

Fakultät für Informatik

Usability and Interaction Technology Laboratory

Masterarbeit zum Thema

Konzeption und prototypische Implementierung einer  
EMG-basierten Anwendung zur passiven Unterstützung in  
der Handtherapie unter Verwendung der Thalmic Myo

zur Erlangung des akademischen Grades

**M.Sc. Medizinische Informatik**

29. Februar 2016

eingereicht von: Tommy Vinh Lam

Matrikelnummer: 186523

Erstkorrektor: Prof. Dr.-Ing. Gerrit Meixner, Hochschule Heilbronn

Zweitkorrektor: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Heß, Hochschule Heilbronn

# Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, die vorliegende Arbeit zum Thema

„Konzeption und prototypische Implementierung einer EMG-basierten Anwendung zur passiven Unterstützung in der Handtherapie unter Verwendung der Thalmic Myo“

selbstständig und unter ausschließlicher Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel erstellt zu haben.

Heilbronn, den 29. Februar 2016

Tommy Vinh Lam

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich im Rahmen dieser Masterarbeit begleitet haben.

Ein besonderes Dankeschön gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Gerrit Meixner für die engagierte Betreuung meiner Masterarbeit. Er übernahm die Erstbetreuung und ermöglichte mir diese besondere Aufgabe anzugehen. Zudem gilt mein Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Heß, der sich der Aufgabe des Zweitkorrektors angenommen hat.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Navina Schellenberger und Simone Kuhn von der IB Medizinischen Akademie Mannheim für die hilfreiche Zusammenarbeit.

Diese Arbeit möchte ich meiner Familie widmen, ganz besonders meinen Eltern, die mir mein Studium ermöglicht und mich in jeder Lebenslage und all meinen Entscheidungen unterstützt haben. Ein besonderer Dank gilt zudem meinem Bruder David Hung Lam, der nicht nur ein großes Interesse an meiner Arbeit gezeigt hatte, sondern mich auch durch seine fachliche Meinung unterstützt hat.

Nicht zuletzt widme ich diese Arbeit Valentina Burjan, die mir seit Jahren in jeglicher Situation tatkräftig zur Seite stand und mich immer wieder ermutigte.

Ebenfalls möchte ich mich bei meinen Freunden und Kommilitonen herzlich bedanken, die mich im Laufe meines Masterstudiums begleitet und daraus eine unvergessliche Zeit gemacht haben.

# Kurzbeschreibung

Im Rahmen dieser Abschlussarbeit wird in Zusammenarbeit mit zwei Physiotherapeuten der IB Medizinischen Akademie Mannheim ein Konzept für das heimbasierte Training in der Handtherapie erarbeitet. Das Konzept basiert auf der Thalmic Myo, einem Gestensteuerungssystem, das über den Arm gesteuert wird. Der Entwurf wird prototypisch in Verbindung mit einer Android Anwendung realisiert.

Das Myo-Armband ist mit Bewegungssensoren und Elektroden ausgestattet, womit sich Position von Hand und Arm im Raum erfassen und Bewegungen durch elektrische Signale von Muskeln erkennen lassen. Basierend auf dieser Technologie, soll eine Möglichkeit zur Verlaufskontrolle der Adhärenz, die Einhaltung der gemeinsam gesetzten Therapieziele, gewährleistet werden können.

Abschließend wird der Prototyp gemeinsam mit sieben Physiotherapeuten hinsichtlich seiner Funktionalität untersucht und die Akzeptanz und das Nutzererlebnis evaluiert. Bei der Untersuchung wird das Studentenprojekt "LeapPhysio" hinzugezogen, das ähnliche Ziele verfolgt, jedoch auf einer anderen Technologie basiert. Es werden beide Technologien gegenübergestellt und auf ihre Eignung geprüft.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Zielsetzung . . . . .	1
1.2	Gliederung . . . . .	2
1.3	Methodische Vorgehensweise . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Begriffe, Grundlagen und verwandte Arbeiten</b>	<b>5</b>
2.1	Hintergründe zur Physiotherapie . . . . .	5
2.2	Muscle-Computer-Interfaces . . . . .	9
2.2.1	Maschinelles Lernen . . . . .	12
2.2.2	Einsatzmöglichkeiten . . . . .	15
2.3	Begriff der User Experience . . . . .	19
2.4	Begriff der Intuitivität . . . . .	22
<b>3</b>	<b>Anforderungen und Rahmenbedingungen</b>	<b>24</b>
3.1	Rahmenbedingungen . . . . .	24
3.2	Anforderungen . . . . .	26
3.2.1	Nutzungskontext . . . . .	26
3.2.2	Anforderungen . . . . .	28
<b>4</b>	<b>Konzeption und praktische Umsetzung</b>	<b>32</b>
4.1	Clusteranalyse der EMG-Daten . . . . .	32
4.1.1	Versuchsaufbau . . . . .	33
4.1.2	k-Means-Clustering . . . . .	38
4.2	Gestaltung und Umsetzung . . . . .	42
4.2.1	Anwendungsgestaltung . . . . .	44
4.2.2	Praktische Umsetzung . . . . .	49
<b>5</b>	<b>Evaluierung</b>	<b>62</b>
5.1	Versuchsaufbau . . . . .	62
5.2	Ergebnisse . . . . .	63
5.2.1	Ergebnisse der Expertentests . . . . .	63
5.2.2	Ergebnisse der Evaluationsinstrumente . . . . .	68
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>77</b>

6.1	Inhalt . . . . .	77
6.2	Fazit . . . . .	78
6.3	Ausblick . . . . .	80
<b>Literatur</b>		<b>i</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>		<b>v</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>		<b>viii</b>
<b>Anhang</b>		<b>ix</b>

# 1 Einleitung

Bei einer komplexen Handverletzung wird nach einer Operation eine Rehabilitation eingeleitet, bei der der Patient bei der Wiederherstellung seiner körperlichen Funktionen mit Hilfe physiotherapeutischer Behandlung unterstützt wird. Hierbei spricht man von der Handtherapie, einer Untergruppe der Physiotherapie. In der Handtherapie soll die funktionsgestörte Hand mit Hilfe passiver, assistiver und aktiver Bewegung möglichst zur ursprünglichen Funktion zurückgeführt werden. Damit das aktive Bewegungen leichter ausgeführt werden kann, erfolgt in der ersten Phase eine passive Mobilisation durch den Therapeuten. Dies dient zur Dehnung der Strukturen und Verbesserung der Gelenksbeweglichkeit. In zweiter oder auch dritter Phase, der minimalen Schutzphase, sollen aktive Bewegungsübungen vom Patienten regelmäßig und bis zur Schmerzgrenze durchgeführt werden. Verschiedene Übungen werden dem Patienten gezeigt, welche in Eigenverantwortlichkeit und selbstständig im heimbasierten Training durchgeführt werden sollen. Ein Problem, das sich in dieser Phase jedoch bemerkbar macht ist, dass der Fortschritt des Patienten nicht konsequent überwachbar ist. Dieses ist aber für die Verlaufskontrolle und positive Auswirkungen des Patienten von großer Bedeutung. Dazu bedarf es einer Möglichkeit, entsprechende Daten zu erfassen und Therapeuten zur Verfügung zu stellen. Mit dieser Arbeit wird eine solche Möglichkeit untersucht.

## 1.1 Zielsetzung

Das primäre Ziel dieser Arbeit ist die Gestaltung und Entwicklung eines Konzepts für das heimbasierte Training in der Handtherapie. Dabei soll das Thalmic Myo-Armband eingesetzt werden. Der Fokus liegt hierbei auf einer Anwendung zur Gewährleistung einer Verlaufskontrolle während der minimalen Schutzphase, in der der Patient im Heimprogramm die Bewegungsübungen selbstständig und eigenverantwortlich durchführen soll.

Für die Konzipierung sollen Anforderungen aus der praktischen Physiotherapie erarbeitet werden, um eine Basis für das Konzept zu schaffen. Dies gilt es anschließend prototypisch umzusetzen.

Darüber hinaus soll der Prototyp gemeinsam mit mindestens fünf Physiotherapeuten hinsichtlich seiner Funktionalität untersucht und evaluiert werden, um potenzielle Optimierungsansätze aufzuzeigen. Bei der Evaluierung soll außerdem das Studentenprojekt

„LeapPhysio“, das ähnliche Ziele verfolgt, unter gleichen Bedingungen untersucht und gegenübergestellt werden.

### 1.2 Gliederung

Die Abschlussarbeit gliedert sich in sechs Kapitel. Nach der Einleitung werden in Kapitel 2 relevante Grundlagen und Begriffsdefinitionen erläutert, die im Verlauf der Arbeit von Bedeutung sind. Im Hinblick auf den Kontext dieser Arbeit werden zunächst Grundlagen aus der Physiotherapie behandelt, insbesondere werden fundamentale Behandlungsmaßnahmen und Phasen betrachtet. Anschließend wird das Projekt „LeapPhysio“ vorgestellt, das in der Evaluation gegenübergestellt werden soll. Des Weiteren befasst sich dieses Kapitel mit der Definition von Muscle-Computer-Interfaces, eine Form der Benutzungsschnittstelle, die unter anderem auf der Verwendung von Elektromyographie (kurz „EMG“) basiert und zu dieser das Thalmic Myo-Armband gehört. Abschließend werden im Hinblick auf die Evaluation die Begriffe der User Experience und Intuitivität erläutert.

Im darauffolgenden Kapitel werden die Anforderungen und Rahmenbedingungen dieser Abschlussarbeit vorgestellt. Anfänglich wird die Funktionsweise des Myo-Armbands näher erläutert und nachträglich die Anforderungen präsentiert, die sich aus der Zusammenarbeit mit zwei Physiotherapeutinnen ergeben haben.

Das vierte Kapitel befasst sich im Vorfeld zunächst mit der Implementierung des Bluetooth-Protokolls, wodurch auf die unverarbeiteten EMG-Daten des Myo-Armbands zugegriffen werden kann, die anschließend mit Hilfe des k-Means-Clustering untersucht werden. Als Nächstes werden die Gestaltungsideen erarbeitet, die sich aus den Anforderungen ergeben und darauffolgend die Konzepte, sowie praktischen Ergebnisse vorgestellt.

Ein weiteres Ziel besteht in der Evaluation des Prototyps und zugleich der LeapPhysio-Anwendung. In Kapitel 5 werden die Durchführung und Ergebnisse der Evaluierung vorgestellt und diskutiert.

Als Abschluss wird in Kapitel 6 eine Zusammenfassung der Inhalte gegeben, als auch ein Fazit über die Ergebnisse gezogen und darüberhinaus ein Ausblick auf mögliche Weiterentwicklungen der Konzepte gegeben.



### 1.3 Methodische Vorgehensweise

Für eine grundlegende Basis des Prototyps erfolgt im Rahmen dieser Masterarbeit zunächst eine strukturierte Anforderungsanalyse in Zusammenarbeit mit zwei Physiotherapeutinnen der IB Medizinischen Akademie Mannheim. Hinsichtlich der Anforderungen werden verschiedene Gestaltungsideen erarbeitet und zunächst in Form von Mockups umgesetzt. Die Gestaltungsideen werden im Laufe der Abschlussarbeit nach und nach eingegrenzt. Dabei bedient sich diese Arbeit in der Entwicklung des Prototyps an der Theorie des Design Funnels, speziell dem Ansatz des „Getting the right design“ (dt. „die richtige Gestaltung finden“), beschrieben von Buxton, Greenberg et al. [3, 9].

Neben der Erarbeitung von Gestaltungsideen und der finalen Auswahl der Konzeption erfolgt eine Literaturstudie über die wesentlichen Grundlagen, die im Verlauf der Arbeit von Bedeutung sind. Im Zuge dessen werden verwandte Forschungsarbeiten betrachtet.

Das Konzept wird anschließend im Rahmen dieser Abschlussarbeit umgesetzt und hinsichtlich der Akzeptanz und User Experience mittels verschiedenen Evaluationsinstrumenten nach Diefenbach und Hassenzahl [5] untersucht und die Ergebnisse entsprechend ausgewertet.

#### Exkurs: Der Design Funnel

Um die Größe eines Gestaltungsspielraums zu bewältigen und die Entwicklung von Prototypen zu systematisieren, beschreiben Buxton, Greenberg et al. [3, 9] eine iterative Vorgehensweise, den sogenannten „Design Funnel“ (dt. „Gestaltungstrichter“). Dabei werden zwei wesentliche Ansätze erläutert: „Getting the design right“ und „Getting the right design“.

Bei „Getting the design right“ (dt. „die Gestaltung richtig machen“) wird mit einer alleinigen Konzeptidee begonnen, die in der Regel etappenweise über mehrere Prototypen verfeinert und ausgearbeitet wird, jedoch ohne die Klarheit zu besitzen, den richtigen Ansatz zu verfolgen. Greenberg et al. bezeichnen dieses Ereignis als „Local Hill Climbing“, wie es auch aus Algorithmen des Data Mining bekannt ist [9]. Hierbei besteht die Gefahr, dass man sich sukzessiv einem *lokalem Maximum*, also einer lokal optimalen Konzeption nähert, jedoch der idealistischen Zielvorstellung, dem *globalen Maximum*, weit entfernt bleibt.

Andersherum wird mit „Getting the right design“ (dt. „die richtige Gestaltung finden“) versucht, möglichst früh im Entwicklungsprozess eine Vielzahl an Gestaltungsideen zu

## 1 Einleitung

erarbeiten und diejenigen auszuwählen und prototypisch umzusetzen, die am vielversprechendsten erscheinen [3]. Zwar ist es an der Stelle ebenso unrealistisch, dass die idealistisch-optimale Gestaltungsidee gefunden werden kann, jedoch sind die Chancen ein sehr gutes Konzept zu finden deutlich höher als mit dem ersten Ansatz.

Abbildung 1.1 bildet die schematische Darstellung des Design Funnels ab. Von einer initialen Menge an Gestaltungsideen ausgehend, werden diese über mehrere Iterationen bis hin zu einer endgültigen Konzeptauswahl eingegrenzt.

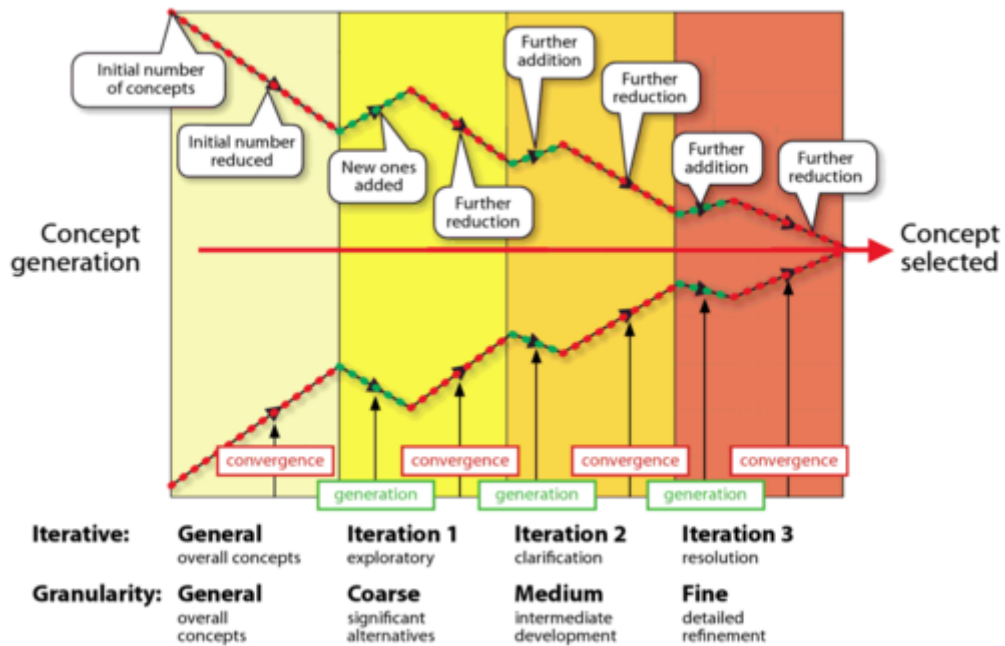


Abbildung 1.1: Darstellung des Design Funnels nach Buxton und Kollegen.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Quelle: [9], S.10.

## 2 Begriffe, Grundlagen und verwandte Arbeiten

In diesem Kapitel werden wichtige Grundlagen und Begriffe geklärt, die im Verlauf der Arbeit von Bedeutung sind. Beginnend mit der Vorstellung elementarer Bewegungsmaßnahmen und Behandlungsphasen in der Physiotherapie, wird anschließend auf das Projekt LeapPhysio eingegangen. Des Weiteren liegen die Schwerpunkte in der Definition von Muscle-Computer-Interfaces, zu denen sich das Thalmic Myo-Armband einordnen lässt und anschließend der Vorstellung verwandter Forschungsarbeiten. Abschließend werden im Hinblick auf die Evaluierung die Begriffe User Experience und Intuitivität erörtert. Der Begriff User Experience wird dabei gegenüber der klassischen Softwareergonomie abgegrenzt.

### 2.1 Hintergründe zur Physiotherapie

Die Physiotherapie beschäftigt sich mit Menschen, die bei der Durchführung alltäglicher Aktivitäten so unabhängig wie möglich sein wollen. Insbesondere wenden sich Patienten dann an die Physiotherapie, wenn diese an physischen Beeinträchtigungen leiden, die sie bei der Ausführung ihrer Aktivitäten behindern. Physische Beeinträchtigungen werden mit Bewegungsstörungen assoziiert [23]. Bewegungsstörungen treten aufgrund einer Verletzung, einer Krankheit oder anderen gesundheitsbedingten Faktoren auf. Die Dienstleistung der Physiotherapie wird jedoch auch von Menschen in Anspruch genommen, die in keiner Weiser körperlich beeinträchtigt sind, sondern zur Prävention, um ihre allgemeine Fitness zu verbessern und um das Risiko einer Verschlechterung des Gesundheitszustandes zu verringern. Zur Versorgung von Patienten werden individuell zugeschnittene Übungsprogramme angewendet. Darunter fällt das therapeutische Üben, das sich als fundamentaler Bestandteil der Physiotherapie herausstellt [23, 30]. Geplante und systematische Bewegungsausführungen sollen dem Patienten helfen, Beeinträchtigungen zu beheben und die physische Funktionalität wiederherzustellen.

Für die Ausführung einer funktionellen Aktivität ist eine Bewegung erforderlich. Daher gilt es für den Therapeuten, regelmäßig den Bewegungsumfang zu untersuchen. Der Bewegungsumfang bezeichnet die insgesamt mögliche Bewegung, die von der Struktur der Gelenke und Flexibilität der Weichteile beeinflusst wird. Entsprechend dem Bewegungsumfang werden drei verschiedene Bewegungsmaßnahmen durchgeführt, die dem

Patienten bei der Wiederherstellung seiner körperlichen Funktion unterstützen sollen: Die passive, assistive und aktive Bewegung [23].

## **Bewegungsmaßnahmen**

Bei der passiven Bewegungsdurchführung werden die Bewegungen allein durch den Therapeuten ausgeführt, wenn der Patient selbst nicht fähig ist, entsprechend beeinträchtigte Körperbereiche zu bewegen. Hier soll vom Patienten keine willentliche Muskelkontraktion durchgeführt werden. Speziell bei akut entzündetem Gewebe ist dies für den Heilungsprozess von großer Bedeutung.

Die assistive Bewegungsdurchführung ist eine Form der aktiven Bewegung. Bei dieser Bewegung wird der Patient bei der Durchführung durch den Therapeuten unterstützt, wenn der Patient nicht in der Lage ist, selbstständig eine Bewegung zu Ende zu führen.

Die aktive Bewegungsdurchführung wird aktiv vom Patienten ausgeführt. Hier findet keine äußere Einwirkung durch den Therapeuten statt. In der Regel werden die Bewegungen während der Therapiesitzung unter Aufsicht des Therapeuten vom Patienten selbstständig durchgeführt. Diese Maßnahme wird eingesetzt, sobald der Patient Muskeln aktiv kontrahieren kann.

Folglich werden diese drei Maßnahmen in der Rehabilitation, mit Rücksicht auf den Gesundheitszustand des Patienten, chronologisch angewendet. Richtlinien der postoperativen Rehabilitation unterteilen diese in drei Phasen, in denen die drei Arten der Bewegungsmaßnahmen individuell eingesetzt werden sollen: *Maximale, mittlere und minimale Schutzphase* [23].

## **Behandlungsphasen**

Die maximale Schutzphase findet direkt nach einer Operation statt und dauert einen Monat bis zu sechs Wochen. Hier liegt der Fokus hauptsächlich auf dem Schutz und der Immobilisation des operierten Körperbereichs. In dieser Phase werden hauptsächlich passive oder auch assistive Bewegungsdurchführungen eingesetzt. Die mittlere Schutzphase beginnt mit dem Abklingen der Entzündung, wenn das Gewebe zunehmende Belastungen standhält und dauert in der Regel vier bis sechs Wochen. Hier soll mit Hilfe assistiver und aktiver Bewegung schrittweise die Beweglichkeit von Gewebe und Gelenk hergestellt und gemeinsam mit dem Patienten kontrollierte Bewegungen ausgeführt werden können. Die

minimale Schutzphase setzt zuletzt an und kann bis zu sechs Monate oder auch länger andauern, bei der im Wesentlichen aktive Bewegungen trainiert werden.

Während innerhalb der maximalen und mittleren Schutzphase der Patient die Bewegungsdurchführung gewöhnlich unter Aufsicht des Therapeuten ausführt, versucht man in der minimalen Schutzphase die Eigenverantwortlichkeit zu fördern. Patienten erhalten hier in der Regel Heimprogramme. Es werden dem Patienten verschiedene Übungen gezeigt, die während der Sitzung erarbeitet und ausschließlich zuhause selbständig durchgeführt werden sollen.

Ein Problem, das sich beim Heimprogramm hierbei bemerkbar macht ist, dass sich der Fortschritt des Patienten nicht konsequent überwachen lässt. Dies ist aber für die Verlaufskontrolle und für die positiven Auswirkungen des Patienten von großer Bedeutung. Erfahrungsberichten zu Folge halten sich Patienten nicht konsequent an die zwischen ihnen und dem Therapeuten gemeinsam gesetzten Therapieziele. Das sei unter anderem durch mangelnde Motivation zu begründen.

### **LeapPhysio - ein gestenbasiertes System zur Unterstützung manueller Physiotherapie**

Eine studentische Gruppe der Hochschule Heilbronn entwickelte im Rahmen einer Lehrveranstaltung das Projekt „LeapPhysio“, mit dem Ziel, unter Verwendung der Leap Motion, Behandlungen in der Handtherapie zu optimieren. Das Projekt wurde in Zusammenarbeit mit einer Physiotherapeutin konzipiert. Dabei wurden Anforderungen erhoben, woraus ein Konzept und eine entsprechende Gestaltung für die Anwendung erarbeitet wurden. Im Rahmen der Analysephase wurden fünf verschiedene Bewegungsübungen erarbeitet, die folglich in einem Prototyp umgesetzt sind. Die Analyse ergab, dass eine Bewegungsübung individuell auf Patienten angepasst werden können muss. Es können verschiedene Parameter wie die *Anzahl der Wiederholungen*, *Sätze* für den Umfang der Übung und ein *zeitlicher Rahmen pro Durchführungssatz* vorgegeben werden, innerhalb dessen die Übung durchgeführt werden soll. Abbildung 2.1 zeigt einen Screenshot des aktuellen Prototyps. Neben den erhobenen Übungsstatistiken stellt die Anwendung zu jeder Übung eine textuelle Anleitung, sowie Videosequenz zur Verfügung, die den Patienten bei der Übungsdurchführung unterstützen sollen.

Die Infrastruktur einer klassischen Physiotherapie-Praxis bringt für den Einsatz des Leap Motion Controllers jedoch einige Probleme. Beispielsweise ist die eingesetzte Computerhardware meist veraltet, sodass eine uneingeschränkte Nutzung des Sensors nicht

möglich ist. Grundsätzlich werden in den Behandlungsräumen auch keine Computersysteme eingesetzt.



Abbildung 2.1: Bildschirmaufnahme der LeapPhysio-Anwendung. Abgebildet ist der Übungsmodus, in dem der Controller zum Einsatz kommt.

Entgegen der Leap Motion als Gestensteuerungssystem, wird im Rahmen dieser Arbeit das Thalmic Myo-Armband eingesetzt, das die Bewegungen der Hand anhand der Muskelströme erkennt. Das Armband zählt zu den Muscle-Computer-Interfaces (kurz „muCI“) und setzt Elektroden ein, welche die elektrischen Signale am Unterarm messen und interpretieren [32, 28].

### Exkurs: Leap Motion

Die Leap Motion ist ein optischer Sensor, der mit Hilfe von zwei CMOS<sup>2</sup>-Kameras und drei Infrarotlicht LEDs die Position, die Bewegungen der Hand und der Finger bestimmen kann und dadurch eine Gestensteuerung ermöglicht [18].

Die Sensoren der Leap Motion liegen entlang der x-Achse und sind nach oben gerichtet. Daher erfolgt die Interaktion oberhalb des Controllers. Der Abstand beschränkt sich dabei auf 25-600 Millimeter und der Blickwinkel auf ca. 150 Grad. Entlang der y-Achse werden auch Tiefenbewegungen erfasst. Abbildung 2.2 visualisiert den drei-dimensionalen

<sup>2</sup> „Complementary metal-oxide-semiconductor“.

Raum für die Interaktion. Für den Einsatz wird der Controller mit einem Computer über eine USB-Schnittstelle verbunden.

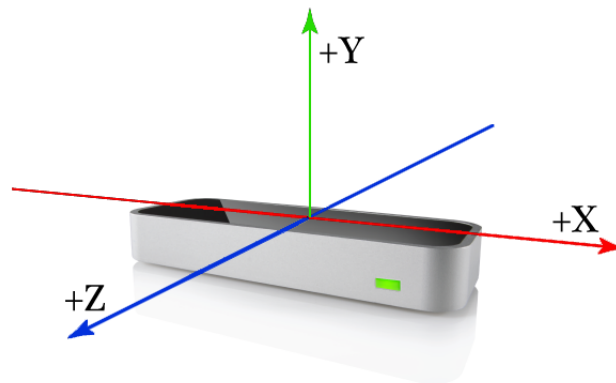


Abbildung 2.2: Drei-dimensionaler Raum für die Interaktion.<sup>3</sup>

## 2.2 Muscle-Computer-Interfaces

Bislang ist die Mensch-Computer-Interaktion stets durch grafische Benutzungsschnittstellen geprägt gewesen, die mittels Eingabegeräten wie einer Maus und Tastatur bedient wurden. Die Interaktion beschränkte sich im Wesentlichen auf das Zeigen und Klicken von Bildsymbolen auf dem Bildschirm und weist einen unnatürlichen Charakter auf, der sich in unserer physikalischen Welt nicht widerspiegelt [35].

Im Laufe der Zeit entstanden neue Technologien, wie beispielsweise die berührungsempfindlichen Displays und optische Sensoren, die völlig neue Interaktionsmöglichkeiten offenbarten und zudem näher an unserem physikalischen Verständnis angelehnt sind. Dabei ließ sich ein Trend beobachten [37], bei dem der Anspruch stetig wächst, die Mensch-Computer-Interaktion nahezu nahtlos in unsere physikalische Umwelt zu integrieren.

Begleitet wurde dieser mit den ersten Überlegungen hinsichtlich einer neuen Eingabemethode, die auf der direkten Erkennung und Interpretation von Muskelaktivität beruht. Einer der ersten Machbarkeitsstudien hinsichtlich dieser neuen Interaktionsform wurden dabei von Saponas und Kollegen [32] der Microsoft Research Gruppe durchgeführt, in der ein Konzept vorgestellt wird, das erstmalig Muscle-Computer-Interfaces mit der

---

<sup>3</sup> Quelle: [18];15.02.2016.

Verwendung von Oberflächen-EMGs zur Messung von Muskelaktivität in Zusammenhang bringt. Elektromyographie wird in der Neurophysiologie angewendet und ist eine Untersuchungsmethode, womit festgestellt werden kann, ob eine Erkrankung des Muskels vorliegt. Auf den erfolgreichen Untersuchungen in der Neurophysiologie beruht das Design-Konzept von Saponas und Kollegen, das den Einsatz von EMG in muCIs untersucht. Des Weiteren wird im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie erstmalig ein Design vorgestellt, dass die Platzierung von Oberflächen-EMGs, in Form eines Armbands, am oberen Unterarm vorsieht (s. Abbildung 2.3 links). Im direkten Vergleich zur Thalmic Myo sieht man, dass Thalmic Labs genau dieses Design-Konzept in ihrem Produkt umgesetzt hat.



Abbildung 2.3: Links das erste Konzept von einem Armband, das mit EMG-Sensoren ausgestattet ist und am Unterarm getragen werden sollte. Rechts das Thalmic Myo-Armband.<sup>4</sup>

In Zusammenhang mit den ersten Überlegungen von Saponas et al. [32, 28] lassen sich in der Umsetzung von muCIs elementare Ansätze beschreiben, aus denen sich ein grundlegendes Modell zusammensetzen lässt. Die verschiedenen Ansätze werden dabei auf drei Module projiziert (s. Abbildung 2.4).

**Datensammlung und -Aufbereitung** Zunächst gilt es entsprechende EMG-Daten zu sammeln und anschließend aufzubereiten. Für die Datensammlung haben sich Oberflächen-EMGs bewährt [28]. Des Weiteren ist es mit Rücksicht auf Signal- und Rausch-Verhältnissen unter Umständen notwendig, das EMG-Signal mit entsprechenden Hoch- und Tiefpassfiltern zu behandeln. Zudem handelt es sich um ein kontinuierliches Signal-Output. Aus diesem Grund bedarf es das EMG-Signal, beispielsweise unter Verwendung eines Analog-Digital-Wandlers, abzutasten und in einzelne Segmente aufzuteilen, die sich in Folge

<sup>4</sup> Quelle [32], <http://blog.thalmic.com/content/images/2015/08/myo-market-2.png>;13.02.2016.



dessen besser von maschinellen Lernalgorithmen verarbeiten lassen.

**Mustererkennung** Im zweiten Modul gilt es mit Hilfe von Lernalgorithmen, speziell aus der Mustererkennung, Gemeinsamkeiten und Strukturen in der Datenmenge zu identifizieren [28]. Mit Unterstützung von Klassifikationsverfahren können Datenobjekte anhand ihrer Merkmale gruppiert und in Kategorien eingeordnet werden. Für eine exakte Kategorisierung gilt es jedoch zunächst sorgfältig ausgeprägte Merkmale aus den einzelnen Segmenten zu extrahieren, anhand derer sich die Datenobjekte unterscheiden (engl. „feature extraction“). Zudem wird die Datenmenge dadurch auf wesentliche Informationen reduziert. Aus der Menge an Trainingsdaten samt ihren Merkmalen werden mit Hilfe mathematischer Funktionen entsprechende Vektoren geformt. Merkmalsvektoren verkörpern Patterns mit charakteristischen Eigenschaften, die aus den EMG-Signalen gewonnen werden konnten und repräsentieren entsprechende Datenobjekte, die das Lernverhalten des Klassifikators beeinflussen. Die Zielklassen bilden die Kategorien, denen neue Objekte zugeordnet werden können.

**Steuerungssystem** Die Zielklassen werden als Steuerungsbefehle für eine Benutzungsschnittstelle interpretiert, die daraufhin für die Interaktion mit einem System genutzt werden können.

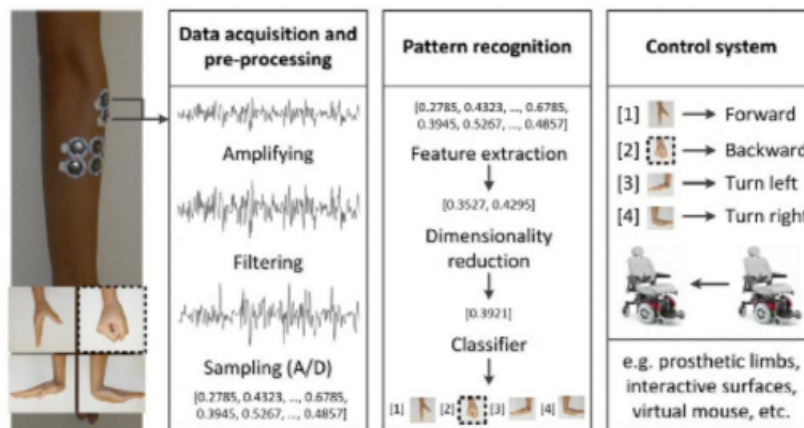


Abbildung 2.4: Die drei wesentlichen Module anhand derer sich Muscle-Computer-Interfaces definieren lassen.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Quelle: [28], S.2.

### 2.2.1 Maschinelles Lernen

Hinsichtlich dem zweiten Bearbeitungsschritt des Modells, eignen sich für die Mustererkennung maschinelle Lernverfahren. Ein System soll dabei anhand von Beispielen antrainiert werden und daraus Muster und Gesetzmäßigkeiten in den Lerndaten erkennen. Maschinelle Lernverfahren beruhen auf Algorithmen, wobei es dabei verschiedenartige Ansätze in der Umsetzung gibt. Ein Ansatz ist beispielsweise das überwachte Lernen (engl. „supervised learning“), während eine Entscheidungsfunktion aus gegebenen Ein- und Ausgabewerten dem System richtige und falsche Trainingsbeispiele beibringen soll. Zu diesem Ansatz zählen beispielsweise Klassifizierungsverfahren.

Im Hinblick auf die Wiedererkennung von Patterns in EMG-Signalen beschäftigten sich eine Reihe von Forschungsarbeiten mit der Untersuchung verschiedener Klassifizierungsverfahren und ihren Genauigkeiten angesichts der Erkennungsrate von muskulären Bewegungen. Ein nicht selten angewandtes Verfahren ist unter anderem die Support-Vector-Machine (kurz „SVM“) [32, 1].

**Support Vector Machine** Für die Lernphase des Systems setzen SVMs entsprechend Trainingsdaten voraus, bei denen die Klassenzugehörigkeiten der Objekte im vorhinein festgelegt sind (engl. „labeled data“) [2]. Jedes dieser Trainingsobjekte wird entsprechend durch einen Merkmalsvektor in einem Vektorraum repräsentiert. Die grundlegende Idee hinter der Support Vector Machine ist, die Menge von Trainingsobjekten angesichts ihrer Klassen durch eine Hyperebene voneinander zu trennen. Um eine solche Trennung zu erreichen, sucht man eine passende Entscheidungsfunktion, welche die Objekte zuverlässig klassifizieren kann. Die Klassenzugehörigkeit eines neuen Datenobjekts entscheidet sich anhand des Ergebnisses dieser Entscheidungsfunktion. Unter diesem Aspekt stellt sich jedoch die Frage, wie die gewünschte Hyperebene zu wählen ist.

SVMs setzen die Hyperebene grundsätzlich so, dass der Abstand zwischen den Klassen jeweils möglichst groß wird (vgl. Abbildung 2.5). Dadurch kann die Wahrscheinlichkeit einer korrekten Einordnung eines neuen Datenobjekts maximiert werden. Der Abstand wird als Rand bezeichnet (engl. „Margin“) und beschreibt die Distanz der Hyperebene zu den Vektoren, die ihr am nächsten liegen. Das sind die Stützvektoren (engl. „Support Vectors“), von denen die Hyperebene abhängig ist.

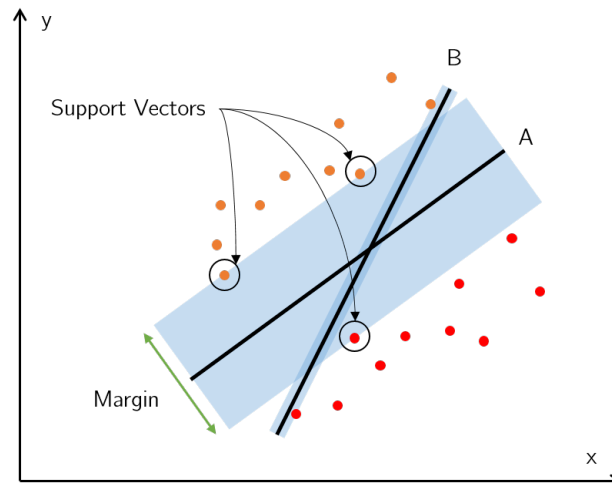


Abbildung 2.5: Zwei mögliche Hyperebenen A und B mit verschiedenen Margins.<sup>6</sup>

SVMs eignen sich sowohl für linear trennbare als auch nicht linear trennbare Trainingsdaten. Um im zweiten Fall die angewandte Methodik der Hyperebenen-Trennung ebenfalls anwenden zu können, wird der Vektorraum und die dazugehörigen Trainingsobjekte durch eine bestimmte Kern-Funktion in einen höher-dimensionalen Raum transformiert, wo sich die Trainingsdaten letztendlich linear trennen lassen. Dort wird eine entsprechende Hyperebene errechnet, die bei der Rücktransformation in den ursprünglichen Raum zu einer nicht-linearen Trennfläche wird.

Mit Hilfe einer SVM gelingt es Saponas et al. [32] in ihrem Versuchsaufbau zwischen einzelnen Positionen der Finger, abweichendem Fingerdruck und variierender Fingerbewegungen zu unterscheiden (vgl. Abbildung 2.6). Das Experiment wurde mit insgesamt zwölf Probanden durchgeführt, von denen EMG-Daten gesammelt wurden. Bei der Auswahl der Features soll insbesondere zwischen Ruhelage und Bewegung unterschieden werden. Infolgedessen wurde im Gesamtergebnis eine Erkennungsrate bis zu 95% erreicht. Dabei wird nicht nur in ihrer Arbeit darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse des Klassifikators einerseits durch die Qualität der gewonnen EMG-Signale bestimmt sind und andererseits durch eine sorgfältige Auswahl der Merkmalsausprägungen, anhand derer der Klassifikator trainiert werden soll [25, 1, 22].

---

<sup>6</sup> Quelle: Angelehnt an [2].

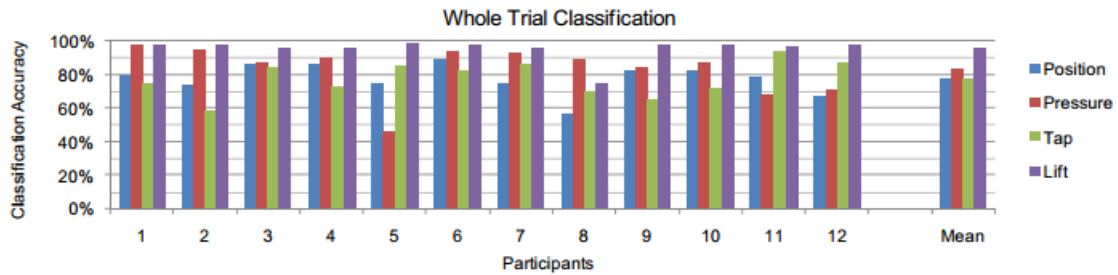


Abbildung 2.6: Die Zuverlässigkeit des Klassifikators dargestellt für alle Fingerbewegungen.<sup>7</sup>

Neben der SVM, fanden unter anderem auch der k-Nearest-Neighbour und der Bayes Klassifikator Anwendung in muCI-Systemen [22, 1]. Bei beiden handelt es sich um Verfahren mit linearer Trennfunktion.

**k-Nearest-Neighbour** Die Idee des k-Nearest-Neighbour-Klassifikators (dt. „k-nächste-Nachbarn“ oder kurz „kNN“) ist, Datenmengen in Abhängigkeit ihrer nächsten Nachbarn zu klassifizieren. Dabei werden die k nächsten Nachbarn gesucht. Die Bestimmung der nächsten Nachbarn erfolgt unter Berücksichtigung minimaler Abstände. Dabei sind verschiedene Abstandsmaße denkbar, wie der Euklidische Abstand oder die Manhattan-Metrik. Die Einordnung eines neuen Datenobjekts erfolgt durch Mehrheitsentscheidung, d.h. das Datenobjekt wird derjenigen Klasse zugeordnet, die unter den k nächsten Nachbarn am häufigsten vorkommt. Dabei kann auch der Fall eintreten, dass mehrere Klassen dieselbe Häufigkeit haben. Dann wird die Klasse zufällig ausgewählt. Bei nur zwei Klassen lässt sich dieser Fall jedoch grundsätzlich durch die Auswahl einer ungeraden Anzahl k vermeiden.

Das Ergebnis des Klassifikators hängt dabei stark von der Auswahl k ab [13]. Ein klein gewähltes k führt zu einer instabilen Klassifikationsentscheidung, worüber keine klaren Klassentrennungen zu erkennen sind (s. Abbildung 2.7 links). Man erhält einen geringen Bias, aber wiederum eine große Varianz. Ausreißer oder kleine Veränderungen der Lage eines Merkmalsvektors würden folglich leicht zu einer anderen Klassenzuordnung führen. Andersherum führt eine höhere Anzahl k zwar zu einer zuverlässigen Einordnung von Objekten, jedoch ist es nicht immer sinngemäß weit entfernte Trainingsbeispiele mit einzubeziehen, wobei Trainingsdaten vermehrt falsch klassifiziert werden (vgl. Abbildung 2.7 rechts).

<sup>7</sup> Quelle: [32], S.8.

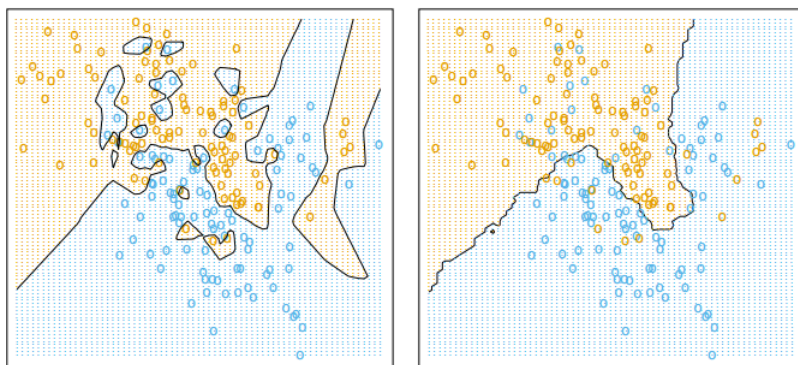


Abbildung 2.7: Das Klassifikationsproblem nach [13]. Links der Fall für 1-NN und rechts ein 15-NN-Fall.<sup>8</sup>

Um letztendlich eine geeignete Anzahl  $k$  zu finden, müssen Stichproben entnommen und die Fehlerraten verglichen werden. Das  $k$  mit der geringsten Fehlerrate soll dann idealerweise verwendet werden.

In der Arbeit von Kim, Mastnik und André [22] wurde der  $k$ NN-Klassifikator in Kombination mit dem Bayes-Klassifizierer eingesetzt. Das Ergebnis war eine durchschnittliche Erkennungsrate von 94% in der Unterscheidung von vier verschiedenen Handgesten. Auch in dieser Arbeit wird hervorgehoben, dass die Ergebnisse stark von der Qualität der Daten abhängen und die größten Herausforderungen stückweise in der Aufbereitung und Auswahl geeigneter Daten liegen. Insbesondere im Hinblick auf  $\mu$ CI als eine Benutzungsschnittstelle, die sich nicht nur auf eine geringe Stichprobe beschränken soll, sondern idealerweise von einer breiten Masse genutzt werden kann.

### 2.2.2 Einsatzmöglichkeiten

Muscle-Computer-Interfaces haben bereits in verschiedenen Bereichen Anwendung gefunden. Beispielsweise entwickelten Zhang Xu et al. [38] im Rahmen ihrer Forschungsarbeit ein Gestensteuerungssystem zur Lösung eines virtuellen Zauberwürfels. Durch Anwendung von Oberflächen-EMGs in Kombination mit einem Beschleunigungssensor wurden entsprechende Bewegungsdaten aufgezeichnet, worauf ein Hidden Markov Model angewendet wurde, das zwischen 18 verschiedenen Handgesten unterscheidet (s. Abbildung 2.8).

---

<sup>8</sup> Quelle: [13], S.15-16.

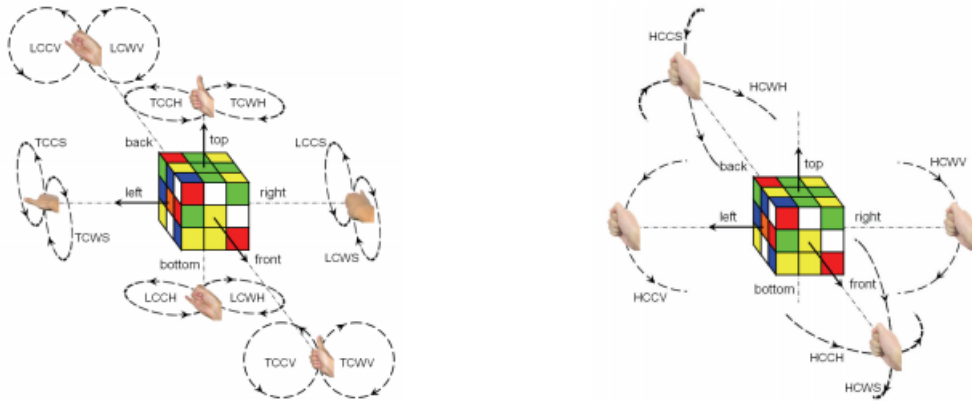


Abbildung 2.8: Zwölf kreisförmige Handgesten zur Beeinflussung einzelner Seiten des Würfels und sechs weitere, um den ganzen Würfel zu drehen.<sup>9</sup>

Den Einsatz von EMG-Sensoren untersuchten unter anderem auch Wheeler und Jorgensen [36] bei dem Versuch, Joystick-Bewegungen zu erkennen, während die Sensoren am Unterarm befestigt sind. In ähnlicher Form entwickelten Naik et al. [27] ein System, das mit Hilfe von EMG zwischen Hand- und Fingerbewegungen unterscheiden kann.

Im Vergleich zur Anwendung von EMG-Sensoren entwarfen Dementyev und Paradiso [4] das WristFlex, eine Benutzungsschnittstelle fernab von EMG, die sich durch Hand- bzw. Fingerbewegungen bedienen lässt. Eingesetzt werden hingegen FSR-Sensoren<sup>10</sup> zur Messung von Kraft- bzw. Druckeinwirkung. Umgesetzt wurden diese Sensoren in einem Armband für das Handgelenk (s. Abbildung 2.9). In der Ausführung von Fingerpinch-Bewegungen werden bestimmte Muskelbereiche um das Handgelenk angespannt und die Druckverhältnisse über die FSR-Sensoren registriert. Entsprechende Signaldaten wurden folglich gesammelt und mit Hilfe einer SVM klassifiziert. Getestet wurde das WristFlex beispielsweise in der Steuerung von einfachen RGB-Lampen oder einer Bremsleuchte, die durch das Betätigen der Fahrradbremse aufleuchtet. Insgesamt konnte zwischen sechs verschiedenen Handgesten, mit einer durchschnittlichen Erkennungsrate von über 80% unterschieden werden.

<sup>9</sup> Quelle: [38], S.403.

<sup>10</sup> „Force Sensing Resistor“.



Abbildung 2.9: Das WristFlex verwendet statt EMG FSR-Sensoren.<sup>11</sup>

Neben einfachen Einsatzszenarien von muCI, gehen verschiedene Arbeiten auch auf die Möglichkeiten für körperlich beeinträchtigte Personen ein. Unter anderem Ho und Kollegen [14], die in ihrer Arbeit ein Außenskelett für die Hand entwickelten, das über die Muskelströme gesteuert wird. Ihre Arbeit richtet sich insbesondere an Patienten, die einen Schlaganfall erlitten und infolgedessen unter Beeinträchtigungen der äußeren Extremitäten leiden. Das Außenskelett soll dabei eine passive Unterstützung für den Patienten darstellen, indem das System die Intention des Patienten erkennt und entsprechende Bewegungen der Hand durch äußere Einwirkung zu Ende führt, wenn der Patient selbst nicht fähig ist (s. Abbildung 2.10). Konkrete Bewegungen, die das Trainingssystem im Wesentlichen unterstützen, sind das Öffnen und Schließen der Hand.

---

<sup>11</sup> Quelle: [4], S.161.

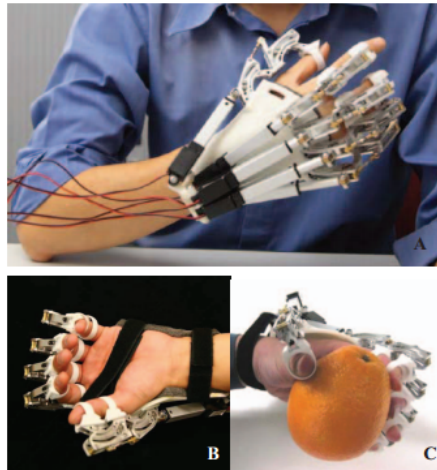


Abbildung 2.10: Das Außenskelett ermöglicht es trotz Dysfunktion Gegenstände zu greifen.<sup>12</sup>

Nach regelmäßiger Anwendung des Trainingssystems durch acht Schlaganfallpatienten, zeigten erste Evaluationsergebnisse, im direkten Vergleich zu vor und nach der Anwendung des Systems, eine Verbesserung der motorischen Fähigkeiten.

Ferner stellen Pölzer und Miesenberger [29] ein Anwendungsszenario vor, bei dem Gestensteuerungssysteme, wie das Thalmic Myo-Armband, zur Darstellung von nonverbaler Kommunikation für blinde Personen eingesetzt werden.

In den vorherigen Abschnitten des Kapitels wurden die typischen Ansätze in der Umsetzung von Muscle-Computer-Interfaces erläutert und zugleich die besondere Rolle maschineller Lernverfahren eingeordnet. Nachdem abschließend verwandte Arbeiten vorgestellt wurden, soll nun im nachfolgendem Abschnitt auf den Begriff der User Experience eingegangen werden, das hinsichtlich der Evaluation an Bedeutung gewinnt. Hierbei soll die User Experience zunächst von der klassischen Software-Ergonomie differenziert werden.

---

<sup>12</sup> Quelle: [14], S.1.



## 2.3 Begriff der User Experience

Die Software-Ergonomie ist ein Teilgebiet der Software-Qualität und beschäftigt sich mit Methoden und Rahmenbedingungen, die für eine hohe Gebrauchstauglichkeit (engl. „Usability“) eines Softwareprodukts notwendig sind. Hierzu existieren verschiedene Normen wie die ISO Norm 9241, die entsprechende Qualitätsrichtlinien beschreibt, um die Ergonomie interaktiver Systeme sicherzustellen. Die ISO Norm 9241 ist in verschiedene Abschnitte unterteilt. Abschnitt 11 dieser Norm befasst sich mit den Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit und bestimmt diese durch drei wesentliche Leitkriterien: Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit. Demzufolge wird die Gebrauchstauglichkeit am „Ausmaß, mit welchem die angestrebten Ziele erreicht werden“ sowie am „Ausmaß, mit welchem Anwender die Benutzung eines Produkts akzeptieren“ gemessen (ISO Norm 9241-11). Zusätzlich sind in Abschnitt 110 konkrete Leitlinien hinsichtlich der Gestaltung von Mensch-Maschine-Dialogen definiert.

Die Methoden der Software-Ergonomie umfassen einerseits empirische Evaluationen [31] als auch analytische Verfahren, wie etwa „Cognitive Walkthroughs“ [24] und sind insgesamt um eine große Objektivität bemüht, um die Gebrauchstauglichkeit zu messen. Auch die Zufriedenheit als Kriterium, das zunächst äußerst subjektiv erscheint, lässt sich durch umfangreiche Kontextanalysen als auch nutzerzentrierte Entwicklungsprozesse (ISO Norm 9241-210) erreichen und verbessern. Des Weiteren gibt es Messinstrumente, wie den AttrakDiff [11], um die wahrgenommenen pragmatischen Qualitäten eines Produkts zu messen.

Der Begriff der User Experience (dt. „Benutzererlebnis“ oder kurz „UX“) ist ein weiterer Bestandteil der ISO Norm 9241 und wird in Abschnitt 210 wie folgt definiert:

„[...] Wahrnehmung und Reaktion einer Person, die aus der tatsächlichen und/oder der erwarteten Benutzung eines Produkts, eines Systems oder einer Dienstleistung resultieren“ - ISO 9241-210: Software-Ergonomie.

User Experience erweitert das Konzept der Usability und umfasst zusätzlich subjektive Aspekte, wie die Erfahrung und Erlebnisse vor, während und nach der Benutzung eines Produkts (s. Abbildung 2.11).

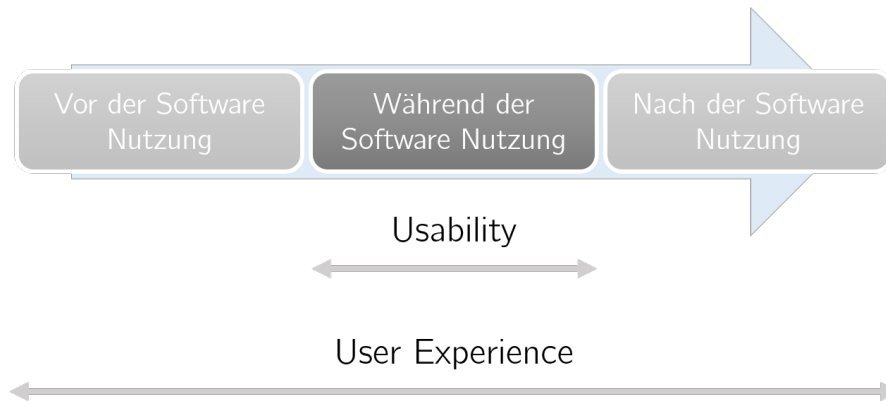


Abbildung 2.11: Die Sicht auf Usability und User Experience.<sup>13</sup>

Hassenzahl [10] untergliedert UX in drei verschiedene Ebenen und betrachtet neben den ergonomischen Anforderungen auch die psychologischen Bedürfnisse des Anwenders. In seinem Ebenenmodell beschreibt Hassenzahl [5] eine auf der Aktivitätstheorie aufbauende und hierarchische Strukturierung von menschlichen Zielen. Bei den drei Ebenen handelt es sich um die *Warum-*, *Was-* und *Wie-*Ebene (s. Abbildung 2.12).

Zu Beginn müssen die produktzentrische Was- bzw. Wie-Ebene erörtert werden, bevor die Warum-Ebene und ihre psychologische Bedeutung hinsichtlich UX betrachtet werden kann.

**Was-Ebene** Die Was-Ebene orientiert sich an der Fragestellung, was der Nutzer konkret mit einem Produkt tun kann. Ein passendes Beispiel ist das Wählen einer Telefonnummer. Dabei werden spezifisch die anwendungs- bzw. aufgabenbezogenen Anforderungen an das Produkt adressiert. Die Anforderungen hängen unter anderem von der Wie-Ebene und ihren technologischen Aspekten ab, dargestellt in Abbildung 2.12 durch die Überlappung.

**Wie-Ebene** Die Wie-Ebene beschäftigt sich hingegen grundsätzlich mit der Frage, wie der Nutzer mit einem Produkt interagieren kann und bezieht sich auf konkrete Handlungsschritte und deren grundlegenden Eigenschaften. Am Beispiel der Wahl einer Telefonnummer bezieht sich die Wie-Ebene auf die entsprechenden Mittel - sei es mittels Wählscheibe, Nummernblock oder Touchdisplay. Die Frage nach konkreten Operationen

<sup>13</sup> Quelle: Inhaltlich angelehnt an die ISO Norm 9241-210.

die zum Ziel führen reicht allein nicht aus. Es wird untersucht, wie sich eine Interaktion dabei anfühlt bzw. wie ästhetisch eine Interaktion wahrgenommen wird. Hassenzahl sieht die Frage nach dem Wie als typisches Aufgabengebiet des Interaction Designers: Die gegebene Funktionalität in ansprechender und ästhetischer Weise zugänglich machen [10]. Dabei stehen die technologiezentrierten Aspekte im Vordergrund.

**Warum-Ebene** Die Warum-Ebene befasst sich mit der Fragestellung, warum eine Tätigkeit aufgenommen wird und adressiert zusätzlich die dahinterstehenden Bedürfnisse eines Menschen [5]. Die Frage nach dem Warum ist stark von der Person selbst als auch der Situation, in der das Erlebnis stattfindet, abhängig. Erst wenn die Motive und Bedürfnisse eines Nutzers bekannt sind, kann das Produkt (die Was-Ebene) und seine Interaktion (die Wie-Ebene) dahingehend gestaltet werden, wodurch das Nutzererlebnis an Bedeutsamkeit zunimmt. Am Beispiel des Telefonierens unterscheidet sich das Wählen der Telefonnummer eines geliebten Menschen vom Wählen der Telefonnummer eines Pizza-Lieferanten. Dabei wird das Bedürfnis der Verbundenheit nach Sheldon und Kollegen [33] besonders berücksichtigt.

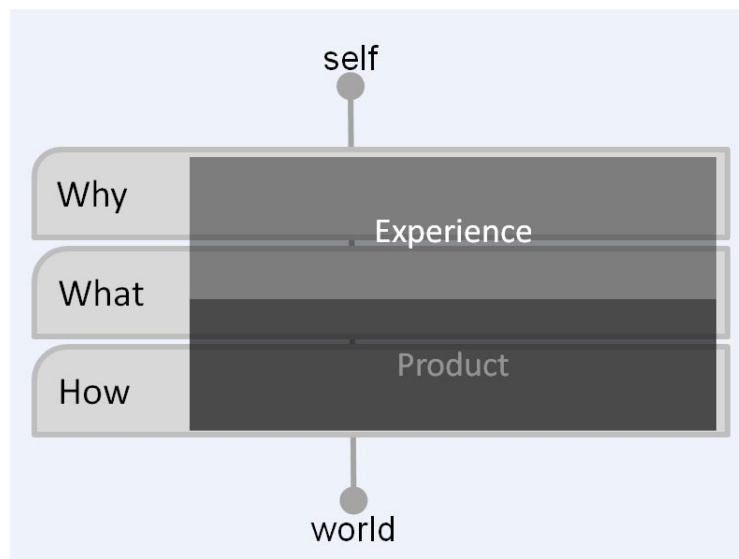


Abbildung 2.12: Das Drei-Ebenenmodell nach Hassenzahl.<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Quelle: [10];19.02.2016.

**Pragmatische und Hedonische Qualitäten** Hassenzahl und Kollegen [12] führen neben dem Ebenenmodell des Weiteren die Begriffe der *Pragmatischen Qualität* sowie der *Hedonischen Qualität* ein. Pragmatische Qualitäten sind die Eigenschaften eines Produkts, die zur Erfüllung anwendungs- bzw. aufgabenbezogener Anforderungen auf der Was- und Wie-Ebene beitragen. Als Hedonische Qualitäten werden jene bezeichnet, welche die psychologischen Bedürfnisse eines Nutzers hinsichtlich der Frage nach dem Warum unterstützen.

Um letztendlich ein positives Nutzererlebnis in Zusammenhang mit der Nutzung von Technologien zu ermöglichen, müssen verschiedene Aspekte wie die technische Komponente selbst, ihre Usability und die Freude an der Nutzung aneinander ausgerichtet werden [12].

## 2.4 Begriff der Intuitivität

Im Laufe der Zeit hat sich neben der Usability und der User Experience in Zusammenhang in der Bewertung eines interaktiven Produkts die *Intuitivität* als weiteres Kriterium etabliert. Der Begriff der Intuitivität als solcher ist in der Literatur jedoch nicht eindeutig definiert und wird immer häufiger in Beziehung zur intuitiven Systemnutzung gestellt.

Hurtienne [15] bezeichnet intuitive Systeme als solche, die im Rahmen einer Aufgabenstellung von dem jeweiligen Benutzer durch unbewusste Anwendung des Vorwissens und durch minimalen Verbrauch kognitiver Ressourcen effektiv, effizient und zufriedenstellend nutzbar sind. Das Vorwissen eines Nutzers findet dabei auf verschiedenen Ebenen seinen Ursprung. Hinsichtlich dem Vorwissen unterscheidet Hurtienne zwischen angeborenen Instinkten, im Laufe des Lebens angeeigneten Sinneserfahrungen als auch kulturellbedingtem Wissen, sowie durch Expertise erlangter Bildung.

Abbildung 2.13 stellt das Ebenenmodell des Vorwissens nach Hurtienne dar und beschreibt, je weiter ein Produkt fernab der angeborenen Instinkte gestaltet wird, desto kleiner wird die erreichbare Benutzergruppe und desto spezieller wird das Vorwissen, auf dem die Intuition beruht.



Abbildung 2.13: Die Ebenen des Vorwissens nach Hurtienne.<sup>15</sup>

Im Vergleich zu Usability liegt der Fokus von Intuitivität auf der kognitiven Last, sodass die Aufmerksamkeit des Anwenders der primären Aufgabe gilt. Bei Intuitivität wird zudem ein enger Zusammenhang zu den Gestaltungsprinzipien gesehen. Mohs et al. [26] sehen insbesondere eine Relation zur Erwartungskonformität, Selbstbeschreibungsfähigkeit und Aufgabenangemessenheit (ISO Norm 9241-110). Ergänzend ergaben sich weitere Gestaltungskriterien wie Vorwissentransfer oder Analogiebildung und Verwendung bekannter Symbole aus vorhergehender Erfahrung.

Auf der Grundlage ihrer Ergebnisse stellen Mohs und Kollegen folgende Definition auf:

„Ein technisches System ist im Rahmen einer Aufgabenstellung in dem Maße intuitiv benutzbar, in dem der jeweilige Benutzer durch unbewusste Anwendung von Vorwissen effektiv interagieren kann.“ - (Mohs et al., 2006)[26]

Intuitivität lässt sich mit Hilfe des INTUI-Fragebogens messen, das versucht die verschiedenen Komponenten intuitiver Nutzung zu erfassen, die zusammengefasst darstellen, was Nutzer mit dem Begriff „intuitiv“ verbinden.

<sup>15</sup> Quelle: [15], S.34.

## 3 Anforderungen und Rahmenbedingungen

Im Rahmen von Kapitel 3 werden entsprechende Anforderungen an die therapeutische Anwendung, sowie Rahmenbedingungen für die Konzeption und Entwicklung des Prototyps vorgestellt. Hierbei soll zunächst die Funktionsweise des Myo-Armbands erläutert werden. Daraufhin werden die Anforderungen erarbeitet, die sich aus der Analysephase im Projekt ergeben.

### 3.1 Rahmenbedingungen

Die Rahmenbedingungen für die Konzipierung des Prototyps sind von der Hochschule Heilbronn vorgegeben und dienen zur Eingrenzung und Fokussierung der Inhalte dieser Abschlussarbeit. Die prototypische Anwendung für die Handtherapie soll unter Verwendung der Thalmic Myo entwickelt werden.

Das Myo-Armband der kanadischen Firma Thalmic Labs ist ein Gestensteuerungssystem, das sich mit Bewegungen der Hand und des Armes bedienen lässt. Hier werden zwei Techniken kombiniert: Durch die Nutzung von Elektroden, die in ähnlicher Form auch bei einer medizinischen Elektromyographie (kurz „EMG“) zum Einsatz kommen, können Bewegungen der Hand erfassen und mit Hilfe eines neun-Achsen Inertialsensors Beschleunigung, Orientierung und Drehung des Armes registrieren. Insgesamt besitzt das Myo-Armband acht EMG-Sensoren zur Erfassung der Muskelaktivität.

Das Armband wiegt insgesamt 93 Gramm, ist 11,5 Millimeter breit und lässt sich mit einem Armumfang von 19 - 34 Zentimeter am Unterarm tragen. Neben den Sensoren verfügt das Myo-Armband des Weiteren über Haptic Feedback, um dem Anwender nach einer Aktion mittels Vibration spürbare Rückmeldung zu geben. Abbildung 3.1 stellt die Komponenten des Armbandes im Überblick dar.

### 3 Anforderungen und Rahmenbedingungen

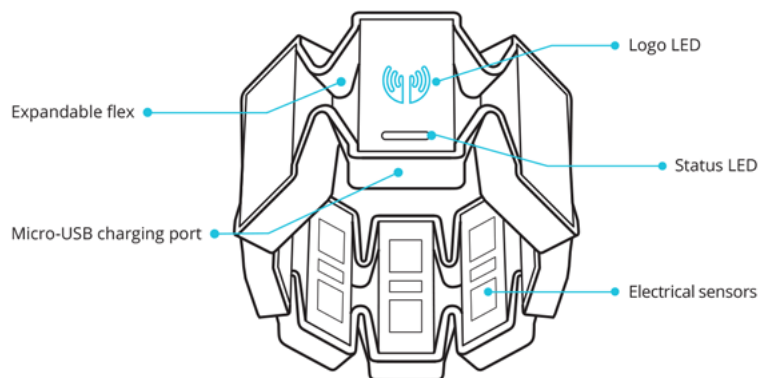


Abbildung 3.1: Komponenten des Myo-Armbands.<sup>16</sup>

Als ein gestenbasiertes Eingabegerät, werden Messungen der Muskelaktivität und Bewegungen des Armes interpretiert, um dem Anwender auf intuitive und natürliche Art und Weise eine Interaktion, mit einem Computersystem zu ermöglichen. Das Myo-Armband verfügt über Bluetooth 4.0 bzw. Bluetooth LE<sup>17</sup> und lässt sich durch sein Lithium-Ion-Akku nach einer Aufladung bis zu 24 Stunden nutzen.

Das Myo Software Development Kit (kurz „SDK“) in der Version 1.00 ermöglicht die Entwicklung von Anwendungen in den Programmiersprachen C++, Objective C, Android und Python.

Im Rahmen dieser Abschlussarbeit ist die Entscheidung auf einen mobilen Lösungsansatz gefallen und dabei wurde eine Android-Applikation in Kombination mit dem Myo-Armband entwickelt. Die Konzeptidee soll sich jedoch nicht einzig auf die Android-Plattform beschränken, sondern auf verschiedene Plattformen übertragbar sein.

Aus der Anforderungsanalyse, auf die in Abschnitt 3.2 näher eingegangen wird, geht hervor, dass die Infrastruktur einer Physiotherapie-Praxis die Nutzung von Gerätschaften wie einen Desktop-PC, zur Behandlung von Patienten nicht vorsieht. Im Projekt LeapPhysio ergab sich ebenfalls die Erkenntnis aus der Analysebeschreibung, dass rechnerunterstützte Systeme in Behandlungsräumen nicht der Regelfall sind. Dies sei durch finanzielle Argumente zu begründen.

<sup>16</sup> Quelle: [https://developer.thalmic.com/docs/api\\_reference/platform/getting-started.html](https://developer.thalmic.com/docs/api_reference/platform/getting-started.html);15.02.2016.

<sup>17</sup> „Bluetooth Low Energy“.

Unter den gegebenen Umständen wird mit einem mobilen Lösungsansatz darauf hingewirkt, kostenaufwändige Anschaffungen seitens Therapeuten wie auch Patienten zu vermeiden. Das Konzept zielt darauf hin, dass Patienten ihr privates Smartphone in die Physiotherapie-Praxis mitbringen und als Unterstützung für das heimbasierte Training nutzen.

## 3.2 Anforderungen

In den beiden nachfolgenden Abschnitten werden Anforderungen an den Prototypen vorgestellt, die sich aus der Zusammenarbeit mit zwei Physiotherapeutinnen von der IB Medizinischen Akademie Mannheim ergeben. Beginnend mit der Beschreibung des Nutzungskontexts, in der der Prototyp seine Anwendung finden soll, werden anschließend die funktionalen Anforderungen aufgelistet. An die Anforderungen wird im Laufe der nachfolgenden Ausführungen erneut Bezug genommen.

### 3.2.1 Nutzungskontext

„[...] ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt [...], um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen.“ - ISO 9241-11: Software-Ergonomie

Die Analyse des Nutzungskontexts ist die Grundlage für die Ableitung von Nutzungsanforderungen und führt zu impliziten und expliziten Erfordernissen der Nutzergruppen. Als Basis für die Entwicklung können dadurch Anforderungen an das System identifiziert werden. Die Anforderungen geben wieder, was die Nutzergruppen mit dem System erreichen möchten. Im Rahmen der Analysephase werden zwei Physiotherapeutinnen der IB Medizinischen Akademie Mannheim mittels einem strukturierten Interview befragt, mit dem Ziel, Informationen über grundlegende Arbeitsbedingungen, Arbeitsabläufe und weiteren Besonderheiten zu gewinnen. Es werden nachfolgend die wesentlichen Inhalte aufgeführt.

Beide Physiotherapeutinnen stammen aus der Chirurgie und Orthopädie und arbeiten intensiv im Bereich der postoperativen Behandlung von Muskelverletzungen. Eine der beiden Physiotherapeutinnen übt ihre Arbeit vermehrt in einer Rehaklinik aus, während die zweite Therapeutin wiederum in einer ambulanten Physiotherapie-Praxis tätig ist.

Die Behandlung von Patienten findet grundsätzlich in den dafür vorgesehenen Behandlungsräumen der Klinik bzw. Praxis statt. Gelegentlich kommen auch Hausbesuche in



### 3 Anforderungen und Rahmenbedingungen

Frage, jedoch bei älteren Patienten, die in ihrer Mobilität eingeschränkt sind. Die Behandlungsräume sind in der Regel mit manuellen Hilfsmitteln ausgestattet. Zu dem gängigen Inventar zählen beispielsweise Hanteln, Massagebälle oder Liegematten. Auch bei komplexen Handverletzungen kommen verschiedene Utensilien zum Einsatz. Grundsätzlich soll die funktionsgestörte Hand jedoch, wie im einleitenden Kapitel beschrieben, vor allem mit Hilfe passiver, assistiver und aktiver Bewegungsdurchführungen zur ursprünglichen Funktion zurückgeführt werden. Dabei ist die passive Mobilisation durch den Therapeuten zunächst für die Schmerzlinderung von großer Bedeutung. Abbildung 3.2 stellt klassische Behandlungsräume aus einer Physiotherapie-Praxis dar.



Abbildung 3.2: Behandlungsräume einer Physiotherapie Praxis in Viernheim.<sup>18</sup>

Rechnersysteme dienen hauptsächlich der administrativen Nutzung, wie beispielsweise der Verwaltung von Patientendaten oder Planung der Termine. In der Regel befindet sich ein Computer an der Rezeption. In den Behandlungsräumen sind keine Rechnersysteme vorhanden. Die durchschnittliche Behandlungszeit einer Sitzung beträgt ungefähr 20 bis 35 Minuten. Innerhalb dieser eng getakteten Zeit werden entsprechende Behandlungsmaßnahmen am Patienten durchgeführt. Die Verwendung eines Computers, der beispielsweise im Projekt LeapPhysio Voraussetzung ist, wird als zusätzlich zeitlichen Aufwand angesehen und bildet für die Behandlung des Patienten daher keine Notwendigkeit.

Die Physiotherapie wird von Ärzten per Rezept verordnet. Anhand des Rezepts weisen Ärzte die Therapeuten über bereits erbrachte Behandlungsmaßnahmen ein. Basierend auf der Einweisung des Arztes wird in den ersten Behandlungen eine ausführliche Befundung erstellt. Dazu gehört eine Anamnese und die physiotherapeutische Untersuchung

<sup>18</sup> Quelle: <http://www.krankengymnastik-viernheim.de/impressionen.html>;05.01.2016.

### 3 Anforderungen und Rahmenbedingungen

durch den Therapeuten, um das Krankheitsbild zu erfassen. Aufbauend auf der Eingangsuntersuchung durch den Therapeuten werden individuelle Therapieziele definiert und entsprechende Übungsprogramme gestaltet. Bei einer Handverletzung werden, je nach Krankheitsbild, beispielsweise Übungen zur Stabilität der Muskeln, Bewegung oder Feinkoordination durchgeführt.

Während der maximalen und mittleren Schutzphase, in denen im Wesentlichen passive und assistive Bewegungsdurchführungen angewendet werden, steht der Patient bei der Ausführung der Übungen regelmäßig unter Aufsicht des Therapeuten, wodurch sich der Genesungsprozess beobachten lässt und Behandlungsmaßnahmen, je nach Gesundheitszustand und Fortschritt, individuell anpassen lassen.

Innerhalb der minimalen Schutzphase, die zwischen der sechsten und zwölften Woche nach der Operation beginnt, erfolgt hauptsächlich Heimprogramm mit aktiven Bewegungsdurchführungen, die innerhalb der Therapiesitzung erarbeitet werden. In dieser Phase versucht man die Eigenverantwortlichkeit und Selbstständigkeit des Patienten zu fördern. Patienten neigen aus Verunsicherung oder gar mangelnder Motivation das Training zu Hause zu vernachlässigen. Aus diesem Grund bietet sich daher die Möglichkeit einer Anwendung an, die zur Fortschrittskontrolle, Motivation und Anleitung von Bewegungsausführungen während des heimbasierten Trainings beiträgt und somit eine Steigerung der Adhärenz bewirkt. Des Weiteren wird die Möglichkeit zur Dokumentation der Behandlungsmaßnahmen gesehen. Dokumentation in der Praxis sei sehr zeitaufwändig und aufgrund des engen Zeitplans nicht der Regelfall.

Aus dem Interview stellt sich heraus, dass die eng getakten Behandlungszeiten wenig Freiraum für zusätzlichen Aufwand zulassen. Dies hat zur Folge, dass die zu entwickelnde Anwendung effizient bedienbar sein soll. Ohne großen Aufwand sollen vom Therapeuten entsprechende Übungsprogramme erstellt und dem Patienten mit auf den Heimweg gegeben werden können. Im Wesentlichen werden hier hauptsächlich Vorteile für Patienten gesehen, die durch die entsprechende Anwendung angeleitet und motiviert werden. Die primäre Arbeit des Physiotherapeuten sei weiterhin die manuelle Therapie.

#### 3.2.2 Anforderungen

Im folgenden Abschnitt werden Anforderungen vorgestellt, die sich einerseits aus dem Nutzungskontext ergeben und andererseits aus der Zielvorstellung des Projekts beider Physiotherapeutinnen hervorgehen.

### 3 Anforderungen und Rahmenbedingungen

Die wesentlichen Zielfunktionen dieser Anwendung für den Einsatz in der Handtherapie sind:

1. Ein entsprechender Übungsmodus für die Durchführung von Bewegungsübungen,
2. die Möglichkeit einer Einsicht in die Übungssequenzen, die vom Patienten durchgeführt wurden und
3. eine entsprechende Gestaltung der Anwendung, die den Patienten dazu motivieren, heimbasiertes Training entsprechend der Therapieziele durchzuführen.

Der Übungsmodus stellt die grundlegende Funktionalität dieser Anwendung dar. Für das heimbasierte Training soll zunächst ein entsprechender Übungsplan mit verschiedenen Bewegungsübungen konfiguriert werden. Neben der Auswahl an verschiedenen Übungen sollen entsprechende Parameter wie *Anzahl an Wiederholungssequenzen* und eine *Zeitvorgabe* für die Durchführung eingestellt werden können. Der Übungsplan soll dem Patienten individuelle Übungseinheiten anzeigen, die er innerhalb eines bestimmten Zeitraums durchführen soll. Eine Übungseinheit besteht aus verschiedenen Bewegungsübungen. Zudem sollen dem Patienten entsprechende Anleitungen und Beschreibungen bereitgestellt werden, welche die richtige Ausführung der Bewegungsübungen unterstützen. Mittels Videosequenzen kann der Verunsicherung entgegengewirkt werden.

Aufbauend auf dem Übungsmodus soll die Anwendung darstellen, inwieweit der Übungsplan vom Patienten abgeschlossen wurde. Dies bietet Therapeuten die Möglichkeit zu überprüfen, ob Patienten tatsächlich auf die Therapieziele hinarbeiten. Basierend auf dieser Fortschrittskontrolle bildet sich eine neue Grundlage für die Kommunikation zwischen beiden Parteien. Entsprechende Statistiken können gemeinsam erörtert und somit das Heimprogramm individuell an die Bedürfnisse des Patienten angepasst werden.

Neben der technischen Funktionalität ergeben sich hinsichtlich der Anwendungsgestaltung weitere Herausforderungen. Aufgrund der losen Kopplung zwischen Smartphone und Myo-Armband, wird hier ein hohes Maß an Selbstbeschreibungsfähigkeit<sup>19</sup> verlangt, die dem Anwender mittels Hilfen und Rückmeldungen bei der Nutzung der Anwendung unterstützen. Neben der visuellen Rückmeldung seitens der Anwendung, könnten eine haptische Rückmeldung durch das Myo-Armband, wie auch eine akustische Rückmeldung, die Interaktion unterstützen.

---

<sup>19</sup> Aus den Grundsätzen der Dialoggestaltung nach ISO Norm 9241-11.

### 3 Anforderungen und Rahmenbedingungen

Abschließend werden für einen zusammenfassenden Gesamtüberblick in Tabelle 3.1 und Tabelle 3.2 konkrete Anforderungen abgeleitet und im Einzelnen erläutert. Auf die in der Tabelle aufgeführten Anforderungen wird im folgenden Kapitel 4 über die entsprechende ID erneut Bezug genommen.

ID	Bezeichnung der Anforderung	Beschreibung
F1	Übungsplan erstellen	Der Physiotherapeut soll mit Hilfe der Anwendung, ein Programm für das heimbasierte Training erstellen, das von Patienten durchgeführt werden soll. Dabei soll es nur einen aktiven Übungsplan geben, den es abzuschließen gilt. Ein Übungsplan gilt als abgeschlossen, wenn alle Übungseinheiten mit den Übungen beendet sind. Anforderung (F1) basiert auf den Anforderungen (F2) und (F3).
F2	Übungseinheit erstellen	Ein Übungsplan soll sich aus 1 bis n Übungseinheiten zusammensetzen. Eine Übungseinheit gilt als ein Übungstag, innerhalb dessen verschiedene Übungen angeordnet werden. Der Therapeut soll beim Erstellen eines Übungsplans die Anzahl der Übungseinheiten festlegen.
F3	Übungseinheit konfigurieren	Anforderung (F2) zufolge, sollen Übungseinheiten individuell konfigurierbar sein. Anforderung (F3) basiert hierbei auf den Anforderungen (F4), (F5) und (F6).
F4	Übung einer Übungseinheit zuweisen	Anforderung (F3) zufolge sollen entsprechende Bewegungsübungen je Übungseinheit ausgewählt und zugewiesen werden.
F5	Bewegungsübung konfigurieren	Basierend auf Anforderung (F4) sollen für die Durchführung der Bewegungsübungen individuelle Übungseinstellungen möglich sein. Die Einstellungsmöglichkeiten basieren auf den Anforderungen (F6) und (F7).

Tabelle 3.1: Funktionale Anforderungen der Anwendung.

### 3 Anforderungen und Rahmenbedingungen

ID	Bezeichnung der Anforderung	Beschreibung
F6	Anzahl Wiederholungssequenz konfigurieren	Basierend auf Anforderung (F5) soll eine Planvorgabe vorgegeben werden, die angibt, wie oft eine Bewegungsübung durchgeführt werden soll. Mit Erreichen dieser Planvorgabe ist die Übung abgeschlossen.
F7	Zeitliche Vorgabe für Bewegungsübung konfigurieren	Basierend auf Anforderung (F5) soll eine zeitliche Vorgabe angegeben werden, innerhalb dieser eine Bewegungsübung durchzuführen ist. Mit Ablauf dieser Zeit gilt eine Übung als beendet.
F8	Aktuellen Übungsplan anzeigen	Voraussetzung für (F8) ist Anforderung (F1). Der Patient soll die Möglichkeit haben, den zuvor erstellten Übungsplan anzuzeigen.
F9	Übungseinheit anzeigen	Basierend auf Anforderung (F8) sollen mit Aufruf des Übungsplans die Übungseinheiten angezeigt werden.
F10	Übung anzeigen	Basierend auf Anforderung (F9) sollen mit Auswahl einer Übungseinheit die dazugehörigen Bewegungsübungen angezeigt werden.
F11	Übungsanleitung anzeigen	Zu einer Bewegungsübung soll eine entsprechende Hilfestellung mittels Anleitung und Videosequenz gegeben sein.
F12	Bewegungsübung starten	Aufbauend auf Anforderung (F10) soll eine Bewegungsübung gestartet werden können. Dabei sollen nach (F5) und (F6) entsprechende Übungseinstellungen berücksichtigt werden.
F13	Abgeschlossenen Übungsplan anzeigen	In einem Ablageort sollen alle abgeschlossenen Übungspläne aufgelistet werden (s. (F1)).
F14	Übungsstatistik anzeigen	Der Physiotherapeut soll mittels einer Übungsstatistik sehen, welchen Fortschritt der Patient mit dem ihm zugewiesenen Übungsplan aufweist.

Tabelle 3.2: Funktionale Anforderungen der Anwendung.

## 4 Konzeption und praktische Umsetzung

Basierend auf den in Kapitel 3 gegebenen Anforderungen und Rahmenbedingungen werden nun im Folgenden die Konzeption und praktische Umsetzung des Konzepts beschrieben. Im Rahmen der Konzipierung werden zunächst EMG-Daten analysiert, welche aus dem Myo-Armband gewonnen werden. Hierfür werden große Mengen an EMG-Daten durch die Ausführung von verschiedenen Gesten gesammelt. Mit Hilfe des k-Means-Algorithmus wird untersucht, welche Ähnlichkeitsstrukturen sich in den EMG-Daten finden und inwiefern diese sich auf die angewandten Gesten zurückführen lassen. Dem Autor ist dabei bewusst, dass Clustering nicht eindeutig ist und zur Gruppierung wesentliche Merkmale fehlen, die im Hinblick auf die Implementierung sinnvoller Bewegungsübungen aus der praktischen Physiotherapie notwendig sind. Davon wird im Rahmen dieser Abschlussarbeit hinsichtlich der Zielsetzung jedoch abgesehen. Die Motivation für die Untersuchung liegt daher grundsätzlich im Versuchsaufbau für den Zugriff auf die unverarbeiteten EMG-Daten.

Anschließend wird das Konzept der Anwendung vorgestellt, das unter Berücksichtigung der erarbeiteten Anforderungen entwickelt worden ist. Der Prototyp wurde als Android-Applikation realisiert, die die Verwendung des Myo-Armbands für die Handtherapie mit einbezieht. Nach der Konzepterläuterung werden abschließend die Ergebnisse der Entwicklung vorgestellt. Die Ausführungen nehmen Bezug auf die in Abschnitt 3.2 genannten Anforderungen als auch den erarbeiteten Skizzen und Screendesigns aus der Konzeptvorstellung.

### 4.1 Clusteranalyse der EMG-Daten

Mit dem aktuellen SDK stellt Thalmic Labs fünf verschiedene Gesten zur Verfügung, welche in allen dafür gedachten Software-Plattformen für die Entwicklung genutzt werden können. In Abbildung 4.1 sind die von Thalmic Labs bereitgestellten Gesten *Fist*, *Wave Left*, *Wave Right*, *Fingers Spread* und *Double Tap* abgebildet.



Abbildung 4.1: Fünf Gesten des Myo SDK.<sup>20</sup>

Seit Beginn 2015 ermöglicht das SDK eine Erweiterung, neben den fünf Gesten, auf die unverarbeiteten EMG-Daten zuzugreifen, welche von den Sensoren erfasst werden. Diese Erweiterung besteht jedoch nur für die Plattformen Windows, MacOS und seit Ende 2015 auch für iOS. Um derzeit beispielsweise über Android an die unverarbeiteten EMG-Daten zu gelangen, muss hierbei das entsprechende Bluetooth-Protokoll implementiert werden, das Thalmic Labs bereitstellt. Ein Nachteil, der hierbei gegenwärtig noch besteht ist, dass die im SDK implementierten Gesten des Herstellers daraufhin nicht verfügbar sind [19].

Für die Bereitstellung der Handgesten wurden, in Bezug auf die Ansätze von muCI, EMG-Daten von verschiedenen Nutzern gesammelt und ein Algorithmus entwickelt, der die Handgesten erkennt und voneinander unterscheidet. Die Motivation für die Untersuchung der EMG-Daten in dieser Arbeit liegt darin, weitere Ansatzmöglichkeiten zu entdecken, womit gegebenenfalls das Spektrum der Gesten mithilfe der Mustererkennung erweitert werden kann.

Nachfolgend soll zunächst erläutert werden, wie über das Bluetooth-Protokoll auf die unverarbeitete EMG-Signale zugegriffen werden kann. Mit dem Zugriff auf die EMG-Werte werden entsprechende Daten gesammelt und mittels dem k-Means-Clustering analysiert. Die Ergebnisse werden anschließend diskutiert.

### 4.1.1 Versuchsaufbau

Das Myo-Armband besitzt acht elektromyografische Sensoren, welche die Muskelaktivität messen und entsprechend interpretieren. Jedes dieser Sensoren liefert EMG-Daten, die in bestimmter Reihenfolge verfügbar sind. Abbildung 4.2 stellt die Reihenfolge der Sensoren dar, in der auch der Output der Sensoren zu lesen ist.

<sup>20</sup> Quelle: Ausschnitt einer Bildschirmaufnahme (s. Anhang Abbildung 6.1).



Abbildung 4.2: Reihenfolge der Sensoren und Ursprung der EMG-Daten.<sup>21</sup>

Die Möglichkeit für den Zugriff auf die Funktionalität des Myo-Armbands wird durch das Generic Access Profile (kurz „GAP“) gewährleistet, einem Kommunikationsprotokoll, das die nötige Interoperabilität zwischen zwei Geräten beschreibt. Für die darauffolgende Verbindung wird die MAC-Adresse des Armbands verwendet, worüber sich das Armband eindeutig identifizieren lässt.

Grundsätzlich, wie bei allen Bluetooth LE-fähigen Geräten, verbinden sich das Smartphone und Myo-Armband über das GATT<sup>22</sup>-Profil [16]. Mit dem GATT-Profil kann das Myo-Armband als einfacher Key-Value-Speicher beschrieben werden. Der Speicher ist grundsätzlich hierarchisch organisiert, wodurch ein geringer Energieverbrauch gewährleistet wird. Auf der obersten Ebene liegen ein oder mehrere Services, wobei ein Service ein oder mehrere zusammengehörige Characteristics (Key) definiert, wodurch bestimmte Werte gelesen oder geschrieben werden können. Als ein peripheres Gerät fungiert das Myo-Armband somit als eine Art Server, welches verschiedene Requests verarbeitet und das Smartphone zufolge als ein Client, das entsprechende Requests an das Myo-Armband sendet.

In dem Profil, welches das Myo-Armband bereitstellt, sind Service-Pakete spezifiziert, die sich aus einer 128bit langen UUID<sup>23</sup> zusammensetzen, wobei entsprechende Characteristics definiert sind und sich aufrufen lassen. Die zwei nachfolgenden Code-Zeilen unter Algorithmus 1 stellen beispielhaft die Zuweisung einer UUID dar, infolgedessen auf einer Ebenen darunter auf entsprechende Keys zugegriffen werden kann, die das Auslesen unverarbeiteter EMG-Daten ermöglichen.

<sup>21</sup> Quelle: <http://developerblog.myo.com/myocraft-emg-in-the-bluetooth-protocol/>;15.02.2016.

<sup>22</sup> „Generic Attribute profile“.

<sup>23</sup> „Universally Unique Identifier“.



**Algorithmus 1** Codeausschnitt mit Zuweisung der UUID für EMG-Data-Service.

---

```

1     private static final String MYO_EMG_DATA_ID
2         = "d5060005-a904-deb9-4748-2c7f4a124842";

```

---

Thalmic Labs stellt hinsichtlich der Implementierung eine genaue Auflistung der verschiedenen Service IDs und Characteristics in Form einer Header-Datei zur Verfügung, welche für den Versuchsaufbau verwendet wird [20]. Unter Algorithmus 2 wird ein Ausschnitt aus der Header-Datei gezeigt. Die UUID setzt sich aus einer Basis UUID und den entsprechenden Service UUIDs zusammen, die in der Header-Datei aufgelistet werden.

**Algorithmus 2** Ausschnitt aus der Header-Datei.

---

```

1 typedef enum {
2     ControlService                = 0x0001, ///< Myo info service
3     MyoInfoCharacteristic         = 0x0101, ///< Serial number for this
4                                     ///< Myo and various parameters which
5                                     ///< are specific to this firmware.
6                                     ///< Read-only attribute.
7                                     ///< See myohw_fw_info_t.
8
9     FirmwareVersionCharacteristic = 0x0201, ///< Current firmware version.
10                                        ///< Read-only characteristic.
11                                        ///< See myohw_fw_version_t.
12     CommandCharacteristic         = 0x0401, ///< Issue commands to the Myo.
13                                        ///< Write-only characteristic.
14                                        ///< See myohw_command_t.
15     ImuDataService                = 0x0002, ///< IMU service
16     IMUDataCharacteristic         = 0x0402, ///< See myohw_imu_data_t.
17                                        ///< Notify-only characteristic.
18     MotionEventCharacteristic     = 0x0502, ///< Motion event data.
19                                        ///< Indicate-only characteristic.
20     ClassifierService             = 0x0003, ///< Classifier event service.
21     ClassifierEventCharacteristic = 0x0103, ///< Classifier event data.
22                                        ///< Indicate-only characteristic.
23                                        ///< See myohw_pose_t.
24     EmgDataService                = 0x0005, ///< Raw EMG data service.
25     EmgData0Characteristic        = 0x0105, ///< Raw EMG data.
26                                        ///< Notify-only characteristic.
27
28     ...
29
30 }

```

---

Für den Zugriff und die Weiterverarbeitung der GATT-Profilen stehen im Android SDK entsprechende Klassen zur Verfügung [17].

#### 4 Konzeption und praktische Umsetzung

Die `BluetoothGatt` Klasse der Android API stellt entsprechende Funktionen bereit, welche die Kommunikation zwischen zwei Geräten erlauben und den Zugriff auf entsprechende Services ermöglichen. Des Weiteren wird die abstrakte Klasse `BluetoothGattCallback` genutzt, welche für die Implementierung von Callback Funktionen dient, die als Resultat durch die Resonanz des Myo-Armbands getriggert werden.

Das nachfolgende Code-Beispiel unter Algorithmus 3 stellt die Implementierung der `discoverServices()`-Funktion dar, welche aufgerufen wird, um verfügbare Services bzw. Characteristics zu identifizieren.

Mit dem Aufruf dieser Funktion wird zufolge `onServicesDiscovered()` getriggert, die den Aufruf der verfügbaren Services und den Zugriff auf die Characteristics anhand der UUIDs ermöglicht.

**Algorithmus 3** Codeausschnitt der Callback Funktion onServicesDiscovered().

---

```

1  @Override
2  public void onServicesDiscovered(BluetoothGatt gatt, int status) {
3      super.onServicesDiscovered(gatt, status);
4
5      if (status == BluetoothGatt.GATT_SUCCESS) {
6          // Find GATT service
7          BluetoothGattService service_emg =
8              gatt.getService(UUID.fromString(MYO_EMG_DATA_ID));
9          if (service_emg == null) {
10             Log.d(TAG, "No EMG-Data service");
11         } else {
12             Log.d(TAG, "EMG-Data Service found");
13             // Getting CommandCharacteristic
14             mCharacteristic_emg0 =
15                 service_emg.getCharacteristic(UUID.fromString(EMG_0_ID));
16             if (mCharacteristic_emg0 == null) {
17                 this.callback_msg = "Not Found EMG-Data Characteristic";
18             } else {
19                 // Setting the notification
20                 boolean registered_0 =
21                     gatt.setCharacteristicNotification(mCharacteristic_emg0, true);
22                 if (!registered_0) {
23                     Log.d(TAG, "EMG-Data Notification FALSE");
24                 } else {
25                     Log.d(TAG, "EMG-Data Notification TRUE");
26                     BluetoothGattDescriptor descriptor_0 =
27                         mCharacteristic_emg0
28                             .getDescriptor(
29                                 UUID.fromString(CLIENT_CHARACTERISTIC_CONFIG)
30                             );
31                     if (descriptor_0 != null) {
32                         descriptor_0.setValue(
33                             BluetoothGattDescriptor
34                                 .ENABLE_NOTIFICATION_VALUE);
35                         writeGattDescriptor(descriptor_0);
36                         Log.d(TAG, "Set descriptor");
37                     } else {
38                         Log.d(TAG, "No descriptor");
39                     }
40                 }
41             }
42         }
43     }
44     ...
45 }

```

---

Über den Zugriff auf den `EmgDataService` und der `EMGData0Characteristic`, welche für die Sensorwerte stehen, können die durch das Myo-Armband mitgeteilten Änderungen dieser Eigenschaft mittels `onCharacteristicsChanged()` ermittelt und darüber resultie-

rend die variierenden Sensorwerte erfasst werden. Den Zugriff auf die EMG-Sensorwerte zeigt beispielgebend der nachfolgende Codeausschnitt (s. Algorithmus 4) aus dem Versuchsaufbau.

---

**Algorithmus 4** Codeausschnitt für den Zugriff auf Sensorwerte.

---

```
1 @Override
2 public void onCharacteristicChanged(BluetoothGatt gatt,
3     BluetoothGattCharacteristic characteristic) {
4     //super.onCharacteristicChanged(gatt, characteristic);
5     if (EMG_0_ID.equals(characteristic.getUuid().toString())) {
6         long systemTime_ms = System.currentTimeMillis();
7         byte[] emg_data = characteristic.getValue();
8
9         ...
10    }
11 }
```

---

Mit einer Abtastrate von 5 Millisekunden erfasst das Myo-Armband stets acht Sensorwerte, pro Sensor einen Wert mit bis zu 200 Hz. Die Sensorwerte werden für das k-Means-Clustering in einer CSV-Datei aufbereitet. Der Versuchsaufbau des Clustering wird im nachfolgendem Abschnitt näher behandelt.

### 4.1.2 k-Means-Clustering

Nachdem der Zugriff auf die unverarbeiteten EMG-Werte möglich ist, werden entsprechende Sensorwerte gesammelt, die während der Ausführung von vier verschiedenen Handbewegungen gemessen wurden. Für den Versuch sind die genauen Arten der Handbewegungen fürs Erste zweitrangig. Für den Versuchsaufbau gilt es zunächst im Idealfall vier möglichst eindeutige Strukturen in den Datenmengen zu identifizieren, welche sich in einem zweiten Schritt auf die Handbewegungen zurückführen lassen.

Für die Untersuchung der Daten wird daher der k-Means Algorithmus in R<sup>24</sup> implementiert. Das k-Means-Clustering ist ein effizientes und häufig angewandtes Verfahren, um eine große Datenmenge in eine vorher bekannten Anzahl von k Gruppen aufzuteilen. k-Means optimiert die quadratischen Abweichungen von einem Mittelwert. R verwendet in der Umsetzung des k-Means-Clustering den Algorithmus von Hartigan und Wong [21]. Dabei werden ineffiziente Distanzberechnungen vermieden, indem zusätzlich Abstände zu weiteren Mittelwerten berücksichtigt werden.

---

<sup>24</sup> R ist eine Programmiersprache für statistische Berechnungen.

#### 4 Konzeption und praktische Umsetzung

Das Myo-Armband erfasst mit einer Abtastrate von 5 Millisekunden jeweils einen Snapshot (dt. „Ausschnitt“), welcher alleinstehend für die Bestimmung einer Geste nicht aussagekräftig ist. Für die Datensammlung werden vier Handbewegungen gemessen, die bei dem Versuchsaufbau jeweils innerhalb 1 Sekunde ausgeführt werden. Unter Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs, innerhalb dessen eine Geste ausgeführt wird, werden hierdurch für eine Handgeste 200 Sensorwerte bzw. Ausschnitte zusammengefasst. Ein Daten-Ausschnitt beinhaltet jeweils acht Sensorwerte, pro Sensor einen EMG-Wert. Die nötige Datenaufbereitung wird in Abbildung 4.3 visuell veranschaulicht.

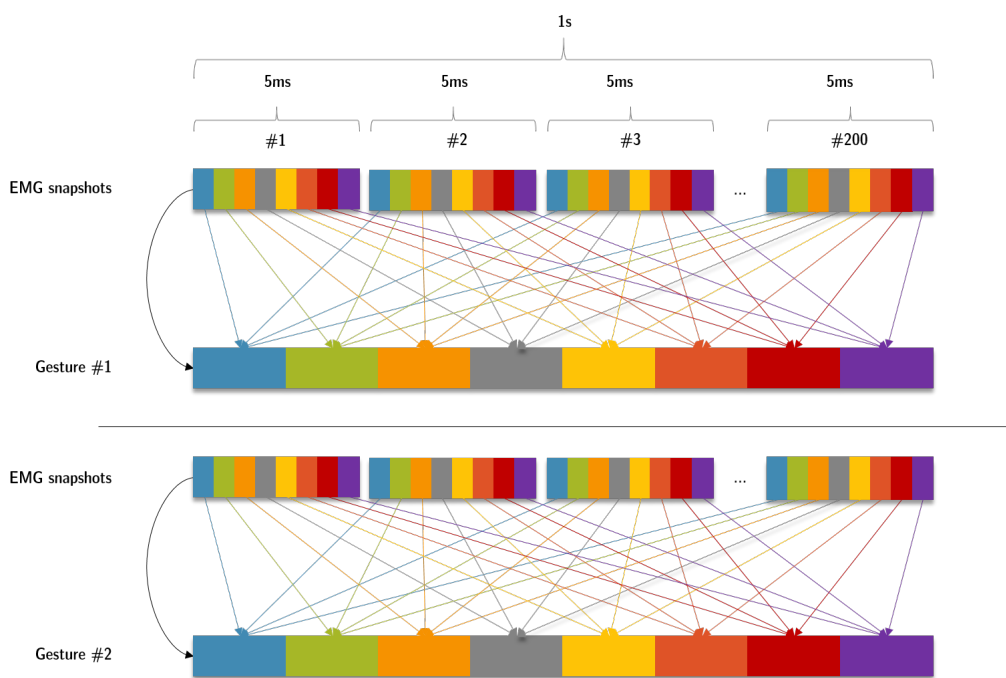


Abbildung 4.3: Aufbereitung der EMG-Sensorwerte.

Die Farben in Abbildung 4.3 stellen der Reihenfolge nach jeweils einen der insgesamt acht Sensoren des Myo-Armbands dar. Die kleineren Farbböcke bilden die EMG-Snapshots ab. Nachdem 200 Datenausschnitte eine Sekunde lang gemessen wurden, werden diese zu einem großen Datenausschnitt zusammengefasst, indem die einzelnen Werte der einzelnen Sensoren aneinandergereiht werden. Solch ein großer Datenausschnitt umfasst somit insgesamt 1600 Sensorwerte und wird als ein Pattern für eine Handgeste betrachtet (in der Abbildung 4.3 als der größere Farbblock dargestellt). Für eine ausreichende Datenmenge wird jede Handgeste bis zu fünf Minuten lang aufgezeichnet.

#### 4 Konzeption und praktische Umsetzung

Nachdem eine Messreihe entsprechender Patterns bzw. Daten für das Clustering erzeugt wurde, wird diese mit dem k-Means Algorithmus zerlegt. Das Kriterium zum Messen der Stabilität des Clusterings ist eine Kostenfunktion, resultierend aus der Summe aller quadratischen Abweichungen (Error Sum of Square, kurz „SSE“) vom Mittelpunkt eines jenen Clusters [7]. In einem ersten Schritt werden alle mögliche Zerlegungen für die Menge an Patterns generiert und diese mittels dem SSE verglichen. Wenn die Anzahl der Cluster ansteigt, dann nimmt der SSE für gewöhnlich ab, da die Cluster immer kleiner werden. Grundsätzlich eignet sich eine Cluster-Lösung mit einem niedrigen SSE.

Eine graphische Darstellung wie in Abbildung 4.4 kann dabei helfen, eine Lösung für die ideale Anzahl an Clustern zu bestimmen, indem der Stelle, an der die Kostenfunktion plötzlich langsamer abfällt, die Anzahl der Cluster abgenommen wird. Diese Methode ist als Ellbogen-Methode aus der Faktorenanalyse bekannt, welche bei Screeplots angewendet wird [7].

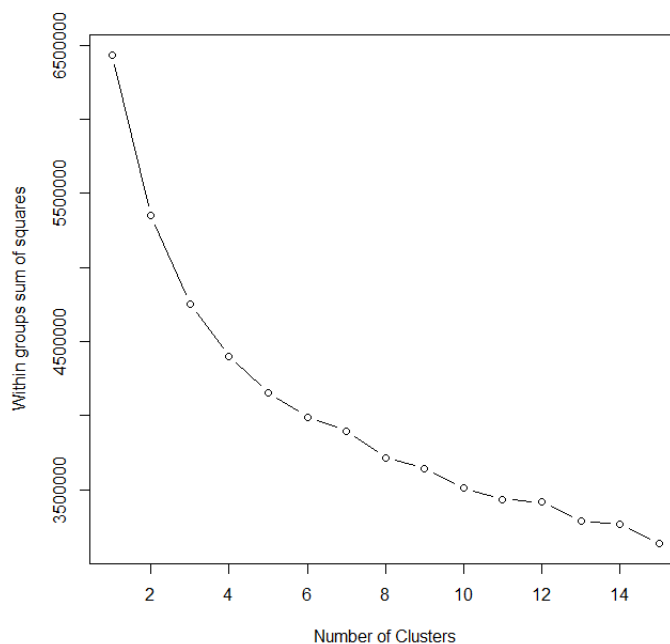


Abbildung 4.4: Plot mit der Kostenfunktion abwechselnd nach der Zuordnung der Punkte und erneuten Berechnung der Mittelwerte: in R visualisiert.

In Abbildung 4.4 ist ein Ellbogen bei Anzahl 4 Cluster zu beobachten, wodurch ausgegangen werden kann, dass Lösungen mit Anzahl Cluster  $> 4$  keine weiteren Auswirkungen

mehr auf die Kostenfunktion haben werden. Folglich wurde der k-Means-Algorithmus mit vier ausgewählten Clusterzentren durchgeführt. Abbildung 4.5 stellt das Ergebnis der Clusteranalyse mit einer Normalverteilung dar. k-Means nimmt grundsätzlich immer an, dass die Cluster etwa gleich groß sind. Der Plot zeigt ein überlappendes Clustering-Ergebnis, wobei eine Vielzahl der zerlegten Objekte nicht eindeutig zugeordnet werden können. Besonders stark ausgeprägt sind die Überlappungen der beiden mittleren Clustergruppen.

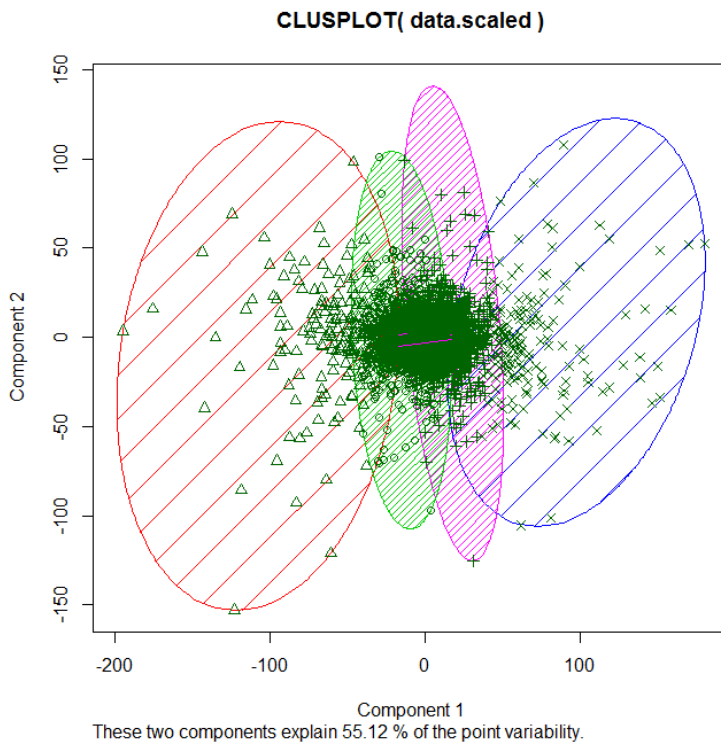


Abbildung 4.5: Plot mit  $k = 4$  Cluster visualisiert mit R.

Um diesem Problem hinsichtlich der Erkennung von Handgesten plausibel entgegenzuwirken, eignen sich wie in bisherigen Arbeiten erwiesen [28, 32] vielmehr Klassifizierungsverfahren unter der Voraussetzung einer effektiven Datenaufbereitung. Dies soll jedoch nicht Bestandteil dieser Arbeit sein. Im Folgendem werden lediglich die fünf Handgesten des Myo-Armbands in der Gestaltung des Prototypen berücksichtigt und umgesetzt.

## 4.2 Gestaltung und Umsetzung

Das Konzept des Prototyps basiert auf einer Vision, welche über die Idee der mobilen Anwendung hinausgeht. Das Gesamtkonzept baut im Wesentlichen auf zwei Komponenten auf, wobei die mobile Anwendung in Verbindung mit der Thalmic Myo als eine Komponente eine Lösung zur Steigerung der Adhärenz und Motivation im heimbasierten Training darstellt. Die Idee, dass der Patient verschiedene Bewegungsübungen mit der Thalmic Myo durchführen kann, setzt voraus, dass einerseits verschiedene Bewegungsübungen in der Anwendung gepflegt werden und andererseits sich der Umfang der verschiedenen Übungsformen auf längerfristiger Sicht erweitern lässt.

Seit 1995 gibt es die Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Handtherapie e.V. (kurz „DAHT“) als offiziellen Vertreter der Interessen der Handtherapie in Deutschland [8]. Dieser gemeinnützige Verein wurde mit dem Ziel gegründet, die Qualitätssicherung in der Handtherapie sowie eine stetige Weiterentwicklung voranzutreiben. In enger Zusammenarbeit mit der Deutschen Gesellschaft für Handchirurgie (kurz „DGH“), auch mit internationalen Vereinigungen, werden Behandlungsleitlinien definiert, welche zu einer Standardisierung und erhöhten Qualität in der handtherapeutischen Behandlung beitragen.

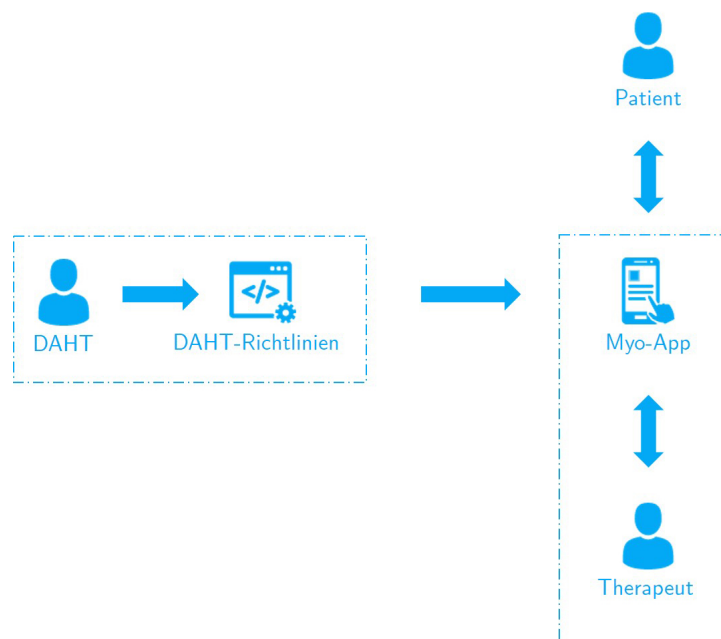


Abbildung 4.6: Konzeptidee im Überblick dargestellt.



#### 4 Konzeption und praktische Umsetzung

Die Idee der zweiten Komponente basiert darauf, dass entsprechende Organisationen, wie die DAHT die Inhalte der Myo-Anwendung pflegen, indem aktuelle und standardisierte Übungsformen mit entsprechenden Videosequenzen und Anleitungen sowie Behandlungsrichtlinien, angeboten werden. Eine Möglichkeit, die erarbeitet wurde ist, dass hierfür eine entsprechende Anwendung zur Verfügung gestellt wird, für die Organisationen wie die DAHT entsprechende Inhalte pflegen und für die Myo-Anwendung aufbereiten (s. Abbildung 4.6). Durch die standardisierten Bewegungsübungen könnte insgesamt von einer höheren Qualität der Anwendung gesprochen werden.

Im Rahmen dieser Abschlussarbeit wird das Konzept der DAHT-Anbindung jedoch nicht weiter ausgearbeitet. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt hauptsächlich in der Entwicklung und Konzipierung der mobilen Anwendung. Diese baut auf zwei wesentlichen Elementen auf: Ein Bluetooth LE-fähiges Android Smartphone und das Myo-Armband des Herstellers Thalmic Labs (s. Abbildung 4.7).

Im Folgenden werden mittels Skizzen die erarbeiteten Gestaltungsideen erörtert und anschließend der aktuelle Entwicklungsstand der Anwendung anhand der Screendesigns vorgestellt.

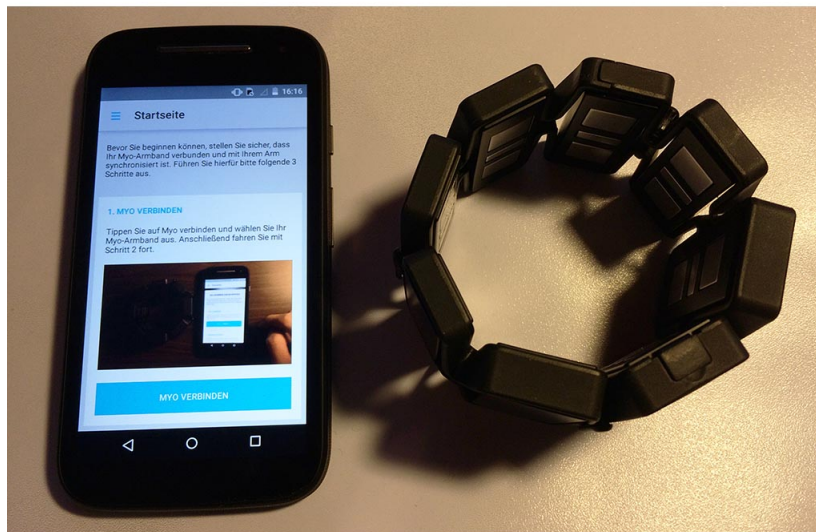


Abbildung 4.7: Ein Android-Smartphone und die Thalmic Myo stellen die wesentlichen Elemente des Prototyps dar.

### 4.2.1 Anwendungsgestaltung

Die Gestaltung des Prototyps richtet sich hauptsächlich nach Patienten, welche sich als die potentiellen Nutzer dieser Anwendung herausstellen. Im Wesentlichen fokussiert sich die Gestaltung darauf, dass Patienten mit wenig Aufwand ihren zugewiesenen Therapieplan abrufen und ihr Heimprogramm durchführen können. Aufbauend auf den in Kapitel 3 genannten Anforderungen und Rahmenbedingungen werden erste Skizzen und Mockups für die Anwendung erarbeitet und mit beiden Physiotherapeutinnen regelmäßig evaluiert. Die Entwurfsskizze in Abbildung 4.8 stellt eine Übersicht zu den verschiedenen Ansichten dieser Anwendung dar. Ausgangspunkt ist die Startansicht (1), von der über das Navigationsmenü auf vier weitere Ansichten gewechselt werden kann. Das Menü unterteilt sich in die Menüpunkte *Startseite* (1), *Mein Übungsplan* (2), *Übungsanalyse* (3), *Planarchiv* (4) und *Plan erstellen* (5). Diese fünf Ansichten bilden die Funktionen dieser Anwendung ab. Auf die Gestaltungskonzepte im Einzelnen soll im Nachfolgendem eingegangen werden.

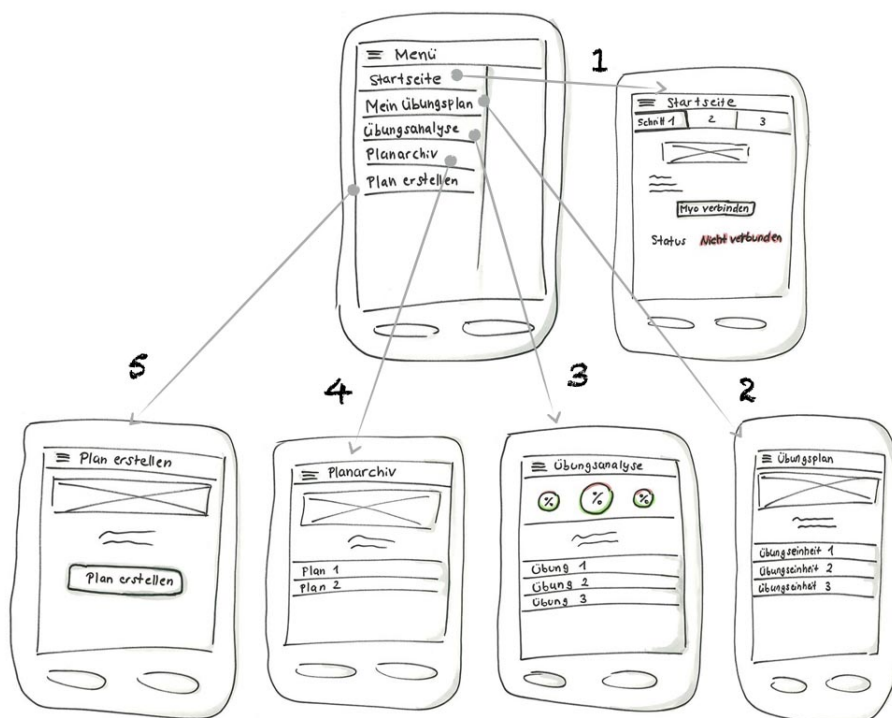


Abbildung 4.8: Die verschiedenen Ansichten der Anwendung auf Papier prototypisiert.

## Ansicht (1) - Startseite

Bevor ein Patient seine Übungen durchführen kann und das Myo-Armband diese erfasst, muss das Armband zunächst mit dem Smartphone verbunden und anschließend am Arm des Patienten synchronisiert werden. Dies ist die Voraussetzung für die weitere Nutzung der Anwendung. Aus diesem Grund soll der Patient bereits auf der Startseite (1) darauf hingewiesen werden, das Myo-Armband zunächst mit dem Smartphone zu verbinden und zu synchronisieren. Für die Startseite wurden verschiedene Gestaltungsideen erarbeitet (s. Abbildung 4.9). Das Verbinden der Myo und die Synchronisierung sollen in drei Schritten erfolgen:

1. Das Myo-Armband verbinden,
2. das Myo-Armband anziehen und
3. die Synchronisierung ausführen.

Während die drei Schritte in Variante 1A in drei verschiedenen Registerkarten (eng. „Tabs“) aufgeteilt werden, werden diese in Variante 1B in nur einer Ansicht zusammengefasst und chronologisch aufgeführt. Die Darstellung stellte sich bei der Evaluierung der Papierprototypen als verständlicher heraus.

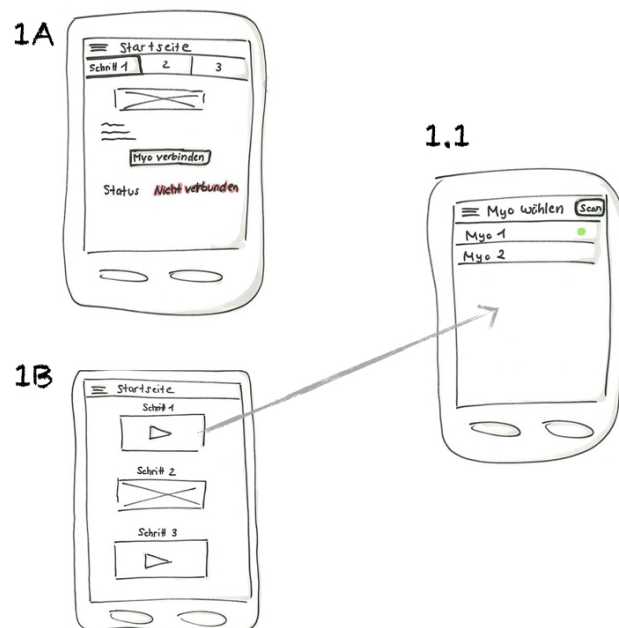


Abbildung 4.9: Zwei Gestaltungsideen für die Startseite wurden erarbeitet und evaluiert. Umgesetzt wurde Variante 1B.

Im ersten Schritt soll nun das Myo-Armband mit dem Smartphone via Bluetooth verbunden werden. Hierfür sollen in Abbildung 4.9 Ansicht (1.1) verfügbare Myo-Armbänder aufgelistet und mit der Auswahl die Verbindung zwischen Smartphone und Armband aufgebaut werden.

### Ansicht (5) - Übungsplan erstellen

Eine weitere Voraussetzung, die es zu erfüllen gilt, bevor der Patient mit seinen Übungen beginnen kann, ist das Existieren eines gegenwärtigen Übungsplans. Ein solcher Übungsplan soll durch den Therapeuten angeordnet und erstellt werden. Diese Möglichkeit wurde unter 'Übungsplan erstellen' ausgearbeitet. Mit der Konzipierung werden die Anforderungen (F1) bis (F7) adressiert. Entsprechend den Anforderungen setzt sich ein Übungsplan aus mehreren Übungseinheiten zusammen. Eine Übungseinheit ist dabei so zu verstehen, dass diese aus einer Reihe von Bewegungsübungen besteht, welche beispielhaft für einen Übungstag angesetzt werden. Mit der Zuordnung der Bewegungsübungen zu einer Übungseinheit, müssen entsprechende Parameter konfiguriert werden, wie die Anzahl an Wiederholungssequenzen und Angabe der Zeit, innerhalb dieser die Übung durchzuführen gilt. Abbildung 4.10 versucht das Konstrukt eines Übungsplans darzustellen.

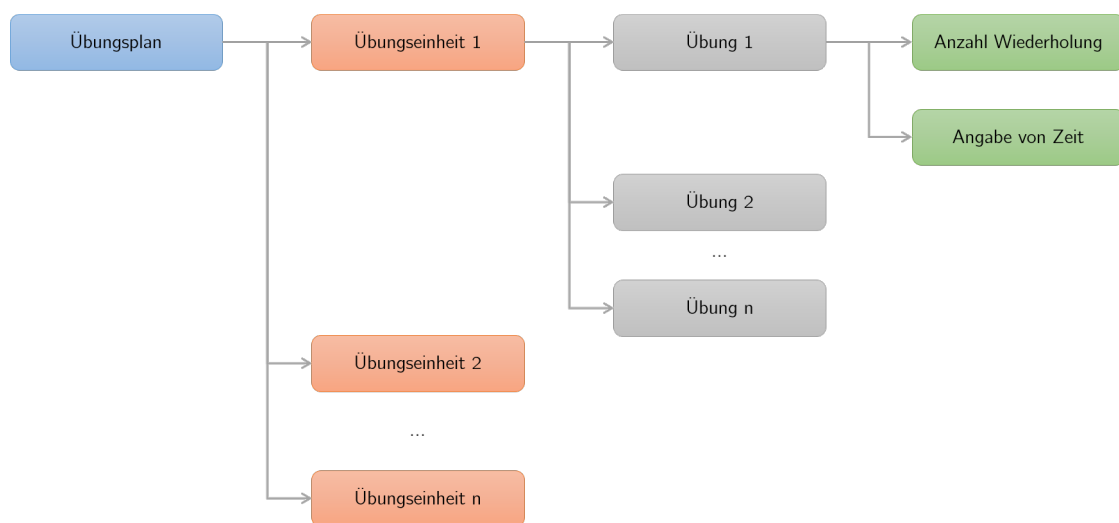


Abbildung 4.10: Konstrukt eines Übungsplans, das aus verschiedenen Übungseinheiten besteht, welche wiederum aus verschiedenen Bewegungsübungen zusammengesetzt sind.

## Ansicht (2) - Mein Übungsplan

Mit der Gestaltung von Ansicht (2) wird eine Gestaltungsidee für den Übungsplan erarbeitet, welcher von Patienten aufgerufen werden muss, um mit dem Heimtraining zu beginnen.

Betrachten wir Abbildung 4.11 als beispielhaften Anwendungsfall. Hier werden drei Übungseinheiten aufgelistet (Anforderungen (F8) und (F9)). Diese drei Einheiten wurden zuvor durch den behandelnden Physiotherapeuten angeordnet und mit der Anwendung konfiguriert. Das Ziel ist es, alle drei Einheiten bis zum nächsten Behandlungstermin abzuschließen. Mit Übungseinheit 1 soll die Feinkoordination trainiert werden, daher sind unter Übungseinheit 1 entsprechende Übungen wie der Double Tap aufgelistet, die es durchzuführen gilt (F10). Abbildung 4.12 stellt die weitere Menüführung dar. Mit Auswahl einer Übung kann das Training begonnen werden (F12). Bevor der Patient mit der Übung beginnt, kann er jederzeit auf eine Hilfestellung zugreifen (F11). Dabei sollen ein Video und eine Beschreibung die richtige Bewegungsausführung unterstützen. Eine Einheit gilt als abgeschlossen, sobald alle ihre Übungen durchgeführt wurden. Wenn alle abgeschlossen sind, dann ist der gesamte Übungsplan beendet. Jeder durchgeführte Übungsplan wird anschließend archiviert.

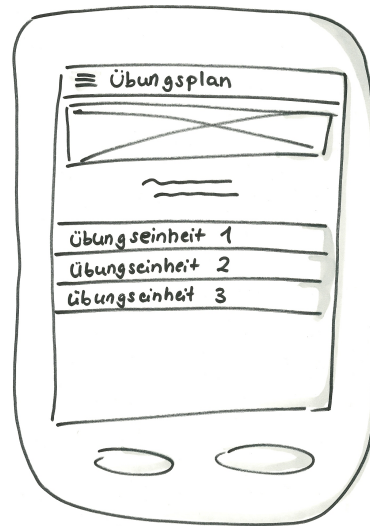


Abbildung 4.11: Mockup für die Darstellung des aktuellen Übungsplans.

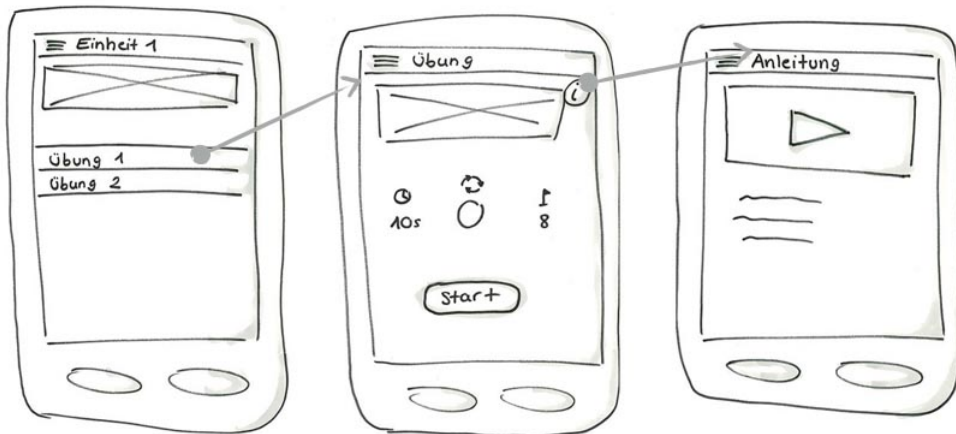


Abbildung 4.12: Nach Auswahl einer Übungseinheit werden die dazugehörigen Bewegungsübungen aufgelistet. Für die Übungsdurchführung soll entsprechend aus der Auflistung eine Übung ausgewählt werden. Zu jeder Übung gibt es eine Hilfestellung mit entsprechender Videosequenz und Anleitung.

### Ansicht (4) - Planarchiv

Das Planarchiv dient als Ablageort und listet alle abgeschlossenen Übungspläne auf, sortiert nach dem jüngsten Datum. Der Therapeut soll aus einer Liste entsprechende Übungspläne aufrufen und einsehen können. Für den Therapeuten ist der zuletzt abgeschlossene Therapieplan von Interesse. Mit dem Planarchiv wird Anforderungen (F13) adressiert.

### Ansicht (3) - Übungsanalyse

In der Übungsanalyse sollen entsprechend Anforderung (F14) Statistiken erhoben und angezeigt werden, welche dem behandelnden Therapeuten Auskunft über den Fortschritt des Patienten hinsichtlich seines Therapieplans geben. Hierfür ist eine *lokale Übungsanalyse* angedacht, die sich auf den Fortschritt hinsichtlich des aktuellen Übungsplan bezieht. Für die lokale Übungsanalyse soll in prozentualen Angaben angezeigt werden, wieviel aller Übungseinheiten und Bewegungsübungen bereits abgeschlossen wurden. Aus beiden Angaben soll zudem der Gesamtfortschritt berechnet und dargestellt werden. Die lokale Übungsanalyse wird in Abbildung 4.13 im oberen Bereich illustriert. Die Angaben über den Gesamtfortschritt könnten dabei den Patienten motivieren, seine Übungen durchzu-

## 4 Konzeption und praktische Umsetzung

führen, zumal der Therapeut dadurch Einsicht erhält und erkennen kann, ob der Patient sich an die Therapieziele hält oder nicht.

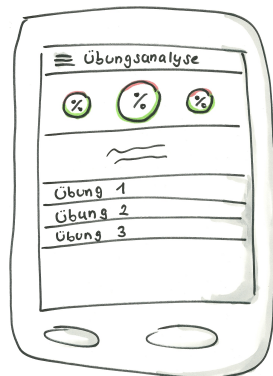


Abbildung 4.13: Papierprototyp für die Darstellung der Übungsstatistiken.

Neben der lokalen Übungsanalyse, werden Gestaltungsideen hinsichtlich einer *globalen Auswertung* einzelner Bewegungsübungen erarbeitet. Während die lokale Übungsanalyse sich nur auf den aktuellen Übungsplan bezieht, soll die globale Auswertung sich dabei über alle Übungspläne erstrecken, sodass sich der Fortschritt zu jeder einzelnen Bewegungsform auf längerfristige Sicht betrachten lässt. Im Detail soll beantwortet werden, welche Erfolge Patienten seit Beginn des Heimprogramms, beispielsweise in der Ausführung der Faustbewegung, aufweisen. Je nach gesundheitlichem Zustand der Hand, wird die Anzahl der Wiederholungssequenzen angepasst. Das Ziel ist es, die Zahl der Wiederholungen auf Dauer stetig zu erhöhen. Daran soll dann auch der Fortschritt gemessen werden können.

### 4.2.2 Praktische Umsetzung

Nachdem im vorherigen Abschnitt die Konzepte der einzelnen Ansichten erläutert wurden, sollen nachfolgend die Ergebnisse des Prototyps vorgestellt werden. Hierfür werden entsprechende Screendesigns aufgezeigt. Aufbauend auf den Anforderungen und erarbeiteten Konzeptideen, entstand in der praktischen Umsetzung eine Android-Anwendung. Mit dieser Anwendung wurden zwei Hauptaspekte prototypisch implementiert:

1. Die Möglichkeit für den Therapeuten, einen Übungsplan zu erstellen und
2. die Möglichkeit für den Patienten, die mobile Anwendung in Verbindung mit der Thalmic Myo für das heimbasierte Training zu nutzen.

Anhand dieser beiden Hauptaspekte werden die Ergebnisse im Nachfolgendem illustriert. Die Ergebnisse der Implementierung basieren hierbei auf dem in Abbildung 4.14 gezeigten Datenmodell.

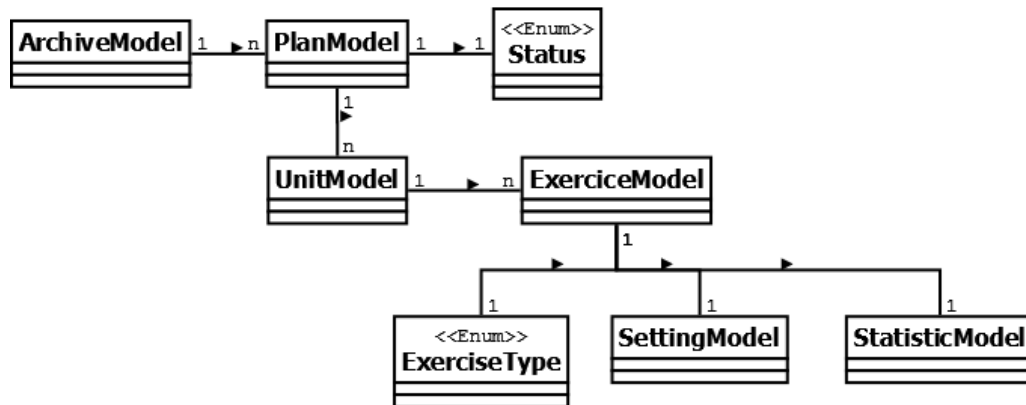


Abbildung 4.14: Das Datenmodell der Anwendung.

### Das Einrichten eines Übungsplans durch den Physiotherapeuten

Für das Erstellen eines Übungsplan wird kein Myo-Armband benötigt. Hierfür genügt allein die Anwendung, die der Patient auf seinem Smartphone installiert haben muss. Um auf die entsprechende Funktion zuzugreifen, wählt der Therapeut im Navigationsmenü den Punkt 'Übungsplan erstellen' aus. Daraufhin ändert sich die Ansicht, dargestellt in Abbildung 4.15. Hier wird zunächst überprüft, ob bereits ein gegenwärtiger Übungsplan existiert, welcher noch nicht abgeschlossen wurde. Entsprechend den Anforderungen darf immer nur ein aktueller Plan existieren (F1). Darüber wird der Therapeut mittels einer Kurznachricht informiert (in der Abbildung entsprechend orange markiert).



#### 4 Konzeption und praktische Umsetzung



Abbildung 4.15: Bevor ein Übungsplan erstellt werden kann, wird überprüft, ob bereits ein unabgeschlossener Plan existiert.

Sollte noch kein Übungsplan existieren, folgt der nächste Schritt, bei dem die Anzahl der Übungseinheiten konfiguriert werden soll. Um auf die nächste Ansicht zu gelangen, wählt der Therapeut 'Neuer Übungsplan' aus. Die Anzahl der Übungseinheiten kann anschließend mittels einem Numberpicker eingestellt werden (F2). Nachdem die Anzahl festgelegt wurde, werden die Übungseinheiten erzeugt und aufgelistet. Darauffolgend kann jede Übungseinheit individuell konfiguriert werden (vgl. Abbildung 4.16).

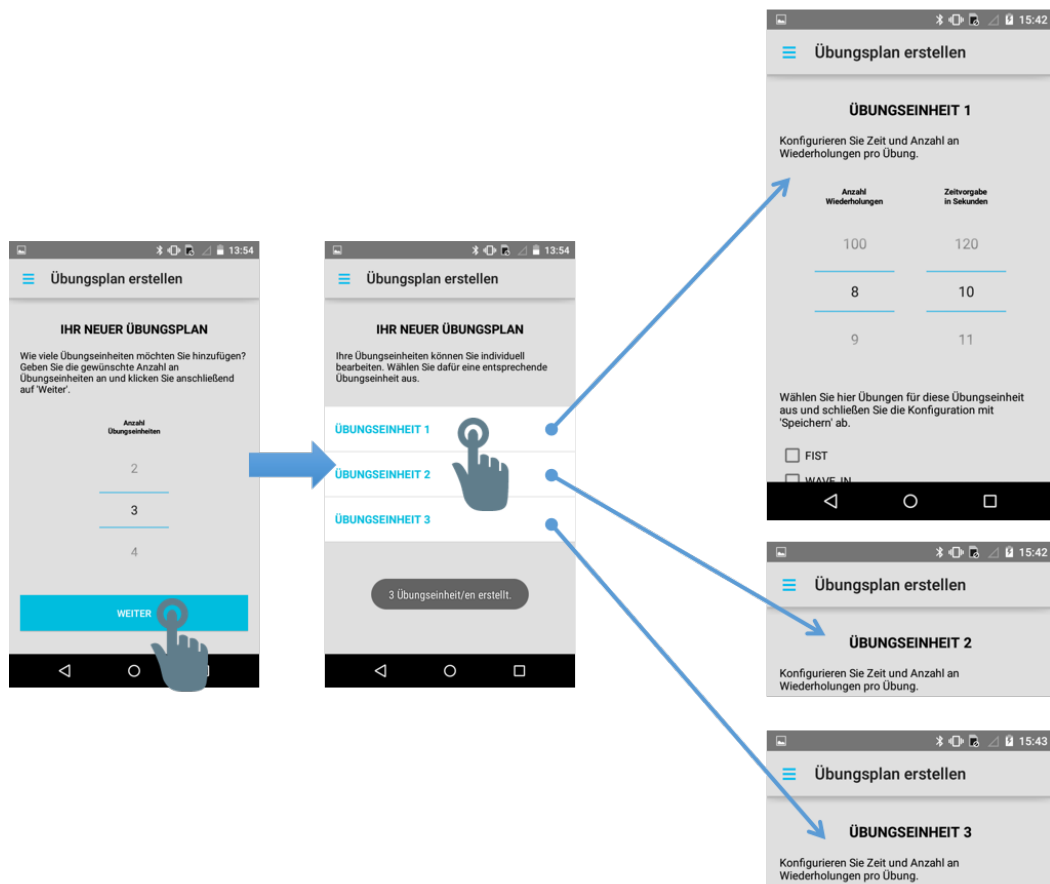


Abbildung 4.16: Die Anzahl der Übungseinheiten ist durch einen Numberpicker zu bestimmen. Die Übungseinheiten werden anschließend aufgelistet.

Den Übungseinheiten können nun im ersten Schritt verschiedene Bewegungsübungen zugeordnet werden. Möchte der Physiotherapeut die Bewegungsübungen für einen Übungstag festlegen (F4), so müssen aus der Checkbox-Liste die entsprechenden Übungen ausgewählt werden (s. Abbildung 4.17). Dabei muss mindestens eine Bewegungsübung ausgewählt sein. In diesem Schritt lassen sich auch gleichzeitig die Übungseinstellungen anpassen. Die Anzahl an Wiederholungssequenzen (F6) und die Zeitvorgabe (F7) für die Übungen werden durch einen Numberpicker festgelegt. Die Zeit ist dabei in Sekunden angegeben. Die Anpassung der Trainingseinstellung und Auswahl der Bewegungsübungen müssen darauffolgend gespeichert werden.

## 4 Konzeption und praktische Umsetzung

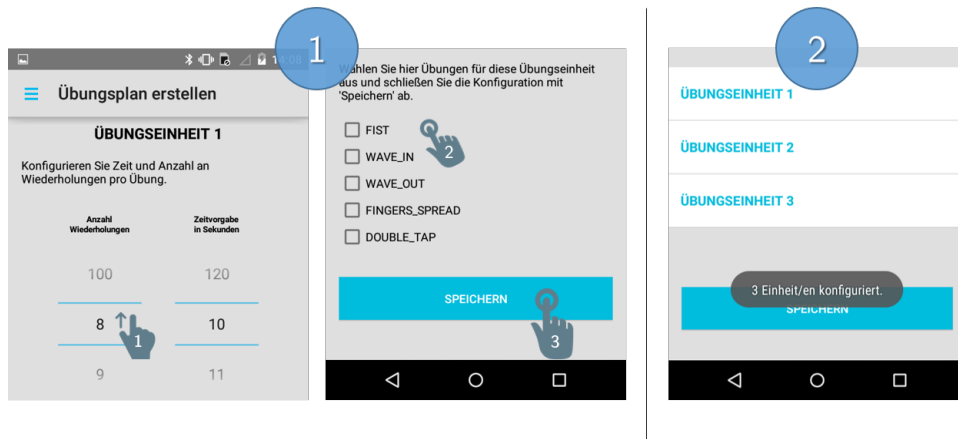


Abbildung 4.17: Die Einstellungsmöglichkeiten einer Übungseinheit.

Nachdem alle Übungseinheiten konfiguriert sind, erscheint ein Speicherbutton. Bevor auf 'Speichern' geklickt wird, besteht für den Therapeuten jederzeit die Möglichkeit, die Übungseinheiten erneut anzupassen. Nachdem auf 'Speichern' geklickt wurde, wird der entsprechende Übungsplan erzeugt, der sich anschließend unter dem Navigationspunkt 'Mein Übungsplan' anzeigen lässt. Nachfolgende Abbildung stellt rechts den erstellten Übungsplan dar, während links eine entsprechende Ansicht angezeigt wird, wenn noch kein Übungsplan existiert.

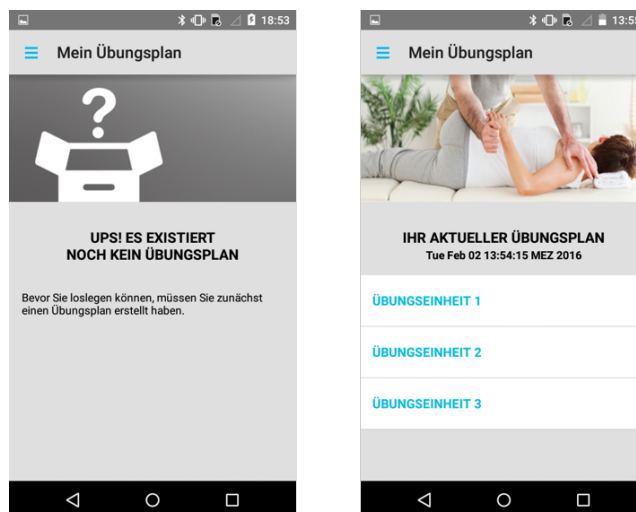


Abbildung 4.18: Bevor und nachdem ein Übungsplan erstellt wurde.

#### 4 Konzeption und praktische Umsetzung

In der Abbildung 4.19 wird der gesamte Ablauf für das Erstellen eines Übungsplans in einem Überblick dargestellt.



Abbildung 4.19: Bedienung der mobilen Anwendung für das Erstellen eines Übungsplans dargestellt anhand der Screenshotdesigns.

## Die Verwendung der Thalmic Myo für das heimbasierte Training

Nachdem ein Übungsplan erstellt worden ist, kann der Patient diesen unter 'Mein Übungsplan' einsehen. Die Übungen können jedoch nicht gestartet werden, solange die Anwendung mit keinem Myo-Armband verbunden und synchronisiert worden ist. Für die Erfüllung dieser Voraussetzung wird der Patient auf der Startseite entsprechend angeleitet (s. Abbildung 4.20). Die Anleitung ist dabei in drei Schritte unterteilt.

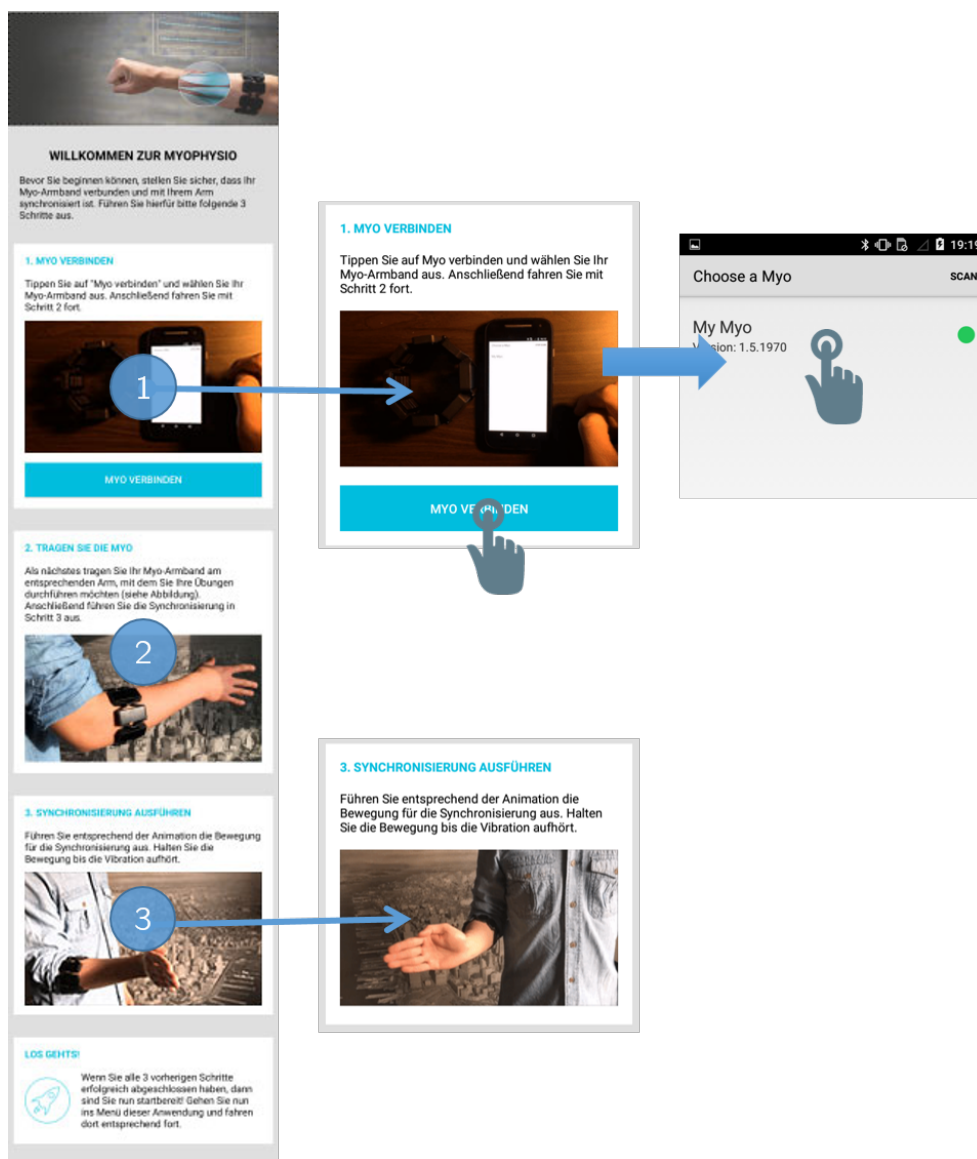


Abbildung 4.20: Nach drei Einrichtungsschritten ist der Patient startbereit und kann mit der Übungsdurchführung beginnen.

**Myo verbinden, tragen und synchronisieren.** Im ersten Schritt gilt es für den Patienten zunächst, das Myo-Armband mit dem Smartphone zu verbinden. Das Bluetooth-Modul war zu Beginn bereits eingeschaltet. Hierfür wird eine Animation wiedergegeben, die den Patienten dabei anleiten soll. Mit einem Klick auf 'Myo verbinden' gelangt der Anwender zu einer Übersicht, in der alle in unmittelbarer Nähe erkannten Myo-Armbänder aufgelistet werden. Sobald auf 'Myo verbinden' geklickt wird, beginnt das Smartphone nach verfügbaren Myos zu suchen und listet diese entsprechend auf. Aus dieser Liste gilt es anschließend das eigene Myo-Armband anhand seiner ID auszuwählen. Das Armband ist verbunden, sobald das grüne Kreissymbol angezeigt wird.

Im nächsten Schritt soll der Patient sein Myo-Armband am zu behandelten Arm tragen, mit dem die Bewegungsübungen durchgeführt werden sollen. Hierfür wird in Schritt 2 eine Grafik abgebildet, die darstellt, wie das Myo-Armband zu tragen ist. Man kann jedoch davon ausgehen, dass der Patient bei der ersten Anwendung eine entsprechende Einführung durch den Physiotherapeuten erhält, wie das Myo-Armband getragen werden muss. Laut Thalmic Labs ist darauf zu achten, dass die LED-Leuchte am Armband nach außen, also weg vom Körper, gerichtet ist. Des Weiteren soll die USB-Schnittstelle in Richtung Hand zeigen [19].

Abschließend gilt es für den Patienten im letzten Schritt, das Myo-Armband an seinem Arm zu synchronisieren. Mit der Synchronisierung werden dabei die Orientierung und Position vom Arm bestimmt. Entsprechend dem Myo SDK, beginnt die Synchronisierung mit einer kurzweiligen Vibration. Hierfür soll die Hand nach außen gestreckt und diese Position für einen kurzen Moment gehalten werden, bis die Vibration endet. Zur Unterstützung wird an der Stelle ebenfalls eine Animation abgebildet, die dem Patienten demonstriert, wie die richtige Bewegung für die Synchronisierung auszuführen ist.

Sobald alle drei Schritte erfolgreich abgeschlossen sind, kann der Patient mit dem Trainingsprogramm beginnen. Über das Navigationmenü gelangt der Patient zum Übungsplan.

**Das Heimtraining mit dem Myo-Armband.** Sobald ein unabgeschlossener Übungsplan vorhanden und das Myo-Armband entsprechend verbunden und synchronisiert ist, kann der Patient mit seinem Heimtraining beginnen, indem er im Navigationsmenü den Punkt 'Mein Übungsplan' wählt. Unter dieser Ansicht erhält der Patient eine Übersicht über alle Übungseinheiten (F9), die durch den Therapeuten angeordnet sind. Zudem wird das Erstellungsdatum des Übungsplans angezeigt. Für das Erreichen der Therapieziele gilt es demnach den Übungsplan einzuhalten, indem alle Übungseinheiten durchzuführen sind. Wie in Abbildung 4.21 dargestellt, wählt der Patient die Übungseinheit aus, mit der angefangen werden soll. Daraufhin werden in der nachfolgenden Ansicht alle Bewegungsübungen aufgelistet (F10), die im Rahmen dieser Übungseinheit zu trainieren sind.

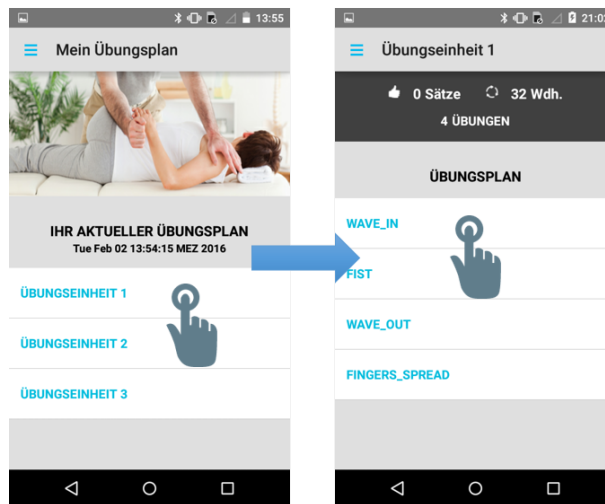


Abbildung 4.21: Die Übersicht der Bewegungsübungen innerhalb einer Übungseinheit.

Zu der Übungseinheit wird des Weiteren die Gesamtzahl aller Übungen und Wiederholungssequenzen angegeben, die es mit der entsprechenden Übungseinheit insgesamt zu bewältigen gilt. Die Anzahl der Sätze steigt mit jeder abgeschlossenen Bewegungsübung. Um mit dem Training letztlich zu beginnen, wählt der Patient die entsprechende Bewegungsübung aus. Mit der Auswahl einer Bewegungsübung wird passend dazu der Übungsmodus angezeigt, woraufhin die Bewegungsübung mit dem Myo-Armband durchgeführt werden kann (F12). Folgende Abbildung 4.22 zeigt den Übungsmodus am Beispiel der 'Wave In' Übung. Im oberen Bereich der Ansicht wird dem Anwender die Bezeichnung

#### 4 Konzeption und praktische Umsetzung

der Übung und eine entsprechende Abbildung zur Wiedererkennung dargestellt. Zwecks Prototyp wurden Abbildungen und Bezeichnungen für die Bewegungsübungen an dieser Stelle von Thalmic Labs übernommen. Neben der Abbildung ist ein Symbol für weitere Informationen dargestellt, woraufhin dem Anwender zur Übung eine entsprechende Animation und Beschreibung angezeigt wird, die bei Verunsicherung und hinsichtlich einer richtigen Bewegungsausführung anleiten und unterstützen soll (F11).

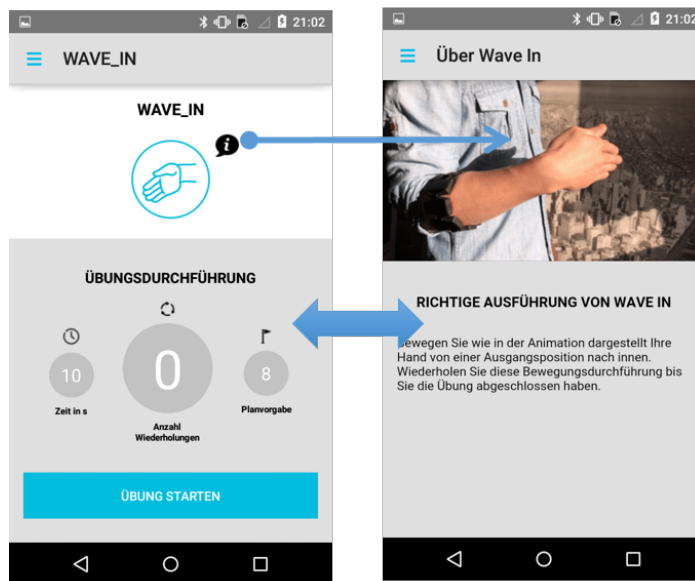


Abbildung 4.22: Screendesigns für die Durchführung der Bewegungsübung am Beispiel der 'Wave In' Handbewegung.

Gemäß den Anforderungen (F6) und (F7) werden bei der Durchführung die entsprechenden Übungseinstellungen, also Zeit- und Planvorgabe angezeigt. Während der Übungsdurchführung gilt es die Anzahl an Wiederholungen nach Planvorgabe, innerhalb der Zeitvorgabe zu erreichen. Jede korrekte Ausführung wird mitgezählt und die resultierende Anzahl angezeigt. Die Bewegungen werden durch das Myo-Armband registriert und der Anwender erhält zugleich ein akustisches Feedback durch die Anwendung, als auch eine haptische Rückmeldung durch das Myo-Armband, wodurch die Interaktion zusätzlich unterstützt wird.

Die Übung kann über den entsprechenden Start-Button gestartet werden, sofern die Myo verbunden und synchronisiert ist. Wenn die Übung begonnen wird, beginnt die



#### 4 Konzeption und praktische Umsetzung

Zeit herunterzuzählen. Die Übung ist abgeschlossen, sobald entweder die Zeit abgelaufen oder die Planvorgabe erreicht worden ist. Für die Ergebnisse der Übung werden die Zahl der Wiederholungen und die Zeit gespeichert, die der Patient für die erreichten Wiederholungssequenzen gebraucht hat.

Wenn alle Übungseinheiten samt Bewegungsübungen durchgeführt sind, kann der Übungsplan abgeschlossen werden. Unter 'Mein Übungsplan' wird stetig die Vollständigkeit der abgeschlossenen Einheiten überprüft. Erst wenn die Vollständigkeit gegeben ist, wird ein entsprechender Button angezeigt, worüber der Übungsplan abgeschlossen und im Planarchiv (F13) gespeichert werden kann (vgl. Abbildung 4.23).

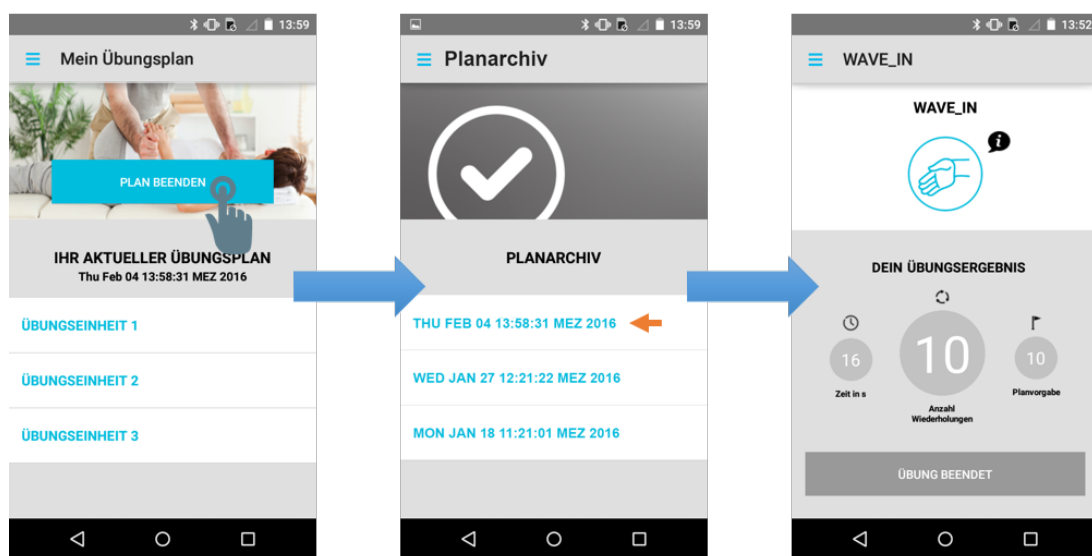


Abbildung 4.23: Jeder abgeschlossene Übungsplan wird zwecks Dokumentation der angeordneten Behandlungsmaßnahmen im Planarchiv abgelegt.

Das Planarchiv listet alle Übungspläne auf, die durch den Therapeuten jemals angeordnet und vom Patienten durchgeführt wurden. Jede Übungseinheit samt den Bewegungsübungen lassen sich hier wiederfinden. Zugleich werden an dieser Stelle auch alle Übungsergebnisse zu jeder Bewegungsübung gespeichert. Mit dieser Funktion werden die Behandlungsmaßnahmen automatisch dokumentiert. Der zeitliche Aufwand für die manuelle Dokumentation würde sich dadurch minimieren. Gleichzeitig stellt das Planarchiv eine Erinnerungshilfe für den Therapeuten dar.

Eine weitere Grundlage für vorausgehende Übungspläne bietet die Übungsanalyse (F14).

#### 4 Konzeption und praktische Umsetzung

Die Übungsanalyse stellt den Fortschritt hinsichtlich der Erfüllung des aktuellen Übungsplans dar (*lokale Übungsanalyse*). Grafisch und durch Prozentangaben dargestellt werden die Anzahl aller bislang abgeschlossenen Übungseinheiten und Übungen (s. Abbildung 4.24).

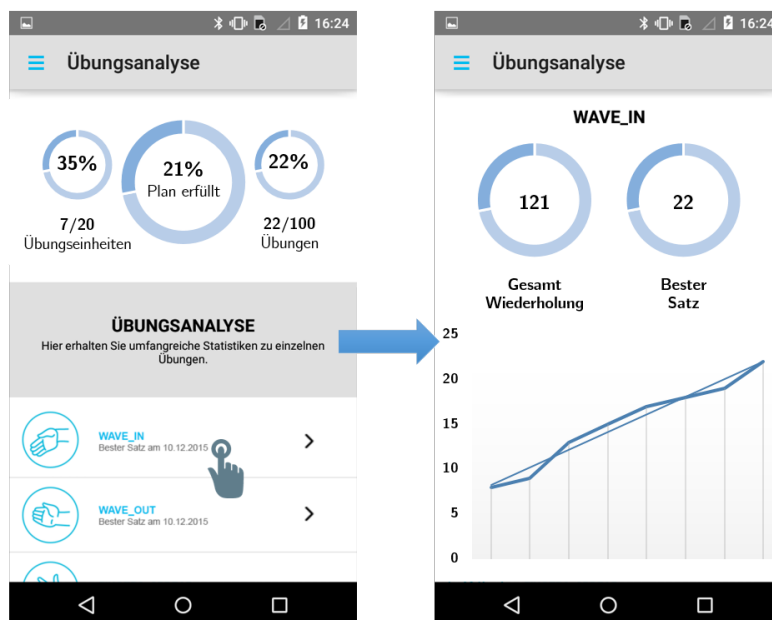


Abbildung 4.24: Die lokale Übungsanalyse zur Kontrolle der Adhärenz bezogen auf den aktuellen Übungsplan und eine globale Auswertung einzelner Bewegungsübungen hinsichtlich des gesundheitlichen Fortschritts.

Die lokale Übungsanalyse gewährleistet dem Physiotherapeuten Transparenz darüber, inwieweit der Patient sich tatsächlich an die vereinbarten Therapieziele gehalten hat. Gleichzeitig wird davon ausgegangen, dass die Motivation des Patienten angeregt werden kann, indem der Patient die bestmöglichen Ergebnisse erzielen möchte.

Neben der lokalen Übungsanalyse kann der Fortschritt einzelner Bewegungsübungen betrachtet werden. Hierfür werden die Übungsergebnisse aller abgeschlossenen Übungspläne zusammengefasst und für jede Bewegungsübung im Einzelnen dargestellt (*globale Übungsanalyse*). Ein Fortschritt lässt sich dabei anhand der steigenden Anzahl an Wiederholungssequenzen bestimmen. Zur globalen Auswertung wird zum Einen die gesamte Anzahl an Wiederholungssequenzen dargestellt, die insgesamt mit einer Bewegungsübung im Einzelnen ausgeführt werden. Zum Anderen wird der beste Satz angezeigt:

#### *4 Konzeption und praktische Umsetzung*

die höchste Anzahl an Wiederholungen, die mit der entsprechenden Übung erreicht wurde. Das Ziel für den Patienten soll sein, sich stetig verbessern zu wollen und damit die Leistung zu steigern. Zur Veranschaulichung wird der Fortschritt des Weiteren grafisch dargestellt. Darüber lässt sich der Trend ablesen, ob der Patient mit der jeweiligen Übung Erfolge nachweisen kann oder auch nicht.

Es wurden nun die Konzepte des Prototyps und die Ergebnisse der Implementierung präsentiert. Erarbeitet wurde der Prototyp „MyoPhysio“, eine Android-Anwendung, die in Verbindung mit der Thalmic Myo ihren Einsatz in der Handtherapie finden soll. Die Ergebnisse gilt es anschließend im Rahmen einer Evaluation zu untersuchen. Der Versuchsaufbau und die Ergebnisse der Untersuchung werden im nachfolgenden Kapitel vorgestellt.

# 5 Evaluierung

Nachdem im Prototyp die erarbeiteten Anforderungen umgesetzt wurden, gilt es anschließend seine Funktionalität zu evaluieren. Die Untersuchung wurde mit insgesamt sieben Physiotherapeuten durchgeführt, die einzeln während der Benutzung des Prototyps beobachtet wurden. Unter den gleichen Voraussetzungen wurde auch der Prototyp aus dem Projekt „LeapPhysio“ evaluiert. Dem Autor ist bewusst, dass die Ergebnisse dieser geringen Stichprobe statistisch nicht signifikant sind. Dennoch wird davon ausgegangen, dass die Ergebnisse erste Optimierungsansätze aufweisen und ein Indiz hinsichtlich der User Experience geben. In Kapitel 5 werden der Versuchsaufbau und die resultierenden Ergebnisse vorgestellt.

## 5.1 Versuchsaufbau

Aus den Möglichkeiten, die sich im Rahmen dieser Abschlussarbeit ergeben, wurde die Evaluation mit insgesamt sieben Physiotherapeuten durchgeführt. Von den Probanden war eine Person männlich und sechs weiblich. Der Altersdurchschnitt lag bei 30,56 Jahren. Die Probanden wiesen keine Vorerfahrung hinsichtlich der Leap Motion oder Thalmic Myo auf, daher wurden zu Beginn der Evaluierung beide Technologien vorgestellt und ihre Funktionsweisen kurz erläutert und gegenübergestellt.

Im Rahmen der Evaluierung galt es für alle Probanden den Prototyp aus dem Projekt LeapPhysio, als auch den Prototyp dieser Abschlussarbeit zu testen. Im ersten Schritt wurde die Benutzerfreundlichkeit der Benutzeroberfläche untersucht, indem die Testprobanden aufgefordert wurden diese zu beschreiben. Daraufhin galt es eine vorgegebene Aufgabe mit der jeweiligen Anwendung zu lösen. Für die MyoPhysio galt es zunächst einen Übungsplan zu erstellen, der im zweiten Schritt in Verbindung mit dem Myo-Armband durch verschiedene Bewegungsübungen ausgeführt wurde. Analog galt es den Prototyp mit der Leap Motion zu testen, wobei sich bei dieser Anwendung kein Übungsplan im gleichen Sinne erstellen lässt. Hier wurden einzelne Bewegungsübungen konfiguriert und durchgeführt. Die Probanden wurden während der Tests gefilmt und aufgefordert laut mitzudenken, um ihre subjektiven Eindrücke gegenüber beider Prototypen festhalten zu können..

Trotz der Subjektivität wird mit verschiedenen Ansätzen versucht, das Nutzererlebnis der Probanden objektiv messbar zu machen. Die User Experience ist ein komplexes

Ereignis, das sich nicht mit einem einzelnen Instrument erfassen lässt. Verglichen zur Usability bezieht sich das Nutzererlebnis auf weitere Aspekte, die über die Pragmatik eines Produkts hinausgehen.

Mit Hilfe der Evaluationsinstrumente AttrakDiff und INTUI wird die pragmatische Qualität gemessen, welche beschreibt, wie gut ein Produkt durch eine konkrete Handlung die Erledigung einer Aufgabe unterstützt [11, 34]. Im Hinblick auf die pragmatische Qualität erfasst der AttrakDiff entsprechende Produktattribute, wie beispielsweise „einfach“ oder „übersichtlich“, während der INTUI auch Aussagen über die Nutzerwahrnehmung betrachtet [5]. Zur Erfassung des Nutzerelebnisses reichen Aussagen über die pragmatische Qualität allein jedoch nicht aus. Es spielen Gefühle und Bedürfnisse, das persönliche Erleben der Interaktion sowie die Wahrnehmung des Produkts eine zusätzliche Rolle (hedonische Qualität). Zur Beschreibung der Interaktion wird das Interaktionsvokabular eingesetzt [6], bestehend aus Gegensatzpaaren wie beispielsweise „langsam“ - „schnell“.

Nachdem alle Probanden im Rahmen der Untersuchung beide Prototypen getestet haben, wurden diese drei Evaluationsbögen eingesetzt, um das Nutzererlebnis zu erheben.

## 5.2 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Beobachtungen wiedergegeben. Dabei werden die wesentlichen Inhalte zusammengefasst. Anschließend werden die Ergebnisse der einzelnen Messinstrumente ausgewertet und diskutiert. Die Prototypen MyoPhysio und LeapPhysio werden zunächst im Einzelnen ausgewertet und abschließend anhand der Ergebnisse gegenübergestellt.

### 5.2.1 Ergebnisse der Expertentests

**Beobachtungen bei „MyoPhysio“** Im ersten Schritt der Tests wurden die Probanden gebeten, sich zunächst mit der Anwendung vertraut zu machen und währenddessen die Benutzeroberfläche zu beschreiben. Unter den Probanden waren sechs erfahrene Android-Nutzer und ein iOS-Anwender. Es wurden insgesamt keine Schwierigkeiten in der Bedienung der Anwendung gesehen. Bei der MyoPhysio-Anwendung konnte man grundsätzlich feststellen, dass das Design die Probanden angesprochen hat. Die Anwendung wurde als übersichtlich beschrieben, festgelegt an der Gestaltung der Startseite und der Struktur der Navigation. Die Bezeichnungen der Menüpunkte waren für alle

## 5 Evaluierung

Probanden ersichtlich, das bestätigen Aussagen wie *„Ich nehme an, dass im Planarchiv alte Übungspläne abgespeichert werden“* oder auch *„Die Übungsanalyse zeigt mir dann, welche Übungen ich bereits gemacht habe und dazu vielleicht noch, wie gut ich abgeschnitten habe“*.

Missverständnisse gab es jedoch bei allen Probanden bei dem Begriff „Übungseinheiten“. Dies wurde von allen als eine Bewegungsübung vermutet. Zuzufolge wurden auch die Einstellungsmöglichkeiten missverstanden.

Nachdem die Benutzeroberfläche erörtert wurde und die Missverständnisse geklärt, galt es für die Probanden zwei Aufgaben zu lösen. Fürs Erste soll in der Rolle des Physiotherapeuten ein Übungsplan erstellt werden, bestehend aus drei Übungseinheiten mit jeweils drei verschiedenen Bewegungsübungen und entsprechenden Übungseinstellungen. Die durchschnittliche Bearbeitungszeit der ersten Aufgabe betrug dabei 52 Sekunden. Der Übungsplan ließ sich nach den Angaben der Aufgabenstellung von allen Probanden ohne Probleme erstellen.

Der zweite Teil der Aufgabe bestand darin, sich in die Rolle des Patienten zu versetzen und den Übungsplan samt den Bewegungsübungen mit dem Myo-Armband abzuschließen. Für die Probanden bedeutete dies, das Myo-Armband das erste Mal zu verbinden und zu synchronisieren. Hierbei erwies sich die Animation für den Verbindungsaufbau zwischen Myo und Anwendung als sehr hilfreich. Aber bereits im zweiten Schritt auf der Startseite ergaben sich die nächsten Probleme: Es gilt das Myo-Armband am entsprechenden Arm zu tragen. Eine Abbildung und kurze Beschreibung sollen den Anwender dabei anleiten. Dabei ließ sich beobachten, dass sich drei von vier Probanden eher von den Abbildungen anleiten ließen, als dass die Inhalte gelesen werden, worauf sich die darauffolgenden Probleme auch bei der Synchronisierung feststellen ließen. Hier wird darauf hingewiesen, dass für die Synchronisierung die Bewegung entsprechend der Animation gehalten werden muss, bis die Vibration aufhört. Aus der Animation allein ist diese Bedingung nicht ersichtlich.

Das Aufrufen des Übungsplans, der entsprechenden Übungseinheiten und Übungen erwies sich als problemlos. Beobachtet wurde des Weiteren, dass vor jeder Bewegungsübung im Übungsmodus, von allen Probanden zunächst die Übungsanleitung mit der entsprechenden Videosequenz aufgerufen wurde. Erst hinterher wurden die Übungen gestartet. Die Übungsanleitung wurde von allen Probanden befürwortet, weil dadurch die Bewegungsübungen in die Erinnerung zurückgerufen werden konnte.

Bei der Bewegungsdurchführung wurde erwartet, dass mit der entsprechenden Bewegungsausführung mitgezählt wird. Bei der Durchführung konnte insgesamt festgestellt

## 5 Evaluierung

werden, dass die Bewegungsübungen Wave-In, Wave-Out und Double-Tap besser funktionierten. Im Durchschnitt wurden ca. 65% der Bewegungsausführungen erkannt. Bei Gesten wie der Fist und Finger-Spread lag die Erkennungsrate bei ca. 10%. Dies führte zu Verwirrungen, da die Probanden zunächst nicht wussten, worin der Fehler lag. Problematisch sei die Ungenauigkeit der Messungen. Außerdem sei auch das Bewegungsausmaß zu berücksichtigen, da Patienten zu Beginn nicht in der Lage wären, ihre Hand in diesem Ausmaß zu bewegen. Zusätzlich ließen sich vier der Probanden durch die herunterzählenden Zeit unter Druck setzen, wodurch hinterher ein unzufriedener Eindruck hinterlassen wurde. Die Zeitvorgabe sei irreführend und schaffe Frustration, worunter die Bewegungsausführung zu leiden hat.

Ingesamt wurde das Konzept und die Idee von MyoPhysio akzeptiert. Die Anwendung sei eine „*raffinierte*“ Möglichkeit zu kontrollieren, ob der Patient tatsächlich seine Übungen im Heimtraining durchführt. Nach den Einschätzungen der Probanden wäre ein Einsatz jedoch eher bei jüngeren Patienten oder Sportlern vorstellbar, worüber grobmotorische Bewegungen trainiert werden können. Für Feinmotorische Bewegungsübungen sei die Messgenauigkeit zu ungenau und müsste dahingehend verbessert werden.

**Beobachtungen bei „LeapPhysio“** Analog zur MyoPhysio galt es bei den Tests der LeapPhysio-Anwendung zunächst die Benutzeroberfläche zu beschreiben. Für den Test wurde die Anwendung auf einem Laptop gestartet. Des Weiteren wurde für die Bedienung eine Maus bereitgestellt. Mit dem Start der Anwendung erscheint als Erstes ein Hauptmenü, wo zwischen fünf verschiedenen Bewegungsübungen ausgewählt werden kann (s. Abbildung 5.1). Die Startansicht wurde laut Probanden insgesamt als sehr kompakt und übersichtlich beschrieben. Es wurde vermutet, dass nach Auswahl einer Übung diese entsprechend durchgeführt werden kann.

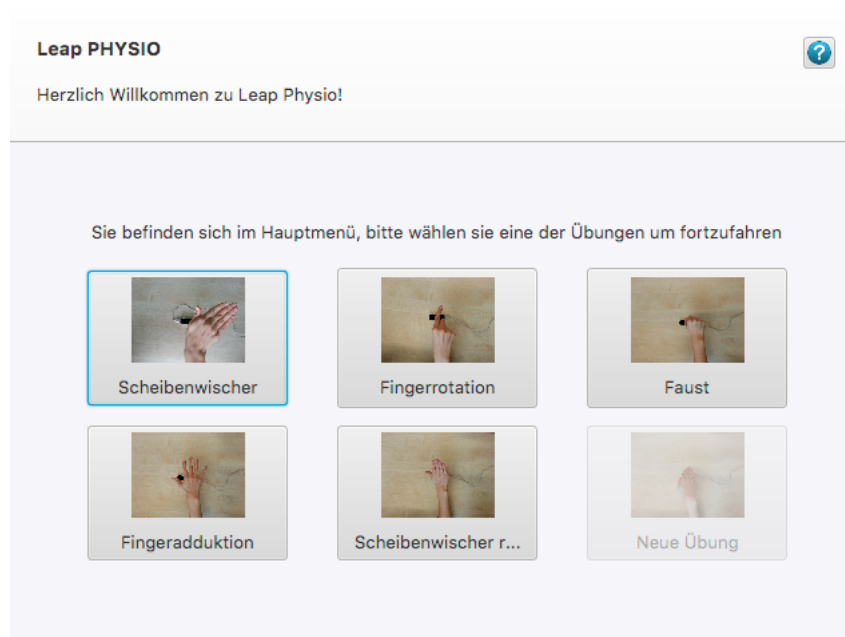


Abbildung 5.1: Startansicht der LeapPhysio-Anwendung.

Zur Konfiguration der Übung erscheinen nach einer Gestenauswahl im Hauptmenü verschiedene Eingabefelder, worüber sich entsprechende Parameter, wie die zu erreichende Anzahl an Wiederholungen und Sätze, als auch die zeitliche Vorgabe einstellen lassen. Nicht ganz eindeutig war für die meisten Probanden, worauf sich die Zeitangabe beziehen soll. Vermutet wurde entweder auf einen einzelnen Übungssatz oder die gesamten Übung. Entsprechend wurde die Eingabemaske nach Bauchgefühl ausgefüllt.

Nachdem die Eingabemaske für die Trainingskonfiguration bestätigt wurde, öffnet sich die entsprechende Übungsansicht (vgl. Abbildung 5.2), woraufhin die Bewegungsübungen durchgeführt werden können. Im linken Bereich der Ansicht werden die Übungsstatistiken aufgeführt, während im rechten Bereich ein Video zur Anleitung abgespielt



## 5 Evaluierung

werden kann und darunter eine entsprechende Übungsbeschreibung aufgeführt ist. Die Übungsansicht wurde ebenfalls für sehr übersichtlich empfunden.



Abbildung 5.2: Übungsansicht der LeapPhysio-Anwendung.

Mit dem Wechsel von der Trainingskonfiguration auf die Übungsansicht fängt die eingestellte Zeit parallel und automatisch an zu laufen, worauf direkt mit den Bewegungsübungen begonnen werden muss. Direkt aufgefallen ist dies zunächst drei Probanden. Die restlichen Probanden haben dies erst bemerkt, nachdem die Zeit abgelaufen war und zufolge eine visuelle Rückmeldung bestätigte, dass die Übung abgeschlossen wurde. Bemängelt wurde die unauffällige Darstellung der Übungsstatistik, woraus nicht eindeutig zu erkennen war, dass die Zeit bereits am Laufen war. Wünschenswert wäre hier eine Möglichkeit, die Bewegungsübung manuell zu starten, damit sich Patienten zunächst die Zeit für die Videoanleitung und Übungsbeschreibung nehmen können, bevor mit der Übungsdurchführung begonnen wird.

Nachdem die Benutzeroberfläche beschrieben wurde, galt es für die Probanden im Anschluss eine Aufgabenstellung zu lösen. Mit der Aufgabe galt es drei verschiedene Bewegungsübungen unter Verwendung der Leap Motion durchzuführen. Dabei wurden in der Aufgabenbeschreibung entsprechende Übungskonfigurationen vorgegeben. Nachdem die Verwirrung hinsichtlich der Zeitangabe geklärt wurde, erwies sich die Konfiguration als problemlos. Insgesamt machten alle Probanden jedoch einen unsicheren Eindruck hinsichtlich der Bedienung des Computers.

Während der Bewegungsdurchführung erwiesen sich bei der Verwendung der Leap Motion weitere Schwierigkeiten hinsichtlich der Positionierung der Hand über dem Sensor.

Entsprechend wirkten sich die Probleme auf die Erkennungsrate aus. Es wurden durchschnittlich nur 10% der Bewegungsausführungen von der Leap Motion korrekt erfasst. Aufgrund der Ungenauigkeit waren die Probanden hauptsächlich damit beschäftigt, ihre Hand über dem Sensor neu zu positionieren. Dementsprechend wurde nach einer visuellen Rückmeldung verlangt, die den Anwender bei der Positionierung der Hand unterstützt.

Wie auch bei der MyoPhysio-Anwendung, gerieten die Probanden aufgrund der Zeitvorgabe unter Druck, das zusätzlich zu hoher Frustration führte.

Grundsätzlich wurde die Idee der LeapPhysio-Anwendung für innovativ betrachtet und akzeptiert. Die Anwendung sei übersichtlich gestaltet und einfach zu bedienen. Jedoch bedarf es nach Einschätzung der Probanden stark an Verfeinerungen. Die Motivation für die Anwendung wird bei Patienten gesehen, da ein benötigter Computer in der Praxis nicht vorhanden sei. Wie auch bei der MyoPhysio-Anwendung bedarf es hier zusätzlich die Möglichkeit, das Ausmaß der Bewegungen zu bestimmen.

### 5.2.2 Ergebnisse der Evaluationsinstrumente

Nachdem die subjektiven Eindrücke der Probanden gegenüber beider Prototypen erörtert wurden, werden nachfolgend die Ergebnisse der Evaluationsbögen vorgestellt, die zur Erfassung verschiedener Gesichtspunkte der User Experience und der intuitiven Nutzung eingesetzt wurden.

Ein Instrument ist der AttrakDiff [11], der unterscheidet, wie Nutzer einerseits ein Produkt anhand seiner charakteristischen Eigenschaften wahrnehmen und andererseits nach seiner Attraktivität bewerten. Die Wahrnehmung und Bewertung wird mit Hilfe von Wortpaaren erhoben, zwischen denen Abstufungen von 1 bis 7 möglich sind. Die Aussagen lassen sich mittels der vier Qualitätsdimensionen Attraktivität (ATT), Pragmatische Qualität (PQ), Hedonische Qualität in Bezug auf den Nutzer selbst (HQI) und seiner persönlichen Entwicklung (HQS) erfassen.

Die Attraktivität (ATT) entspricht einem globalen Produkturteil, das durch Adjektive wie „gut“, „angenehm“ oder „sympathisch“ erhoben wird [5, 11]. Die Pragmatische Qualität (PQ) beschreibt dabei die Gebauchstauglichkeit im Sinne der ISO Norm 9241-11 und wird durch Adjektive wie „einfach“, „praktisch“ oder „übersichtlich“ bestimmt. Die Hedonische Qualität im Hinblick auf Identität (HQI) beschreibt, in welchem Ausmaß Nutzer sich selbst durch die Wahl und Nutzung bestimmter Produkte zum Ausdruck bringen und infolgedessen von anderen Menschen wahrgenommen werden wollen. Aussagen zur

## 5 Evaluierung

HQI werden dabei beispielsweise durch Attribute wie „stilvoll“ oder „fachmännisch“ erhoben. Zuletzt soll mit den Aussagen über die HQS beschrieben werden, inwieweit ein Produkt die persönliche Weiterentwicklung des Anwenders unterstützt. Menschen haben das Bedürfnis sich in ihren Kenntnissen und Fähigkeiten stetig zu verbessern. Ein Produkt kann hierbei stimulierend wirken.

Für die Auswertung werden die Mittelwerte der vier Dimensionen berechnet, wodurch sich Rückschlüsse auf die Bewertung und Wahrnehmung ziehen lassen. Der AttrakDiff bewertet ein Produkt. Dabei spricht ein Ergebnis von 4 für eine neutrale Aussage.

Tabelle 5.1 stellt die Ergebnisse der Auswertung für die Myo-Anwendung dar. Nach Auswertung einzelner Probanden werden die Mittelwerte zusammengefasst.

Probanden / Komponenten	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Mittelwerte
Attraktivität (ATT)	6,29	4,86	4,00	4,71	5,71	5,71	5,71	<b>5,29</b>
Pragmatische Qualität (PQ)	5,29	5,14	4,14	4,71	5,43	4,71	5,00	<b>4,92</b>
Hedonische Qualität - Identität (HQI)	5,71	4,29	3,43	4,29	4,29	4,14	4,57	<b>4,39</b>
Hedonische Qualität - Stimulation (HQS)	6,00	4,86	4,00	4,14	5,57	5,71	5,71	<b>5,14</b>

Tabelle 5.1: Auswertung des AttrakDiff für die MyoPhysio-Anwendung.

Mit einem Mittelwert von 5,29 auf der ATT-Komponente wird MyoPhysio insgesamt positiv bewertet. Der Mittelwert von 5,14 auf der HQS-Komponente bestätigt, dass der Prototyp durch seine Gestaltung und Funktionalitäten auch zur persönlichen Entwicklung beitragen kann. Der Wert von 4,92 auf der PQ-Skala spricht für eine gute Gebrauchstauglichkeit der Anwendung. Das Ergebnis auf HQI liegt im durchschnittlichen Bereich und erweist keine eindeutige Aussagekraft.

Analog wurden die Ergebnisse des AttrakDiff für den Prototyp aus dem LeapPhysio-Projekt ausgewertet (s. Tabelle 5.2). Bei der Auswertung wird festgestellt, dass die Ergebnisse von Proband Nr. 3 (P3) sehr deutlich von den Angaben der anderen Testprobanden abweichen. Aufgrund der geringen Stichprobe, wirken sich Ausreißer wie diese deutlich auf das Gesamtergebnis aus.

## 5 Evaluierung

Probanden / Komponenten	P1	P2	<b>P3</b>	P4	P5	P6	P7	<b>Mittelwerte</b>
Attraktivität (ATT)	5,71	4,57	<b>2,43</b>	3,00	4,57	5,43	3,86	<b>4,22</b>
Pragmatische Qualität (PQ)	5,14	5,00	<b>2,29</b>	3,43	5,43	4,14	3,14	<b>4,08</b>
Hedonische Qualität - Identität (HQI)	5,29	3,71	<b>2,57</b>	3,29	4,43	4,57	4,00	<b>3,98</b>
Hedonische Qualität - Stimulation (HQS)	5,86	4,71	<b>5,14</b>	3,57	4,00	5,57	3,71	<b>4,65</b>

Tabelle 5.2: Auswertung des AttrakDiff für die LeapPhysio-Anwendung. Unter P3 lässt sich eine große Abweichung feststellen.

Aus diesem Grund werden die Ergebnisse neu berechnet und dabei Proband 3 nicht berücksichtigt. Angesichts der geringen Anzahl an Probanden, wird von einer formal korrekten Varianzberechnung abgesehen. Die Ergebnisse der Neuberechnung sind in Tabelle 5.3 abgebildet.

Probanden / Komponenten	P1	P2	P4	P5	P6	P7	<b>Mittelwerte</b>
Attraktivität (ATT)	5,71	4,57	3,00	4,57	5,43	3,86	<b>4,52</b>
Pragmatische Qualität (PQ)	5,14	5,00	3,43	5,43	4,14	3,14	<b>4,38</b>
Hedonische Qualität - Identität (HQI)	5,29	3,71	3,29	4,43	4,57	4,00	<b>4,21</b>
Hedonische Qualität - Stimulation (HQS)	5,86	4,71	3,57	4,00	5,57	3,71	<b>4,57</b>

Tabelle 5.3: Neuberechnung der Mittelwerte des AttrakDiff für die LeapPhysio-Anwendung. Dabei wird P3 hier nicht berücksichtigt.

Mit einem nahezu durchschnittlichen Mittelwert von 4,52 auf der ATT-Skala ist die Leap Motion-Anwendung insgesamt eher positiv bewertet worden. Über die Pragmatik und Auswirkung des Prototyps auf die Selbstwahrnehmung durch die Anwendung, kann aufgrund der durchschnittlichen Ergebnisse von 4,38 und 4,21 keine Eindeutige Aussage getroffen werden, außer dass der Prototyp hinsichtlich dieser Eigenschaften weder eindeutig positiv noch negativ bewertet worden ist.

Der Mittelwert von 4,57 auf der HQS-Skala tendiert dafür, dass der Prototyp die persönliche Entwicklung des Menschen anregt und unterstützt. Die Beobachtungen im Experiment spiegeln dieses Ergebnis wieder. Die Idee der Anwendung und die Technologie wurden als innovativ betrachtet, jedoch wurde insgesamt ein hoher Bedarf an Verbesserungsarbeiten gesehen, welcher sich sicherlich auf das Gesamtergebnis ausgewirkt hat.

## 5 Evaluierung

Nachdem der AttrakDiff für beide Prototypen ausgewertet wurde, werden die Ergebnisse in einem Schaubild gegenübergestellt (s. Abbildung 5.3).

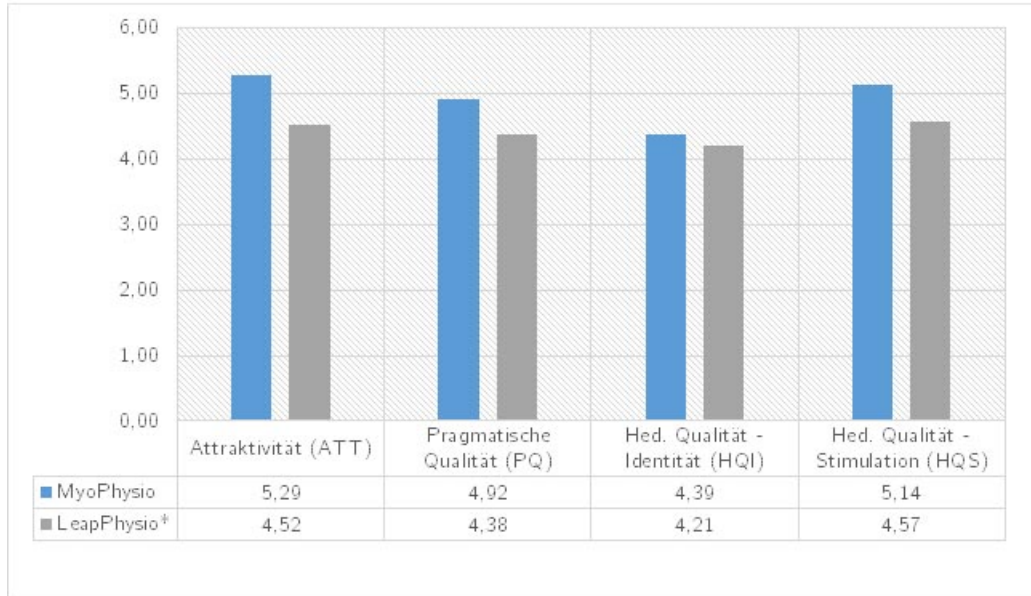


Abbildung 5.3: AttrakDiff: Diagramm der Mittelwerte beider Prototypen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die MyoPhysio insgesamt als attraktiver bewertet wurde als die LeapPhysio-Anwendung. Auch hinsichtlich der Pragmatik sprechen die Ergebnisse dafür, dass sich das Konzept, die Gestaltung und Umsetzung der MyoPhysio-Anwendung im entsprechendem Kontext der Handtherapie positiver auf die Unterstützung der Aufgabenerfüllung auswirken. Dies lässt sich evtl. dadurch begründen, dass die Erkennungsrate des Myo-Armbands insgesamt deutlich höher war als die der Leap Motion.

Während sich mit AttrakDiff eine Beurteilung angesichts der Produkteigenschaften erheben lässt, bezieht sich der INTUI vielmehr auf die Wahrnehmung der Interaktion während der Nutzung [34]. Unter Berücksichtigung verschiedener Aspekte wird dabei abgebildet, wie intuitiv ein Produkt wahrgenommen wird. Bei der Erhebung lassen sich Aussagenpaare vier verschiedenen Komponenten zuordnen. Diese Komponenten können dabei unabhängig voneinander betrachtet werden. Basierend auf den relativen Ergebnissen der einzelnen Komponenten, entsteht im Gesamtbild ein Muster intuitiver Nutzung [5, 34].

## 5 Evaluierung

Für die Erhebung werden Aussagenpaare erfasst, zwischen denen, analog zum AttrakDiff, Abstufungen von 1 bis 7 gegeben sind. Anschließend werden die Mittelwerte berechnet und den Komponenten Mühelosigkeit (M), Bauchgefühl (G), Magisches Erleben (X), Verbalisierungsfähigkeit (V) zugeordnet. Neben diesen wird nach einem globalen Intuitivitätsurteil (INT) gefragt. Die Bedeutung jeder einzelnen Komponente wird anhand der Ergebnisse geklärt.

In den nachfolgenden Tabellen werden die Ergebnisse der Auswertung des INTUI vorgestellt. In Tabelle 5.4 sind zunächst die Mittelwerte der MyoPhysio-Anwendung aufgeführt.

Probanden / Komponenten	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Mittelwerte
Mühelosigkeit (M)	3,00	4,20	6,00	6,20	5,40	5,60	6,60	<b>5,29</b>
Bauchgefühl (G)	4,50	4,25	5,00	4,75	4,25	3,50	3,50	<b>4,25</b>
Magisches Erleben (X)	4,50	4,50	5,25	4,25	2,50	4,50	5,00	<b>4,36</b>
Verbalisierungsfähigkeit (V)	5,00	7,00	6,00	6,00	5,00	6,00	7,00	<b>6,00</b>
Gl. Intuitivitätsurteil (INT)	5,00	6,00	6,00	7,00	6,00	5,00	6,00	<b>5,86</b>

Tabelle 5.4: Auswertung des INTUI für die Thalmic Myo-Anwendung.

Angaben zur Mühelosigkeit (M) sollen beschreiben, ob die Interaktion mit einem Produkt entweder als mühelos oder kognitiv anstrengend wahrgenommen wird. Die Mühelosigkeit in diesem Sinne stimmt dabei überwiegend zur Bedeutung der Gebrauchstauglichkeit nach DIN EN ISO 9241-11 überein. Ein Mittelwert von 5,29 lässt dabei darauf schließen, dass die Interaktion mit der MyoPhysio eher als mühelos erlebt wurde und weniger an Aufmerksamkeit erforderte.

In der Komponente Bauchgefühl (G) sprechen Ergebnisse dafür, dass sich Anwender bei der Benutzung entweder von Gefühlen oder dem Verstand leiten ließen. Mit einem Mittelwert von 4,25 kann hier keine eindeutige Aussage getroffen werden. Bei der Benutzung der MyoPhysio ließen sich die Probanden relativ ausgeglichen von den Gefühlen, als auch dem Verstand leiten.

Das Magische Erleben (X) bezieht sich auf die Erlebnisqualität und beschreibt, ob die Interaktion insgesamt als außergewöhnlich und faszinierend oder mehr unbedeutend wahrgenommen wird. Der Wert von 4,36 auf dieser Skala lässt dabei auf keine eindeutige Zuordnung schließen.

Das Ergebnis mit einem Mittelwert von 6,0 bei der Verbalisierungsfähigkeit (V) spricht dafür, dass sich die Probanden hinterher gut an den zeitlichen Verlauf der Interaktion

## 5 Evaluierung

erinnern können. Demzufolge spricht ein hoher Wert für eine logische und plausible Abfolge von Bedienschritten in der Anwendung.

Zusätzlich erfasst INTUI durch ein einzelnes Aussagenpaar („gar nicht intuitiv“ - „sehr intuitiv“) ein globales Maß für die wahrgenommene Intuitivität eines Produkts. Mit einem Mittelwert von 5,86 wird die Interaktion mit der MyoPhysio-Anwendung insgesamt als intuitiv wahrgenommen.

Für die Gegenüberstellung beider Prototypen wurden die Ergebnisse des INTUI auch für LeapPhysio ausgewertet. Erneut lässt sich dabei eine Abweichung der Ergebnisse feststellen (s. Tabelle 5.5).

Probanden / Komponenten	P1	P2	<b>P3</b>	P4	P5	P6	P7	<b>Mittelwerte</b>
Mühelosigkeit (M)	5,40	5,20	<b>1,60</b>	4,20	4,00	3,40	3,00	<b>3,83</b>
Bauchgefühl (G)	4,00	4,25	<b>1,25</b>	4,25	3,75	3,50	5,00	<b>3,71</b>
Magisches Erleben (X)	4,25	3,75	<b>1,75</b>	2,50	4,00	3,25	2,50	<b>3,14</b>
Verbalisierungsfähigkeit (V)	6,00	6,00	<b>3,67</b>	3,00	6,00	6,33	3,67	<b>4,95</b>
Gl. Intuitivitätsurteil (INT)	5,00	6,00	<b>2,00</b>	3,00	5,00	6,00	5,00	<b>4,57</b>

Tabelle 5.5: Auswertung des INTUI für die Leap Motion-Anwendung.

Die Ergebnisse von Proband 3 weichen wieder sehr stark von den Ergebnissen der anderen Testprobanden ab. Erneut wird daher das Gesamtergebnis Neuberechnet und bei der Berechnung (P3) ausgeschlossen (abgebildet in Tabelle 5.6).

Probanden / Komponenten	P1	P2	P4	P5	P6	P7	<b>Mittelwerte</b>
Mühelosigkeit (M)	5,40	5,20	4,20	4,00	3,40	3,00	<b>4,20</b>
Bauchgefühl (G)	4,00	4,25	4,25	3,75	3,50	5,00	<b>4,13</b>
Magisches Erleben (X)	4,25	3,75	2,50	4,00	3,25	2,50	<b>3,38</b>
Verbalisierungsfähigkeit (V)	6,00	6,00	3,00	6,00	6,33	3,67	<b>5,17</b>
Gl. Intuitivitätsurteil (INT)	5,00	6,00	3,00	5,00	6,00	5,00	<b>5,0</b>

Tabelle 5.6: Auswertung des INTUI für die Leap Motion-Anwendung ohne Ausreißer.

Die Mittelwerte auf den Komponenten Mühelosigkeit (M) und Bauchgefühl (G) liegen im durchschnittlichen Bereich. Mit einem Mittelwert unter dem Durchschnitt auf der X-Komponente wird die Interaktion bei der LeapPhysio-Anwendung weniger als außergewöhnlich wahrgenommen. Die Ergebnisse bei der Verbalisierungsfähigkeit (V) und dem Intuitivitätsurteil (INT) tendieren dazu, dass der LeapPhysio-Prototyp als intuitiv wahrgenommen wurde. Doch auch hier liegen die Mittelwerte unter den Ergebnissen der Myo-Anwendung.

## 5 Evaluierung

Nachfolgende Abbildung 5.4 stellt die Ergebnisse des INTUI beider Prototypen gegenüber.

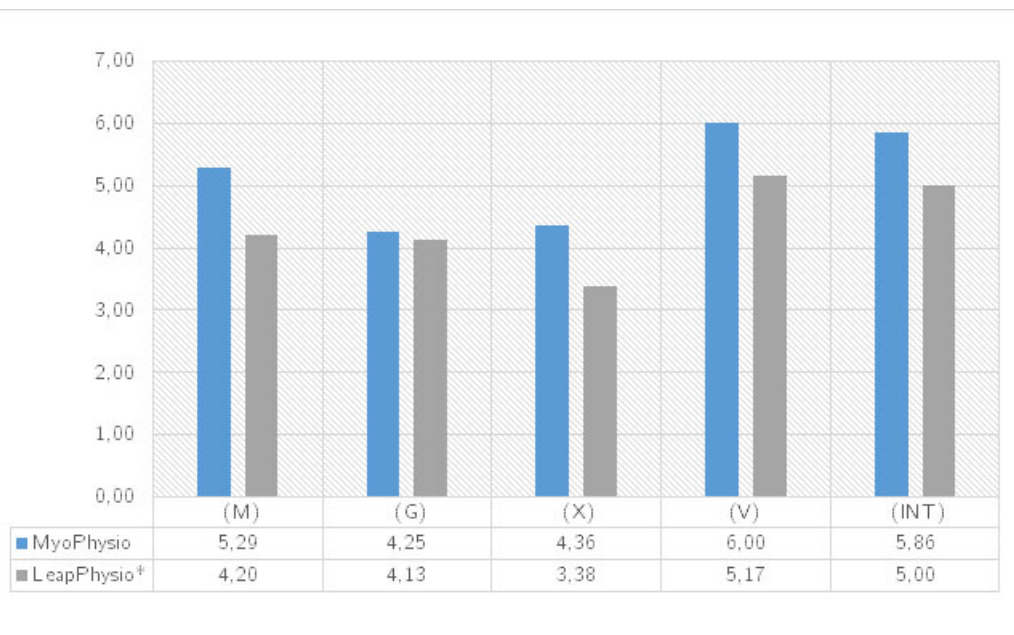


Abbildung 5.4: Gegenüberstellung LeapPhysio und MyoPhysio anhand der Auswertung des INTUI.

Aus dem Schaubild lässt sich entnehmen, dass die mobile Anwendung in Verbindung mit der Thalmic Myo in seiner Benutzung und Interaktion als insgesamt intuitiver wahrgenommen wurde. Dies bestätigt das globale Intuitivitätsurteil. Sehr deutlich überwiegen die Mittelwerte auf den Komponenten (M), (X) und (V). Maßgeblich für die durchschnittlichen Werte beim LeapPhysio-Prototyp könnte erneut die Ungenauigkeit der Messung sein, durch die zufolge Schwierigkeiten in der Durchführung der Bewegungsübungen aufgetreten sind und folglich das Nutzererlebnis dadurch negativ beeinflusst wurde.

Im Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit beider Prototypen, decken sich die Ergebnisse auf der (M)-Komponente nahezu mit den Ergebnissen auf der PQ-Skala aus dem AttrakDiff.

Um weitere Aussagen hinsichtlich der Wahrnehmung einer Interaktion mit einem Produkt neben der Intuitivität zu erheben, wurde obendrein das Interaktionsvokabular verwendet. Das Interaktionsvokabular schlägt eine Reihe von gegensätzlichen Adjektivpaaren vor, anhand derer grundlegende Eigenschaften von Interaktionen beschrieben werden



## 5 Evaluierung

können. Die Ergebnisse bewerten dabei nicht, ob eine Interaktion gut oder schlecht ist, sondern beziehen sich auf unterschiedliche Charakteristika [5, 6].

Aus dem *Interaktionsvokabular* lässt sich ein Profil der durchschnittlichen Wahrnehmung einer Interaktionsform generieren, indem für jedes Aussagenpaar erneut der Mittelwert berechnet wird. In Abbildung 5.5 sind die Profile der Wortpaare für die MyoPhysio und LeapPhysio ausgewertet und visualisiert. Bei den Profilen sind dabei in erster Linie die Extremwerte von Interesse, bei denen von einer Übereinstimmung der Wahrnehmung ausgegangen werden kann, die folglich besonders auf die charakteristische Eigenschaften einer Interaktion hindeuten.

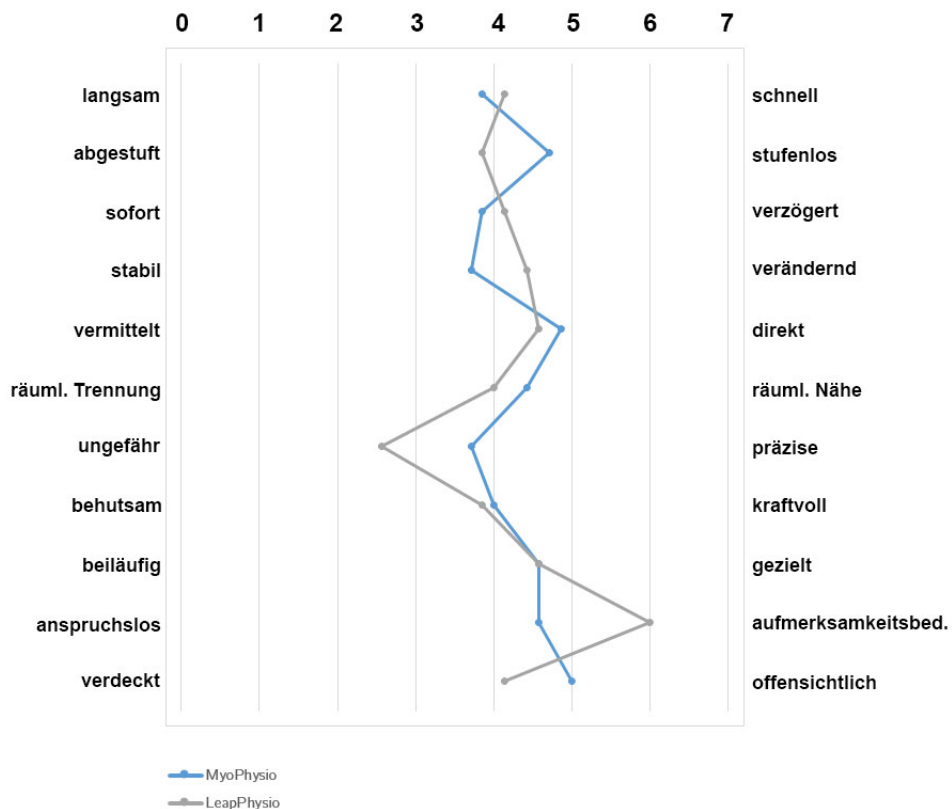


Abbildung 5.5: Interaktionsvokabular: Profil der Wortpaare zur Beschreibung der Interaktion.

So wurde die Interaktion bei der Benutzung des MyoPhysio-Prototyps für direkt und offensichtlich wahrgenommen. Dies würde sich durch die starke Verbalisierungsfähigkeit aus den Ergebnissen des INTUI begründen lassen, die eine logische Abfolge der Bedien-

## 5 Evaluierung

schritte bestätigen. Das Profil für die Myo-Anwendung ist hingegen ausgeglichen.

Bei dem LeapPhysio-Prototyp sind zwei Extremwerte sehr deutlich erkennbar. Zum Einen wird die Interaktion mit der Leap Motion-Anwendung als „*ungefähr*“ wahrgenommen. Diese Messung deckt sich auch überwiegend mit den Aussagen der Probanden hinsichtlich der Messungenaugigkeit während der Bewegungsdurchführung. Des Weiteren scheint die Anwendung ein höheres Maß an Aufmerksamkeit zu erfordern. Dies lässt sich dadurch begründen, dass bei der Leap Motion-Anwendung insgesamt eine höhere Unsicherheit in der Bedienung beobachtet wurde.

# 6 Zusammenfassung

Im letzten Kapitel werden die Inhalte dieser Abschlussarbeit nochmal zusammengefasst und ein Fazit zu den Ergebnissen der Arbeit gezogen. Abschließend werden einige Gestaltungsalternativen und Möglichkeiten zur Weiterentwicklung vorgestellt, die sich im Laufe der Arbeit ergeben haben.

## 6.1 Inhalt

Das Ziel dieser Arbeit bestand in der Konzipierung einer Anwendung zur Unterstützung in der Handtherapie, welches unter Verwendung der Thalmic Myo prototypisch umgesetzt werden sollte. Das Myo-Armband ist ein Gestensteuerungssystem, das mit Elektroden ausgestattet ist und elektrische Muskelsignale erkennt. Für die Konzipierung sollten unter anderem Anforderungen aus der praktischen Physiotherapie erarbeitet werden.

Dazu wurden im zweiten Kapitel nach der Einleitung zunächst Grundlagen aus der Physiotherapie behandelt, insbesondere wurden dabei klassische Behandlungsmaßnahmen betrachtet, um aufzuzeigen, an welcher Stelle der Prototyp seinen Einsatz finden soll. Anschließend wurden Muscle-Computer-Interfaces betrachtet, eine Form der Benutzungsschnittstelle, unter die sich das Thalmic Myo-Armband einordnen lässt. Aus der Literaturrecherche ergaben sich drei grundlegende Ansätze. Darunter wurden die Überlegungen von Saponas et al. [32] betrachtet, die muCIs erstmalig mit dem Einsatz von Oberflächen-EMGs in Zusammenhang brachten. Dabei erwiesen sich maschinelle Lernverfahren als wesentlicher Bestandteil im Hinblick auf die Verarbeitung von EMG-Daten, insbesondere für die Mustererkennung und Interpretation von Gesten. In Anbetracht maschineller Lernverfahren erwiesen sich im Besonderen Klassifikationsverfahren als zweckmäßig. Hinsichtlich der Zielsetzung dieser Abschlussarbeit wurde von diesen Ansätzen jedoch abgesehen und das zu entwickelnde Konzept im Wesentlichen auf den funktionalen Gegebenheiten des Thalmic Myo-Armbands entworfen. Entsprechend der Zielsetzung sollte der Prototyp des Weiteren mit mindestens fünf Physiotherapeuten bezüglich seiner Funktionalität untersucht und das Nutzererlebnis evaluiert werden. Hinsichtlich der Evaluation wurde daher der Begriff der User Experience als auch der Begriff der Intuitivität im Grundlagenkapitel erläutert.

Im nächsten Schritt wurden die Anforderungen und Rahmenbedingungen dieser Ab-

schlussarbeit vorgestellt. Dabei wurde zunächst die Funktionalität des Myo-Armbands näher betrachtet und anschließend die Anforderungen beschrieben, die sich aus der Zusammenarbeit mit zwei Physiotherapeutinnen der IB Medizinischen Akademie Mannheim ergaben.

Aufbauend auf den gegebenen Anforderungen wurden verschiedene Gestaltungsideen erarbeitet, die zu einer Konzeptauswahl geführt haben. Das finale Konzept wurde anschließend als Android-Applikation in Verbindung mit dem Myo-Armband umgesetzt und im Zuge dessen wurden die praktischen Ergebnisse der Arbeit vorgestellt und dabei die wesentlichen Funktionen der Anwendung erläutert.

Im letzten Teil wurden die Ergebnisse der Evaluation vorgestellt und diskutiert. Außerdem erfolgte unter gleichen Bedingungen die Evaluierung des Studentprojekts „LeapPhysio“. Die Ergebnisse beider Anwendungen wurden gegenübergestellt..

### 6.2 Fazit

Ein Ziel dieser Arbeit bestand in der Erarbeitung praktischer Anforderungen in Zusammenarbeit mit zwei Physiotherapeutinnen. Es ergab sich die Anforderung hinsichtlich einer Möglichkeit für Physiotherapeuten, einen individuellen Übungsplan zu erstellen, wodurch entsprechende Bewegungsübungen vorgegeben werden können. In den Gesprächen mit beiden Physiotherapeutinnen stellte sich zudem heraus, dass Behandlungszeiten typischerweise eng getaktet sind und diese ausschließlich für die Einweisung der Bewegungsübungen reichen würden. In den Probandentests wurde für das Erstellen eines Übungsplans eine durchschnittliche Zeit von 52 Sekunden gemessen. Angesichts des aktuellen Funktionsumfangs des Prototypen, der geringen Anzahl an Bewegungsübungen und Einstellungsmöglichkeiten erscheint das Result zunächst akzeptabel, jedoch kann davon ausgegangen werden, dass durch eine Erweiterung der Konfigurationsmöglichkeiten, die für eine hohe Individualisierbarkeit vorausgesetzt wurden, die Bearbeitungszeit zunimmt.

Resultierend aus dem Konzept des Übungsplans, bestand ein weiteres Ziel dieser Arbeit in der Entwicklung eines Übungsprogramms. Ausgehend von der Anforderungsanalyse wurden folglich Gestaltungsideen zur Übungsdurchführung erarbeitet. Nach der theoretischen Vorbetrachtung und den ersten praktischen Ergebnissen hinsichtlich der Bewegungsübungen, stellte sich heraus, dass eine Hilfestellung zur richtigen Bewegungsausführung eine weitere Bedürfnis darstellt. Um einer Verunsicherung in der Bewegungsausführung entgegenzuwirken, wurden zu jeder Bewegungsübung eine entsprechende Anleitung

## 6 Zusammenfassung

und Videoanimation beigefügt. Dadurch soll eine korrekte Ausführung unterstützt werden. Grundsätzlich wurde ein hoher Bedarf an Assistenz durch die Anwendung gesehen, die auch gleichzeitig zur Lernförderlichkeit beitragen soll. Aus diesem Grund werden Nutzer weiterhin in der fachgemäßen Anwendung des Thalmic Myo-Armbands unterstützt.

Die Ergebnisse der Probandentests hinsichtlich der Übungsdurchführungen ergaben, dass sich das Konzept der zeitlichen Vorgabe in den Bewegungsübungen als hinderlich erweist. Durch die Zeit gerieten Probanden unter Druck, das sich nachteilig auf die Bewegungsausführung auswirkte. Die Zeitvorgabe zunächst als Motivationsfaktor betrachtet, wurde hingegen als Auslöser von Frustration erlebt.

In der Literatur wurden Herausforderungen in der Umsetzung von muCIs angedeutet, insbesondere hinsichtlich der Generierung und Aufbereitung von EMG-Daten, die für die Klassifizierung genutzt werden und idealerweise eine hohe Generalisierbarkeit des Klassifikators garantieren sollen [1, 25, 28]. Die Schwierigkeit ließ sich dabei einerseits auf die Strukturen der Muskeln zurückführen, welche von Person zu Person unterschiedlich ausgeprägt sind und grundsätzlich variieren. Des Weiteren wurde eine Problematik hinsichtlich der Unterschiede in der Bewegungsausführung derselben Handgeste gesehen. Dieser Schwierigkeit wurde auch in den Probandentests beobachtet. Insgesamt wurde bei drei Handgesten eine durchschnittliche Erkennungsrate von 65% gemessen, während die Genauigkeit der beiden anderen Gesten bei ca. 10% lag.

Ein weiteres Ziel des Konzepts bestand in der Aufbereitung von Übungsstatistiken, über die auf die Möglichkeit einer Verlaufskontrolle der Adhärenz hingearbeitet werden soll. Physiotherapeuten erhalten über entsprechende Statistiken Einsicht in den Übungsverlauf und sehen auf einen Blick, ob der Patient sich auch tatsächlich an die Verordnung hält. Einerseits wurde die Übungsstatistik als eine Kontrollmöglichkeit gesehen, andererseits auch als eine Möglichkeit zur Förderung der Motivation sich stetig verbessern zu wollen, um letztendlich die bestmöglichen Ergebnisse zu erzielen.

In der Beziehung zur Gebrauchstauglichkeit im entsprechenden Kontext der Handtherapie, in der beide Projekte ihren Ursprung finden, sprechen die Ergebnisse des AttrakDiff dafür, dass die MyoPhysio-Anwendung in ihrer aktuellen Gestaltung und Umsetzung insgesamt zufriedenstellender ist, als der LeapPhysio-Prototyp. Das Ergebnis lässt sich einerseits durch die konkrete Abfolge von Handlungen und Bedienschritten erklären. Andererseits lässt auch die höhere Erkennungsrate vermuten, dass sich die MyoPhysio hinsichtlich der Bewegungsübungen besser eignet. Insgesamt wurde die MyoPhysio-Anwendung positiver bewertet. Diese Bewertung lässt sich unter Umständen zugleich

auf den höheren Funktionsumfang der Anwendung zurückführen.

Im Hinblick auf die Interaktion mit beiden Prototypen, zeigte sich in der Auswertung des INTUI, dass sich die MyoPhysio insgesamt intuitiver anfühlt. Eine starke Ausprägung war dabei die hohe Verbalisierungsfähigkeit, die für eine logische Abfolge der Bedienschritte spricht. Des Weiteren spricht der Mittelwert von 5,86 bei dem globalen Intuitivitätsurteil, gegenüber der LeapPhysio-Anwendung, für eine intuitivere Benutzung, die von den Probanden insgesamt wahrgenommen wurde. Das Interaktionsvokabular deutete des Weiteren auf eine direkte und offensichtliche Interaktion hin, während der Leap Motion-Prototyp eher als unpräzise und sehr aufmerksamkeitsbedürftig wahrgenommen wurde. Beim LeapPhysio-Prototypen ließen sich verschiedene Probleme bei der Bewegungsdurchführung beobachten, die sich sicherlich auf das persönliche Erleben und die Wahrnehmung ausgewirkt haben. Ein wesentlicher Faktor war der schwierige Umgang mit der Leap Motion, das dazu führte, dass entsprechende Bewegungen nicht erkannt wurden.

Ob die MyoPhysio oder LeapPhysio jemals Gebrauch findet, hängt noch von einigen Faktoren ab. Einerseits müssen die Anwendungen optimiert werden, aber andererseits stellt sich das größte Hindernis auf eine baldige Einführung: Die Umstellung der Physiotherapie-Praxen auf rechnerunterstützte Therapie-Abläufe. Tendenziell waren die Probanden von beiden Lösungen angeregt.

### 6.3 Ausblick

Die Ergebnisse der Untersuchung sprechen grundsätzlich dafür, dass das Konzept der MyoPhysio-Anwendung durchaus Akzeptanz findet. Zwar wurden in diesem Prototypen praktische Anforderungen aus der Physiotherapie berücksichtigt, jedoch stellten sich im Laufe der Untersuchungen weitere Aspekte heraus, die zur möglichen Ausarbeitung und Verbesserung der Anwendung führen könnten. Grundsätzlich bietet es sich an, das Konzept dieser Arbeit durch neue Anforderungen zu erweitern bzw. Änderungen einzelner Aspekte vorzunehmen, die sich aus der Untersuchung als hinderlich herausstellten.

Primär lag der Fokus dieser Abschlussarbeit auf der Konzeption und Umsetzung der praktischen Anforderungen. Angesichts der Bewegungsübungen wurden deshalb fünf Handgesten verwendet, die durch das Myo-Armband von Werk aus erkannt werden. Um tatsächlich einen vernünftigen Gebrauch dieser Anwendung in der Praxis herbeizuführen, wäre die Implementierung geeigneter Bewegungsübungen aus der praktischen Physiotherapie notwendigerweise ein nächster Schritt. Dazu bedarf es zufolge den Ansätzen von

## 6 Zusammenfassung

Muscle-Computer-Interfaces zunächst eine große Menge an EMG-Daten zu generieren, aufzubereiten und im Gegensatz zu einer Clusteranalyse, in einem weiteren Schritt einen geeigneten Klassifikator zu entwickeln, der die Daten verarbeitet und infolgedessen zwischen den realen Handübungen unterscheiden kann. Generell wäre es wünschenswert, eine Vielzahl an verschiedenen Handübungen mit dem Myo-Armband anwenden zu können. Darüber hinaus wäre es denkbar Übungen zu ermöglichen, bei denen typischerweise Massagebälle oder andere Hilfsmittel aus der Physiotherapie eingesetzt werden können.

Weiterhin könnte über den Zugriff auf die EMG-Daten versucht werden, den Grad der Bewegung bzw. das Bewegungsausmaß anhand der Intensität des EMG-Signals zu bestimmen, das sich im Verlauf der Untersuchungen als ein wichtiges Kriterium in der Behandlung von Handverletzungen herausgestellt hat. Folglich könnte das Bewegungsausmaß in die Übungsanalyse integriert werden, um die Verlaufskontrolle dahingehend zu stärken.

In Anbetracht der Bedürfnisse eines Anwenders, in diesem Fall insbesondere der Zufriedenheit und dem Wohlbefinden eines Patienten, wäre es vorstellbar, eine Möglichkeit zur Messung anzubieten, die dem Anwender gewährt, beispielsweise nach jeder Übungseinheit Angaben zum Gefühlszustand zu vermerken. Denkbar wären insbesondere Angaben zu Schmerzempfinden. Dieses Konzept orientiert sich besonders an Beispielen wie negativen Supportanfragen, Beschwerdebhäufigkeiten oder grundsätzlich Produktbewertungen, wodurch sich die Zufriedenheit eines Nutzers unter anderem messen lässt.

# Literatur

- [1] F. Al Omari, J. Hui, C. Mei, and G. Liu. Pattern recognition of eight hand motions using feature extraction of forearm emg signal. In *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section A: Physical Sciences*, pages 473–480, India, 2014 (Jahrgang 84, Nr. 3). National Academy of Sciences.
- [2] C. Burges. A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 2:121–167, 1998.
- [3] Bill Buxton. *Sketching User Experiences: Getting the Design Right and the Right Design - Getting the Design Right and the Right Design*. Morgan Kaufmann, San Francisco, Calif, 1. Aufl. edition, 2007.
- [4] A. Dementyev and A. J. Paradiso. Wristflex: low-power gesture input with wrist-worn pressure sensors. In *Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST)*, pages 161–166, New York, October 2014. ACM.
- [5] S. Diefenbach and M. Hassenzahl. Handbuch zur fun-ni toolbox. [http://fun-ni.org/wp-content/uploads/Diefenbach+Hassenzahl\\_2010\\_HandbuchFun-niToolbox.pdf](http://fun-ni.org/wp-content/uploads/Diefenbach+Hassenzahl_2010_HandbuchFun-niToolbox.pdf), 2010. Accessed: 17.02.2016.
- [6] S. Diefenbach, M. Hassenzahl, K. Kloeckner, C. Nass, and A. Maier. Ein interaktionsvokabular: Dimensionen zur beschreibung der ästhetik von interaktion. In *H. Brau, S. Diefenbach, K. Göring, M. Peissner, und K. Petrovic (Hrsg.) Usability Professionals 2010*, pages 22–32, Stuttgart, 2010. German Chapter der Usability Professionals’ Association e.V.
- [7] Brian S. Everitt and Torsten Hothorn. *A Handbook of Statistical Analyses Using R, Second Edition* -. CRC Press, Boca Raton, Fla, 0002. Aufl. edition, 2009.
- [8] Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Handtherapie e.V. Deutsche arbeitgemeinschaft für handtherapie e.v. <http://www.dahth.de/>, 2016. Accessed: 02.02.2016.
- [9] Saul Greenberg, Sheelagh Carpendale, Nicolai Marquardt, and Bill Buxton. *Sketching User Experiences - The Workbook*. Elsevier, Amsterdam, 2012.
- [10] M. Hassenzahl. User experience and experience design. [http://interaction-design.org/encyclopedia/user\\_experience\\_and\\_experience\\_design.html](http://interaction-design.org/encyclopedia/user_experience_and_experience_design.html), 2013. In Soegaard, M. & Dam, R. F. (Hrsg.): *The Encyclopedia of*



## Literatur

- Human-Computer Interaction. 2nd Edition. Aarhus (Dänemark): The Interaction Design Foundation. Accessed: 19.02.2016.
- [11] M. Hassenzahl and F. Burmester, M. & Koller. Attrakdiff: Ein fragebogen zur messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer qualität. In *J. Ziegler & G. Szwillus (Hrsg.) , Mensch & Computer 2003: Interaktion in Bewegung*, pages 187–196, Stuttgart, 2003. Leipzig: B.G. Teubner.
- [12] Marc Hassenzahl and John Carroll. *Experience Design - Technology for All the Right Reasons*. Morgan & Claypool Publishers, London, 2010.
- [13] Trevor Hastie, Robert Tibshirani, and Jerome Friedman. *The Elements of Statistical Learning - Data Mining, Inference, and Prediction*. Springer Science & Business Media, Berlin Heidelberg, 2013.
- [14] N. S. K Ho et al. An emg-driven exoskeleton hand robotic training device on chronic stroke subjects. task training system for stroke rehabilitation. In *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, pages 1–5. IEEE, July 2011.
- [15] Jörn Hurtienne. *Image Schemas and Design for Intuitive Use - Exploring New Guidance for User Interface Design*. Doctoral thesis, Technische Universität Berlin, Fakultät V - Verkehrs- und Maschinensysteme, 2009.
- [16] Bluetooth SIG Inc. Bluetooth developer portal - generic attribute profile (gatt). <https://developer.bluetooth.org/TechnologyOverview/Pages/GATT.aspx>, 2016. Accessed: 01.02.2016.
- [17] Google Inc. Android developer. <http://developer.android.com/reference/android/bluetooth/BluetoothGatt.html>, 2016. Accessed: 15.02.2016.
- [18] Leap Motion Inc. Leap motion developer. [https://developer.leapmotion.com/documentation/cpp/devguide/Leap\\_Overview.html](https://developer.leapmotion.com/documentation/cpp/devguide/Leap_Overview.html), 2016. Accessed: 11.02.2016.
- [19] Thalmic Labs Inc. Myo developer. <https://developer.thalmic.com/>, 2013 - 2016. Accessed: 15.02.2016.
- [20] Thalmic Labs Inc. Myo developer blog. <http://developerblog.myo.com/>, 2016. Accessed: 28.01.2016.
- [21] M. A. Wong J. A. Hartigan. Algorithm as 136: A k-means clustering algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 28(1):100–108, 1979.

## Literatur

- [22] J. Kim, S. Mastnik, and E. Andre. Emg-based hand gesture recognition for real-time biosignal interfacing. In *Proceedings of the 13th international conference on Intelligent user interfaces*, pages 30–39, New York, January 2008. ACM.
- [23] Lynn Allen Kisner and Colby Carolyn. *Grundlagen der Physiotherapie - vom Griff zur Behandlung ; 65 Tabellen*. Thieme, Stuttgart, 3. überarbeitete und erweiterte auflage edition, 2010.
- [24] Clayton Lewis and Cathleen Wharton. Chapter 30 - cognitive walkthroughs. In P. Prabhu, M. Helander, T.K. Landauer, and V. Prasad, editors, *Handbook of Human-Computer Interaction (Second Edition)*, pages 717 – 732. North-Holland, Amsterdam, second edition edition, 1997.
- [25] Z. Lu, X. Chen, Q. Li, X. Zhang, and P. Zhou. A hand gesture recognition framework and wearable gesture-based interaction prototype for mobile devices. In *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, volume 44, Issue 2, pages 293–299. IEEE, 2014.
- [26] C. Mohs, J. Hurtienne, J. H. Israel, A. Naumann, M. C. Kindsmüller, and A. Meyer, H. A. & Pohlmeier. Iuui - intuitive use of user interfaces. In *T. Bosenick, M. Hassenzahl, M. Müller-Prove, M. Peissner (Hrsg.), Usability Professionals 06*, pages 130–133. German Chapter der Usability Professionals’ Association, Stuttgart, 2006.
- [27] Ganesh R. Naik, Dinesh Kant Kumar, Vijay Pal Singh, and Marimuthu Palaniswami. Hand gestures for hci using ica of emg. In *VisHCI '06 Proceedings of the HCSNet workshop on Use of vision in human-computer interaction*, volume 56, 2006.
- [28] A. Phinyomark, F. Quaine, and Y Laurillau. The relationship between anthropometric variables and features of electromyography signal for human-computer interface. dr. ganesh naik. applications, challenges, and advancements in electromyography signal processing. *IGI Global*, 2014.
- [29] S. Pölzer and K. Miesenberger. Presenting non-verbal communication to blind users in brainstorming sessions. In *Computers Helping People with Special Needs*, pages 220–225, Schweiz, 2014. Springer International Publishing.
- [30] Hilde Sabine Reichel and Regina Nolte. *Physiotherapie - Theorie und Befundung*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 3. auflage edition, 2007.
- [31] Jeffrey Rubin, Dana Chisnell, and Jared Spool. *Handbook of Usability Testing - How to Plan, Design, and Conduct Effective Tests*. Wiley, New York, 2. auflage edition, 2008.

## Literatur

- [32] T. Scott Saponas, Desney S. Tan, Dan Morris, and Ravin Balakrishnan. Demonstrating the feasibility of using forearm electromyography for muscle-computer interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computer Systems*, New York, April 2008. ACM.
- [33] K. M. Sheldon, A. J. Elliot, and T. Kim, Y. & Kasser. What is satisfying about satisfying events? testing 10 candidate psychological needs. In *Journal of Personality and Social Psychology*, volume 80 No. 2. American Psychological Association, 2001.
- [34] D. Ullrich and S. Diefenbach. Intui. exploring the facets of intuitive interaction. In *J. Ziegler & A. Schmidt (Hrsg.), Mensch & Computer 2010*, pages 251 – 260, München, 2010. Oldenbourg.
- [35] Pierre Wellner, Wendy Mackay, and Rich Gold. Computer-augmented environments: Back to the real world. *Communications of the ACM* 36(7), July 1993.
- [36] Kevin R. Wheeler and Charles C. Jorgensen. Gestures as input: Neuroelectric joysticks and keyboards. *Journal IEEE Pervasive Computing*, 2 Issue 2, April 2003.
- [37] Daniel Wigdor and Dennis Wixon. *Brave NUI World - Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture*. Elsevier, Amsterdam, 1. Aufl. edition, 2011.
- [38] X. Zhang et al. Hand gesture recognition and virtual game control based on 3d accelerometer and emg sensors. In *Proceedings of the 14th international conference on Intelligent user interfaces*, pages 401–406, New York, February 2009. ACM.

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Darstellung des Design Funnels nach Buxton und Kollegen. . . . .	4
2.1	Bildschirmaufnahme der LeapPhysio-Anwendung. Abgebildet ist der Übungsmodus, in dem der Controller zum Einsatz kommt. . . . .	8
2.2	Drei-dimensionalen Raum für die Interaktion. . . . .	9
2.3	Links das erste Konzept von einem Armband, das mit EMG-Sensoren ausgestattet ist und am Unterarm getragen werden sollte. Rechts das Thalmic Myo-Armband . . . . .	10
2.4	Die drei wesentlichen Module anhand derer sich Muscle-Computer-Interfaces definieren lassen. . . . .	11
2.5	Zwei mögliche Hyperebenen A und B mit verschiedenen Margins. . . . .	13
2.6	Die Zuverlässigkeit des Klassifikators dargestellt für alle Fingerbewegungen. . . . .	14
2.7	Das Klassifikationsproblem nach [13]. Links ein Beispiel für 1-NN und rechts ein 15-NN-Fall. . . . .	15
2.8	Zwölf kreisförmige Handgesten zur Beeinflussung einzelner Seiten des Würfels und sechs weitere um den ganzen Würfel zu drehen. . . . .	16
2.9	Das WristFlex verwendet statt EMG FSR-Sensoren. . . . .	17
2.10	Das Außenskelet ermöglicht es trotz Dysfunktion Gegenstände zu greifen. . . . .	18
2.11	Die Sicht auf Usability und User Experience. . . . .	20
2.12	Das Drei-Ebenenmodell nach Hassenzahl. . . . .	21
2.13	Die Ebenen des Vorwissens nach Hurstienne. . . . .	23
3.1	Komponenten des Myo-Armbands. . . . .	25
3.2	Behandlungsräume einer Physiotherapie Praxis in Viernheim. . . . .	27
4.1	Fünf Gesten des Myo SDK. . . . .	33
4.2	Reihenfolge der Sensoren und Ursprung der EMG-Daten. . . . .	34
4.3	Aufbereitung der EMG-Sensorwerte. . . . .	39
4.4	Plot mit der Kostenfunktion abwechselnd nach der Zuordnung der Punkte und erneuten Berechnung der Mittelwerte: in R visualisiert. . . . .	40
4.5	Plot mit $k = 4$ Cluster visualisiert mit R. . . . .	41
4.6	Konzeptidee im Überblick dargestellt. . . . .	42
4.7	Ein Android-Smartphone und die Thalmic Myo stellen die wesentlichen Elemente des Prototyps dar. . . . .	43
4.8	Die verschiedenen Ansichten der Anwendung auf Papier prototypisiert. . . . .	44

## Abbildungsverzeichnis

4.9	Zwei Gestaltungsideen für die Startseite wurden erarbeitet und evaluiert. Umgesetzt wurde Variante 1B. . . . .	45
4.10	Konstrukt eines Übungsplans, das aus verschiedenen Übungseinheiten besteht, welche wiederum aus verschiedenen Bewegungsübungen zusammengesetzt sind. . . . .	46
4.11	Mockup für die Darstellung des aktuellen Übungsplans. . . . .	47
4.12	Nach Auswahl einer Übungseinheit werden die dazugehörigen Bewegungsübungen aufgelistet. Für die Übungsdurchführung soll entsprechend aus der Auflistung eine Übung ausgewählt werden. Zu jeder Übung gibt es eine Hilfestellung mit entsprechender Videosequenz und Anleitung. . . .	48
4.13	Papierprototyp für die Darstellung der Übungsstatistiken. . . . .	49
4.14	Das Datenmodell der Anwendung. . . . .	50
4.15	Bevor ein Übungsplan erstellt werden kann, wird überprüft, ob bereits ein unabgeschlossener Plan existiert. . . . .	51
4.16	Die Anzahl der Übungseinheiten ist durch einen Numberpicker zu bestimmen. Die Übungseinheiten werden anschließend aufgelistet. . . . .	52
4.17	Die Einstellungsmöglichkeiten einer Übungseinheit. . . . .	53
4.18	Bevor und nachdem ein Übungsplan erstellt wurde. . . . .	53
4.19	Bedienung der mobilen Anwendung für das Erstellen eines Übungsplans dargestellt anhand der Screendesigns. . . . .	54
4.20	Nach drei Einrichtungsschritten ist der Patient startbereit und kann mit der Übungsdurchführung beginnen. . . . .	55
4.21	Die Übersicht der Bewegungsübungen innerhalb einer Übungseinheit. . . .	57
4.22	Screendesigns für die Durchführung der Bewegungsübung am Beispiel der 'Wave In' Handbewegung. . . . .	58
4.23	Jeder abgeschlossene Übungsplan wird zwecks Dokumentation der angeordneten Behandlungsmaßnahmen im Planarchiv abgelegt. . . . .	59
4.24	Die lokale Übungsanalyse zur Kontrolle der Adhärenz bezogen auf den aktuellen Übungsplan und eine globale Auswertung einzelner Bewegungsübungen hinsichtlich des gesundheitlichen Fortschritts. . . . .	60
5.1	Startansicht der LeapPhysio-Anwendung. . . . .	66
5.2	Übungsansicht der LeapPhysio-Anwendung. . . . .	67
5.3	AttrakDiff: Diagramm der Mittelwerte beider Prototypen. . . . .	71
5.4	Gegenüberstellung LeapPhysio und MyoPhysio anhand der Auswertung des INTUI. . . . .	74

*Abbildungsverzeichnis*

5.5	Interaktionsvokabular: Profil der Wortpaare zur Beschreibung der Interaktion. . . . .	75
6.1	Bildschirmaufnahme von der Myo Connect Anwendung. . . . .	ix

# Tabellenverzeichnis

3.1	Funktionale Anforderungen der Anwendung. . . . .	30
3.2	Funktionale Anforderungen der Anwendung. . . . .	31
5.1	Auswertung des AttrakDiff für die MyoPhysio-Anwendung. . . . .	69
5.2	Auswertung des AttrakDiff für die LeapPhysio-Anwendung. Unter P3 lässt sich eine große Abweichung feststellen. . . . .	70
5.3	Neuberechnung der Mittelwerte des AttrakDiff für die LeapPhysio-Anwendung. Dabei wird P3 hier nicht berücksichtigt. . . . .	70
5.4	Auswertung des INTUI für die Thalmic Myo-Anwendung. . . . .	72
5.5	Auswertung des INTUI für die Leap Motion-Anwendung. . . . .	73
5.6	Auswertung des INTUI für die Leap Motion-Anwendung ohne Ausreißer. . . . .	73

# Anhang

## Bildschirmaufnahme



Abbildung 6.1: Bildschirmaufnahme von der Myo Connect Anwendung.



## **Datenträger**

Das Ergebnis dieser Abschlussarbeit wird in digitaler Form auf einer CD-ROM angehängt.

Der Datenträger beinhaltet folgende Inhalte:

- Abschlussarbeit im PDF-Format
- Quellcode des Prototyps zur MyoPhysio.

