

# Sensorische Substitution

Ein Gerät zur Erkennung von Hindernissen für blinde Menschen



Anna Bartl

Betreut von Adriana Mikolaskova Nautsch

Maturitätsarbeit

MNG Rämibühl 04.01.2020



## Abstract

Im Rahmen meiner Maturitätsarbeit habe ich ein Gerät gebaut, welches sehbehinderten Menschen bei der Orientierung in einem Raum helfen sollte. Das Ziel dabei war, dass sich der Träger sicher fühlt und sich schnell an den Input gewöhnen kann. Um dies zu realisieren, habe ich das Device auf Basis der Arduino Hard- und Software gebaut und an Versuchspersonen getestet.

In den Versuchen bin ich der Fragestellung nachgegangen, wie der Träger auf den Input des Devices reagiert, ob man sich an den Input gewöhnen kann und ob ein solches Gerät im Alltag einsetzbar ist.

Obwohl ich im Rahmen der Maturitätsarbeit nur einen Prototyp anfertigen konnte, hat sich in den Versuchen gezeigt, wie schnell man auf die Inputs anspricht und im Gebrauch sicherer wird. Mit weiteren möglichen Verbesserungen hätte mein Device das Potenzial, im Alltag eingesetzt zu werden.



# Inhaltsverzeichnis

Abstract .....	3
1 Einleitung .....	7
1.1 Zielsetzung .....	7
1.2 Motivation .....	7
2 Theorie .....	8
2.1 Blindheit in der Schweiz und weltweit .....	8
2.2 Sensorische Substitution .....	8
3 Device .....	11
3.1 Aufbau .....	11
3.2 Funktionalität .....	13
3.2.1 Einschränkungen .....	13
3.2.2 Steuerung und Gebrauch .....	14
3.2.3 Vor- und Nachteile gegenüber anderen Hilfsmitteln .....	15
4 Ergebnisse .....	17
4.1 Arbeitsprozess .....	17
4.1.1 Programmieren .....	17
4.1.2 Umgang mit Fehlern .....	18
4.1.3 Bauen .....	19
4.1.4 Versuche .....	21
4.2 Versuche und Auswertung .....	23
5 Reflexion und Erfüllung der Zielsetzung .....	30
6 Literaturverzeichnis .....	32
7 Anhang .....	33
8 Eigenständigkeitserklärung .....	36



# 1 Einleitung

## 1.1 Zielsetzung

Für meine Maturitätsarbeit habe ich mir vorgenommen, ein Device zu bauen, das sehbehinderten Menschen helfen soll, sich in einem Raum zu bewegen. Das Ziel dabei war, dass sich die Person sicherer fühlt. Des Weiteren stellte ich die Anforderung an das Device, dass der Träger sich einfach an den äusseren Input gewöhnen kann. Die Orientierung in Raum funktioniert mittels Sensoren, die an einem Kleidungsstück der Person befestigt und mit Vibrationsmotoren verbunden sind. Das Device ist also ein Wearable. Die Motoren geben dem Träger mittels verschiedener Vibrationsmuster das Feedback, wie weit Hindernisse von ihm entfernt sind.

Die Funktionalität des Devices möchte ich in einigen Versuchen testen. Zum Beispiel sollte der Träger durch einen einfachen Parcours navigieren, ohne etwas zu sehen. Er sollte allein durch das Feedback der Motoren den Weg finden.

## 1.2 Motivation

Elektronische Geräte und Roboter haben mich schon mein ganzes Leben lang fasziniert. Bereits als ich klein war, wollte ich wissen, wie sie funktionieren. Ich kann mich erinnern, wie ich das erste Mal einen Staubsaugroboter gesehen habe und mich als erstes fragte, wie er es schafft, nicht in Wände reinzufahren. Diese Faszination hat mich bis heute begleitet und Erfahrungen wie der Besuch des Robotik-Freifachs haben sie vertieft. Darum war mir sofort klar, dass ich für meine Maturitätsarbeit etwas im Bereich der Robotik machen wollte.

Die Idee der Orientierungshilfe kam mir, als uns im Firmkurs eine sehbehinderte Person besuchte und von ihren Erfahrungen erzählte. Sie meinte, dass für sie der schlimmste Teil der Sehbehinderung sei, extrem von anderen abhängig zu sein. Das brachte mich ins Grübeln und mir fiel auf, dass es tatsächlich nur sehr wenige Hilfsmittel zur Orientierung für sehbehinderte Menschen gibt. Danach habe ich über den Einsatz technischer Hilfsmittel bei Behinderungen recherchiert und bin auf das Konzept von sensorischer Substitution und die Arbeit von David Eagleman gestossen. Dieser hat eine Weste für hörgeschädigte Menschen gebaut, die Geräusche in Vibrationen umwandelt. Mich hat dieses Konzept sehr angesprochen, also wollte ich etwas Vergleichbares für Sehbehinderte machen.

Im Allgemeinen ist die sensorische Substitution die Übermittlung sensorischer Informationen mittels technischer Hilfe an eine andere als der üblichen Sinnesmodalität. Damit ermöglicht sie, den Wegfall eines Sinnes technisch zu kompensieren. Dies hat viel mit Neurobiologie zu tun, da der Verlust einer Sinnesmodalität und der Input durch ein Substitutionsgerät viel im Hirn verändert. Da mich das menschliche Gehirn im Allgemeinen fasziniert und ich besonders die Flexibilität unseres Hirns eindrücklich finde, hat mich dies in der Wahl meines Themas nur noch umso mehr bestärkt.

## 2 Theorie

### 2.1 Blindheit in der Schweiz und weltweit

In der Schweiz gibt es nach einer Studie des SZB, des Schweizer Zentralverein für das Blindenwesen, rund 325'000 Personen mit einer Sehbehinderung. Davon sind schätzungsweise 10'000 blind. Blind bedeutet hier, dass kein Sehvermögen vorhanden ist. Bei diesen Daten gibt es aber gewisse Unsicherheiten. Dies kommt daher, dass es aus rechtlichen und praktischen Gründen statistisch nicht erfasst wird, wie viele blinde Personen in der Schweiz genau leben. Diese Unsicherheiten sind aber auch auf aber auch auf die verschiedenen Definitionen von Blindheit zurückzuführen. Die Zahl wird daher aus verschiedenen Quellen, wie zum Beispiel der Anzahl der bezogenen Invalidenversicherungen, berechnet. (vgl. SZB Zürich, 2012)

Sehbehinderungen kommen vor allem durch Alterserscheinungen, werden aber auch oft durch Erkrankungen und Unfälle verursacht. Während bei Personen im Alter von zwanzig bis dreissig nur zwei Prozent medizinisch nicht mehr ausgleichbare Sehprobleme aufweisen, sind es in der Altersgruppe zwischen siebzig und achtzig über zehn Prozent. Danach nimmt die Häufigkeit von Sehschädigungen aufgrund des Alterungsprozesses rapide zu. Zusätzlich treten häufiger Erkrankungen der Sinnesorgane auf. So liegt der Prozentsatz bei über Achtzigjährigen schon bei 60 Prozent. (vgl. SZB Zürich, 2012)

Die häufigsten Ursachen für eine Sehbehinderung sind die Makulopathie mit 50% (Erkrankung, die den hinteren Bereich des Auges (Makula) angreift (vgl. Hospital Universitari Dexeus, 2020)), das Glaukom mit 18% (Sammelbegriff für Erkrankungen, bei denen es zur Schädigung des Sehnervs kommt (vgl. Luzerner Kantonsspital, 2020)), und der Diabetes mit 17%. Andere Gründe wären der graue Star oder die Hornhauttrübung. In Entwicklungsländern kommt noch der Vitamin-A-Mangel als bedeutender Faktor dazu. (vgl. SZB Zürich, 2012)

Wie man sieht, ist die Sehbehinderung ein bedeutendes Problem. Viele Menschen sind weltweit davon betroffen und ihre Lebensqualität wird dadurch eingeschränkt. Daher ist es erstaunlich, wie wenig Hilfestellungen ausserhalb des Blindenstocks üblicherweise verwendet werden. Dies liegt nicht nur am Angebot, sondern auch daran, dass technische Hilfsmittel auf diesem Gebiet schnell sehr teuer werden. Mein Device könnte eine bezahlbare Alternative darstellen, die dem Träger extra Sicherheit und Lebensqualität bietet.

### 2.2 Sensorische Substitution

Die sensorische Substitution beschreibt die Überführung der Charakteristiken einer sensorischen Modalität in eine andere. Bei Blindheit bedeutet das, dass man die visuellen Informationen durch andere ersetzt. Ein Sensory Substitution Device (SSD) ist also ein Weg, wie visuelle Informationen durch eine Kamera oder andere externe Geräte für den blinden

Menschen mittels einem Mensch-Maschine-Interface hörbar oder fühlbar gemacht werden können. Wichtig dabei ist, dass es eine nichtinvasive Form der Rehabilitation ist. Das bedeutet, dass kein medizinischer Eingriff in den Körper notwendig ist. (vgl. Striem-Amit et al., 2012) Dabei wird die Plastizität des Hirns genutzt.

Die Plastizität des Hirns, genauer Neuroplastizität, beschreibt die lebenslange Fähigkeit des Hirns, seine Verbindungen zu verändern oder neue zu verknüpfen. Dies passiert in der Regel durch Stimuli des Lernens und Erlebens. Ohne diese Fähigkeit wäre es uns nicht möglich, uns weiter zu entwickeln, oder dem Hirn, sich nach Schäden wieder zu heilen. (vgl. Banks, 2016) Diese Plastizität kann auch in Gehirnen von zweisprachigen Personen gesehen werden (vgl. Mechelli et al., 2004). Nach einer Studie verändert sich der Aufbau des Hirns beim Erlernen einer zweiten Sprache. Der linke untere parietale Kortex bei Personen, die zwei Sprachen sprechen, ist grösser als bei jenen, die nur eine Sprache sprechen. Jedoch fällt es einem nicht immer gleich leicht, eine neue Sprache zu lernen. Kinder können neue Sprachen viel schneller lernen als Erwachsene. Dies liegt daran, dass die Neuroplastizität nicht das ganze Leben lang konstant bleibt. Je älter man wird, desto weniger verändert sich das Hirn, es hört aber niemals damit auf. Die grösste Plastizität besteht bei Kleinkindern, nach der Pubertät nimmt sie stark ab. (vgl. Bubic et al., 2010)

Auch nach der Erblindung und bei blind Geborenen verändert sich das Hirn stark. Da dem Blinden weniger Sinnesmodalitäten zur Verfügung stehen, muss er die fehlenden Informationen anderswo kompensieren. Dies kann man daran erkennen, dass blinde Personen ein besseres Erinnerungsvermögen und einen besseren Tast-, Hör- und Geruchssinn haben. Dies wird möglich, da eine atypische Organisation des Occipitallappen, des Sehzentrums des Hirns, vorliegt. In verschiedenen Studien wurde erwiesen, dass dieser bei Blinden auch bei anderen nichtvisuellen Funktionen aktiv ist, wie zum Beispiel beim Lesen der Blindenschrift. Es finden also plastische Veränderungen im Hirn statt. Wichtig ist, dass die Art der neu im Occipitallappen verarbeiteten Signale ähnlich ist wie die früheren visuellen. (vgl. Bubic et al., 2010)

Jedoch beeinflusst der Zeitpunkt der Erblindung die Art und Reichweite der Veränderung im Hirn und damit auch das Potenzial zur Rehabilitation. Die Hirnfunktionen von Personen, die blind geboren wurden, können nicht mit jenen verglichen werden, die erst später im Leben erblindet sind. Bei der Geburt ist das Hirn noch zu grossen Teilen ein unentwickeltes System. Dies erlaubt, dass der visuelle Kortex bei blind Geborenen flexibler in andere Netzwerke integriert werden kann. Dieser bessere Einbau kann daran erkannt werden, dass blind Geborene später im Leben bei nichtvisuellen Aufgaben bessere Ergebnisse liefern als später Erblindete. Sie haben aber den Nachteil, dass ihnen der Lernprozess stark erschwert ist, da sie keine visuellen Hilfestellungen zum Lernen nutzen können. Bei später Erblindeten ist die Veränderung weniger stark, da das Hirn schon von visuellem Input geformt wurde. Das Potenzial und Ausmass der Veränderung nimmt zudem mit dem Alter ab. (vgl. Bubic et al., 2010)

Diese Plastizität im Hirn machen sich die SSDs (Sensory Substitution Devices) zunutze. Denn das Device ersetzt den verlorenen durch einen noch vorhandenen Sinn. Dadurch werden Veränderungen im Hirn ausgelöst, die dafür sorgen, dass der künstliche Sinn richtig interpretiert werden kann. In einer Studie aus dem Jahr 2009 haben Testpersonen sogar behauptet, eine synästhetische visuelle Wahrnehmung zu erleben, während sie das Gerät trugen. Sie hatten also den Eindruck, tatsächlich sehen zu können. Die Synästhesie ist eine Art Kognition, bei welcher eine sensorische eine andere, untypische Stimulation aufruft. Zum Beispiel assoziiert eine synästhetische Person Zahlen oder Buchstaben mit Farben. Da diese Wahrnehmungen auf aussergewöhnliche Verbindungen verschiedener Hirnareale beruhen, lässt sich schliessen, dass auch das SSD ähnliche Verknüpfungen auslöst. (vgl. Striem-Amit et al., 2012)

Eines der bekanntesten Beispiele der sensorischen Substitution ist die Blindenschrift, die visuelle Informationen durch den Tastsinn ersetzt. Bei der Substitution des Sehsinns werden in der Regel fühlbare Applikationen häufiger eingesetzt als hörbare, da sie im Gebrauch intuitiver sind. So auch eines der ersten Vision Substitutionssysteme, welches in den 1970ern von Paul Bach-y-Rita entwickelt wurde. Sein Gerät bestand aus einem alten Zahnarztstuhl, in dessen Rückenlehne ein Feld von zwanzig Mal zwanzig vibrierenden Motoren gesetzt wurde. Diese Motoren sind mit einer Kamera verbunden, die die Person selbst steuern kann, um Objekte und Personen im Raum zu finden und zu erkennen. Das Ziel war, dass die blinde Person, die im Stuhl sitzt, verschiedene Objekte (z.B. ein Telefon) erkennen kann. Dies war den Testpersonen nach mehreren Stunden Training auch mit fast hundertprozentiger Treffsicherheit möglich. Zudem ist die Zeit, welche zur Erkennung gebraucht wurde, mit der Übung signifikant gesunken. Das Training war so aufgebaut, dass die zu erkennenden Objekte mit der Zeit immer komplizierter wurden. Die Person hat zuerst gelernt verschiedene Linien, dann geometrische Formen wie einen Kreis oder einen Würfel zu erkennen, bevor sie zu komplizierteren Formen übergegangen ist. (vgl. Bach-Y-Rita et al., 1969)

## 3 Device

### 3.1 Aufbau

#### Technische Aspekte:

Um nicht jede Woche wieder neues Material bestellen zu müssen, musste ich mir erstmal einen Plan machen, was ich alles für mein Device brauchen würde, und wo ich es herbekommen könnte. Der wohl wichtigste Bestandteil eines Roboters ist die Hardware. Dabei entschied ich mich für ein Arduino Uno Board. Dies liegt vor allem daran, dass ich im Robotik Freifach schon Erfahrungen mit dem Arduino sammeln konnte und mir das Konzept und vor allem auch die Sprache nicht völlig neu waren. Der Arduino kann elektronische Signale empfangen, diese gemäss Programm verarbeiten und wiederum eigene Signale ausgeben.

Ein Kontroller allein reichte für das Device aber nicht. Da ich eine Orientierungshilfe für Blinde gemacht habe, brauchte ich noch «Augen» und einen Feedback Mechanismus. Bei den «Augen» entschied ich mich für einfache Ultraschallsensoren, da diese preiswert sind und einen relativ grossen Messbereich haben. Als Feedbackmechanismus habe ich Vibramotoren verwendet. Diese sind klein und können gut an Kleidungsstücken fixiert werden. Eine Alternative wäre ein auditives Feedbacksystem gewesen. Ich entschied mich aber dagegen, weil ich wollte, dass das Device unauffällig ist und nicht einen weiteren Störfaktor bildet.

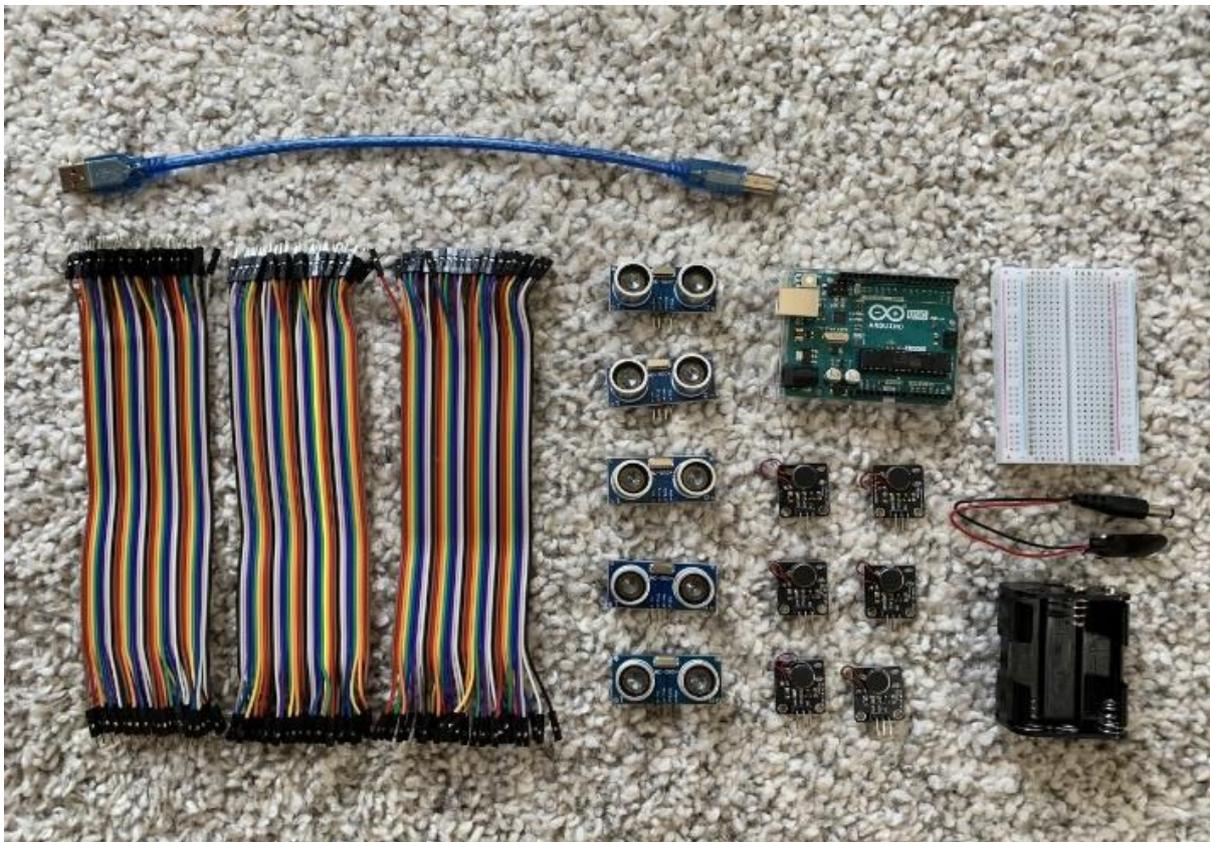


Abbildung 1 Arbeitsmaterial zum Bau des Devices

## Praktisch-ergonomische Aspekte:

Der nächste Schritt war, das Device tragbar zu machen. Um dies zu realisieren, gab es viele Möglichkeiten. Der allererste Prototyp, den ich mir vorstellte, war ein Stirnband, an welchem die Sensoren rund um den Kopf befestigt sind (Prototyp 1 in Abbildung 2). Obwohl so zwar der wichtigste Teil des Körpers geschützt und keine Störfaktoren im Weg gewesen wären, verwarf ich die Idee. Dies liegt hauptsächlich an praktischen Gründen. Das Verstauen der Technik ist sehr schwierig und ist zusätzlich unangenehm für den Träger. Deswegen stieg ich auf den Oberkörper um. Neben dem Oberteil hatte ich auch noch die Idee, einen Gürtel zu machen (Prototyp 2 in Abbildung 2), davon kam ich jedoch davon ab, weil ich die Arme als zu grossen Störfaktor einstufte. Also entschied ich mich für die Version des Oberteils. Um möglichst flexibel zu bleiben, beschloss ich, die Sensoren und Motoren mit Magneten zu versehen und so am Körper anzubringen. So kann man sich die Teile ganz einfach ans Oberteil anklippen, ohne sich Sorgen machen zu müssen, ob sie am richtigen Ort platziert wurden. Ausserdem ist die Variante mit dem Magnetsystem angenehmer für den Benutzer, da er sein eigenes Oberteil benutzen kann, das Device sehr leicht bleibt und nicht so bollig wie beispielsweise eine Plastikhalterung ist. Dafür hat es Nachteile im Gebiet der Stabilität. Das Magnetsystem erwies sich aber als praktisch, da sich meine Vorstellung des genauen Aufbaus und der Platzierung der Sensoren mehrmals veränderten. Dank der Magnete musste ich nicht immer wieder neu anfangen, sondern konnte sie einfach wieder wegnehmen und an einem anderen Ort fixieren.

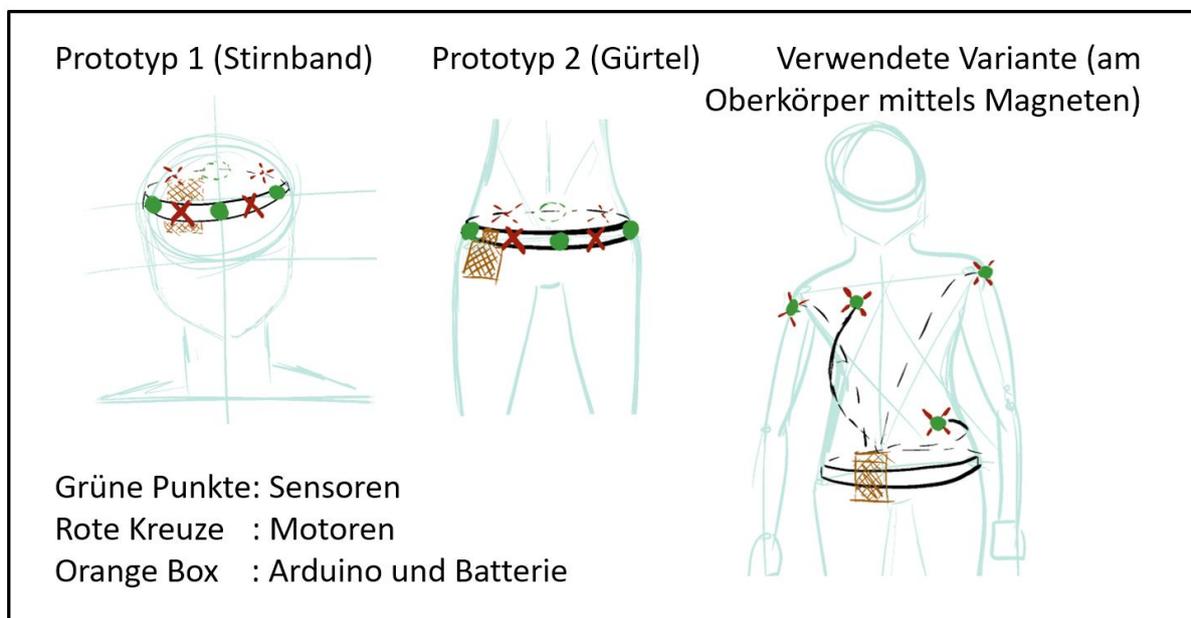


Abbildung 2 Verschiedenen Versionen von Prototypen

## 3.2 Funktionalität

### 3.2.1 Einschränkungen

Bei der Funktionalität geht es im ersten Schritt darum, einzugrenzen, in welchem Umfeld und unter welchen Bedingungen das Device eingesetzt werden kann und unter welchen Bedingungen es nichts nützt.

Die erste Einschränkung erfolgt aufgrund der technischen Gegebenheiten der Materialien. Die Ultraschallsensoren decken einen Bereich von fünf Metern ab und ihre Reaktionszeit ist nicht die schnellste. Aufgrund dessen ist das Device nur dann einsetzbar, wenn die gegebenen Bedingungen mehr oder weniger konstant sind. Beispielsweise auf der Bahnhofsstrasse, wenn sich sein Umfeld alle paar Sekunden ändert, wären die Messungen nicht hilfreich. Die Vibrationen wären verwirrend und würden somit die Orientierung des Trägers stören.

Auch haben die Sensoren einen Öffnungswinkel von ca. 15 Grad (vgl. Technik Blog, 2020). Das heisst, um 360 Grad abzudecken, bräuchte man 24 Sensoren. Da ich in meinem Projekt aber nur 4 Sensoren verwende, entstanden einige tote Winkel. Deshalb entschied ich mich, den Bereich auf dem Rücken zu vernachlässigen. Dies funktionierte gut, da das Device eher für den Gebrauch im Haus gedacht ist und dort wenig unerwartet von hinten auf einen zu kommt. Wichtiger ist es, zu wissen, ob man gleich in eine Wand reinlaufen wird.

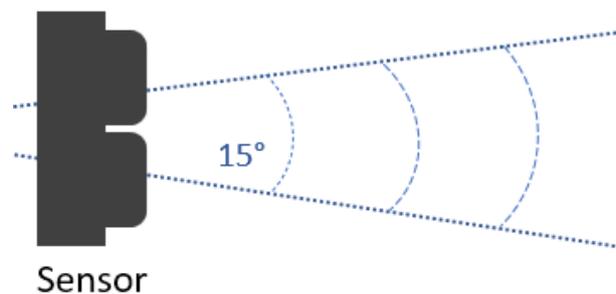


Abbildung 3 Schema der Funktionsweise des Ultraschallsensors

Die zweite Einschränkung basiert auf dem Aufbau des Wearables. Da die Sensoren an einem Oberteil befestigt werden, decken sie nur den Oberkörper ab. Objekte unterhalb der Hüfthöhe bleiben also unbekannt. Dies bedeutet, dass man sich zum Beispiel beim Treppensteigen nicht allein auf das Device verlassen kann, sondern andere Hilfestellungen braucht. Da die Sensoren durch ein Magnetsystem einfach am Oberteil befestigt werden können, kann man aber selbst entscheiden, aus welcher Richtung einem eine zusätzliche Hilfe am wichtigsten ist. Ausserdem wäre es auch denkbar, weitere Sensoren hinzuzufügen, um einen grösseren Bereich abzudecken.

Das Device ist also am nützlichsten, wenn man sich in Häusern auf einer Etage bewegt.

### 3.2.2 Steuerung und Gebrauch

Eine meiner Hauptanforderungen an das Device war, dass es einfach zu gebrauchen ist. Bevor man das Device aber benutzen kann, muss man es erstmal anziehen. Dies ist vermutlich der komplizierteste Teil. Das liegt daran, dass das Device aufgrund des Magnetmechanismus nicht in einer Form ist, dass man es einfach überschlüpfen kann und bereit ist loszulaufen. Es müssen erst alle Sensoren einzeln platziert werden. Dies ist praktisch für die Versuche, eine blinde Person könnte das Device jedoch nur schwierig selbst anziehen. Um dies zu vereinfachen, könnten die Bestandteile zum Beispiel in eine Veste eingenäht werden. Nach dem Anziehen muss man dem Arduino aber nur noch Strom geben und er ist einsatzbereit, denn die Steuerung des Devices erfolgt über ein Programm, welches schon auf den Arduino installiert ist.



Abbildung 5 Befestigung des Sensors und Motors durch Magnete

Wie schon erwähnt erfolgt die Fixierung der Sensoren und Motoren über Magnete. Dadurch kann man die Teile einfach selbst nach Wunsch platzieren. Da das Device aber sehr viele Kabel hat, kann es ein bisschen verwirrend sein, bis alles dort ist, wo es hingehört. Dies habe ich versucht dadurch zu lösen, dass alle Kabel, die an den gleichen Ort müssen, in einem Bündel zusammengefasst

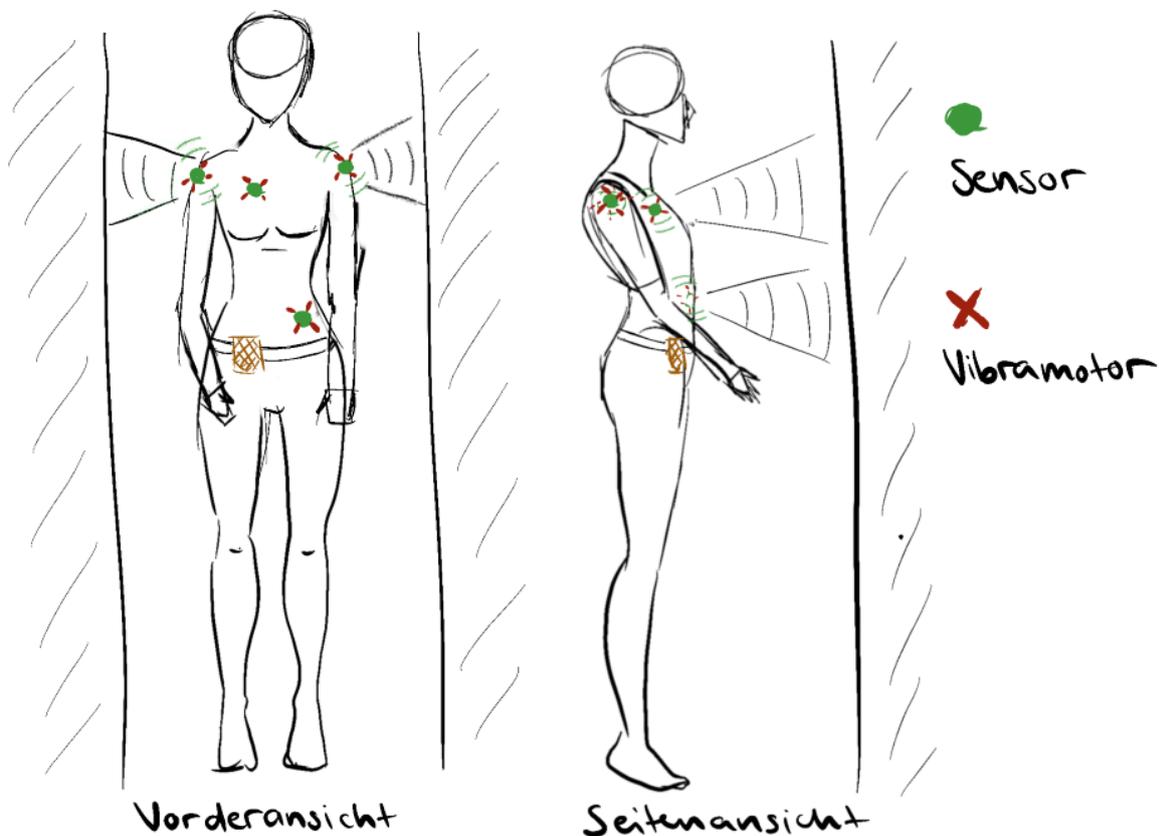


Abbildung 4 Schema der Funktionsweise beim Tragen des Device

sind und dem gleichen Farbschema entsprechen. Zusätzlich könnte man an den Kabelgruppen eine Art Klipps fixieren, welche man an sein Oberteil befestigen kann, damit die Kabel sich nicht bewegen können. Dies habe ich in meiner Arbeit aber nicht getan, da die Testpersonen das Device immer nur für kurze Zeit trugen. Deswegen war es mir wichtiger, dass nicht noch mehr Zeit beim Anziehen verloren geht. Dafür habe ich in Kauf genommen, dass die Kabel weniger gut fixiert sind und sich bewegen können. Bei den Versuchen hat dies aber nie zu einem Problem geführt.

Wenn man das Device dann trägt, spürt man die Hindernisse, wie beispielsweise eine Wand, durch die verschiedenen Vibrationen. Wie dies genau aussieht, kann man in Abbildung 4 sehen.

### 3.2.3 Vor- und Nachteile gegenüber anderen Hilfsmitteln

Als erstes möchte ich erwähnen, dass das Device nicht dazu konzipiert ist, als einzige Orientierungshilfe verwendet zu werden, sondern mit einem Blindenstock zusammen verwendet werden sollte. Es ist für den Gebrauch in Häusern auf einzelnen Etagen gedacht, um dem Träger mehr Sicherheit zu bieten.

Wenn man auf der Strasse unterwegs ist, hat ein herkömmlicher Blindenstock die Oberhand, aber sobald man sich im für das Gerät optimalen Umfeld befindet, hat das Device Vorteile gegenüber anderen Hilfsmitteln. Mit dem optimalen Umfeld meine ich hier zum Beispiel, einen Raum in einem Gebäude. Der wohl bedeutendste Vorteil des Devices gegenüber dem Blindenstock ist, dass man die Hände frei hat. Während der Blindenstock einem eine sehr sichere Informationsquelle liefert, da man ein Hindernis direkt spürt und es nicht erst verarbeitet werden muss, behindert er aber auch die Hilfestellung und den Gebrauch der Hände. Dadurch, dass man ihn immer in der Hand halten muss, wird das Agieren in einem Raum erschwert. Bei meinem Device und vielen anderen elektronischen Orientierungshilfen hat man diese Schwierigkeiten nicht. Des Weiteren ist das Device auch viel unauffälliger als ein Blindenstock. Durch die Magnete kann das Device jetzt schon bei jedem Kleidungsstück integriert werden und mit weiteren kleinen Änderungen des Designs und einer kleinen Tragtasche für die Hardware könnte es sogar noch unauffälliger werden. Es gibt auch keine störenden Geräusche von sich, wie es elektronische Hilfsmittel mit einem auditiven Feedback-Mechanismus machen würden. Der einzige wirkliche Nachteil ist die Einschränkung, wo das Device getragen werden kann. Aufgrund von technischen Gegebenheiten ist der Gebrauch nicht so flexibel wie man sich das vielleicht wünschen würde. Dies liegt aber bei meinem Device vor allem an den verwendeten Motoren und daran, dass ich im Rahmen der Maturitätsarbeit nur einen Prototyp machen konnte. Bei einer verbesserten Form der Devices würden viele dieser Einschränkungen wegfallen. Bereits durch kleine Verbesserungen und Ergänzungen der Hardware könnte die Reaktionszeit viel schneller werden und man könnte weitere Sensoren hinzufügen, um den abgedeckten Bereich zu vergrößern.

Dann könnte man das Device immer zusätzlich zum Blindenstock als Hilfestellung tragen und in sichereren Umgebungen den Blindenstock zur Seite legen und nur das Device verwenden. Selbst bei einem perfekten Device hätte der Blindenstock immer noch den Vorteil, dass das Feedback direkt an die Person weitergegeben wird und man auch kleinere Erhöhungen oder Abgründe besser erkennen kann. Der wohl bedeutendste Faktor ist jedoch das Vertrauen, das die Person in das Hilfsmittel setzt. Dazu habe ich einige Personen befragt und bin selbst auch der Meinung, dass ich einem technischen Hilfsmittel niemals gleich vertrauen würde wie einem Blindenstock. Dies liegt daran, dass der Blindenstock direktes Feedback liefert und man sich deshalb immer sicher sein kann, dass er noch richtig funktioniert. Sollte beim technischen Device etwas kaputt gehen, merkt man dies vielleicht nicht so schnell.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Arbeitsprozess

#### 4.1.1 Programmieren

Im Arbeitsprozess ging es in einem ersten Schritt darum, sich in die Programmiersprache von Arduino einzulesen und ein paar Erfahrungen zu sammeln. Dies tat ich, indem ich bereits bestehende Projekte auf der Arduino-Webseite anschaute, um mir ein Bild vom Aufbau der Sprache machen zu können. Sobald ich mich in der Umgebung und mit den Materialien vertraut gefühlt habe, konnte ich anfangen mein Device zu programmieren. Am Anfang ging das Ganze noch etwas holprig und ich musste meine Programme öfters anpassen. Mit der Zeit ist meine Fehlerrate aber immer weiter gesunken.

Meine ersten Programmierversuche fingen simpel mit einem einzelnen Sensor an. Später habe ich dann nach und nach immer wieder einen weiteren Motor oder Sensor hinzugefügt und das Programm den neuen Bedingungen angepasst. Mit meinem finalen Programm konnte ich dann auch meine Übungsversuche aufbauen.

Am Ende war mein Programm dann aufgebaut, wie in der Abbildung dargestellt.

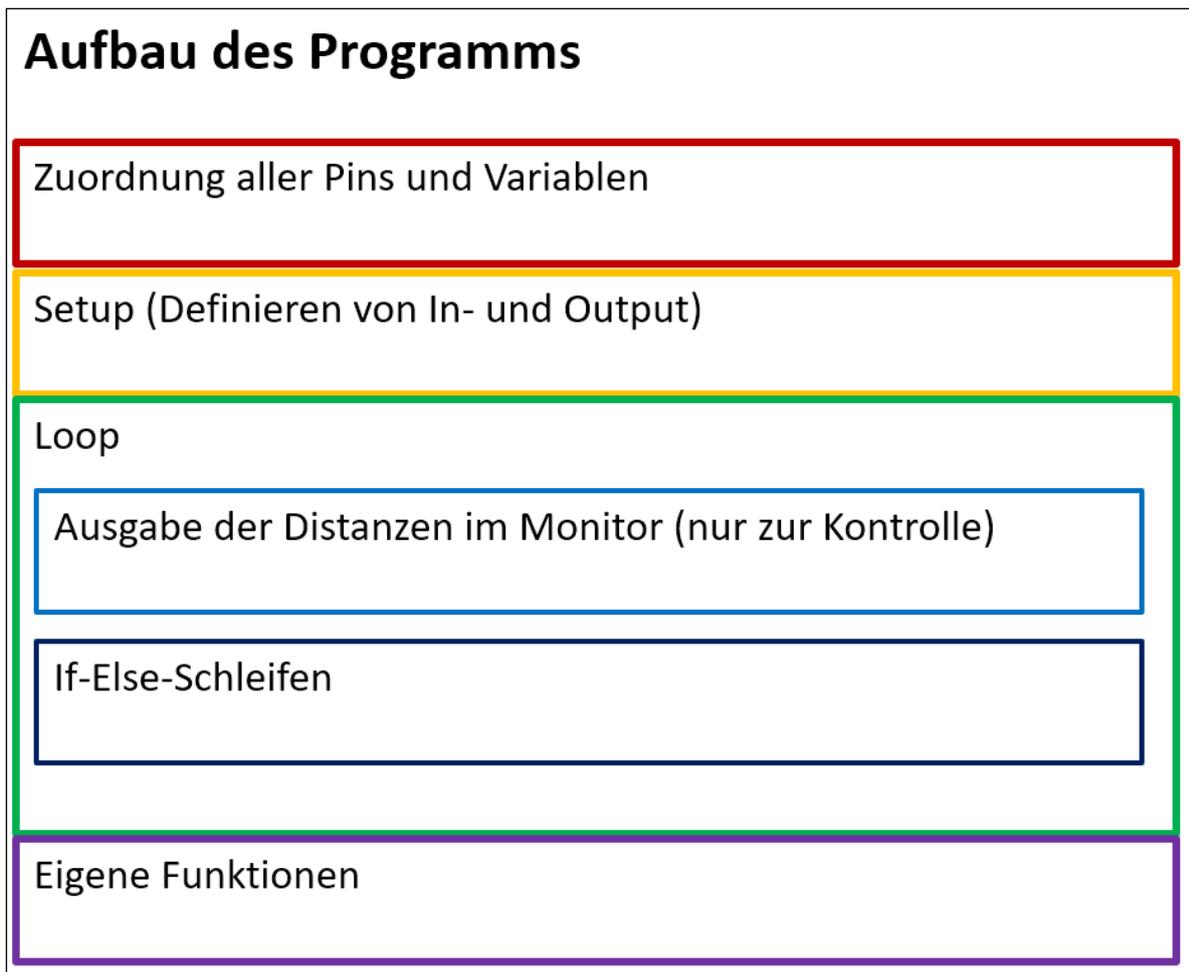


Abbildung 6 Aufbau des Programms

## 4.1.2 Umgang mit Fehlern

### Vorgehensweise:

Trotz meiner immer sichereren Kenntnisse der Programmiersprache kam es immer wieder zu Fehlern. Um diese zu finden und im Anschluss beheben zu können, musste ich mir eine Strategie zurechtlegen. Mit der Zeit habe ich gemerkt, dass eine Art Checkliste am besten funktioniert.

Der erste Schritt der Fehlersuche war immer zu schauen, ob das Arduino-Bord selbst noch funktioniert. Um dies zu testen, habe ich ein Blink-Programm benutzt. Dieses aktiviert nur das im Arduino eingebaute LED-Lämpchen, somit kann man damit ganz einfach feststellen, ob das Board selbst die Fehlerquelle war. Dies war praktisch, da ich manchmal auch zwischen verschiedenen Boards gewechselt habe. Wenn das Blink-Programm gut funktioniert hat, konnte ich weiter gehen und habe die restlichen Einzelteile auf ihre Funktionstüchtigkeit getestet. Dies habe ich wieder mit verschiedenen einfachen Programmen gemacht. Für die Motoren war dies eines, welches sie ein paarmal vibrieren lässt und für die Sensoren habe ich mir die gemessenen Distanzen auf dem Monitor ausgeben lassen. So hat sich zum Beispiel herausgestellt, dass einer der gelieferten Vibratormotoren defekt war. Zum Glück hatte ich von den Motoren und Sensoren jeweils noch ein Ersatzteil bestellt. Der letzte Teil der Hardware ist die Verkabelung der Einzelteile. Dabei geht es einfach darum, jedes Kabel zu verfolgen und schauen, ob der Pin im Programm richtig eingegeben wurde. Wenn das alles richtig war und

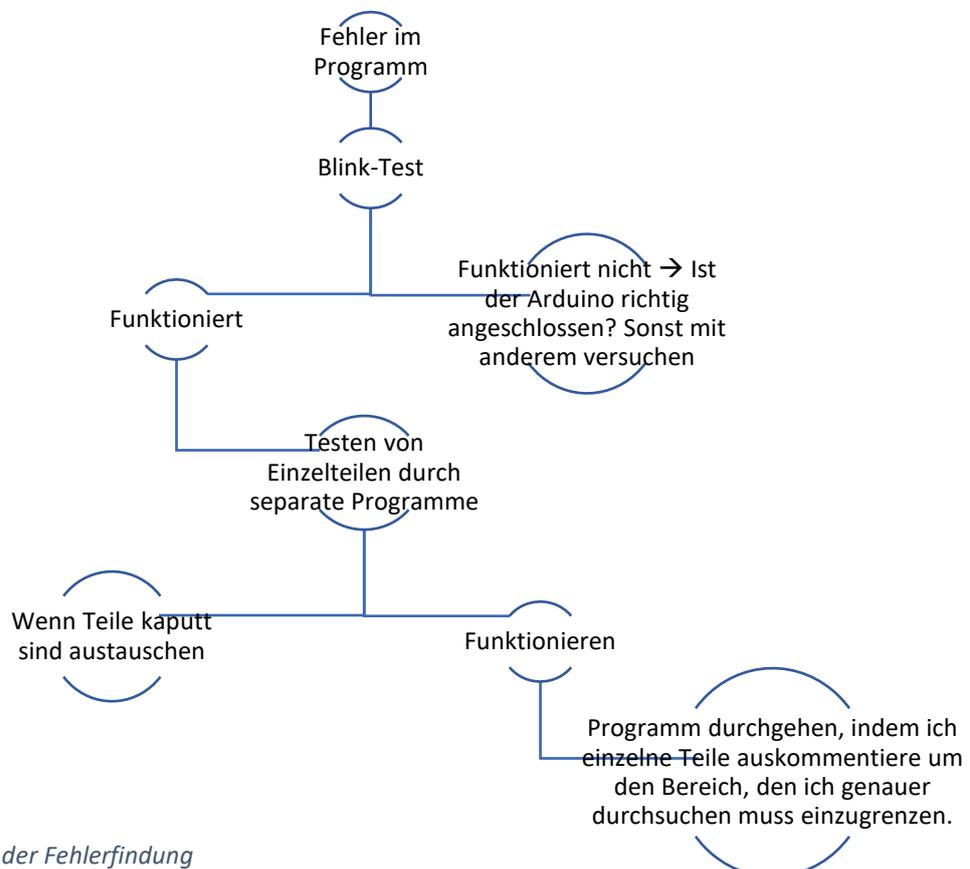


Abbildung 7 Schritte der Fehlerfindung

das Programm immer noch nicht funktioniert hat, musste ich anfangen, im Programm selbst nach Fehlern zu suchen. Hier hat es für mich am besten funktioniert, einzelne Teile auszukommentieren. Also so zu markieren, dass das Programm sie nicht sieht. So strich ich immer wieder einzelne Teile heraus, bis das Programm wieder funktionierte. Dadurch wusste ich, wo sich der Fehler versteckte und welche Teile ich nicht nochmals bis ins kleinste Detail überprüfen musste.

### Fehlerquellen:

Jetzt galt es nur noch, den Fehler im Programm zu finden. Dazu habe ich mir auch wieder eine Liste mit häufigen Fehlern erstellt, damit ich einen nach dem anderen überprüfen konnte. Mein häufigster Fehler war wohl die Benennung der Variablen. Dies scheint jetzt trivial, aber wenn man eine Variable oft braucht und mehrere hat, die ähnlich heißen, passiert es schnell mal, dass man IN\_PIN2 statt IN\_PIN3 geschrieben hat. Nur schon durch diesen kleinen Fehler funktioniert der Abschnitt nicht mehr. Also war meine erste Aufgabe immer, einmal alle Namen der Variablen durchzugehen und zu schauen, ob sie stimmen. Meistens hat das Programm danach wieder funktioniert, wenn es dies dann aber immer noch nicht so war, habe ich angefangen, die nicht funktionierenden Teile mit den funktionierenden zu vergleichen. Das bedeutet, dass ich danach Ausschau gehalten habe, ob ich eine Zeile vergessen hatte, eine Funktion verwechselt oder falsche Bedingungen formuliert hatte.

## 4.1.3 Bauen

### Ordnung:

Neben dem Programmieren war ein weiterer wichtiger Teil, das Device zu bauen. Auch hier habe ich wie beim Programmieren mit wenigen Teilen angefangen und erweiterte das Device zusammen mit dem Programm immer mehr. Am Anfang hatte ich noch ein bisschen Mühe, die ganzen Teile richtig mit dem Arduino zu verbinden, aber sobald ich das Konzept richtig verstanden hatte, ging es gut. Am Ende hatte sich die Anzahl Teile und vor allem auch die Menge an Kabeln ziemlich summiert. Da ich mit relativ vielen Teilen arbeitete, die je drei bis vier Kabel brauchen, hat dies am Anfang zu einem riesigen Kabelsalat geführt, bei dem man absolut nichts erkennen konnte. Damit das Ganze ein bisschen übersichtlicher aussieht, war es mein erstes Ziel, den Kabelsalat zu reduzieren. Dies tat ich, indem ich Kabel, die zum gleichen Sensor oder Motor gehören, zusammenbehielt. Zusätzlich arbeitete ich noch mit Farben, um die Kabelgruppen gut zuordnen zu können. Damit war es zwar immer noch nicht perfekt, aber schon viel übersichtlicher.

## Befestigung am Körper:

Die nächste wichtige Frage war, wie ich mein Device am Körper fixieren konnte. Wie ich bei der Beschreibung des Aufbaus schon erwähnt habe, hatte ich drei generelle Konzepte. Die Fixierung am Kopf, an einem Gürtel oder am Oberteil. Schlussendlich habe ich mich für die Fixierung am Oberteil entschieden, da es nicht nur die angenehmste Variante für den Träger ist, sondern auch Störfaktoren wie die Arme am einfachsten umgehbar sind. Danach ging es um die Art der Fixierung am Oberteil. Anfangs wollte ich die Teile in das Oberteil einnähen, sodass man es nur noch anziehen muss, aber mehrere Dinge sprachen dagegen. Zum einen war ich mir noch nicht sicher, wie ich die Sensoren platzieren wollte, und noch viel wichtiger, hätte man das Oberteil nicht waschen können. Die von mir verwendeten Teile sind nicht wasserfest,

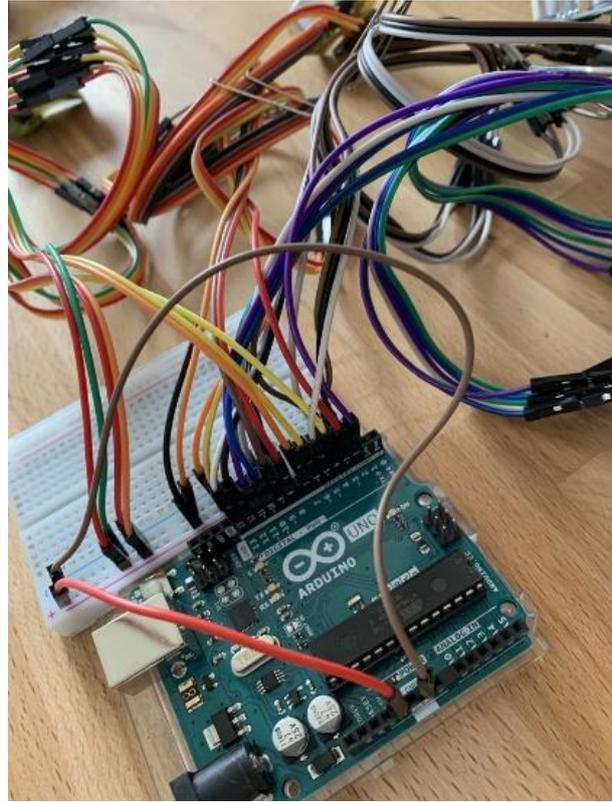


Abbildung 8 Das Device

also wäre eine Reinigung ausser Frage gewesen. Deswegen war mir klar, dass ich etwas entwickeln musste, das man einfach anbringen aber auch wieder entfernen kann. Eine Variante, die diese Kriterien erfüllt war die Fixierung mittels Magneten. Dies tat ich, indem ich an jeden Sensor und Motor je einen Magnet befestigte. So konnte ich sie ganz einfach an einem Kleidungsstück anbringen und wieder verschieben.

Dadurch war es mir auch gut möglich, zu testen, wie gut man die Vibrationen auf der Haut voneinander unterscheiden kann. Denn beim Testen fiel mir einige Male auf, dass wenn die Motoren nebeneinander auf dem Tisch liegen, ich mir manchmal nicht ganz sicher war, von welchem Motor die Vibrationen genau stammten. Deswegen habe ich getestet, wie weit die Motoren auf der Haut mindestens voneinander entfernt sein müssen, damit man sie noch gut voneinander unterscheiden kann. Dies tat ich, indem ich sie immer näher zusammenschob und beurteilte, ob die Herkunft der Vibration noch einfach zu erkennen war. Dabei hat sich herausgestellt, dass man die Motoren ab einem Abstand von 10 Zentimetern gut voneinander unterscheiden kann. Dies gilt aber nur, wenn man ein anliegendes T-Shirt trägt und die Vibratoren dadurch direkt auf der Haut liegen. Zum Beispiel trug eine Testperson bei einem Versuch ein sehr weites T-Shirt und konnte die Vibrationen deswegen kaum spüren.

Während die Sensoren und Motoren an einem Oberteil befestigt waren, brauchte ich noch einen weiteren Ort, an dem ich den Rest der Hardware verstauen konnte. Hier entschied ich

mich, auf die Idee des Gürtels zurückzugreifen. Die schweren Teile, also Batterie, Arduino und Breadboard, hängte ich an einen Gürtel, an dem auch die Sensoren befestigt werden konnten, bis man sie bei der Inbetriebnahme verschiebt und ans eigene Oberteil klippt.

#### 4.1.4 Versuche

##### Selbstversuche:

Um die Funktionalität des Devices zu testen, habe ich einen Parcours gebaut. Dieser sollte die verschiedenen Anforderungen, die ich an das Device gestellt habe auf die Probe stellen. Doch bevor ich damit anfangen konnte, musste ich erst einmal sicherstellen, dass das Device auch so funktionierte, wie ich mir das vorgestellt habe. Das bedeutet, dass ich immer wieder selbst mit dem Device herumgelaufen bin, blind und nicht blind, um es zu testen. Bei den ersten Malen ging es vor allem darum, Vibrationsmuster zu finden, die intuitiv wirken. Also Muster, deren Bedeutung man auch verstehen würde, wenn man das Gerät zum ersten Mal benutzt. Um das so weit wie möglich zu schaffen, habe ich die Muster an die Tonsequenzen der Einparkhilfe im Auto angelehnt, da diese fast allen schon bekannt ist. Näher liegende Objekte haben also schnelle, kurze Vibrationen ausgelöst und weiter entfernte längere, weiter auseinanderliegende.

Bei den ersten blinden Versuchen hatte es sich sehr komisch angefühlt, mit dem Device herumzulaufen. Mit der Zeit habe ich mich aber immer mehr daran gewöhnt. Als ich das Device zum ersten Mal mit Augenbinde testete, habe ich mich nur sehr langsam bewegt. Es war sehr interessant zu spüren, wie weit die Hindernisse von einem entfernt sind, statt es zu sehen. Natürlich bin ich am Anfang auch immer wieder in eine Wand reingelaufen. Mit der Zeit habe ich mich aber immer besser an den Input des Devices gewöhnt. Weil ich die Vibrationsmuster schon so gut kannte, da ich sie schon beim Programmieren immer wieder gespürt habe, war es mir von Anfang an möglich, anhand der Vibrationsmuster abzuschätzen, wie weit eine Wand von mir weg war.

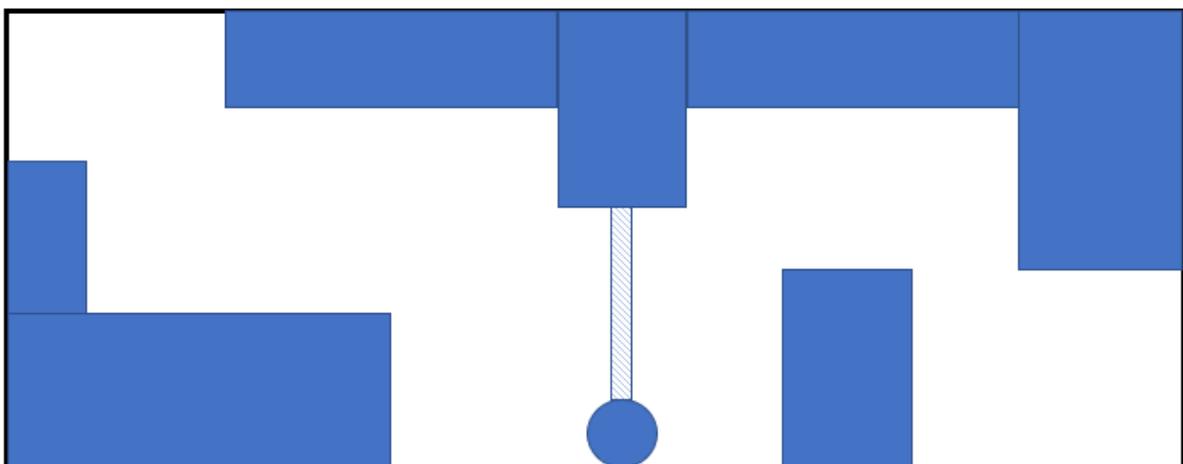


Abbildung 9 Ursprünglich geplanter Parcours. Diesen habe ich mit Kartonboxen bei mir zuhause im Dachboden gebaut. (Schraffiertes Element → Balken unter welchem man durch muss)

Eine weitere interessante Erfahrung war es, durch den Parcours zu navigieren, welchen ich leider nur noch für Selbstversuche verwenden konnte, da ich meine Versuchsreihe aufgrund aktueller Gegebenheiten verändern musste. Obwohl mir der Aufbau des Parcours sehr bekannt war, da ich ihn selbst gebaut hatte, war es trotzdem interessant zu spüren, wie sich eine kompliziertere Umgebung, im Gegensatz zu einem Gang, in welchem man die Richtungen, aus welcher die Vibrationen kommen, zum grossen Teil im Moment selbst bestimmen kann anfühlt. Im Parcours war die Umgebung vorgegeben und die Vibrationen kamen teils von mehreren Seiten. Dies hatte auch Spass gemacht und ich habe den Parcours immer wieder durchlaufen und dadurch mit dem Device trainiert. Es ist jedoch schwierig, einen Lernverlauf von meinen eigenen Erfahrungen darzustellen, da dieser schon begonnen hatte, bevor ich mir überhaupt sicher war, wie meine Versuche aussehen sollten. Dies liegt daran, dass ich während des Programmierens und beim Planen der Funktionsweisen die Vibrationen immer wieder gespürt habe und dadurch damals schon unbewusst trainiert habe. Trotzdem habe ich gemerkt, dass ich mit der Zeit immer schneller durch den Parcours gekommen bin und mich am Ende fast gar nicht mehr auf die Vibrationen konzentrieren musste.

### Versuche mit Drittpersonen:

#### Letzte Anpassungen:

Bei den ersten Versuchen mit Testpersonen hat sich dann herausgestellt, dass meine Wahl der Vibrationsmuster doch nicht optimal war. Die Kritik lag vor allem darin, dass die zwei längeren Vibrationen für weiter entfernt liegende Objekte zu ähnlich waren. Dies ist mir selbst nicht aufgefallen, aber von anderen wurde dieser Punkt mehrmals erwähnt. Dies kann vielleicht daran liegen, dass ich während des Programmierens die Vibrationen schon oft gespürt habe und mich dadurch schon daran gewöhnt hatte. Um es aber für Testpersonen, die das Device zum ersten Mal trugen, eindeutig zu machen, führte ich einen kleinen Test durch, bei dem ich vier verschiedene Vibrationsmusterversionen hatte und die Testperson fragte, bei welchen man die Distanzen am besten unterscheiden kann.

#### Funktionalitätstests:

Damit konnte ich dann schlussendlich anfangen, die Funktionalität des Devices zu testen. Anfangs war der Plan eigentlich, einen Parcours zu bauen, der die verschiedenen Aspekte des Devices testen sollte. Da sich aber die aktuelle Situation mit Corona sehr verschärft hatte, musste ich ein neues Konzept entwickeln, um das Device ortsunabhängig testen zu können. Deswegen plante ich meine Testreihe so, dass ich nur das Device, eine Testperson und eine Wand brauchte. Ich konnte meine Versuche also überall durchführen, auch draussen oder während der Mittagspause in der Schule. Den Parcours, den ich davor schon gebaut hatte, konnte ich nur noch dazu verwenden, das Funktionieren des Devices an mir selbst zu testen.

## 4.2 Versuche und Auswertung



Abbildung 10 Getragenes Device

Als erstes möchte ich hier etwas zur statistischen Relevanz sagen und darauf aufmerksam machen, dass diese Daten und daraus gewonnenen Erkenntnisse mit Vorsicht zu geniessen sind. Dies liegt daran, dass viele Kriterien zur statistischen Relevanz nicht erfüllt sind. So ist zum Beispiel die Anzahl Personen zu gering, mit denen ich die Tests durchführen konnte, auch gab es schon verschiedene Voreingenommenheiten bei einzelnen Personen. Trotzdem konnte ich sehr viel beobachten, was mir ohne die Versuchsreihen nicht aufgefallen wäre, und gewisse Vermutungen, die ich davor schon hatte, haben sich dadurch bestätigt. So konnte ich zum Beispiel das Verhalten der Testpersonen gegenüber dem Device gut beobachten.

Beim ersten Test, den ich durchgeführt habe, ging es darum herauszufinden, wie weit weg die Motoren voneinander sein müssen, damit man sie gut voneinander unterscheiden kann. Dabei bin ich darauf gekommen, dass ein Abstand von 10 cm das Nächste ist, bei dem die Unterscheidung ohne Probleme möglich ist. Dies gilt aber auch nur, wenn der Motor auf dem Körper aufliegt. Hätte die Person zum Beispiel einen Pullover an, so dass der Motor keinen direkten Kontakt mehr zum Körper hat, wäre ein grösserer Abstand nötig, da man die Vibrationen nur noch indirekt spürt.

Nachdem ich das Device an wenigen ersten Personen getestet hatte, wurde klar, dass meine Auswahl der Vibrationsmuster doch nicht optimal war und insbesondere die Modi für weiter entfernte Objekte zu ähnlich waren. Deswegen habe ich eine Testreihe gestartet, um die bestmöglichen Vibrationsmuster zu finden. Der Test war so aufgebaut, dass ich vier verschiedene Versionen der Vibrationsmuster programmiert habe und die Testperson bei jeder gefragt habe, welche für sie am intuitivsten zu erkennen ist. Ausserdem bat ich sie, die Muster auf einer Skala von eins bis vier einzuordnen (1 = überhaupt nicht unterscheidbar, 4 = sehr gut unterscheidbar).

	Muster 1 (Vibration[ms]/ Pause[ms])	Muster 2 (Vibration[ms]/ Pause[ms])	Muster 3 (Vibration[ms]/ Pause[ms])	Muster 4 (Vibration[ms]/ Pause[ms])
Near	200/50	200/50	200/50	180/40
Closer	500/200	400/200	500/200	500/150
Far	800/300	800/300	900/300	800/300

Tabelle 1 Getestete Vibrationsmuster

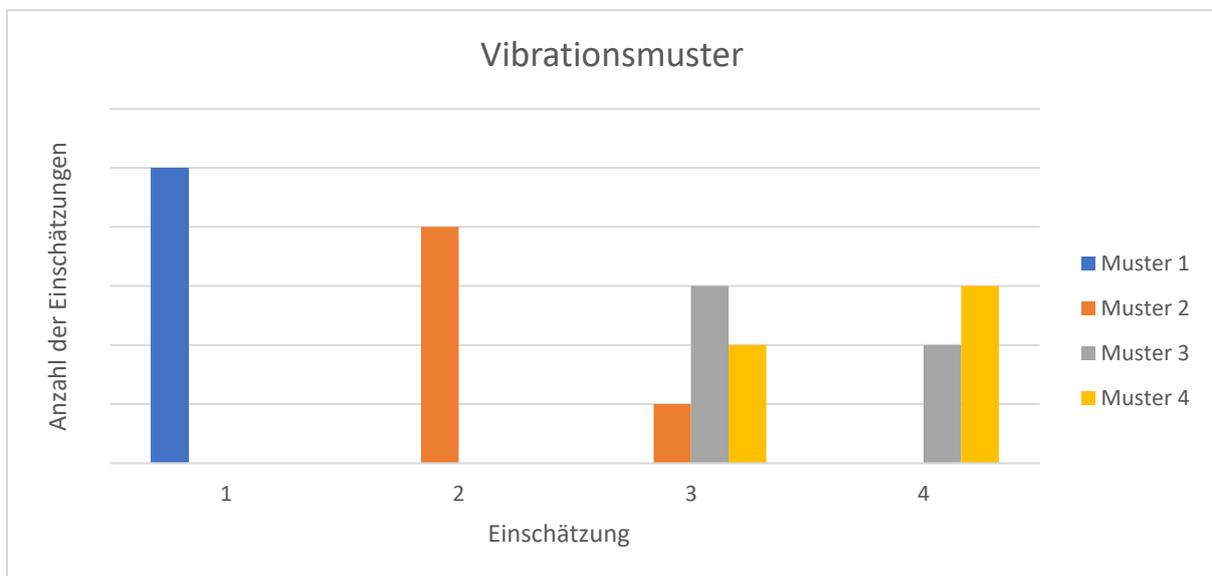


Diagramm 1 Einschätzungen der verschiedenen Muster durch die Testpersonen

Da sowohl das dritte als auch das vierte Muster gut funktionieren und bei den beiden jeweils ein anderer Aspekt als das, was das gute Funktionieren bewirkt, genannt wurde, entschied ich, eine Mischform der letzten beiden Versionen zu verwenden, die die jeweiligen positiven Aspekte beinhaltet.

➔ Mischung aus 3 & 4:

	Vibration[ms]/Pause[ms]
Near	200/40
Closer	500/180
Far	900/300

Damit konnte ich anfangen, Versuche mit dem Device selbst zu machen. Dabei wollte ich die einzelnen Aspekte des Devices für sich testen.

Dies bedeutet, dass ich eine Versuchsreihe von 3 verschiedenen Tests aufgestellt habe, um das Device auf verschiedene Fragestellungen zu testen.

- Wie fühlt es sich an, das Device zu tragen (Angst, Sicherheit, ...)?
- Ist es möglich, den Abstand und die Richtung des Objekts durch Unterscheidung der Vibrationsmuster zu erkennen?
- Gewöhnt man sich mit der Zeit an den Input des Devices? / Wird der Gebrauch einfacher?
- Könnte man dieses Gerät im Alltag verwenden?

### Test 1: Gegen die Wand

Die Versuchsperson befindet sich in einer simplen Umgebung wie in einem Gang und ihr sind die Augen verbunden, damit sie sich auf die Vibrationen verlassen muss. Dabei geht es erst einmal nur darum, ob alles so funktioniert, wie es sollte, und dass die Testperson ein bisschen herumlaufen kann, um das Device auszuprobieren. Wenn klar ist, dass alles funktioniert, muss die Person so nah wie möglich an eine Wand heranlaufen, ohne die Hände als Hilfestellung zu verwenden. Das Ziel ist es, nicht in die Wand zu laufen oder zu früh stehen zu bleiben. (Als gelungener Versuch gilt es, wenn die Person im Messbereich zwischen 10 und 30 Zentimetern stehen bleibt.) Das Ganze wird dreimal wiederholt. Am Ende, nach allen anderen Tests, wird dieses Experiment nochmals wiederholt, um zu testen, ob es eine Veränderung oder allenfalls eine Verbesserung gegeben hat.

### Test 2: Erkennen von Positionen

Im zweiten Test laufe ich um die Person rum und es ist die Aufgabe der Versuchsperson, zu sagen, wo ich mich befinde und wie nah ich ungefähr stehe. Dies sollte eine alltägliche Situation simulieren, bei der man in einem Raum steht und das Umfeld sich ändert.

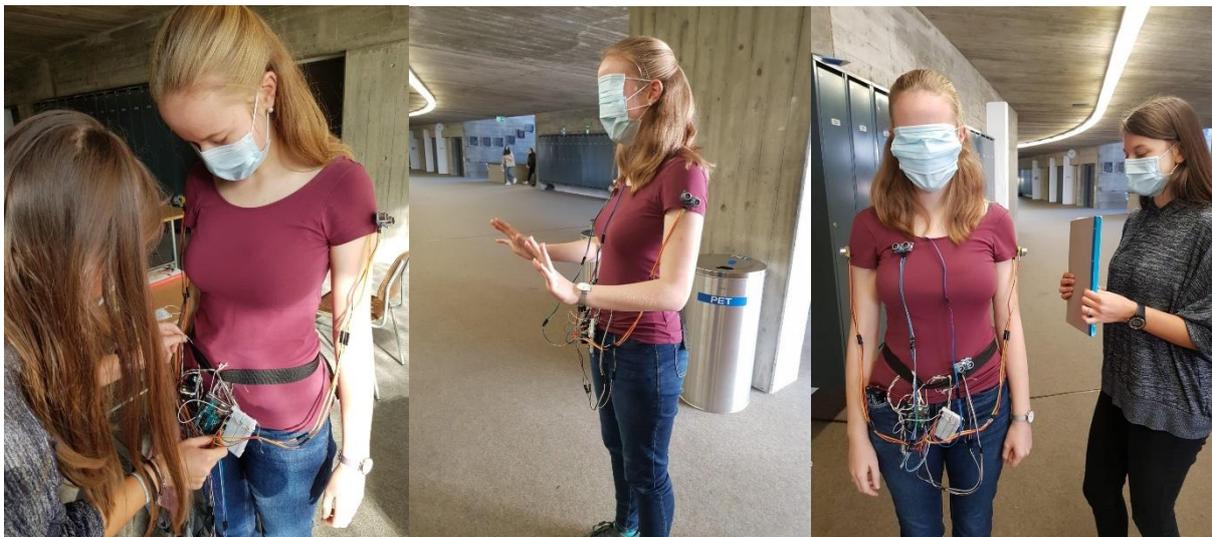


Abbildung 11 Anziehen des Devices

Abbildung 12 Test 1

Abbildung 13 Test 2

### Test 3: Zeitgleiche Annäherung von verschiedenen Seiten

Der dritte Test ist vom Konzept her gleich aufgebaut wie der zweite, der einzige Unterschied dabei ist, dass nicht nur von einer Seite ein Hindernis kommt, sondern von mehreren. Zum Beispiel von vorne und von rechts. Um die Hindernisse zu simulieren, habe ich Papierblöcke verwendet, deren Oberfläche gross genug ist, um immer erkannt zu werden und die in der Handhabung einfach sind. Beim Versuch muss die Person ebenfalls bestimmen, woher die Hindernisse kommen, und sie zusätzlich ins Verhältnis zueinander setzen. Das bedeutet, sie muss sagen welches Objekt relativ zum anderen weiter entfernt liegt oder ob sie ungefähr gleich nah sind.

Um die Fragestellung, ob der Gebrauch des Devices mit der Zeit einfacher wird, genauer zu untersuchen, habe ich mit einer meiner Testpersonen über eine längere Zeit trainiert und die Tests immer wieder durchgeführt. Dadurch konnte ich die Entwicklung des Verhaltens mit dem Device genauer untersuchen.

Im Folgenden werde ich die Erkenntnisse unter verschiedenen Gesichtspunkten erläutern.

### Auswertung der Versuche

Verhalten im Umgang mit dem Device:

Das generelle Verhalten der Testpersonen war fast immer gleich. Am Anfang haben sich alle sehr unsicher gefühlt und als sie zum ersten Mal auf eine Wand zugelaufen sind, hat sich niemand getraut, grosse Schritte zu machen. Interessant war dabei auch zu sehen, wie sie damit umgegangen sind, blind zu sein und ihre Hände nicht als Hilfe einsetzen zu dürfen. Mehrere haben versucht, unauffällig mit den Füßen zu tasten, jedoch hat dies nicht viel gebracht, da ich sie in den Tests auf Spindwände zulaufen liess. Die Spinde gehen nicht bis zum Boden, also ist es unmöglich, dass man mit dem Fuss anstösst, bevor man in die Wand reinlaufen würde. Besonders interessant fand ich aber die Reaktion einer bestimmten Person. Sie hat schon ganz am Anfang die Technik entwickelt, immer einen kleinen Schritt zu machen und dann mit dem Oberkörper leicht nach vorne zu gehen, um den Sensor näher an potenzielle Hindernisse zu bringen. Diese Technik finde ich so interessant, weil sie bedeutet, dass die Person, anders als andere, sofort verstand, was der Input durch das Device bedeutet und wie sie sich diesen zunutze machen konnte. Man hat auch gemerkt, dass sich diese Person viel schneller sicherer fühlte als andere.

Auch bei den anderen hat sich das Sicherheitsgefühl schnell verbessert. Ich bat sie immer jeweils am Anfang und Ende des Versuches darum, zu beschreiben wie sie sich fühlten, indem sie einen Wert von 1 bis 10 angeben mussten (1 = Angst, 5 = Unsicherheit, 10 = Sicherheit). Die Tendenz war klar. Am Anfang lagen die Werte zwischen zwei und fünf, was auf eine grosse Unsicherheit schliessen lässt. Am Ende hatte sich dieser Wert aber mehr als verdoppelt und lag bei allen zwischen fünf und sieben. Dies äusserte sich auch in ihrem Verhalten. Im

Vergleich zum Anfang, haben die Testpersonen am Ende viel weniger angehalten und danach gefragt, ob sie richtig laufen oder allgemein etwas falsch machen.

#### Korrektheit der Angaben:

Während allen Tests war ein zentraler Aspekt, die Distanzen korrekt einzuschätzen und die Richtung des Hindernisses anzugeben. Das letztere funktionierte von Anfang an sehr gut und alle konnten die Richtung sicher einschätzen. Bei den Distanzen war es hingegen etwas schwieriger. Hier kann man dafür den Lerneffekt umso deutlicher erkennen. Ohne kurze Erklärung des Konzeptes hat es niemand geschafft, die Distanzen von Anfang an zu unterscheiden. Nachdem ich ihnen jedoch nur das Konzept der Vibrationen als Vergleich zur Einparkhilfe im Auto erklärt hatte, konnte man beobachten, wie die Testpersonen den Mechanismus verstanden und die Distanzen immer zuverlässiger zuordnen konnten. Überrascht hat mich hier, dass das Einschätzen der Distanzen im Test 3, wo man die Distanzen relativ zueinander bestimmen musste, einfacher war als die Einschätzung in Test 2, wo nur einzelne Sensoren angesprochen wurden. Im Nachhinein sehe ich aber, warum dies Sinn ergibt. Wenn man mit den Vibrationsmustern noch nicht so vertraut ist, kann man sich weniger an einen Vergleich erinnern. Wenn man aber zwei gleichzeitig spürt, hat man einen direkten Vergleichswert.

#### Gewöhnung an den Input:

Am Anfang ist die Lernkurve im Gebrauch des Devices sehr steil. Schon nach kurzer Erklärung und fünf Minuten Übung mit dem Device hatten alle Personen die Funktionsweise verstanden und wussten, worauf sie achten mussten.

Die Richtung, aus der das Objekt kam, erwies sich als intuitivster Teil des Devices. Dies ergibt Sinn, da die Vibration an der Position ist, wo das Objekt herkommt. Dadurch ist dieser Teil des Devices einem normalen Sinn am ähnlichsten, und zwar dem Tastsinn.

Die Distanz war hingegen schon etwas schwieriger einzuschätzen. Um den Lernverlauf bei diesem Aspekt zu testen, galt der Test 1. Hier mussten die Probanden am Anfang und Ende jeweils mehrmals auf eine Wand zulaufen, ohne zu früh stehen zu bleiben oder in die Wand zu laufen. Wenn man die Resultate davon betrachtet, kann man die Verbesserung nur schwierig sehen, jedoch war sie im Verhalten deutlich zu erkennen. Als die Personen zum ersten Mal auf die Wand zulaufen mussten, liefen sie viel langsamer und hielten öfters an. Dadurch brauchten sie sehr viel Zeit. Bei der Wiederholung des Experiments am Ende des Versuchs liefen die Personen flüssiger und hielten erst an, als sie die Wand spürten. Dadurch waren sie viel schneller, die Zahl der Fehler hatte sich jedoch nicht erkennbar verändert. Ich vermute, dass die Sicherheit gestiegen ist, das schnellere Laufen aber auch zur Quelle von

Fehlern wurde. Da die Reaktionszeit der Sensoren nicht sehr gut ist, konnte man allgemein nicht zu schnell laufen, da der Sensor sonst erst anschlägt, wenn es schon zu spät ist.

Bei der Person, mit der ich die Tests über mehrere Wochen öfters durchgeführt habe, ist dieses Verhalten noch offensichtlicher geworden. Nicht nur während sie auf eine Wand zulief, sondern auch bei der Bestimmung der Distanzen wurde sie immer sicherer und vor allem auch schneller. Am Anfang hatte sie immer eine Denkpause von zwei bis drei Sekunden, bis sie die Distanz bestimmen konnte, am Ende kann die Antwort jedoch fast ohne Verzögerung.

Daran sieht man gut, wie schnell man sich an den Input des Devices und vergleichbarer Informationsquellen gewöhnen kann und das Gehirn die Informationen auch gut mit bereits Erlebtem verknüpft.

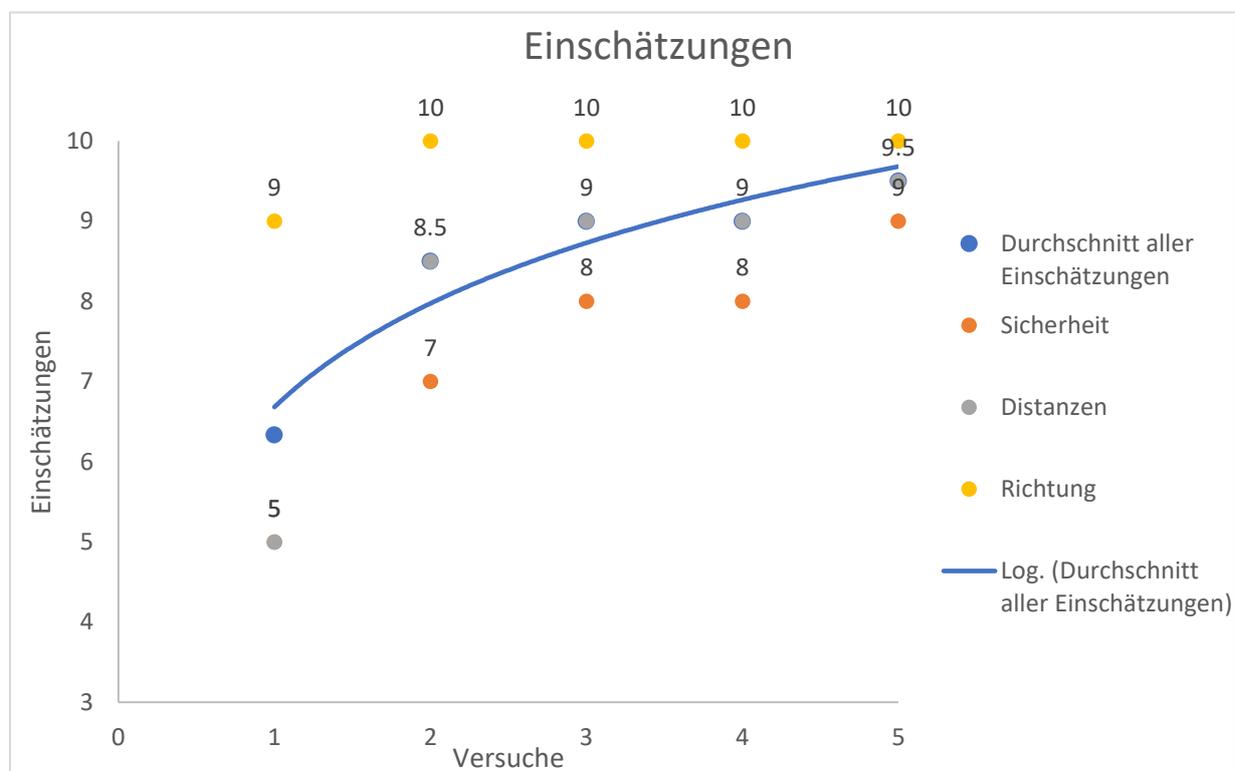


Diagramm 2 Entwicklung der Einschätzungen über längere Zeit

Das Diagramm stellt den Verlauf der Einschätzungen von der Person dar, mit welcher ich die Versuchsreihe fünf Mal wiederholt habe. Bei jedem Treffen gab die Person an, wie es ihr bei den Aspekten Sicherheit, Einschätzung der Distanz und Einschätzung der Richtung auf einer Skala von eins bis zehn erging (wobei zehn immer das Beste ist). Die blaue Trendlinie stellt den durchschnittlichen Wert aller Einschätzungen dar. Wie man sieht, ist die Person in allen Aspekten schnell besser geworden und hat sich immer sicherer gefühlt. Passend dazu ist ihre Meinung, ob solch ein Device im Alltag einsetzbar ist, immer optimistischer geworden. Die Lernkurve flacht aber mit der Zeit ab, das bedeutet, dass man schnell in den Gebrauch mit dem Device reinkommt, ab einem gewissen Punkt die Verbesserung jedoch schwieriger wird.

Wenn man diese Werte mit den durchschnittlichen Empfindungen der anderen Testpersonen, die das Device nur einmal trugen, vergleicht, wird die Verbesserung noch deutlicher.

	Sicherheit	Distanzeinschätzung	Richtungsbestimmung	Durchschnitt
Erster Versuch (Durchschnitt aller Versuchspersonen)	5.1	6.2	8.4	6.57
Nach 5 Versuchen	9	9.5	10	9.5

*Tabelle 2 Vergleich der Einschätzungen zwischen dem ersten Mal tragen und den Einschätzungen nach längerer Zeit*

Wie man sieht, ist der Verbesserungseffekt nach nur wenig Üben schon enorm. Vor allem im Sinne des Sicherheitsgefühl der Person macht wenig Übung schon einen entscheidenden Unterschied. Dies lässt mich darauf schliessen, dass die Anwendung eines vergleichbaren Devices im Alltag sehr gut möglich ist.

Mein Device ist aber noch nicht ganz so weit. Während der Versuche habe ich die Personen auch immer wieder gefragt, was sie am Device verändern würden, um sich vorstellen zu können, dieses im Alltag zu tragen. Der wohl bedeutendste Punkt hier waren die Sensoren, die ich verwendet habe. Aufgrund des Kostenpunkts habe ich einfache Ultraschallsensoren verwendet. Diese haben aber nicht die allerbeste Reaktionszeit und man kann deswegen mit ihnen nicht sehr schnell laufen, weil man sonst die Wand erreicht hat, bevor der Sensor anschlägt. Dies wäre mithochwertigeren und einer grösseren Menge an Sensoren schon viel besser. Alternativ könnte man auch eine Kamera zur Erkennung von Hindernissen verwenden. Ein zweiter Punkt war die Tragbarkeit. Da ich flexibel bleiben wollte, um die Möglichkeit zu haben, das Device vielseitig zu testen, habe ich das Device nicht in eine Form gebracht, die einfach ist anzuziehen. Dies liesse sich aber einfach lösen, indem man die Kabel und anderen Bestandteile zum Beispiel in eine Weste einnäht.

## 5 Reflexion und Erfüllung der Zielsetzung

Im Rahmen dieser Maturitätsarbeit habe ich gelernt, wie man mit C++ programmiert, da die Sprache des Arduino sehr stark auf ihr basiert. Durch meine Recherche habe ich auch viel über Arduinos und die verschiedenen Sensoren und Motoren, die es gibt, gelernt. Diese Erfahrungen mit den Arbeitsmaterialien werden mir auch in Zukunft helfen, da ich jetzt ein viel besseres Verständnis dafür habe, wie die Bestandteile allgemein aufgebaut sind und funktionieren. Des Weiteren habe ich auch sehr viel über die Funktionen und Arbeitsweisen des menschlichen Gehirns gelernt und konnte die Lebenswelt blinder Menschen ein bisschen kennenlernen.

Obwohl ich mich schnell in das Arbeiten mit dem Arduino eingeleesen hatte und auch schon ein bisschen Vorkenntnisse hatte, sind mir beim Bauen und Programmieren immer wieder Fehler unterlaufen. Daher musste ich lernen, wie ich vorgehen konnte, wenn ich an einem Punkt stecken geblieben bin und nicht mehr weiterwusste. Es gibt zwar viele Hilfsmaterialien online, die mir am Anfang helfen konnten, in das Programmieren und Bauen einzufinden. Sie konnten mir aber nicht dabei helfen, Fehler in meiner eigenen Hardware oder Software zu finden. Das bedeutet, dass ich viel Zeit damit verbringen musste, die gleichen Dinge wieder und wieder zu kontrollieren. Am Anfang hatte ich noch viel Zeit damit verschwendet, Dinge doppelt zu machen, weil ich keinen genauen Plan hatte, wie ich mit Fehlern umgehen sollte. Dies hat sich dann aber schnell verbessert, als ich mir eine Strategie zugelegt hatte, welche ich jedes Mal anwenden konnte, wenn das Programm nicht funktionierte.

In meinem Zeitplan hatte ich unterschätzt, wie lange das Bauen des Devices dauern würde. Dies liegt unter anderem daran, dass sich das Design des Devices immer wieder verändert hatte und ich dann das Programm dem neuen Aufbau anpassen musste. Als ich dann aber fertig war, war ich sehr zufrieden mit dem Produkt und konnte die Versuche ohne technische Probleme durchführen. Aufgrund der aktuellen Corona-Situation musste ich meine Versuche nochmals umstellen, was mich wieder Zeit gekostet hatte. Am Ende war es mir jedoch noch möglich die Versuche durchzuführen und zum Glück funktionierte alles.

Bevor ich mit der Arbeit angefangen hatte und vor allem nachdem ich mich ein bisschen damit auseinandergesetzt hatte, hatte ich schon eine vage Vorstellung davon, wie sich eine Person beim Tragen des Gerätes verhalten würde. Dies hat sich zum großen Teil auch bestätigt, jedoch gab es trotzdem immer wieder Momente, bei denen ich etwas herausgefunden habe, das ich nicht gewusst hätte, hätte ich das Device nicht tatsächlich gebaut und an Personen ausprobiert. Zum Beispiel hatte ich nicht erwartet, dass die verschiedenen Vibrationsmuster so schwierig zu unterscheiden seien würden oder wie schwierig es für den Träger sein würde, die Hände nicht als Hilfestellung zu verwenden.

Zu Beginn meiner Arbeit hatte ich mir als Ziel gesetzt, ein Device zu bauen, das sehbehinderten Menschen helfen kann, sich in einem Raum zu bewegen. Das Ziel war, dass sich die Person sicherer fühlt und einfach an den äusseren Input gewöhnen kann. In den

Versuchen stellte sich heraus, dass diese Anforderungen zum grössten Teil erfüllt wurden. Es ist deutlich klar geworden, dass man sich schnell an den Input eines sensorischen Substitutionsdevices gewöhnen kann und das Sicherheitsgefühl auch schnell zunimmt. Die Frage bleibt jedoch, ob das Device wirklich als Orientierungshilfe einen entscheidenden Unterschied für die Träger machen würde. Ich denke, dass es das allgemeine Sicherheitsgefühl erweitert und die Gelegenheit bietet, in Räumen die Hände frei zu haben und den Blindenstock zur Seite legen zu können. Mein Device ist aber noch zu ungenau, um sich immer 100% darauf verlassen zu können. Es haben aber alle Versuchspersonen gemeint, dass sie das Device auf jeden Fall als nützlich ansehen und sich auch vorstellen könnten, etwas Vergleichbares im Alltag zu tragen. Dazu müsste ich aber auch noch die Tragbarkeit, also das Design verbessern, damit das Anziehen einfacher ist und die Kabel nicht so im Weg sind, wenn man es trägt.

## 6 Literaturverzeichnis

Bach-Y-Rita P, Collins CC, Saunders FA, White B, Scadden L (1969) vision substitution by tactile image projection. Nature 221(5184): P.963–964

Banks Duncan (2016) What is brain plasticity and why is it so important?. The Conversation

Bubic Andreja, Striem-Amit Ella, Amedi Amir (2010) Large-Scale Brain Plasticity Following Blindness and the Use of Sensory Substitution Devices. Springer Science+Business Media: P. 351-380

Hospital Universitari Dexeus (2020) Maculopathie. Zugriff über: <https://www.areaoftalmologica.com/de/Retina/Makulopathie/>

Luzerner Kantonsspita (2020) Grüner Starr (Glaukom). Zugriff über: <https://www.luks.ch/was-wir-behandeln/auge/gruener-star-glaukom>

Mechelli Andrea et al. (2004) Structural plasticity in the bilingual brain. Nature 431: P.757

Stefan Spring (2012) Sehbehinderung und Blindheit: Entwicklung in der Schweiz Eine Publikation zur Frage: „Wie viele sehbehinderte, blinde und hörsehbehinderte Menschen gibt es in der Schweiz?“. SZB, Zürich

Striem-Amit Ella, Bubic Andreja, Amir Amedi (2012) Neurophysiological Mechanisms Underlying Plastic Changes and Rehabilitation Following Sensory Loss in Blindness and Deafness. Taylor & Francis Group: P.393-413

Technik Blog; Arduino Lektion 9: Ultraschall Modul HC-SR04. Zugriff über: <https://draeger-it.blog/sainsmart-lektion-9-ultraschall-modul-hc-sr04-abstandssensor/>

## 7 Anhang

```
// Definieren aller Pins und Variablen
#define IN_PIN1 5
#define TRIG_PIN1 13
#define ECHO_PIN1 12

#define IN_PIN2 2
#define TRIG_PIN2 11
#define ECHO_PIN2 10

#define IN_PIN3 3
#define TRIG_PIN3 9
#define ECHO_PIN3 8

#define IN_PIN4 4
#define TRIG_PIN4 7
#define ECHO_PIN4 6

#define MAX_DISTANCE 500

long dauer, distance, Sensor1, Sensor2, Sensor3, Sensor4;

void setup() {

// Definieren der Pins als In- und Output
pinMode(IN_PIN1, OUTPUT);
pinMode(TRIG_PIN1, OUTPUT);
pinMode(ECHO_PIN1, INPUT);

pinMode(IN_PIN2, OUTPUT);
pinMode(TRIG_PIN2, OUTPUT);
pinMode(ECHO_PIN2, INPUT);

pinMode(IN_PIN3, OUTPUT);
pinMode(TRIG_PIN3, OUTPUT);
pinMode(ECHO_PIN3, INPUT);

pinMode(IN_PIN4, OUTPUT);
pinMode(TRIG_PIN4, OUTPUT);
pinMode(ECHO_PIN4, INPUT);

Serial.begin(9600);
}

void loop() {
// Berechnung der Distanzen
SonarSensor (TRIG_PIN1, ECHO_PIN1);
Sensor1 = distance;
SonarSensor (TRIG_PIN2, ECHO_PIN2);
Sensor2 = distance;
SonarSensor (TRIG_PIN3, ECHO_PIN3);
Sensor3 = distance;
SonarSensor (TRIG_PIN4, ECHO_PIN4);
Sensor4 = distance;

// Ausgabe der Distanzen im Monitor zur Kontrolle
Serial.print(Sensor1);
Serial.print(" cm - ");
Serial.print(Sensor2);
Serial.print(" cm - ");
Serial.print(Sensor3);
Serial.print(" cm - ");
Serial.print(Sensor4);
Serial.println(" cm ");
```

```

if (Sensor1 < 10){ // Bestimmung des Vibrationsmodus des ersten Motors durch den ersten Sensor
  neer(IN_PIN1);
  delay(10);
}
else if(Sensor1 < 30) {
  closer(IN_PIN1);
  delay(10);
}
else if(Sensor1 < 50) {
  far(IN_PIN1);
  delay(10);
}
}

if( Sensor2 <10){ // Bestimmung des Vibrationsmodus des zweiten Motors durch den zweiten Sensor
  neer(IN_PIN2);
  delay(10);
}
else if( Sensor2 <30){
  closer(IN_PIN2);
  delay(10);
}
else if( Sensor2 <50){
  far(IN_PIN2);
  delay(10);
}
}

if (Sensor3 < 10){ // Bestimmung des Vibrationsmodus des dritten Motors durch den dritten Sensor
  neer(IN_PIN3);
  delay(10);
}
else if (Sensor3 < 30){
  closer(IN_PIN3);
  delay(10);
}
else if (Sensor3 < 70){
  far(IN_PIN3);
  delay(10);
}
}

if (Sensor4 < 10){ // Bestimmung des Vibrationsmodus des vierten Motors durch den vierten Sensor
  neer(IN_PIN4);
  delay(10);
}
else if (Sensor4 < 30){
  closer(IN_PIN4);
  delay(10);
}
else if (Sensor4 < 70){
  far(IN_PIN4);
  delay(10);
}
}

else { //Wenn kein Sensor ein Hinderniss wahrnimmt
  digitalWrite(IN_PIN1, LOW);
  delay(100);
  digitalWrite(IN_PIN2, LOW);
  delay(100);
  digitalWrite(IN_PIN3, LOW);
  delay(100);
  digitalWrite(IN_PIN4, LOW);
}

delay(10);
}

```

```
// Eigene Funktionen:

void SonarSensor (int TRIG_PIN, int ECHO_PIN) { //Funktion zur Berechnung der Distanz
  digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
  dauer = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH);
  distance = (dauer / 2) / 29.1;
}

void neer(int IN_PIN) { //Funktion für den erste Vibrationsmodus
  Serial.println("near"); // Ausgabe der benutzten Funktion im Monitor zur Kontrolle
  digitalWrite(IN_PIN, HIGH);
  delay(200);
  digitalWrite(IN_PIN, LOW);
  delay(40);
}

void closer(int IN_PIN) { //Funktion für den zweite Vibrationsmodus
  Serial.println("closer");
  digitalWrite(IN_PIN, HIGH);
  delay(500);
  digitalWrite(IN_PIN, LOW);
  delay(180);
}

void far(int IN_PIN) { //Funktion für den dritte Vibrationsmodus
  Serial.println("far");
  digitalWrite(IN_PIN, HIGH);
  delay(900);
  digitalWrite(IN_PIN, LOW);
  delay(300);
}
```

Mein verwendetes Programm.

## 8 Eigenständigkeitserklärung

Der/die Unterzeichnete bestätigt mit Unterschrift, dass die Arbeit selbständig verfasst und in schriftliche Form gebracht worden ist, dass sich die Mitwirkung anderer Personen auf Beratung und Korrekturlesen beschränkt hat und dass alle verwendeten Unterlagen und Gewährspersonen aufgeführt sind.

Herrliberg 04.01.2021, Anna Bartl