015b, S. 285). Manchmal ist das Projektteam oder die Organisation der Meinung, dass sie aufgrund ihrer Erfahrung wissen, was ihre Nutzer wollen (Fischer et al., 2015b, S. 285). Basierend auf Fischer et al. (2015a, S. 285) entsteht durch eine intensive Beschäftigung mit der Entwicklung des User Interface eine Betriebsblindheit. Vor allem wenn das Projektteam mit langjährigen Fachexperten arbeiten. Es ist nicht auszuschließen, dass Fachexperten wertvolle Inputs in ein Projekt einbringen (Fischer et al., 2015b, S. 285). Jedoch kann es bei längerer Beschäftigung zur Einschränkung der Perspektive kommen (Fischer et al., 2015b, S. 285). Zudem bedarf es eine dauerhafte Änderung der Sichtweise (Fischer et al., 2015b, S. 285). Außerdem können sie die Perspektive eines einfachen Anwenders nicht ersetzen bzw. einnehmen (Fischer et al., 2015b, S. 285).

Der Usability Test wird meist für die Erstellung von Klick-Dummies oder Beta Versionen verwendet (Witte, 2018, S. 173). Einer der Gründe, weshalb die Usability Tests durchgeführt werden, sind die Details der interaktiven Prozesse zu

## 5 Usability Test

---

optimieren und bei Problemen die während der Benutzung auftreten, zu lösen (Witte, 2018, S. 173). Darüber hinaus wird die Überprüfung der Gebrauchstauglichkeit im Bereich von Web Tests durchgeführt (Witte, 2018, S. 173). Die Web Tests werden teilweise mit Eyetracking in Testlaboren umgesetzt (Witte, 2018, S. 173). Zusätzlich werden die Augen- bzw. Blickbewegungen der Testpersonen erfasst und schließlich die Antworten der gestellten Fragen ausgewertet (Witte, 2018, S. 173).

Während des Usability Tests haben die Versuchspersonen typischen Aufgaben mit dem Testobjekt zu lösen (Witte, 2018, S. 173). Außerdem werden die Versuchspersonen aufgefordert, ihr Handeln und ihre Gedanken (bezüglich ihres Vorgangs) der beobachtenden Person verbal preiszugeben (Witte, 2018, S. 173). Dadurch kann der Beobachter, und auch durch das Verhalten der Testperson, einige Schlüsse ziehen und somit neue Lösungen anbieten (Witte, 2018, S. 173). Zusätzlich werden Herausforderungen aufgezeigt, die sich EntwicklerInnen bei Planung, Durchführung, und Auswertung der Tests stellen können um bei schwierigen Rahmenbedingungen Erfolge in ein Projekt zu bringen (Fischer et al., 2015b, S. 285).

Erstentwickelte Produkte können Schwachstellen haben, die durch die EntwicklerInnen beim Entwickeln eventuell leicht übersehen werden können (Witte, 2018, S. 173). Laut Witte (2018), haben die EntwicklerInnen die Tendenz ihr Produkt zu verteidigen, ohne dass sie das Bedürfnis der NutzerInnen eingehen. Wenn ein Usability Test durchgeführt wird, wäre es außerdem unvorteilhaft, wenn MitarbeiterInnen im selben Unternehmen partizipieren (Witte, 2018, S. 173). Der Grund dafür wäre das bereits vorhandene Wissen über das Unternehmen, das Produkt und deren Leistungen (Witte, 2018, S. 173). Die Personen außerhalb des Unternehmens haben kein Vorwissen, was für die Entwicklung des Produktes einen Mehrwert bringen könnte. Dadurch können unerwartete Antworten kommen, die zum Beispiel von falsch angedeuteten Annahmen des Projektteams bis hin zur Sichtweise der NutzerIn oder der Nutzung eines Systems reichen (Fischer et al., 2015b, S. 286). Usability Experten raten zu einem externen Evaluationsteam (Witte, 2018, S. 174). Während des Usability Tests ist es wichtig, dass die Testpersonen keine Tipps zum Umgang des Produktes bekommen (Witte, 2018,

S. 174). Dies ist relevant um keine Ergebnisse verfälschen zu können (Witte, 2018, S. 174).

Die Befragungen können vor oder nach dem Start des Tests gestellt werden (Witte, 2018, S. 174). Es können Fragen vor dem Start des Usability Tests erfolgen wie zum Beispiel, ob der Proband ein Vorwissen mit ähnlichen Produkten hat (Witte, 2018, S. 174). Nachdem der Proband den Usability Test gemacht hat, kann die beobachtende Person ein halbstrukturiertes Interview durchführen (Witte, 2018, S. 174). Die Interviews sind in der Regel 30 min. lang (Witte, 2018, S. 174). Während der Befragung stellt die beobachtende Person Fragen über Vergleiche eines ähnliches Produktes und welche Vor- bzw. Nachteile diese haben (Witte, 2018, S. 174).

## 5.2 System Usability Scale

Folgend wurde ein System Usability Scale für den Prototypen durchgeführt, um die Gebrauchstauglichkeit des BCI zu bewerten.

Die System Usability Scale (SUS) von John Brooke ist ein Fragebogen für die Versuchspersonen, dessen Bewertung über eine subjektive Einschätzung der Benutzerfreundlichkeit (Usability) und Lernfähigkeit der Oberfläche (Learnability) liefern (Karapanos, Becker, & Christophel, 2018). Die SUS ist konzipiert als Likert-Skala, worauf die Versuchspersonen ihre Einstellung zu einem Thema im Usability Test durch bestimmte Aussagen mitteilen (Karapanos et al., 2018). Ein typischer Likert-Skala Fragebogen beginnt mit einer allgemeinen Aussage oder Frage, die sich auch „Item“ nennt (Karapanos et al., 2018). Je Item gibt es eine Ratingskala, die aus 5 Stufen besteht (Karapanos et al., 2018). Die Ratingskala ist bipolar aufgebaut, angefangen mit 1 Punkt („Stark nicht zustimmen“) bis hin zu 5 Punkt („Sehr stark zustimmen“) (Karapanos et al., 2018). Nachdem ein Summenskala kalkuliert worden ist, wird eine Skalierung mit einem Wertebereich von 0 bis 100 vorgenommen (Karapanos et al., 2018). Das Resultat von 100 Punkten ist der bestmögliche Wert (Karapanos et al., 2018). Resultate, die über 85 Punkte haben, werden als exzellent, bis zu 73 Punkte als gut und unter 50 Punkte als inakzeptabel bewertet (Karapanos et al., 2018). Laut Karapanos et al. (2018) hat sich das

System Usability Scale als eine einfache Nutzbarkeit, eine gute Testökonomie und eine einfach zu realisierende Benchmarking bewiesen.

### **5.3 Informationen zum Usability Test Raum**

Der Usability Test wurde im XRDEV Lab an der Fachhochschule St. Pölten durchgeführt. Der Raum ist im Vergleich zum Industrie 4.0 Lab farbenfroher und befindet sich im dritten Stock des alten Gebäudes. Die Wände sind mit einem blaugrauen Wandteppich verziert. Eine Seitenwand wurde mit einer grünen Farbe bestrichen. Im Raum befindet sich ein großer, roter Teppich. Der Usability Test wurde im August durchgeführt. Darüber hinaus ist, im Vergleich zum Industry 4.0 Lab, der Raum nicht klimatisiert.

### **5.4 Personen**

Für den Usability Test haben insgesamt 11 Personen an der FH St. Pölten teilgenommen. Die teilnehmenden Personen waren zwischen 20 und 45 Jahre alt. 63,6% der teilnehmenden Personen besuchten eine technische Fachhochschule oder Universität. 9,1% der TeilnehmerInnen haben die Pflichtschulabschluss absolviert. 27,3% der befragten Personen sind derzeit noch in Ausbildung oder Studium.

Drei von den TeilnehmerInnen haben bereits im Pre-Test teilgenommen. Die anderen TeilnehmerInnen im Pre-Test konnten aufgrund Krankheit, Urlaub oder andere Gründe die Termine des Usability Tests nicht wahrnehmen. Die Usability Tests wurden auf 4 nacheinander folgende Termine festgelegt. Weiters konnten die Usability Tests zeitlich nicht an einem einzigen Tag durchgeführt werden. Die Autorin hat versucht den Testablauf bei jedem Usability Test gleich zu behalten. Damit die Testergebnisse nicht an anderen Tagen zur Abweichung kommen, wurde der Ablauf schriftlich festgehalten.

Die teilnehmenden Personen haben wenig bis gar keine Vorerfahrung mit einem Brain Computer Interface oder einem EEG-Headset. Jede Versuchsperson hat

## 5 Usability Test

---

maximal eine Stunde Zeit für den Usability Test. Es sind keine Vorkenntnisse notwendig.

Die Personen wurden an unterschiedlichen Zeiten zum Usability Test eingeladen. Sechs Personen haben am Nachmittag teilgenommen, während fünf Personen am Vormittag die Usability Tests durchgeführt haben.

### 5.5 Durchführung

Kriterien für die Beobachtung wurden für die Usability Tests festgehalten um die Forschungsfragen beantworten zu können.

Die TeilnehmerIn	
Position	Sitzend, kniend oder stehend
Entfernung zum Bildschirm	Ab 0 m bis 10 m
Größe des Bildschirms	21 Zoll oder 24 Zoll
Größe der Objekte in der Applikation	1x bis 4x so groß
Konzentration	Schlecht bis Optimal
Tageszeit	Vormittag oder Nachmittag
Wohlbefinden: Tragen des Sensors	Schlecht bis sehr gut
Anbringen des Sensors	< 2 min. oder > 2 min.
Tagesverfassung	Müde oder ausgeschlafen
Gedankensteuerung	
Objekt auslösen	Schwer bis optimal
Reaktionszeit bei Zeitlimit (Spiel)	Gar nicht, mittel, optimal, schnell
Objekt auslösen bei Störfaktor	Schwer bis optimal

### 5.5.1 Einführung

Die Versuchspersonen erhielten von der Autorin vor dem Usability Test eine kurze Einführung. In der Einführung wird den Personen erklärt, dass es sich bei der Untersuchung um eine BCI Anwendung in der Produktion handelt. Die freiwilligen TeilnehmerInnen haben die Aufgabe – mit Hilfe eines BCIs – die vorgegebenen Testaufgaben zu bewältigen. Zudem klärt die Autorin die Personen auf, dass sie sich während der ganzen Durchführung vorstellen sollen eine Fachkraft in einer Produktion zu sein und mit dem BCI arbeiten würden. Dann wurde das Kalibrieren mit der Unterstützung der Autorin durchgeführt. Das Kalibrieren erfolgte durch die NextMind Applikation.

	Die teilnehmende Person	Die Autorin
<b>1. Aufgabe</b>	Sensor aufsetzen	Hilfestellung leisten, Zeit stoppen
<b>2. Aufgabe</b>	Position suchen für Konzentration	TeilnehmerIn bei einer gewissen Angespanntheit die Stimmung lockern und nebenbei Tipps geben bei Positionen für eine bessere Konzentration
<b>3. Aufgabe</b>	Kalibrierung	Hilfestellung leisten und auf das „Hilfe-Video“ hinweisen
<b>4. Aufgabe</b>	Warmup: erste Objekte mit Gedanken auslösen	Zeit stoppen, beobachten
<b>5. Aufgabe</b>	Warm-up Reaktionszeit: NextMind Brickbreaker spielen	Kurze Erklärung geben, beobachten
<b>6. Aufgabe</b>	Industrieroboter steuern	Zeit stoppen, beobachten, ggf. Hilfestellung

Tabelle 10: Usability Test Ablauf

### 5.5.2 Erste Aufgabe: Sensor aufsetzen

Zwei von elf ProbandInnen haben beim Aufsetzen des NextMind-Sensors über fünf Minuten gebraucht. Die Probanden hatten wie im Pre-Test längere Haare. Insgesamt hatten drei Personen eine Haarlänge bis zum Kinn. Die dritte Person mit den längeren Haaren, nahm beim Pre-Test teil und konnte den Sensor unter zwei Minuten aufsetzen. Diese Person wusste im Vorhinein, auf was beim Aufsetzen des Sensors zu achten war.

Person	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kurz				< 2min.	< 2min.	< 2min.	< 2min.	< 2min.	< 2min.	< 2min.	< 2min.
Lang	> 5min.	> 5min.	< 2min.								

*Tabelle 11: Aufsetzen Zeitdauer aufgrund der Haare*

Die Autorin erklärte jeder einzelnen Person, wie der Sensor am Hinterkopf befestigt wird und wies zusätzlich auf das „Hilfe-Video“ von der NextMind App hin.

### 5.5.3 Zweite Aufgabe: Kalibrierung und Fokus bewerten

Im Usability Test wurden zwei Monitore zur Verfügung gestellt. Der kleine Bildschirm hatte eine Größe von 15 Zoll. Der große Monitor war circa 24 Zoll groß. Während der Kalibrierung beobachtete die Autorin die ProbandInnen. Die Personen durften bei einer niedrigen Punktezahl das Verfahren nochmals wiederholen. Die Autorin konnte bei allen feststellen, dass ein kleiner Ehrgeiz nach der Fokusbewertung entstand. Bis auf eine Versuchsperson, hatten die anderen einen Anreiz einen besseren Punktezahl zu erzielen. Die Versuchsperson mit den vier Punkten, hatte auf Anhieb vier von fünf Punkten erzielt. Diese Person erklärte der Autorin, dass trotz hoher Auslastung und Müdigkeit, der mögliche Auslöser für die vier Punkte die „innere Ruhe“ wäre.

Wegen den mehrmaligen Versuchen möchte die Autorin in diesem Kapitel hinweisen, dass sie von jedem ProbandIn die beste Bewertung entnimmt und diese evaluiert.

### **Auswertung**

Bei den Versuchspersonen am Nachmittag konnte die Autorin - während sie die Einführung und die Kalibrierung versucht zu erklären- beobachten, dass 4 von 6 ProbandInnen, die am Nachmittag partizipierten, etwas Schwierigkeiten hatten ihre Anleitung durchzugehen. Es schien so, als hätte die Konzentration nachgelassen. 2 von den 6 Nachmittagsprobanden, haben den Usability Test gegen 13 Uhr und 14 Uhr durchgeführt. Die anderen 4 Nachmittagsprobanden absolvierten den Test ab 16 Uhr bis 19 Uhr. Die Probanden ab 16 Uhr hatten von der Konzentration her etwas mehr Schwierigkeiten als die 2 Nachmittagsprobanden von 13 Uhr bis 16 Uhr.

Mit derselben Wortwahl und Anleitung versuchte die Autorin die Vormittagsprobanden einzuführen. Diese Personen verstanden die Aufgabenstellungen schneller als die ProbandInnen am Nachmittag.

### **5.5.4 Dritte Aufgabe: erstes Objekt mit Gedanken auslösen**

Nach der Bewertung hatte die teilnehmende Person die Aufgabe, einen Kreis von drei nebeneinander gereihten Kreisen per Gedanken zum Leuchten zu bringen. Wie im Pre-Test (Kapitel 4.7.5) konnten die Personen selbständig auswählen welche Kreise aktiviert werden sollten. Beim Ausprobieren der Sitz- oder Stehpositionen, durften die ProbandInnen auch ihre gewählte Musik hören oder im Stillen den Usability Test ausführen. Darüber hinaus waren die Objekte einheitlich grau gefärbt.

### **Auswertung**

Alle Personen führten die Usability Tests im Sitzen durch. Eine Person erzielte eine gute Punktezahl bei der Kalibrierung durch die Veränderung der Sitzposition in eine kniende Position. Beim Auslösen der Objekte, bemerkte die kniende Person eine kürzere Latenzzeit. Zwei von 11 Personen hörten laut ihre Musik um ihren Konzentration zu steigern, was aber scheiterte. Die Objekte ließen sich nicht aktivieren.

### **5.5.5 Vierte Aufgabe: Warm-Up**

Das Warm-Up bestand darin, ein Spiel mit der Gedankensteuerung zu spielen. Ziel in dieser Aufgabe war, mit animierten Objekten und unter Stressfaktor, den Balken mit Gedanken zu steuern. Dafür wurde das Spiel „Brick Breaker“ ausgewählt.

„Brick Breaker“ ist ein Spiel, wo die Testperson mit einem Ball die Wände durchbrechen sollten. Die Wände sind an der oberen Hälfte des Bildschirms positioniert. Die Aufgabe der Person ist den Ball nicht fallen zu lassen. Fällt der Ball, so verliert die spielende Person Punkte. Unterhalb vom Balken sind nebeneinandergereihte Quadrate, die mit dem NeuroTag versehen sind. Die Versuchsperson soll den Neurotag aktivieren um die Balken in der Position zu bewegen, wo sich das Objekt befindet. Somit kann die Person das Fallen des Balles verhindern und der Balken kann gleichzeitig den Ball in eine andere Richtung steuern.

Während des Spiels, beobachtete die Autorin das Verhalten der TeilnehmerInnen. An diesem Zeitpunkt wurde die Konzentration und der Stressfaktor beobachtet.

#### **Auswertung**

10 von 11 TeilnehmerInnen hatten während des Spiels Stress empfunden. 2 TeilnehmerInnen wussten am Anfang des Spiels nicht, auf was man sich fokussieren muss. 2 TeilnehmerInnen haben mit Vorsagen oder „Ohm“-Laute das Schieben des Balkens aktivieren können.

### **5.5.6 Fünfte Aufgabe: Industrieroboter steuern**

Die Versuchsperson hat nur noch die Aufgabe den Industrieroboter zu stoppen oder fortzusetzen. Der Hauptgedanke der Autorin war die Benutzeroberfläche so zu vereinfachen, dass der simulierte Arbeitsablauf mit nur zwei Steuerelementen einfach und schnell zu nutzen ist.

In dieser Aufgabe lies die Autorin die Versuchspersonen sich bildlich vorstellen, dass sie in dem Moment in einer Produktion arbeiten würden. Weiters mussten die Personen mit ihrer Anschauungskraft vorstellen, dass sie einen Tag lang das BCI für die Arbeit nutzen müssen. Je nach persönlichem Befinden und Konzentration

## 5 Usability Test

---

der teilnehmenden Person, durfte auch die Applikation im Bildschirm beliebig vergrößert werden.

Während der Industrieroboter die Aufgabe hatte die Pillenschachtel in die Pillenbox einzusortieren, musste die Versuchsperson ohne eine Anordnung versuchen, die Ausführung zu stoppen. Die Umsetzung funktionierte nur durch das Auslösen der Stopptaste in der Applikation mit der Gedankensteuerung. Danach sollte die Person die „Play“-Taste aktivieren und die Produktion fortfahren. Beim zweiten Durchgang musste die Versuchsperson auf die Anordnung der Autorin warten. Erst dann durfte die Person die Stopptaste tätigen und später wieder die Arbeit fortfahren. Während der Prozedur, lief die Vakuumpumpe mit voller Lautstärke.

### **Auswertung**

Die Autorin beobachtete zu diesem Zeitpunkt die unter Distraction arbeitenden Personen, auf deren Konzentration und Stressfaktor.

### **5.5.7 Interview**

Generell fanden alle TeilnehmerInnen das Nutzen eines BCIs spannend. Auch empfanden alle nach langem Fokussieren die steigende Anstrengung.

Drei ProbandInnen sprachen vom langen Anstarren des Bildschirms. Diese Personen waren sich nicht sicher, ob deren Fokus sich erhöht, wenn sie den Bildschirm anstarren. Eine Versuchsperson sprach von einer Balance zwischen Ehrgeiz, Konzentration und Entspannung um die Steuerelemente steuern zu können.

Ein weiteres Thema waren die Farben, die in der Applikation der Autorin für die Steuerelemente benutzt wurden. Drei TeilnehmerInnen sagten aus, dass sie Schwierigkeiten hatten, die „Play“-Taste zu tätigen. Die Farbe Grün war ihrer Meinung nach zu unübersichtlich. Die rote Farbe war stattdessen zu sehr dominant, dass einige TeilnehmerInnen sich nicht auf die „Play“-Taste konzentrieren konnten. Allerdings gab es Personen im Usability Test, die sich während der einen Aufgabe nicht auf die Farben fokussierten und die Objekte auslösen konnten.

## 5 Usability Test

---

Die ProbandInnen sind der Meinung, dass das Arbeiten mit einem BCIs bei sicherheitskritischen Systemen nicht effektiv wäre. Bei Notsituationen müsste die Fachkraft die Stopp-Taste reflexartig tätigen. Hier würde sich die Frage stellen, wie schnell die Personen mit einem BCI reagieren könnte.

Daraufhin könnten aus der Sicht der Personen andere Assistenzsysteme wie zum Beispiel die Sprachsteuerung und Eyetracking besser für Produktionsarbeiten zur Anwendung kommen. Die Hintergedanken dafür wären, die Auslastung der Konzentration zu reduzieren.

Des Weiteren teilten zwei ProbandInnen der Autorin mit, dass das Einsetzen von BCIs erst bei Eintritt der Generationswechsel langsam durchgeführt werden sollte. Dies wäre sinnvoll um Fachkräfte außerhalb der „Digital Native“-Generation in der Produktion nicht zu überfordern.

Im physiologischen Aspekt sagten alle TeilnehmerInnen aus, dass das Fokussieren an einem Bildschirm mit der Zeit anstrengender wurde. Wenn Fachkräfte mit BCI arbeiten sollten, dann wären regelmäßige Pausen notwendig.

# 6 Results

## 6.1 Testergebnisse

Nach dem Usability Test wurden die teilnehmenden Personen befragt und es wurde eine Umfrage gestartet. Durch die Ergebnisse sollten die Forschungsfragen beantwortet werden. Weiters wurden die Resultate ausgewertet und ermittelt. Die Umfrage wurde mit Hilfe der Umfrageverwaltungssoftware „Google Formulare“ (2022) erstellt.

63,6% der ProbandInnen gaben an, dass während der Testabläufe die Konzentration in Allgemeinen sehr gut war. Die restlichen 36,4% gaben entweder gut oder sehr gut an. Ferner wurden die ProbandInnen befragt, ob die Konzentration bei Stille oder bei Geräuschen (wie zum Beispiel Musik oder Hintergrundgeräusche) besser wurde. Zu den Fragen gab es keine klaren Ergebnisse. Die Antworten waren stark differenziert.

Der Tragekomfort des NextMind-Headsets, das aus Sensor und Klettverschluss besteht, fanden die meisten ProbandInnen mittelmässig bis super.

### Headset Tragekomfort

11 Antworten

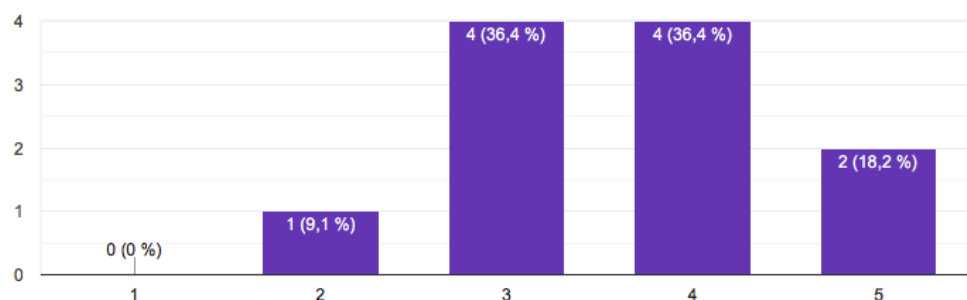


Abbildung 19: Probanden wurde nach Tragekomfort befragt  
(Quelle: „Google Formulare“, 2022)

## 6 Results

---

Die ProbandInnen gaben zu 63,6% an, dass sie sich generell vorstellen könnten, mit dem BCI zu arbeiten. Dennoch kommt es zur stark unterschiedlichen Antworten, wenn die befragten Personen sich vorstellen würden, das Headset jeden Tag zu tragen. Auch waren nur 45% der TeilnehmerInnen der Meinung, dass sie mit dem BCI in der Arbeit produktiver wären.

Wärsst du beim Verwenden des BCIs produktiver?

11 Antworten

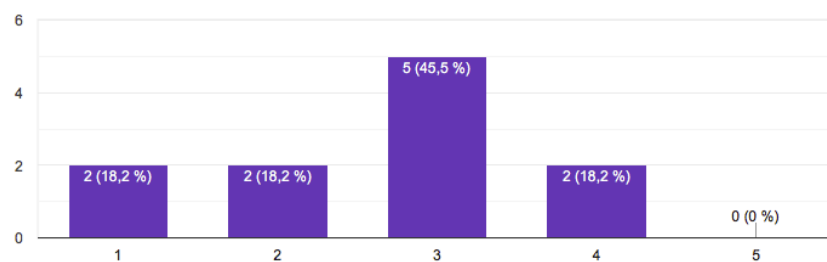


Abbildung 20: Statistik der Produktivität beim generellen Verwenden eines BCIs  
(Quelle: „Google Formulare“, 2022)

Könntest du dir vorstellen mit dem BCI jeden Tag zu arbeiten?

11 Antworten

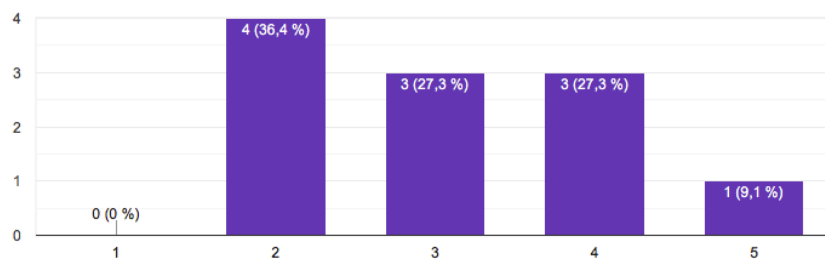


Abbildung 21: Statistik für das tägliche Arbeiten mit dem BCI  
(Quelle: „Google Formulare“, 2022)

Abbildung 22: Eine Statistik über das BCI und die Vorstellung täglich damit zu arbeiten

## 6 Results

---

Zusätzlich wurde ein System Usability Scale (SUS) Fragebogen durchgeführt, wodurch die subjektiv wahrgenommene Nutzungstauglichkeit in Punkten bewertet werden soll.

Auswertung Usability-Test	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Strongly disagree 1	1	4	0	2	0	4	1	4	1	4
2	2	5	2	3	2	4	2	2	0	4
3	3	1	2	2	0	0	3	3	4	2
4	5	0	4	3	7	3	5	2	2	1
Highlyly agree 5	0	1	3	1	2	0	1	0	4	0

Tabelle 12: SUS Auswertung mit TeilnehmerInnen (n=11)

In der SUS wird der Mittelwert der Ergebnisse berechnet. In der Tabelle 12 wurden die Anzahl der Antworten von den TeilnehmerInnen farblich markiert.

Die Anmerkungen (Q1 bis Q10) werden pro Spalte in der oberen Zeile beschrieben. Es wurden 10 Anmerkungen gestellt und darunter befinden sich die gesamten Antworten aller TeilnehmerInnen, von 1 bis 5 bewertet. Wobei 1 „nicht zustimmend“ bedeutet bis 5 „sehr zustimmend“. Die Fragen wurden von John Brook (1996) übernommen und im Fragebogen etabliert.

### Die Anmerkungen, die sie bewerten mussten

- Q1: I think that I would like to use this system frequently.
- Q2: I found the system unnecessarily complex.
- Q3: I thought the system was easy to use.
- Q4: I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system.
- Q5: I found the various functions in this system were well integrated.
- Q6: I thought there was too much inconsistency in this system.

## 6 Results

---

- Q7: I would imagine that most people would learn to use this system very quickly.
- Q8: I found the system very cumbersome to use.
- Q9: I felt very confident using the system.
- Q10: I needed to learn a lot of things before I could get going with this system.

Scales		
SUS	Usability	Learnability
<b>50,5</b>	<b>45,6</b>	<b>70</b>
12,5	3,1	50,0
25,0	21,9	37,5
60,0	56,3	75,0
85,0	87,5	75,0
70,0	59,4	112,5

*Tabelle 13: SUS Auswertung*

### 6.1.1 SUS Auswertung

45 Punkte von den TeilnehmernInnen (n=11) geben an, dass die BCI Anwendung für den Industriellenbereich benutzertauglich ist. 70 Punkte wurden von den TeilnehmerInnen vergeben, dass es erlernbar ist.

## 6.2 Aufmerksamkeit

Im Zuge der Usability Tests, kam die Frage auf, inwiefern Emotionen wie Stress oder auch generell Müdigkeit, die Aufmerksamkeit für das Auslösen des Objektes durch Gedankensteuerung beeinflussen können.

### 6.2.1 Selektierte visuelle Aufmerksamkeit

Die selektierte Aufmerksamkeit nimmt bestimmte Informationen auf, um das Bewusstsein, wie auch die Steuerung vom eigenen Denken und Handeln, zugänglicher zu machen (Karnath & Thier, 2003, S. 245). Die Selektion geschieht mit Hilfe der verschiedenen Sinnesorgane, die von Reizen verursacht werden (Karnath & Thier, 2003, S. 245).

Die Aufmerksamkeitsforschung beschäftigte sich zunehmend in den 60er- und 70er Jahren über zwei Arten der selektierten visuellen Aufmerksamkeit, nämlich der ortsbasierten- und der objektbasierten Aufmerksamkeit (Karnath & Thier, 2003, S. 249).

Die ortsbasierte Aufmerksamkeit basiert auf bestimmte Reize im Gehirn, die bestimmte Objekte selektiert und andere Objekte im selben visuellen Feld ignoriert (Karnath & Thier, 2003, S. 250).

Ein Paradigma für eine ortsbasierte Aufmerksamkeit, wäre die Untersuchung von Eriksen u. Eriksen (Karnath & Thier, 2003, S. 249). In seiner Untersuchung werden den Versuchspersonen mehrere hintereinander gezeigte Reihen von drei Buchstaben, wie zum Beispiel „BAB“ oder „BBB“, am Bildschirm präsentiert. Das Ziel der Untersuchung ist, die Reaktion und das Ausführen der Versuchsperson beim Auftauchen des mittleren Zielbuchstaben „A“ zu beobachten. Bei der Untersuchung kam heraus, dass die Versuchspersonen bei gleichen Buchstaben (z.B. „BBB“) schneller reagierten (Karnath & Thier, 2003, S. 249). Als die Buchstaben (z.B. „BAB“), welches ein „A“ oder einen anderen Buchstaben in der Mitte hatte als die beiden Flankierer-Buchstaben „B“, auftauchten, war die Reaktionszeit der Versuchspersonen länger. Die Interferenzeffekt lässt sich reduzieren, indem der Zielbuchstabe vor der Präsentation der dargebotenen

## 6 Results

---

Buchstabenreihe mit einem Markierstimulus angezeigt wird (Karnath & Thier, 2003, S. 249).

Das Cueing-Paradigma von Michael Posner behandelt das Thema der visuell-räumlich selektiver Aufmerksamkeit, welches die Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Ort und Größe beschränkt darstellt (Karnath & Thier, 2003, S. 249). In Posners Untersuchung arbeiten die Versuchspersonen mit einem zentralen Fixationspunkt und zwei Kästchen auf dem Bildschirm, die links und rechts positioniert sind (Karnath & Thier, 2003, S. 249). Die Standardaufgabe der Versuchsperson wäre, das plötzliche Erscheinen eines Punktes oder andere Bildformen in den jeweiligen Kästchen darauf zu reagieren. Dazu soll die Person mit einfachem Tastendruck so schnell wie möglich auf das Ziel drücken (Karnath & Thier, 2003, S. 249). Die Versuchsperson kann Hinweisreize (wie zum Beispiel ein Blinken oder ein kurz erscheinender Rahmen auf einer der jeweiligen Kästchen) erhalten, welches sie dann auf die Position des Zielreizes hinweist (Karnath & Thier, 2003, S. 249). Damit sollte die Verarbeitung des Zielreizes erleichtern (Karnath & Thier, 2003, S. 249). Diese Verarbeitung ist die Validität, da ein Hinweisreiz mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit die nachfolgende Zielreiz indiziert wurde (Karnath & Thier, 2003, S. 249). Der Zielreiz kann auch an einem nicht indizierten Kästchen erscheinen (Karnath & Thier, 2003, S. 249). Somit kann die Verarbeitung erschwert werden (Karnath & Thier, 2003, S. 249). Diese Durchführung wird als Invalid bezeichnet (Karnath & Thier, 2003, S. 249). Zusätzlich gibt es den neutralen Durchgang, wo zum Beispiel das linke Kästchen und das rechte Kästchen gleichzeitig aufleuchten könnten (Karnath & Thier, 2003, S. 249). Dieser Vorgang wird aber nicht mehr als Hinweisreiz suggeriert, sondern sie wird als ein zeitliches Warnsignal wahrgenommen (Karnath & Thier, 2003, S. 249). Diese Vorgänge werden als „Cue-Validität“ bezeichnet (Karnath & Thier, 2003, S. 249).

Mit Hilfe von Posners Untersuchung, erkannte Posner und seine MitarbeiterInnen, dass die Stimuli für die visuelle Aufmerksamkeit, rascher an den Ort verarbeitet werden als das Stimuli an anderen Orten (Karnath & Thier, 2003, S. 250). Als visuelle Darstellung kann man sich das Licht von einem Lichtscheinwerfer vorstellen. Das Licht beleuchtet eine bestimmte Stelle, die man auch als „Spotlight“

kennt. Dadurch werden Informationen an einer bestimmten Stelle im Sichtfeld vorrangig verarbeitet bzw. die Informationen qualitativ verarbeitet und verbessert (Karnath & Thier, 2003, S. 251).

Die objektbezogene visuelle Aufmerksamkeit bezieht sich auf die Objekte im ausgerichteten Gesichtsfeld. Der Forscher John Duncan richtet sich auf die Theorie, dass ein Objekt zu einem gegebenen Zeitpunkt die Aufmerksamkeit erhalten kann (Karnath & Thier, 2003, S. 253). In Duncans Untersuchung hatten die Versuchspersonen die Aufgabe, ein Attribut von zwei überlappenden Objekte auszusuchen und zu beurteilen, oder zwei Urteile fällen, die entweder auf ein Objekt oder beide Objekte beziehen (Karnath & Thier, 2003, S. 253). Diese waren durch einer bestimmten Größe und Textur der Linie gekennzeichnet (Karnath & Thier, 2003, S. 253). Die Objekte bestand aus vertikalen Rechtecken, das entweder geneigt, groß oder klein war (Karnath & Thier, 2003, S. 253). Außerdem hatten die Rechtecke verschiedene Muster oder die Abstände waren links und rechts unterschiedlich (Karnath & Thier, 2003, S. 253). Aus der Untersuchung kam heraus, dass die Versuchspersonen (trotz Überlappung der Objekte) zu dem Zeitpunkt der Aufgabe nur die Attribute wahrnahmen, auf dem sie sich fokussierten. Alle anderen Eigenschaften der Objekte waren in der Aufmerksamkeit der Versuchspersonen reduziert (Karnath & Thier, 2003, S. 253).

### **6.2.2 Fokussierte Aufmerksamkeit**

Rückblickend betrachtet gibt es eine Vielzahl von Ansichten, worauf die Psychologie der Aufmerksamkeit begründet wird. Diese kommt sowohl aus der beobachtenden (introspektiven) Psychologie, der experimentellen allgemeinen Psychologie, der (klinischen) Neuropsychologie als auch aus der differentiellen Psychologie (Goldhammer & Moosbrugger, 2006).

Laut Frank Goldhammer et al (2006) sprach Van der Heijden von 2 Arten der Psychologie der Aufmerksamkeit. Einerseits von der „introspektiven“ um 1900 und andererseits von der „modernen“ um 1950 (Goldhammer & Moosbrugger, 2006). Unterschieden werden diese beiden Arten durch die Methoden die zur Beantwortung der gestellten Fragen verwendet werden und auch durch die Daten welche dazu notwendig sind (Goldhammer & Moosbrugger, 2006).

## 6 Results

---

Die anfängliche Aufmerksamkeitspsychologie basierte auf der Definition von Charaktereigenschaften bzw. Zuständen sowie den Geist inhaltlich zu beschreiben (Goldhammer & Moosbrugger, 2006). Dabei wurde meist auf alltägliche Begriffe der Psychologie zurückgegriffen wie zum Beispiel Bewusstsein oder Wille (Goldhammer & Moosbrugger, 2006).

Goldhammer et al (2006) stellte fest, dass James der Meinung war, dass das Bewusstsein objektbasiert sein muss. Dabei beschrieb er die Aufmerksamkeit als einen aktiven Vorgang, jedoch im Ausmaß begrenzt und der Auslese von Informationen dienend.

In den 1950er Jahren gewann der Ansatz der Informationsverarbeitung mehr an Bedeutung und löste damit die beobachtende Verhaltensforschung als leitende Rolle ab (Goldhammer & Moosbrugger, 2006, S. 16). Ferner gab es in der modernen Aufmerksamkeitsforschung 4 Phasen die sich teilweise überschneiden und die Begriffe Auslese und Ausmaß zueinander in Beziehung stellten (Goldhammer & Moosbrugger, 2006, S. 16).

Laut Goldhammer et al (2006, S. 17) ordnet Lund all diese Entwicklungen der Aufmerksamkeitspsychologie für sich und unterscheidet fokussierte Aufmerksamkeit und geteilte Aufmerksamkeit.

Die fokussierte Aufmerksamkeit wird in Modellen aus früheren Zeiten als eine Eignung beschrieben, bei der man Informationen aus einem großen Angebot entnimmt und unter Ablenkung mit Fokus auf einen bestimmten Vorrang verarbeitet (Goldhammer & Moosbrugger, 2006, S. 17).

Hingegen werden bei der geteilten Aufmerksamkeit die Aufmerksamkeitskapazitäten auf mehrere Anforderungen gleichzeitig verteilt (Goldhammer & Moosbrugger, 2006, S. 17).

Schloffer et al (2018) vergleichen die fokussierte Aufmerksamkeit mit dem „Scheinwerferlicht“ Beispiel. Das Scheinwerferlicht leuchtet alle momentan wichtigen Aspekte aus und lässt unwichtige Aspekte „im Dunkeln“.

Theresa Schreppel (2008) fand heraus, dass die fokussierte, oder auch selektive Aufmerksamkeit genannt, zwei verschiedene Vorgänge hat. Das heißt, dass einerseits neben dem Fokussieren auf für den Moment wichtige Informationen,

## 6 Results

---

auch ein Prozess der Unterdrückung der irrelevanten Reize vorhanden sei. Und andererseits es auch möglich wäre, dass durch die Ausschöpfung der maximalen Verarbeitungskapazität, die nicht relevanten Reize automatisch ausgeblendet werden und es somit doch bei einem Prozess der Aufmerksamkeit bleibt.

In einer ersten Untersuchung mittels Nah-Infrarot Spektroskopie (NIRS), wurde durch Schreppel (2008) die Wachheit als ein grundlegendes Geschehen der Aufmerksamkeit in einer zweistufigen Studie analysiert. In erster Instanz wurden die Frontal- und Temporalhirnareale als relevant für die Wachsamkeit dargelegt (Schreppel, 2008). Im mittleren und superioren temporalen Kortex der rechten Hälfte dieses Bereichs sowie der ventrale Part des inferioren frontal Kortex der linken Hälfte, wurde in einer zweiten Untersuchung von Schreppel (2008) für diese Sphären weitaus höhere Aktivität während der Wachsamkeit festgestellt, als vergleichsweise mit einer visuellen und motorischen Kontrollbedingung.

Schreppel (2008) untersuchte mittels 3 weiteren Experimenten. Es wurden auch bestehende Elektroenzephalogrammdaten (EEG Daten) durch eine neuartige Untersuchungsmethode, wie der modifizierten n-back Aufgabe repliziert. Dieses Paradigma wurde in weitere Folge an eine NIRS Messung entsprechend angeglichen um Auswirkungen der gezielten Aufmerksamkeit genauer erfassen zu können als mit dem EEG (Schreppel, 2008). Sowohl das Beachten als auch das Übergehen gewisser Reize konnte in frontaler Struktur beobachtet werden (Schreppel, 2008).

Im zweiten Teil Ihrer Studie, arbeitete Schreppel (2008) weiters mit dem NIRS um Ausmaße im okzipitalen Bereich feststellen zu können. In Eintracht mit den Ergebnissen aus einer der Untersuchungen ihrer ersten EEG Studie, fand Schreppel (2008) heraus, dass sich eine erhöhte Verarbeitung wahrgenommener Reize, und gleichzeitig keine geminderte Verarbeitung nicht beachteter Reize feststellen lässt.

Zusammengefasst schließt Schreppel (2008) mit dem Ergebnis, dass die fehlende Hemmung von Ablenkungsreizen im Okzipitalkortex und die neuronal korrelierenden Prozesse im Arbeitsgedächtnis sowie der überschneidenden Inhibition im frontalen Kortex für die mögliche Aufteilung von eingegrenzten Verarbeitungsressourcen in Richtung berücksichtigter Reize steht.

## 6 Results

---

Matthias M. Müller (2013, S. 85) beschäftigte sich mit der Interaktion von Emotion und Aufmerksamkeit in Relation um die Verarbeitungsressourcen im visuellen Kortex.

Hierbei stellte er fest, dass das Interesse daran erst in den kürzlich vergangenen Jahren ansteigt. Laut Müllers Recherche (2013) einer Medline-Suche gab es zwischen 1990 und 2000 nur 50 Treffer. Zum Zeitpunkt seiner Recherche war das Ergebnis bereits sechsmal so hoch. Kognitive Vorgänge werden nun nicht mehr von emotionalen getrennt. Müller (2013) stellt die Frage in den Vordergrund, wie sehr emotionale Bilder die ProbandInnen von einer zu lösenden Aufgabe abbringen.

In Müllers (2013) Untersuchung wird hauptsächlich auf den Wettbewerb um Verarbeitungsressourcen von emotionalen Reizen und einer im Fokus stehenden zu lösenden Aufgabe eingegangen und weniger um umgehende Prozessierung emotionaler Reize.

Das „Biased-competition-Modell“ liefert Müller (Müller, 2013) wichtige grundlegende Informationen. Die Ausgangslage dieses Modells ist der permanente Konkurrenzkampf von Reizen um Verarbeitungsressourcen. Hauptsächlich durch unterdrückte neuronale Interaktion. Im Gesichtsfeld werden verschiedene Objekte wechselseitig unterdrückt. Weiters liefert das Modell Müller (2013) die Erkenntnis, dass wenn nun die Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Reiz gezogen wird, dieser Reiz zeitlich begrenzt aus der Unterdrückung entlassen wird und somit der Konkurrenzkampf um Ressourcen zugunsten dieses Reizes verzerrt wird und somit eine Bearbeitung erlaubt. Wenn Reize, auch Stimuli genannt, im selben Hirnareal verarbeitet werden, ist der Wettbewerb um die Verarbeitungsressourcen am höchsten (Müller, 2013).

In Tierversuchen konnte man feststellen, dass die Reize mit Emotionen den neuronalen Abläufen der selektiven Aufmerksamkeit fast gleich zu setzen sind (Müller, 2013, S. 87).

Beobachtungen dieser Tierstudien zeigten den visuellen Kortex vom Affen bei der Darbietung von 2 Stimulatoren (Müller, 2013). Bei der Aufmerksamkeit auf beide Reize zeigte sich eine unterdrückte Interaktion einer Zelle im rezeptiven Feld.

## 6 Results

---

Wurde die Aufmerksamkeit nun auf nur einen der zwei Stimulatoren gerichtet, beobachtete man eine Erhöhung der Feuerrate dieser Zelle auf ungefähr das gleiche Niveau als wenn nur ein Stimulus allein betrachtet wurde (Müller, 2013).

Ebenso wurde diese Untersuchung mit ausdrucksstarken und neutralen Affengesichtern durchgeführt (Müller, 2013). Bei den expressiven Gesichtern war die Feuerrate der Zellen mit 100ms deutlich höher als bei neutralen (Müller, 2013).

Die Studien zeigen, dass der Wettbewerb um Aufmerksamkeitsressourcen sowohl bewusst als auch emotional stimuliert zu einer deutlichen Verzerrung führen, was wiederum auf eine vorrangige Verarbeitung hindeutet und die gleichen neuronalen Vorgänge anstößt (Müller, 2013).

Die Unwillkürlichkeit der emotionalen Äußerung, stellt die Grundlage für verschiedene Emotionsmodelle im Ausdruck dar (Müller, 2013).

Ein bekanntes Modell, geht von den menschlichen Grundemotionen im Gesichtsausdruck aus. Dies zieht sich durch Kulturen und Völker, unabhängig der Herkunft und steht damit für bedeutenden Kommunikationswege untereinander (Müller, 2013, S. 89). Weitere Überlegungen gehen nun davon aus, dass nicht ausschließlich die Gesichtsausdrücke Priorität haben, sondern alle umliegenden emotionalen Reize, da diese bedeutsamen Informationen für die Anpassungsfähigkeit enthalten und damit grundlegend sind für das Überleben (Müller, 2013). Daraus resultiert der vorrangige Verarbeitungsprozess der emotionalen Stimulatoren gegenüber nicht emotionaler oder neutraler Reize (Müller, 2013).

Emotionale Stimulationen lösen zentralnervliche Prozesse mit zwei verfügbaren Ausgängen aus: positive Reize lösen das zentrale motivationale System aus was zu Appetenzverhalten wie Annäherung oder Konsum führt (Müller, 2013). Gleichbedeutend lösen negative Reize eher ein Flucht- oder Distanzverhalten aus (Müller, 2013).

Diese über Stimulation gelenkte Aktivität einer der beiden Verhaltensweisen, ermöglicht eine Reaktion auf den Appetenz- oder Aversionsreiz und damit eine

eher festgelegte Verbindung zwischen dem Reiz im Affektverhalten und dem manifestierten Verhalten (Müller, 2013).

Auch der Grad an Erregung ist hier ein wesentlicher Modulator für die Aktivierung des emotionalen Verhaltens, da dieser das Maß bzw. die Ausgeprägtheit dessen steuert (Müller, 2013).

Müller (2013) stellt somit fest, dass Emotionen anpassungsfähiges Verhalten möglich machen. Ferner erkennt er dadurch, die Beeinflussung von Wahrnehmungsprozessen.

### **6.2.3 Selektive Aufmerksamkeit im visuellen Kortex**

Generell wurde es in der Forschung zunehmend klar, dass die Ausrichtung der Aufmerksamkeit durch die Verhaltensrelevanz der jeweiligen Reize abhängt. Zusätzlich werden die Aktivität in manchen visuellen Arealen durch ein „Bottom Up“-Modell verarbeitet (Karnath & Thier, 2003, S. 259). Das „Bottom Up“-Modell ist ein Verarbeitungsprozess mit einem komplexen hintereinander gereihten Filter, das durch Stimulus und Signale vom äußeren Umfeld entsteht (Karnath & Thier, 2003, S. 259).

Außerdem fand Moran und Desimone heraus, dass die räumlichen Aufmerksamkeitseffekte im visuellen Kortexareal nachgewiesen werden können (Karnath & Thier, 2003, S. 259). Jay Moran und Robert Desimone trainierten in ihrer Studie Affen, welche zwei einfache Elemente im visuellen Feld positioniert bekommen. Durch die Elemente sind die visuellen Reize zu beachten und andere Reize zu ignorieren. Die Forscher konnten die Zellaktivität in deren rezeptiven Felder, der beachteten und unbeachteten Reize durch die elektrophysiologische Untersuchung (wie zum Beispiel das EEG) erkennen (Karnath & Thier, 2003, S. 259). Rezeptive Felder sind der Bereich von Sinnesrezeptoren, welche Informationen an ein nachgeschaltetes Neuron weiterleiten (Karnath & Thier, 2003, S. 259).

Wenn zum Beispiel die Aufmerksamkeit des Affen auf den aktivierenden Reiz gelenkt wurde, so stieg die Zellaktivität an (Karnath & Thier, 2003, S. 259). Wurde die Aufmerksamkeit auf einen gehemmten Reiz gerichtet, so fiel die Zellaktivität

## 6 Results

---

ab (Karnath & Thier, 2003, S. 259). Somit lässt sich feststellen, dass die Areale des visuellen Feldes, auf die Aufmerksamkeit gerichtet werden (Karnath & Thier, 2003, S. 259).

Es wurde bisher nachgewiesen, dass die Neuronen im primären visuellen Kortex bei der Aufmerksamkeit, sowohl räumlich als auch nichträumlich, innerhalb der rezeptiven Felder deutlich aktiver werden (Karnath & Thier, 2003, S. 262). Inzwischen gibt es laut Stefan Treue (Karnath & Thier, 2003, S. 262) diverse Berichte über bloße Vorstellungen des Reizes im visuellen Kortex um die Aktivität der Aufmerksamkeit zu erhöhen, bevor dieser tatsächlich erscheint. Die Neuronen können auch in ihrer Aktivität durch Aufmerksamkeit nur zwischen einer bevorzugten und nicht bevorzugten Eigenschaft, das heißt ein aktivierter Neuron oder ein gehemmter Neuron, wechseln (Karnath & Thier, 2003, S. 262).

Corbetta und seine MitarbeiterInnen konnten mit Hilfe der Positronenemissionsmessungen (PET) belegen, dass durch die Bewegung eines Impuls die Konzentration von Aufmerksamkeit zu den Zentren der Bewegungsverarbeitung bis zum visuellen Kortex führen (Karnath & Thier, 2003, S. 263). Währenddessen wird die Ausrichtung von Aufmerksamkeit mit demselben Reiz, eine neuronale Aktivierung auf die Farbe zum farbverarbeitenden Kortexareal hervorgerufen (Karnath & Thier, 2003, S. 263).

Die räumliche Aufmerksamkeit, sowie die eigenschaftsabhängige Aufmerksamkeit, werden besonders stark empfangen, wenn die Aufmerksamkeit von mehreren Stimulis im rezeptiven Feld liegen (Karnath & Thier, 2003, S. 263).

Interessanterweise bewirkt außerdem die Aufmerksamkeit durch sensorische Neuronen, eine steigende Änderung der Antworteigenschaften (Karnath & Thier, 2003, S. 265).

## 7 Diskussion

Die Ergebnisse der Forschung haben gezeigt, dass der visuelle Kortex die geistige Konzentration, wie zum Beispiel die Aufmerksamkeit, erheblich beeinflusst. Wie (als Beispiel) Kapitel 3.2.2 beschreibt, ist der visuelle Kortex von anderen Kortexarealen abhängig, um die Funktionen im Gehirn einwandfrei durchzuführen. Die anderen Kortexarealen befinden sich in anderen Bereichen des Gehirns. Der NextMind Sensor misst ausschließlich die Gehirnaktivitäten im Bereich der Sehrinde (Kapitel 4.1). Das könnte nun bedeuten, dass das verwendete BCI, das sich nur auf den visuellen Kortex fokussiert, die Gehirnaktivitäten ungenau misst und somit die Befehle nicht ausführlich durchführen könnte. Zugleich würde das Arbeiten mit dieser Art von BCI in Kombination mit anderen Arbeitstätigkeiten mehr erschweren, als dass es das Arbeiten einfacher machen würde.

Ein weiterer Grund dafür wäre die stetige Aufmerksamkeit, die für das BCI relevant wäre, um die Maschinen oder Roboter steuern zu können. Dies könnte der Fachkraft in der Produktion weniger hilfreich sein, da es mehr ermüdet. Beim Usability Test war genau dies das meistgenannte Argument, welches die Probanden nannten.

Wie auch bei den Untersuchungen von Malte Teichmann et al (2020), können neue Herausforderungen eine Kompetenzlücke des Fachpersonals sein. Dies kann man ebenso im Ergebnis vom Usability Test erkennen. Herausforderungen können einen gewissen Stressfaktor und/oder Ehrgeiz erzeugen, was auch den ProbandInnen widerfuhr. Der Autorin fiel positiv auf, dass die meisten ProbandInnen den Ehrgeiz hatten einen höheren Punktestand zu erzielen, indem sie durch mehrmalige Versuche die Kalibrierung wiederholten.

In Vergleich zu Milniks Untersuchungen, hatten die ProbandInnen, die durch Müdigkeit und Erkrankung geschwächt waren, Schwierigkeiten die Objekte auszulösen. Dies führte auch zur Verlängerung der Zeit, um die Objekte auszulösen. Wie im Kapitel 3.2.8. rückzuführen, fand Milnik (2009d) heraus, dass

## 7 Diskussion

---

beim Verwenden des EEGs die generelle Latenzzeit bei Erkrankten, älteren Personen, Schwangeren und auch generell bei nachlassender Konzentration, langsamer ist als bei Personen, die ein bestimmtes Alter haben, keine Erkrankung aufweisen, ausgeschlafen und nicht schwanger sind (Milnik, 2009d). Außerdem beschäftigt sich der visuelle Kortex mit der Verarbeitung der visuellen Informationen.

Was hat all dies mit der Hauptforschungsfrage zu tun?

Das Gehirn ist generell noch nicht weit genug erforscht und damit auch der Okzipitallappen nicht. Somit könnte das BCI dessen Durchbruch erlangen, wenn aus dem neurologischen Aspekt die Forschungen des Gehirns voranschreiten. Dadurch könnten die BCI Entwickler eventuell offene Fragen schneller beantworten und das BCI System überarbeiten oder weiterentwickeln. Damit könnte der Durchbruch des BCIs schneller erlangt werden.

Außerdem ist seit der vierten industriellen Revolution erkennbar, dass sich Technologien schnell verändern und auch rasant neue entstehen. Zu diesen Verhältnissen passen sich die meisten Menschen den Umständen an. Dennoch bräuchten die Menschen Zeit, um sich an neue Gewohnheiten anzupassen, da aus logischer Sichtweise die Menschen bei neuen Technologien zuerst Skepsis und Unsicherheit empfinden.

## 8 Fazit

Das Ziel dieser Diplomarbeit bestand darin, einen Prototypen zu entwickeln, der eine Applikation für das BCI und die Verbindung mit einem Industrieroboter beinhaltet, um herauszufinden, ob das BCI im industriellen Bereich einsatztauglich ist. Zudem wurden für die Untersuchung Literaturrecherchen durchgeführt und Usability Tests evaluiert. Dies gelang der Autorin und sie konnte folgende Forschungsfragen beantworten:

- Wo werden die Brain Computer Interfaces in diesem Kontext eingesetzt?

Brain Computer Interfaces werden im Kontext mit dieser Arbeit generell noch nicht in der Praxis eingesetzt. Sie werden derzeit von unzähligen Forschern und Forscherinnen weiterhin untersucht. Das Potenzial, dass das BCI in der Gesellschaft und im globalen Markt integriert werden könnte, ist sehr hoch. Dennoch ist das BCI derzeit für den globalen Markt noch nicht weit genug entwickelt. Dafür sind noch einige Kriterien offen, die aber für die NutzerInnen relevant sein könnten. Diese wären zum Beispiel das Zusammenspiel von Benutzerfreundlichkeit und Ergonomie (Nijboer, 2015).

In unzähligen Recherchen konnte die Autorin herauslesen, dass die BCI Ingenieure weiterhin die BCI Technologie entwickeln oder diese mit neuen Fähigkeiten ergänzen. Dies könnte noch einige Jahre in Anspruch nehmen.

- Welche Vorteile und Herausforderungen bringt das Brain Computer Interface im industriellen Bereich?

Das Brain Computer Interface kann als freihändige Assistenztechnologie in der Produktionen verwendet werden. Mit dem BCI wäre es möglich per Gedanken Maschinen oder Roboter zu starten oder zu stoppen, während die Fachkraft in der Produktion andere Tätigkeiten verfolgt. Außerdem könnte eine Fachkraft anhand

## 8 Fazit

---

des BCIs bei sicherheitskritischen Systemen genug Abstand halten und dennoch mit den Geräten arbeiten.

Die Herausforderung des BCIs wären die Etablierung und das Verwenden eines BCIS in ein Produktionssystem. Bei neu entwickelten Technologien taucht am Anfang Skepsis bei den Menschen auf, die sie dann anhand Alternativen bei bestehenden Technologien suchen. Der Grund für die Suche nach Alternativen ist, dass sie mit den bestehenden Technologien schon länger vertraut sind. Diese kann man im Kapitel 3.5 und Kapitel 5.3.7 nachlesen.

Die Arbeit begann ausgehend mit der Annahme, dass wenn ein BCI nur mit dem visuellen Kortex arbeiten würde, sich dies als einfacher erweisen würde als mit anderen Regionen im Gehirn. Die zusätzliche Annahme war, dass der visuelle Kortex bei Farben, Bewegung und Formen ohne Umwege Reize sendet und somit vom BCI gemessen werden kann. Während den Untersuchungen fand man heraus, dass der visuelle Kortex wie andere Kortexareale eine gewisse Komplexität (wie zum Beispiel das geistige Bewusstsein) aufweist und Reize erst verarbeitet, wenn dies mit den anderen Kortex Arealen vereinbar ist (Kapitel 3.2.2). Die Messgenauigkeit des BCI, fokussiert auf den visuellen Kortex, würde darunter leiden.

- Wird das BCI außerhalb der Forschung bereits eingesetzt?

Brain Computer Interfaces werden generell noch nicht eingesetzt. Sie werden vermehrt im medizinischen Bereich für Assistenzsysteme als Neuroprothesen wie zum Beispiel für Locked-In-Syndrom Patienten erforscht. Mit Hilfe des BCIs wollen die Forscher den LIS Patienten die Hoffnung geben, dass sie mit ihrer Umwelt (wieder) interagieren können. Auch wird das Brain Computer Interface für die Hirnstimulation erforscht, um zum Beispiel Personen mit neurodegenerativen Erkrankungen, zu rehabilitieren.

Anhand der Ergebnisse kann man feststellen, dass die Anwendung mit dem BCI erlernbar ist. Die weiterführende Frage wäre, wie man die Messgenauigkeit von BCIs verbessern könnte und somit alle Areale des Großhirns berücksichtigt.

# Literaturverzeichnis

3.3 Axonale Läsionen. (2008). In *Referenz-Reihe Neurologie: Methoden. EMG · NLG* (2., aktualisierte Auflage). Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG. <https://doi.org/10.1055/b-0034-32484>

A. Miladinović, M. Ajčević, P. Busan, J. Jarmolowska, G. Silveri, M. Deodato, ... A. Accardo. (2020). Evaluation of Motor Imagery-Based BCI methods in neurorehabilitation of Parkinson's Disease patients. *2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*, 3058–3061. <https://doi.org/10.1109/EMBC44109.2020.9176651>

Abts, D. (2022). Machine-to-Machine-Kommunikation mit MQTT. In *Masterkurs Client/Server-Programmierung mit Java: Anwendungen entwickeln mit Standard-Technologien* (S. 187–215). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-37200-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-658-37200-2_8)

American Academy of Ophthalmology. (2022). Abgerufen 11. September 2022, von <https://www.aao.org/>

Arnold, T. (2003). *Computergestuetzte Befundung klinischer Elektroenzephalogramme*. Max-Planck-Institut für neuropsychologische Forschung, Leipzig.

Atwood, M. E., & Wania, C. E. (2006). Exploring the interrelationships between the design and evaluation of interactive systems. *Proceedings of the 6th ACM Conference on Designing Interactive Systems - DIS '06*, 367. University Park, PA, USA: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1142405.1142468>

Bauer, G., Golaszewski, S., & Gerstenbrand, F. (2010). Das Locked-In-Syndrom. *Psychopraxis*, 13(5), 18–22.

Beck, H., Anastasiadou, S., & Meyer zu Reckendorf, C. (2018a). *Faszinierendes Gehirn*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54756-4>

Beck, H., Anastasiadou, S., & Meyer zu Reckendorf, C. (2018b). *Faszinierendes Gehirn*.

Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54756-4>

Beck, K. (2003). *Extreme Programming: Die revolutionäre Methode für Softwareentwicklung in kleinen Teams;[das Manifest]*. Pearson Deutschland GmbH.

Becker, E. S., & Pschyrembel Redaktion. (2016). Diskriminativer Reiz. In *Pschyrembel Online*. Pschyrembel online. Abgerufen von <https://www.pschyrembel.de/Diskriminativer%20Reiz/P02CP>

Bimos. (2022). Industrie 4.0 und das Internet der Dinge. Abgerufen 11. September 2022, von Bimos.com website: <https://www.bimos.com/B/at-de/news/2932/industrie-40-und-das-internet-der-dinge>

Birbaumer, N., & Schmidt, R. F. (2007). Kapitel 8 Allgemeine Physiologie der Großhirnrinde. *Physiologie des Menschen: mit Pathophysiologie*, 184.

Björn Mindermann. (2018). Untersuchung eines hybriden Brain-Computer Interfaces (BCIs) zur optimalen Auslegung als Mensch-Maschine-Schnittstelle. *Investigation of a hybrid brain-computer interface (BCI) for optimal design as a human-machine interface*.

Blutner, D., Cramer, S., Krause, S., Mönks, T., Nagel, L., Reinholz, A., & Witthaut, M. (2009). Assistenzsysteme für die Entscheidungsunterstützung. In *Große Netze der Logistik* (S. 241–270). Springer.

Boes, A., Kämpf, T., Langes, B., & Lühr, T. (2016). „Lean“ und „agil“ im Büro: Neue Formen der Organisation von Kopfarbeit in der digitalen Transformation. Working Paper Forschungsförderung.

Brooke, J. (1996). *SUS - A quick and dirty usability scale*.

Celaschi, F. (2017a). Advanced design-driven approaches for an Industry 4.0 framework: The human-centred dimension of the digital industrial revolution. *Strategic Design Research Journal*, 10(2), 97–104.

Celaschi, F. (2017b). Advanced design-driven approaches for an Industry 4.0 framework: The human-centred dimension of the digital industrial revolution. *Strategic Design Research Journal*, 10(2), 97–104.

Chang, A., Gouldstone, J., Zigelbaum, J., & Ishii, H. (2007). Simplicity in interaction design. *Proceedings of the 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction - TEI '07*, 135. Baton Rouge, Louisiana: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1226969.1226997>

- Deckert, R. (2019). *Digitalisierung und Industrie 4.0: Technologischer Wandel und individuelle Weiterentwicklung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-23847-6>
- DOBOT MG400—Der kleine Industrieroboter im Shop. (o. J.). Abgerufen 8. Juli 2022, von Variobotic GmbH website: <https://variobotic.de/shop/dobot-mg400/>
- Dubey, A., & Ray, S. (2019). Cortical electrocorticogram (ECoG) is a local signal. *Journal of Neuroscience*, 39(22), 4299–4311.
- Ellmann, M. (2022). Gesundheit in der Informatik im Zeitalter der Industrie 4.0 und Digitalisierung. *Informatik Spektrum*, 45(2), 96–105. <https://doi.org/10.1007/s00287-022-01445-4>
- Fischer, H., Endmann, A., & Krökel, M. (2015a). *Mensch und Computer 2015—Usability Professionals*. Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH.
- Fischer, H., Endmann, A., & Krökel, M. (2015b). User Experience in Kanban. In *Mensch und Computer 2015—Usability Professionals* (S. 84). Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH.
- Fox, D.-L., Ullrich, A., & Gronau, N. (2022). Potenziale multimodaler Benutzungsschnittstellen-Ansätze der Mensch-Maschine-Interaktion für die digitalisierte Produktion. *Universität Potsdam, (Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, Prozesse und Systeme, Universität Potsdam)*, 49–52. [https://doi.org/10.30844/I40M\\_21-5\\_S49-52](https://doi.org/10.30844/I40M_21-5_S49-52)
- Gegenfurtner, K. R., Walter, S., & Braun, D. I. (2002). *Visuelle Verarbeitung im Gehirn*. 15.
- Gehlert, T. (2015). *Spiegelneuronen—eine quantenphysikalische Annäherung*.
- Gesundheitsamt Kreis Lippe. (2018, Januar). *Visuelle Wahrnehmung*. S. 5.
- Goldhammer, F., & Moosbrugger, H. (2006). Aufmerksamkeit. In K. Schweizer (Hrsg.), *Leistung und Leistungsdiagnostik* (S. 16–33). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/3-540-33020-8\\_2](https://doi.org/10.1007/3-540-33020-8_2)
- Google Formulare. (2022). Abgerufen 10. September 2022, von <https://www.facebook.com/GoogleDocs/>
- Gorecky, D., Schmitt, M., & Loskyll, M. (2017). Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie 4.0-Zeitalter. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl, & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0 Bd.4: Allgemeine Grundlagen* (S. 219–236). Berlin, Heidelberg:

- Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-53254-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-662-53254-6_11)
- Hachtmann, R. (2011). Fordismus. *Dokserver des Zentrums für Zeithistorische Forschung Potsdam e.V.* <http://dx.doi.org/10.14765/zzf.dok.2.280.v1>
- Hering, N. (2005). Systempartner Mensch: Bewusstsein und Geist. In *Vom Denken und von Denkmaschinen* (1. Aufl., S. 44–47). Bad Honnef: Hippocampus Verlag.
- Hollmann, W., & Strüder, H. K. (2000). Gehirn, Psyche und körperliche Aktivität. *Der Orthopäde*, 29(11), 948–956. <https://doi.org/10.1007/s001320050547>
- Iachello, G., & Hong, J. (2007). End-User Privacy in Human-Computer Interaction. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, 1(1), 1–137. <https://doi.org/10.1561/11000000004>
- Ionita Ciolacu, M., & Popp, H. (2017). *Forschungsbericht: Lehre 4.0: Effiziente Virtuelle Weiterbildung / Open Innovation Education 4.0.*
- item Industrietechnik GmbH 2022. (2021, April 21). Konkrete Beispiele für Industrie 4.0. Abgerufen 11. September 2022, von <https://blog.item24.com/digitalisierung/konkrete-beispiele-fuer-industrie-4-0/>
- Kajdi, A. K. (2018). *Der Einfluss der transkraniellen Gleichstromstimulation auf den Motorcortex: Eine Untersuchung mittels Nahinfrarotspektroskopie.*
- Karapanos, M., Becker, C., & Christophel, E. (2018). Die Bedeutung der Usability für das Lernen mit digitalen Medien. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 36–57. <https://doi.org/10.21240/mpaed/00/2018.05.09.X>
- Karnath, H.-O., & Thier, P. (Hrsg.). (2003). *Neuropsychologie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-08957-6>
- Kiepas, A. (2010). *Der Mensch: Das vergessene Paradigma der Technikphilosophie?* LIT Verlag Münster.
- Kober, S. E., & Wood, G. (2020). Möglichkeiten und Grenzen von Neurofeedback. *Lernen und Lernstörungen*, 9(3), 187–196. <https://doi.org/10.1024/2235-0977/a000293>
- Kolb, B., & Whishaw, I. Q. (1996). Das visuelle System. In *Neuropsychologie* (S. 60–64). Berlin, Heidelberg, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag.
- Korn, A. (1982). *Bildverarbeitung durch das visuelle System*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-81902-5>
- Lucid [Applikation]. (2022). Abgerufen 9. September 2022, von Lucid website:

<https://lucid.co/>

Lüder, A. (Hrsg.). (2014). Integration des Menschen in Szenarien der Industrie 4.0. In *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik* (S. 493–507). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-04682-8>

Mainzer, K. (1997). Komplexität des Gehirns. In K. Mainzer (Hrsg.), *Gehirn, Computer, Komplexität* (S. 15–30). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-60524-6\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-60524-6_3)

Maksimović, M., Vujović, V., Davidović, N., Milošević, V., & Perišić, B. (2014). Raspberry Pi as Internet of things hardware: Performances and constraints. *design issues*, 3(8), 1–6.

MG400—DOBOT | Intelligent Robotic Arms Provider. (o. J.). Abgerufen 8. Juli 2022, von <https://www.dobot.cc/products/mg400-overview.html>

Milnik, V. (2009a). Artefakte. In *Elektrophysiologie in der Praxis: Neurographie, Evozierte Potenziale und EEG* (1. Aufl., S. 329–333). München: Elsevier GmbH.

Milnik, V. (2009b). Evozierte Potenziale. In *Elektrophysiologie in der Praxis: Neurographie, Evozierte Potenziale und EEG* (1. Aufl., S. 95, 100). München: Elsevier GmbH.

Milnik, V. (2009c). Neurographie. In *Elektrophysiologie in der Praxis: Neurographie, Evozierte Potenziale und EEG* (1. Aufl., S. 1–5). München: Elsevier GmbH.

Milnik, V. (2009d). Visuell evozierte Potenziale (VEP). In *Elektrophysiologie in der Praxis: Neurographie, Evozierte Potenziale und EEG* (1. Aufl.). München: Elsevier GmbH.

Mühlfelder, M. (2019). Die Digitalisierung der Produktion – Rückblick, Gegenwart und Zukunftsperspektiven. In J. von Garrel (Hrsg.), *Digitalisierung der Produktionsarbeit* (S. 9–18). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-27703-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-658-27703-1_2)

Müller, M. M. (2013). Die Interaktion von Emotion und Aufmerksamkeit im Wettkampf um Verarbeitungsressourcen im menschlichen visuellen Kortex. *Enzyklopädie der Psychologie/Themenbereich C: Theorie und Forschung/Kognition/Affektive und Kognitive Neurowissenschaft*, 85.

Neugebauer, R. (2018). Digitalisierung. In *Adaptive Systeme und Assistenzsysteme* (1. Aufl., S. 136–148). Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.

- NextMind [Dokumentation]. (2022a). Abgerufen 17. August 2022, von <https://www.nextmind.com/documentation/>
- NextMind [Information]. (2022b). Abgerufen 17. August 2022, von SDK website: <https://www.next-mind.com/documentation/unity-sdk/>
- Nicolas-Alonso, L. F., & Gomez-Gil, J. (2012). Brain Computer Interfaces, a Review. *Sensors*, 12(2), 1211–1279. <https://doi.org/10.3390/s120201211>
- Nijboer, F. (2015). Technology transfer of brain-computer interfaces as assistive technology: Barriers and opportunities. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 58(1), 35–38. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2014.11.001>
- Paszkiel, S. (2022). *Applications of Brain-Computer Interfaces in Intelligent Technologies*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-05501-0>
- Pohlmann, R. (2017). Verwissenschaftlichung [Data set]. *Historisches Wörterbuch der Philosophie online*. Basel: Schwabe Verlag. <https://doi.org/10.24894/HWPh.4643>
- Pollmeier, I., Schade, S., Stetzka, R. M., Gerhard, D., Dümpelmann, I., Sobotta, R., ... Große, N. (2020). Entstehung und Bedeutung der Smart Factory. In *Smart Factory: Einsatzfaktoren-Technologie-Produkte* (S. 10). Kohlhammer Verlag.
- Psyhyrembel Redaktion. (2018). Nucleus geniculatus lateralis. In *Psyhyrembel (Medizinisches Wörterbuch)*. De Gruyter. Abgerufen von <https://www.psyhyrembel.de/Nucleus%20geniculatus%20lateralis/A0V8Q>
- Rottschy, C. (2009). *Die anatomische Organisation des frühen visuellen Kortex im menschlichen Gehirn*. Düsseldorf, Univ., Diss., 2009.
- RS Components. (2022). Abgerufen 11. September 2022, von <https://de.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=raspberrypi>
- Sallat, M. (2018). *Das Anwendungsprotokoll MQTT im Internet of Things*. Offenburg: Hochschule Offenburg.
- Schloffer, H., Prang, E., & Frick-Salzmann, A. (2018). Konzentration ist erhöhte Aufmerksamkeit. In *Arbeitsbuch Gedächtnistraining: 100 Übungen für die Einzel- und Gruppenaktivierung von älteren Menschen* (S. 51–82). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-56239-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-662-56239-0_5)
- Schmelz, A. (2016). *Untersuchungen zur kortikalen Erregbarkeit und funktionellen Konnektivität im somatosensorischen System bei Patienten mit Amyotropher*

*Lateralsklerose.*

Schmidt, R. F. (1971). Das Aktionspotential. In R. F. Schmidt (Hrsg.), *Neurophysiologie programmiert* (S. 48–58). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-65212-7\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-642-65212-7_8)

Schönau, A. (2019). Mensch-Maschine-Schnittstellen in den Bio- und Neurotechnologien. In K. Liggieri & O. Müller (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Interaktion: Handbuch zu Geschichte – Kultur – Ethik* (S. 198–204). Stuttgart: J.B. Metzler. [https://doi.org/10.1007/978-3-476-05604-7\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-476-05604-7_27)

Schreppel, T. (2008). *Der Einfluss von Aufmerksamkeit und Interferenzkontrolle auf die Verarbeitung visueller Stimuli*. Würzburg. Abgerufen von <https://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/frontdoor/index/index/docId/2657>

Sullivan, L. S., Klein, E., Brown, T., Sample, M., Pham, M., Tubig, P., ... Goering, S. (2018). Keeping Disability in Mind: A Case Study in Implantable Brain–Computer Interface Research. *Science and Engineering Ethics*, 24(2), 479–504. <https://doi.org/10.1007/s11948-017-9928-9>

Teichmann, M., Ullrich, A., Wenz, J., & Gronau, N. (2020). Herausforderungen und Handlungsempfehlungen betrieblicher Weiterbildungspraxis in Zeiten der Digitalisierung. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 57(3), 512–527. <https://doi.org/10.1365/s40702-020-00614-x>

Vogel-Heuser, B., Bauernhansl, T., & Hompel, M. (2017). *Handbuch Industrie 4.0 Bd.4* (2. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg. Abgerufen von <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53254-6>

Waberski, T. D. (2005). Somatosensorisch evozierte Potenziale (SEP). *Evozierte Potenziale, neurovegetative Diagnostik, Okulographie*. Thieme, Stuttgart, 20–38.

Weisbecker, A., Burmester, M., & Schmidt, A. (2015). Mit der Kraft der Hirnaktivität die Arbeitswelt von Morgen bewegen: Was wird in Zukunft mittels Brain-Computer Interfaces möglich sein? *Mensch und Computer 2015–Workshopband*.

Wendt, W. R. (2017). Der Pauperismus und die soziale Frage. In *Geschichte der Sozialen Arbeit I* (S. 97–133). Springer.

Weygandt, M. (2008). *fMRT Brain-Computer Interface: Klassifikation von Hirnfunktionszuständen*.

Wicht, H. (2011). Basalganglien. In *Dasgehirn.info*. Berlin: Neurowissenschaftliche

Gesellschaft e. V. Abgerufen von <https://www.dasgehirn.info/grundlagen/anatomie/die-basalganglien>

Wilhelm, H., Heine, C., & Tonagel, F. (2014). Optikusneuritis. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 231(11), 1073–1083.

Witte, F. (2018). *Metriken für das Testreporting: Analyse und Reporting für wirkungsvolles Testmanagement*. Wiesbaden [Heidelberg]: Springer Vieweg.

Zink, K. J., & Bosse, C. K. (2019). Arbeit 4.0 im Mittelstand. In C. K. Bosse & K. J. Zink (Hrsg.), *Arbeit 4.0 im Mittelstand* (S. 1–11). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-59474-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-59474-2_1)

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Visueller Kortex („American Academy of Ophthalmology“, 2022) ..	30
Abbildung 2: NextMind Dev Kit für die entwickelte Applikation („NextMind“, 2022a) .....	47
Abbildung 3: Neuromanager („NextMind“, 2022a) .....	49
Abbildung 4: NeuroTag („NextMind“, 2022a) .....	50
Abbildung 5: NeuroTag Feedback („NextMind“, 2022a).....	50
Abbildung 6: Die grünen Stäbe sind in Kreisform („NextMind“, 2022a).....	51
Abbildung 7: Befehl wurde bestätigt, die grünen Stäbe kommen zusammen („NextMind“, 2022a) .....	51
Abbildung 8: Weiße Stäbe im NeuroTag (Quelle: „NextMind“, 2022b) .....	52
Abbildung 9: Dobot MG400, Die Verwendung zur Simulation einer Produktion („DOBOT MG400 - der kleine Industrieroboter im Shop“, o. J.).....	53
Abbildung 10: Vakuumpumpe für Dobot MG400.....	55
Abbildung 11: Eigene Skizze, Funktion MQTT anhand BCI Projekt .....	58
Abbildung 12: Brainstorming mit "Lucid Chart" App, (Quelle: „Lucid“, o. J.) .....	60
Abbildung 13: Skizze digitale Knöpfe .....	62
Abbildung 14: Systemarchitektur.....	63
Abbildung 15: Erste Umsetzung in Unity.....	64
Abbildung 16: Koordinaten Dobot MG400 (Quelle: „MG400 - DOBOT   Intelligent Robotic Arms Provider“, o. J.) .....	65
Abbildung 18: Der Pre-Test Raum (FH St. Pölten) .....	67
Abbildung 19: Neue Steuerungselemente mit dem NeuroTag von NextMind.....	74
Abbildung 20: Probanden wurde nach Tragekomfort befragt (Quelle: „Google Formulare“, 2022) .....	87
Abbildung 21: Statistik der Produktivität beim generellen Verwenden eines BCIs (Quelle: „Google Formulare“, 2022) .....	88

Abbildung 22: Statistik für das tägliche Arbeiten mit dem BCI (Quelle: „Google Formulare“, 2022) .....	88
Abbildung 23: Eine Statistik über das BCI und die Vorstellung täglich damit zu arbeiten .....	88

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Forschungsdesign .....	3
Tabelle 2: NextMind Dev Kit Spezifikationen („NextMind“, 2022a) .....	48
Tabelle 3: Dobot MG400 Spezifikation („DOBOT MG400 - der kleine Industrieroboter im Shop“, o. J.).....	54
Tabelle 4: Dobot MG400 Kinematik („DOBOT MG400 - der kleine Industrieroboter im Shop“, o. J.).....	54
Tabelle 5: Dobot MG400 Schnittstelle („DOBOT MG400 - der kleine Industrieroboter im Shop“, o. J.).....	54
Tabelle 6: Dobot MG400 Vakuumpumpe („DOBOT MG400 - der kleine Industrieroboter im Shop“, o. J.).....	55
Tabelle 7: Spezifikation Raspberry Pi4 („RS Components“, 2022) .....	57
Tabelle 8: Aufgabenaufteilung.....	68
Tabelle 9: Pre-Test Auswertung.....	72
Tabelle 10: Usability Test Ablauf.....	81
Tabelle 11: Aufsetzen Zeitdauer aufgrund der Haare .....	82
Tabelle 12: SUS Auswertung mit TeilnehmerInnen (n=11).....	89
Tabelle 13: SUS Auswertung .....	90

# Anhang

- A. Datenschutzerklärung**
- B. Pre-Test Fragebogen**
- C. SUS Fragen**
- D. weitere Antworten der Befragten in Grafik**

## **Sus Fragen**

I think that I would like to use this system frequently.

I found the system unnecessarily complex.

I thought the system was easy to use.

I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system.

I found the various functions in this system were well integrated.

I thought there was too much inconsistency in this system.

I would imagine that most people would learn to use this system very quickly.

I found the system very cumbersome to use.

I felt very confident using the system.

I needed to learn a lot of things before I could get going with this system.

# Datenschutzerklärung zur Feldstudie des Projekts Brain Computer Interface im industriellen Einsatz

Der Datenschutz und dessen Sicherstellung sind wichtige Anliegen der FH St. Pölten. Die Verarbeitung personenbezogener Daten erfolgt unter strikter Wahrung der Grundsätze und Anforderungen, die in der DSGVO<sup>1</sup> und dem österreichischen DSG<sup>2</sup> festgelegt sind. Die FH St. Pölten verarbeitet ausschließlich jene Daten, die für die Erreichung der angestrebten Zwecke erforderlich sind, und ist stets bestrebt, die Sicherheit und Richtigkeit der Daten zu gewährleisten.

Das Projekt „BCI im industriellen Einsatz“ verfolgt das übergeordnete Ziel, die Bedingungen für Arbeitnehmer\_innen zu verbessern und dadurch die Arbeitsplatzqualität und die Sicherheit am Arbeitsplatz im industriellen Umfeld zu erhöhen.

Zur Bewertung welchen Einfluss das bewusste bzw. unbewusste Tracking von Mitarbeitern auf die Arbeitsplatzqualität hat, ist eine hochwertige Datenbasis erforderlich.

Ihre Teilnahme an der Feldstudie ermöglicht es dem Projektkonsortium, neue Messinstrumente (Brain Computer Interface-Systeme) und die Kombination mehrerer Methoden zu erproben, um Rückschlüsse auf Traceability am Arbeitsplatz ziehen zu können.

Als Technische Fachhochschule, Institut für Managementwissenschaften, Fachbereich Mensch-Maschine Interaktion, leiten wir die Feldstudie mit einem Erhebungsraum in der Pilotfabrik der FH St. Pölten in Sankt Pölten.

## Verantwortlicher:

Fachhochschule	St.	Pölten	GmbH
Campus-Platz			1
3100 St. Pölten			

## Datenschutzrechtliche

Fachhochschule	St.	Pölten	Verantwortliche:	GmbH
Campus-Platz				1
3100	St.			Pölten
datenschutz@fhstp.ac.at				

---

<sup>1</sup> Datenschutz-Grundverordnung

<sup>2</sup> Datenschutzgesetz

## **Folgende Datenkategorien werden bei dieser Datenverarbeitung verarbeitet:**

- Kontaktdaten (Name)
- Soziodemografische Informationen über TeilnehmerInnen (Alter, Geschlecht, Wohnort, Beschäftigung)
- Mobilitätsverhalten im Testverlauf (Routinen, Einstellung)
- Weitere Fragen zu Wohlempfinden im Testverlauf, allgemeine Stimmungslage
- Bewegungsdaten (Fokus am PC um Objekte auslösen zu können)
- Ton- und Videoaufzeichnungen während des Testverlaufs

Des Weiteren verarbeiten wir besondere Datenkategorien, wie:

- Gesundheitsdaten aus Humansensoren, wie
  - Aktigraphie (Aktivitäts- und Ruhezyklen)
  - Wohlbefinden der TeilnehmerInnen

### **Zweck der Datenverarbeitung**

Die Verarbeitung dieser Daten erfolgt auf Grundlage der Teilnahme am Projekt „BCI im industriellen Einsatz“ zum **Zweck der wissenschaftlichen Forschung** mit dem Ziel, neue Erhebungsmethoden auf Mitarbeiter-Tracking (Traceability) in Bezug auf Privacy zu erproben und zu beurteilen.

Im Detail hat die Datenverarbeitung folgende Zwecke:

- Identifikation von Wahrnehmungen und Emotionen von Testpersonen
- Räumliche Verortung von Auslösern der erfassten Wahrnehmungen und Emotionen
- Darstellung von räumlichen Häufungen von humanphysiologischen Reaktionen der Testpersonen

Darüber hinaus behalten wir uns vor, die anonymisierten Daten für weitere Forschungszwecke zu nutzen.

### **Übermittlung**

Alle Auswertungen und Darstellungen von Ergebnissen, die veröffentlicht oder an Dritte weitergegeben werden, erfolgen in anonymisierter und aggregierter (zusammengefasster) Form. Sie erlauben daher keine Rückschlüsse auf Ihre Person.

### **Rechtsgrundlage für die Datenverarbeitung**

Die Verarbeitung und Verwendung Ihrer personenbezogenen Daten erfolgt auf der Grundlage Ihrer Teilnahmeerklärung und beschränkt sich auf die oben genannten Zwecke. Die Verarbeitung personenbezogener Daten basiert auf den Grundsätzen

und Anforderungen, die in der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO), dem österreichischen Datenschutzgesetz (DSG) und dem Forschungsorganisationsgesetz FOG § 2d (3) festgelegt sind.

#### Speicherdauer/Löschungsfrist

Ihre Daten werden solange gespeichert, wie es die gesetzlichen Aufbewahrungsfristen vorschreiben bzw. wie es der Zweck erfordert.

#### Rechtsbehelfsbelehrung

Im Zusammenhang mit der Verarbeitung Ihrer personenbezogenen Daten stehen Ihnen die Rechte auf Auskunft, Berichtigung, Löschung, Einschränkung der Verarbeitung und Widerspruch zu, sofern durch die Ausübung dieser Rechte die Erreichung des Forschungszwecks voraussichtlich nicht unmöglich gemacht oder ernsthaft beeinträchtigt wird (§2d Abs. 6 FOG). Wenden Sie sich dazu bitte an: [datenschutz@fhstp.ac.at](mailto:datenschutz@fhstp.ac.at)

Wenn Sie glauben, dass die Verarbeitung Ihrer Daten gegen das Datenschutzrecht verstößt oder Ihre datenschutzrechtlichen Ansprüche sonst auf eine Weise verletzt worden sind, können Sie sich bei der zuständigen Aufsichtsbehörde beschweren: Österreichische Datenschutzbehörde (DSB), Barichgasse 40-42, 1030 Wien.

#### Kontakt

Sollten Sie weitere Fragen oder Anliegen zur Verarbeitung Ihrer Daten haben, wenden Sie sich bitte an:

Fachhochschule St. Pölten GmbH  
Campus-Platz 1  
3100 St. Pölten  
[datenschutz@fhstp.ac.at](mailto:datenschutz@fhstp.ac.at)

---

Datum

---

Unterschrift

# Fragebogen

## Usability Pre-Test

Maryrose Mercado, BA

Stand: 15. Jänner 2023

# 1 Angaben zur Testperson

**Name:**

**Geschlecht:**  Weiblich  Männlich  Divers

**Alter:**

**Wohnort (Stadt/Land):**

**Erfahrung mit EGG-Headsets:**  Ja  Nein

**Erfahrung mit Spielkonsolen:**  Ja  Nein  
(z.B. VR, AR, etc.)

**Erfahrung mit Meditation:**  Ja  Nein

**Generell hohe Auslastung:**  Hoch  Mittel  Keine

# 1 Aufgabe ohne Störfaktor

Abstand:

0,50m

1m

1.1 EGG-Headset aufsetzen. Zeit:

1.2 Konfiguration/Kalibrierung. Zeit:

1.3 1. Aufgabe: Probe Objekt auslösen. Zeit:

1.4 2. Aufgabe: Dobot auslösen. Zeit:

# 2 Aufgabe mit Störfaktor

Abstand:

0,50m

1m

2.1 Kalibrierung. Zeit:

2.2 erste Aufgabe: Probe Objekt auslösen. Zeit:

2.3 zweite Aufgabe: Dobot auslösen. Zeit:

# 3 Interview

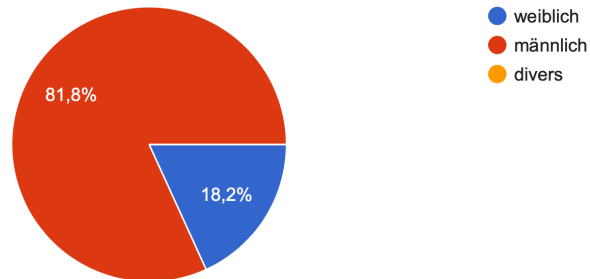
Wie ging es dir dabei?

Kannst du es dir vorstellen das BCI zu nutzen? Sei es Privat oder Arbeit?

## Weitere Antworten der Befragten in Grafik

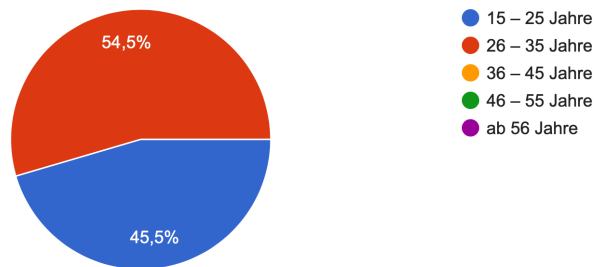
### Geschlecht

11 Antworten



### Alter

11 Antworten



### Höchster Bildungsabschluss

11 Antworten

