

# **[Working Title] Using a neural interface for interaction in virtual reality**

**an HCI study**

## **Masters Thesis**

**To obtain the academic degree M.Sc.**

**Julius Neudecker**

**2025850**



University of applied sciences Hamburg  
Faculty of Design, Media und Information  
Department of Media Engineering

First examiner: Prof. Dr. Roland Greule

Second examiner: Dipl. Inf. Rüdiger Höfert

preliminary version from May 16, 2021

# Contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>5</b>
1.1	Brain-Computer-Interfaces . . . . .	5
1.2	Working principle . . . . .	6
1.3	Related work . . . . .	7
1.4	Use case "Neural Interface in VR" . . . . .	7
1.4.1	How does it even work? . . . . .	7
1.5	Hypothesis . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Technological challenges</b>	<b>9</b>
2.1	Resolution of the Interface . . . . .	9
2.2	Constraints . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Survey Structure and layout</b>	<b>10</b>
3.1	Considerations . . . . .	10
3.2	Survey structure . . . . .	10
3.3	Survey . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Survey results</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Findings</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>13</b>
6.1	Results . . . . .	13
6.2	Future Work . . . . .	13
<b>7</b>	<b>Acknowledgements</b>	<b>14</b>
<b>8</b>	<b>Mathestuff</b>	<b>15</b>
8.1	Pictures . . . . .	15
8.2	Unterkapitel mit Mathematik, Bildern und Querverweisen . . . . .	15
8.3	Unterkapitel mit zwei Zitaten . . . . .	16
<b>9</b>	<b>Ein anderes Kapitel</b>	<b>17</b>
9.1	Unterkapitel mit Fuxnote, Aufzählungen und Tabellen . . . . .	17
9.2	Unterkapitel mit drei exemplarischen Quellenverweisen . . . . .	18
9.2.1	Unter-Unterkapitel zu Hyperlinks und Internetquellen . . . . .	18

## *Contents*

<b>10 Ergebnisse</b>	<b>20</b>
<b>A Material</b>	<b>21</b>
A.1 Fragebogen, Messprotokolle etc. . . . .	21
<b>List of Figures</b>	<b>22</b>
<b>List of Tables</b>	<b>23</b>
<b>Bibliography</b>	<b>24</b>

## **Abstract**

Modern technology evolved to pick up the electric signals emitted from the human brain in order to generate user input to electronic equipment. This study aims to evaluate a demo use-case by using a neural interface from nextmind to control user interactions in Virtual Reality.

# 1 Introduction

In recent years significant progress has been made on the development of interfaces which relies on direct interaction with the brain itself. [find some sources](#) The latest popular example is *Neuralink* with their monkey learning to play the game *Pong* only by using its brain ([Neuralink \(2021\)](#)). However there are more examples of a working interface: [Do som research here](#). These interfaces are generally called *Brain-Computer-Interface* or *BCI* in short. The general working principle is sensing the electrical signals of the brain and use this information to generate any kind of arbitrary output [find source](#). In certain use cases like motoric reactions to visual cues, this could potentially reduce total reaction time. This study aims to examine a potential use case with a device which is readily available to consumers.

## 1.1 Brain-Computer-Interfaces

In this section a general overview of the working principle of these interfaces will be provided. Since this study is aimed at computer science and HCI<sup>1</sup>, the neuroscience and medical domain will be only covered very briefly.

First studies began by [Vidal \(1973\)](#), who investigated the possibility to use EEG<sup>2</sup> waves, which were first recorded by [Berger \(1929\)](#), as a way to create a direct interaction between a machine and a human brain.

There are three types of BCIs: invasive, partially invasive and non invasive. This depicts the degree of intrusion into the skull and brain tissue. *Invasive* BCIs are electrodes, which are implanted directly into or onto the grey matter of the brain. This can cause long term issues like scars and also degraded singal strength according to [Abdulkader et al. \(2015\)](#). Partially invasive BCI however are although located within the skull not in direct contact with the grey matter. Non-Invasive BCI are only placed on the head without intrusion of any tissue. Due to the direct contact, invasive BCI provide the best resolution of the measured signals. Non-invasive BCI in comparison suffer from signal degradation and deformation of the cranial bone tissue. Therefore partially invasive BCI are a compromise between good signal strength and the risk of medical conditions.

The way these interfaces work is based on the same principle: A human brain emits electrical signals, which can be picked up. According to [Vidal \(1973\)](#), they can be described as follows:

---

<sup>1</sup>Human Computer Interaction

<sup>2</sup>Electroencephalogram

*"Embedded in this sustained "spontaneous" or "ongoing" electrical activity, short, distinctive (0.5-2 sec) waveforms can be found that are evoked, for instance, when a brief sensory message (stimulus) such as a brief illumination of the visual field or a tap on the forearm is received by the subject."*

Based on the origin within the brain, these can be correlated to certain stimuli, mental and emotional states (Jardim-Gonçalves (2018)) and according to Waldert (2016) been used to drive *an external effector or affecting internal body parts and functions*. The external effector is the use case which is being examined in this study.

Without a BCI, interaction with a computer requires some physical interaction with devices such as keyboards, mice or gestures on a touch screen. There are mainly two different reasons, why these devices are a constraint to speed and efficiency of HCI. The first reason is a limitation on interaction speed: Although there is no definitive consensus about the speed of thinking, the majority of people would agree, that typing along in the same speed as the thinking process is usually impossible - except for rare individuals who devoted a significant time practicing. Secondly: in applications such as games, where reaction time and accuracy is the fundamental element for success or failure, an interaction based on motoric interaction with a physical pointing device has some significant drawbacks like limited accuracy, if the whole chain of wrist movement in conjunction with a mouse is under scrutiny.

If a BCI was to replace these types interaction, these constraints could potentially be alleviated and interaction based on physical interaction rendered obsolete.

## 1.2 Working principle

Before any deeper considerations in regard to the general scope of this study can be made, it is important to understand the working principle of the BCI, which will be used. Although the vendor of the BCI in question does not disclose any details of the inner workings itself, it is safe to assume that the underlying technique used is the so called *Visually Evoked Potential* - VEP in short. Sokol (1976) provides detailed inside into the topic from a neuroscientific point of view. The general principle however is that any visual stimuli cause a certain pattern of waves within the visual cortex of the brain. These patterns can be used to evaluate if a certain pattern is being seen *and* in focus of the person. This is being done by subsequently feeding the sensor data through a trained neural network. The objects, which are being seen by the person, have been labeled *neurotags* (NextMind (23/11/2020)) from the vendor of the BCI. These neurotags can provide two different readouts: If it is triggered (i.E. *seen*) and the confidence, which depicts the level of *focus* of the user on the neurotag (NextMind (18/11/2020)).

The physical layout of the sensor is shown at figure 1.1. It has 18 electrodes, which are arranged in pairs to cover the area, where the visual cortex is located at on the back of the cranium. It is battery driven and communicates via the Bluetooth LowEnergy protocol.



**Figure 1.1:** Physical layout of the sensor

## 1.3 Related work

Non-Invasive BCI based on VEP has been around for while now and therefore a significant number of studies has been carried out to further examine ... [Continue here...](#)

- State of research
- Applications in the HCI domain
- other...

## 1.4 Use case "Neural Interface in VR"

### 1.4.1 How does it even work?

I don't have a certain use-case in mind at this stage. Therefore this section is still very generic at the moment.

- Use Case description
- Research goals

## **1.5 Hypothesis**

- definition of research goals
- hypothesis



## 2 Technological challenges

Due to being non-invasive there must exist certain drawbacks with this technology. I want to examine the shortcomings and possible ways to overcome these. A valuable resource of information might be [nextminds homepage](#) ?.

### 2.1 Resolution of the Interface

- definition of the resolution parameter
- input taxonomy diagram
- how to examine with survey

### 2.2 Constraints

As far as I understood, the interface allows for four different interaction goals. It would be interesting to see, which kinds of interaction are possible.

- Interaction objects
- interaction types in regard to input taxonomy
- evaluation in user survey

## 3 Survey Structure and layout

### 3.1 Considerations

- Which topics do I want to evaluate in detail
- what are my tools
- Who is my audience
- how to I operationalize the values for context
- What are my performance indicators

### 3.2 Survey structure

Based on the findings, I want to define the survey in this section.

- item 1
- ...

### 3.3 Survey

How is the survey carried out. This depends largely on the outcome of section survey structure.

- item 1
- ...

## 4 Survey results

Once the study has been structured and carried out, I can write down the results.

## 5 Findings

This section also depends on the outcomes in context to the research question.

# **6 Conclusion**

## **6.1 Results**

Summarizing the results and findings of the study briefly.

## **6.2 Future Work**

Based on the findings and new devices on the horizon, this should give a brief outlook on how to continue this research.

## 7 Acknowledgements

...

# 8 Mathestuff

## 8.1 Pictures

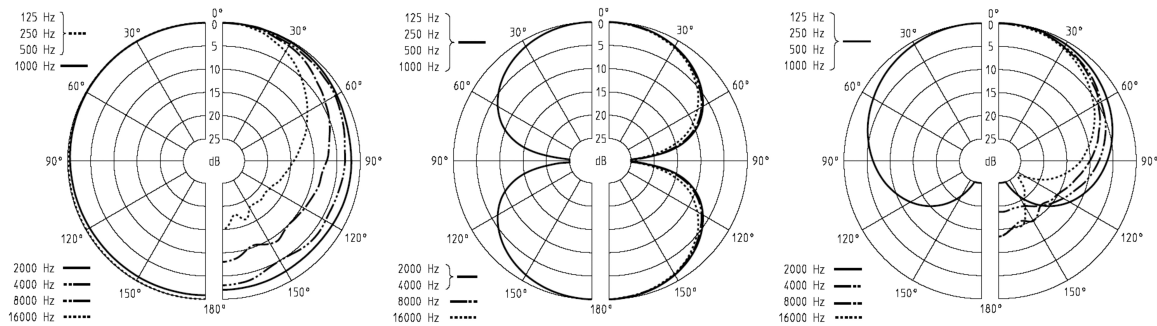


**Figure 8.1:** Abnahme einer Trommel mit speziellem Anklemm-Mikrofon

## 8.2 Unterkapitel mit Mathematik, Bildern und Querverweisen

Für Formelsatz stellt  $\text{\LaTeX}$  die nummerierte Umgebung `equation` und die nicht-nummerierte Umgebung `displaymath` zur Verfügung. Mit `label` und `ref` kann dann im Text Bezug auf die Gleichungen genommen werden (Gleichung 8.1).

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (8.1)$$



**Figure 8.2:** Richtcharakteristiken von Kleinmembran-Studiomikrofonen. V.l.n.r.: Kugel, Acht, Niere. Die Bildbreite ist hier skaliert auf die volle Breite des Satzspiegels.

Mathematik im Zeilenmodus sieht so aus  $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s}{m}}$ , wxhrend dieselbe Gleichung als abgesetzte Formel – hier mit der displaymath-Umgebung – so aussieht:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s}{m}}$$

Fxr mehrzeilige Herleitungen oder Berechnungen benutzt man in L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X die Umgebung eqnarray.

Einheiten innerhalb von Formeln werden – wie auch Text – grundsxtzlich steil (nicht-kursiv) gesetzt. Innerhalb der mathematischen Umgebung nimmt man dafxr eine mbox (make box); die Abstxnde werden mit Komma, Semikolon oder quad eingestellt:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s}{m}} \quad [\text{Hz}]$$

Gleiches gilt fxr Funktionsnamen (sin, cos, arctan, log, ...). Fxr die meisten Funktionsnamen gibt es aber zur Vereinfachung entsprechende Befehle, sodass man nicht immer die mbox braucht.

### 8.3 Unterkapitel mit zwei Zitaten

Das wxrtliche Zitat wird durch Kursivschrift und Anfxhrungszeichen kenntlich gemacht, und natxrlich kommt ein Quellenverweis dazu:

*Nisi irure excepteur eiusmod reprehenderit commodo ipsum exercitation.*

Alternativ kann man ein Zitat auch in den laufenden Text einflechten, denn wie schon Sowodniok bemerkte, muss sich *Laboris tempor pariatur cillum sunt veniam labore duis ipsum eu cupidatat enim id.* Die Quellenverweise werden weiter unten erklxrt.



# 9 Ein anderes Kapitel

## 9.1 Unterkapitel mit Fuxnote, Aufzählungen und Tabellen

Fuxnoten sollte man sparsam und bewusst verwenden, erklärende Zusätze und Quellenverweise möglichst in den Text integrieren. Damit bleiben Fuxnoten v.A. reserviert für wenige Ergänzungen, die den Lesefluss stören würden, aber nicht weggelassen werden sollen<sup>1</sup>.

Für Aufzählungen stellt L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X die beiden Umgebungen `itemize` und `enumerate` zur Verfügung. So sieht eine `itemize`-Aufzählung aus:

- erster Punkt
- zweiter Punkt

Und das ist eine `enumerate`-Aufzählung:

1. erster Punkt
2. zweiter Punkt

Aufzählungen können auch verschachtelt werden. Als Beispiel dient hier eine `enumerate`-Umgebung innerhalb einer `enumerate`-Umgebung:

1. erster Punkt
2. a) erster Unterpunkt im zweiten Punkt  
b) zweiter Unterpunkt im zweiten Punkt  
c) dritter Unterpunkt im zweiten Punkt
3. dritter Punkt

Als nächstes folgt ein Beispiel für eine einfache Tabelle. Wie auch die Bilder müssen die Tabellen stets Unterschrift und Nummer und zwingend einen Verweis im Text haben. In L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X wird das wie bei den Abbildungen durch den `caption`-Befehl und das Befehlspaar `label` und `ref` gelöst (Tabelle 9.1). Für ein modernes Tabellenlayout wird das L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X-booktabs-Paket benutzt (siehe dazu die Kommentare im Quelltext). Die mittlere Spalte ist hier auf feste Breite (6 cm) gesetzt, damit bei viel Text ein automatischer Umbruch erfolgen kann.

Tabelle 9.2 zeigt eine Variante die ein kompakteres und eleganteres Ergebnis liefert, ohne vertikale Striche, dafür mit eingefärbten Zeilen.

---

<sup>1</sup>Und so sieht die Fuxnote dann aus

Erste Bundesliga, Spielzeit 2011/2012			
Platz	Verein	TD	Punkte
1	Borussia Dortmund	+20	29
2	Borussia Mönchengladbach	+14	29
3	FC Bayern München	+26	28
10	Hertha BSC Berlin (Ballspielclub), Verein aus der Hauptstadt	−1	18

**Table 9.1:** Bundesligatabelle vom 14. Spieltag

Erste Bundesliga, Spielzeit 2011/2012			
1	Borussia Dortmund	+20	29
2	Borussia Mönchengladbach	+14	29
3	FC Bayern München	+26	28
10	Hertha BSC Berlin	−1	18

**Table 9.2:** Noch eine Bundesligatabelle vom 14. Spieltag

## 9.2 Unterkapitel mit drei exemplarischen Quellenverweisen

Quellenverweise werden mit Autorennamen und Jahr in runden Klammern gesetzt. Dazu wird hier das `LATEX`-natbib-Paket genutzt; der `citep`-Befehl erzeugt die Quellenangabe auf Basis der Einträge im Literaturverzeichnis. Auf gleiche Weise lassen sich auch mehrere Quellen zusammenfassen

Auf Bücher oder andere umfangreichere Quellen soll mit Seitenangabe verwiesen werden. Dafür stellt der Befehl `citep` einen optionalen Parameter zur Verfügung. Und so sieht dann die vollständige Quellenangabe aus

Die Quellen sollen im Literaturverzeichnis alphabetisch sortiert sein.

### 9.2.1 Unter-Unterkapitel zu Hyperlinks und Internetquellen

Die Beispiele unten im Literaturverzeichnis zeigen exemplarisch, welche Angaben zu den Quellen erforderlich sind (siehe dazu auch die Kommentare im `LATEX`-Quelltext).

Und noch eine `LATEX`-Spezialität zum Schluss: Durch die Einbindung von `url`- und `hyperref`-Paket im header werden die Quellenverweise im PDF-Dokument automatisch mit der jeweiligen Quelle im Literaturverzeichnis verlinkt, und bei Internetquellen werden die URLs anklickbar. Zudem werden die Verzeichnisse (Inhaltsverzeichnis, Abbildungs- und Tabellenverzeichnis) mit den jeweiligen Objekten

## 9 *Ein anderes Kapitel*

verlinkt, und es werden Links zwischen jedem *label* und dazugehörigem *ref* erzeugt, also z.B. zwischen Bildverweis im Text und dem Bild. Die Farben der Links können im header frei eingestellt werden. Im hier vorgeschlagenen Layout sind die URLs und die Quellenverweise Dunkelblau, die anderen Links sind nicht hervorgehoben (Schwarz).

# 10 Ergebnisse

Der thematische Teil schließt mit einer klaren inhaltlichen, auf der Grundidee aufbauenden thematischen Zusammenfassung, insbesondere bezogen auf die in der Arbeit gewonnenen eigenen Erkenntnisse und deren mögliche Auswirkungen auf Forschung und Wissenschaft.

Ganz am Schluss, nach eventuellen Anhängen, nach Abbildungs- und evtl. Tabellenverzeichnis, und nach dem Literaturverzeichnis, folgt die Eigenständigkeitserklärung, die unterschrieben werden muss.

# A Material

## A.1 Fragebogen, Messprotokolle etc.

In den Anhängen landen ggf. Listings, Fragebogen, Datenblätter, Messprotokolle, Skizzen zu Versuchsaufbauten und ähnliches Material zur Arbeit. Im  $\text{\LaTeX}$ -Dokument leitet der Befehl `appendix` die Anhänge ein.

# List of Figures

1.1	Physical layout of the sensor . . . . .	7
8.1	Abnahme einer Trommel mit speziellem Anklemm-Mikrofon . . . . .	15
8.2	Richtcharakteristiken von Kleinmembran-Studiomikrofonen . . . . .	16

# List of Tables

9.1	Bundesligatabelle vom 14. Spieltag . . . . .	18
9.2	Noch eine Bundesligatabelle vom 14. Spieltag . . . . .	18

# Bibliography

- Neuralink. The first fully-implanted 1000+ channel brain-machine interface, 2021. URL <https://neuralink.com/blog/>.
- J. J. Vidal. Toward direct brain-computer communication. *Annual review of bio-physics and bioengineering*, 2:157–180, 1973. ISSN 0084-6589. doi: 10.1146/annurev.bb.02.060173.001105.
- H. Berger. *Über das elektroenkephalogramm des menschen*. Archiv für psychiatrie und nervenkrankheiten, 1929. URL [https://pure.mpg.de/rest/items/item\\_2281721/component/file\\_2281720/content](https://pure.mpg.de/rest/items/item_2281721/component/file_2281720/content).
- Sarah N. Abdulkader, Ayman Atia, and Mostafa-Sami M. Mostafa. Brain computer interfacing: Applications and challenges. *Egyptian Informatics Journal*, 16(2): 213–230, 2015. ISSN 11108665. doi: 10.1016/j.eij.2015.06.002.
- R. Jardim-Gonçalves, editor. *9th International Conference on Intelligent Systems 2018 (IS'18): "Theory, research and innovation in applications" : conference proceedings*, [Piscataway, New Jersey], 2018. IEEE. ISBN 978-1-5386-7097-2.
- Stephan Waldert. Invasive vs. non-invasive neuronal signals for brain-machine interfaces: Will one prevail? *Frontiers in neuroscience*, 10:295, 2016. ISSN 1662-4548. doi: 10.3389/fnins.2016.00295.
- Samuel Sokol. Visually evoked potentials: Theory, techniques and clinical applications. *Survey of Ophthalmology*, 21(1):18–44, 1976. ISSN 00396257. doi: 10.1016/0039-6257(76)90046-1.
- NextMind. Technology | nextmind, 23/11/2020. URL <https://www.next-mind.com/technology/>.
- NextMind. Struct trackingresults, 18/11/2020. URL <https://www.next-mind.com/documentation/unity-sdk/api-reference/api/NextMind.NeuroTags.TrackingResults.html>.



I hereby confirm that this thesis is my own work and that I have not sought or used inadmissible help of third parties to produce this work and that I have clearly referenced all sources used in this thesis. I have fully referenced and used inverted commas for all text directly or indirectly quoted from a source.

Place and date

Julius Neudecker