

# Analyse, Konzeption und prototypische Entwicklung eines mobilen Serious Game zur Unterstützung des Rehabilitationsprozesses bei Handgelenksverletzungen

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

**Diplom-Ingenieur**

im Rahmen des Studiums

**Medizinische Informatik**

eingereicht von

**Franz Florian Reisecker**

Matrikelnummer 0626925

an der  
Fakultät für Informatik der Technischen Universität Wien

Betreuer: Ao.Univ.-Prof. Mag.rer.nat. Dipl.-Ing. Dr.techn. Rudolf Freund

Wien, 13.05.2014

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift Verfasser)

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift Betreuer)

# Erklärung zur Verfassung der Arbeit

Franz Florian Reisecker  
Kranzgasse 24/15, 1150 Wien

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst habe, dass ich die verwendeten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben habe und dass ich die Stellen der Arbeit - einschließlich Tabellen, Karten und Abbildungen -, die anderen Werken oder dem Internet im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, auf jeden Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe.

-----  
(Ort, Datum)

-----  
(Unterschrift Verfasser)

# Danksagung

An erster Stelle danke ich Herrn Prof. Rudolf Freund für die Betreuung meiner Diplomarbeit.

Großer Dank gebührt meiner Familie für ihre geduldige Unterstützung während des Studiums.

Ich danke allen Therapeutinnen und Therapeuten, die unentgeltlich ihre Zeit für die Mitwirkung bei dieser Diplomarbeit aufgewendet haben.

Besonderer Dank gebührt Yara Peterko, welche immer für therapeutische Rückfragen erreichbar war.

Esther Trifich für das Korrekturlesen dieser Arbeit.

Christoph Haslinger, dessen Therapie den Anlass für die Entwicklung dieser Applikation geliefert hat.

Dr. Gerhard Vavrovsky und Daniela Kern für ihr Feedback zur Diplomarbeit und die Erlaubnis zum Abdruck eines Handouts zum Heimübungsprogramm.

# Kurzfassung

Handgelenksverletzungen stellen ein großes Gesundheitsproblem dar, von dem viele Menschen betroffen sind. Nachdem die ärztliche Diagnose erfolgt ist, werden die Patienten zu Ergo- und Physiotherapeuten überwiesen, welche mit den Patienten einen individuellen Plan für die Rehabilitation erstellen. Die Therapie findet nicht nur ambulant oder stationär im Beisein der Therapeuten statt, sondern wird durch eine Reihe von Heimübungen, welche der Patient zu Hause selbstständig durchführen muss, unterstützt. Obwohl diese Übungen von zentraler Bedeutung für einen positiven Verlauf der Genesung sind, werden sie von vielen Patienten nicht korrekt bzw. regelmäßig ausgeführt.

Die Region des Handgelenks und die Möglichkeit, überall üben zu können, machen Smartphones zu einer interessanten Plattform für die Unterstützung der Therapie. Um relevante Anforderungen für eine mobile Applikation zu identifizieren, wurden zwei Ergotherapeuten und acht Physiotherapeuten befragt und in enger Zusammenarbeit mit diesen Experten im Zuge eines User Centered Design Prozesses der Prototyp eines Serious Game entwickelt. Zum einen zeigt der Prototyp die Möglichkeit einer konkreten Umsetzung der in der Handtherapie gebräuchlichen Bewegungsabläufe in einem Spiel auf. Zum anderen werden weitere Anforderungen des Systems aus Sicht der Therapeuten dokumentiert.

Die in dieser Arbeit gewonnenen Ergebnisse liefern eine gute Basis für zukünftige Entwicklungen auf dem Gebiet der mobilen Serious Games zur Handrehabilitation, insbesondere für die notwendige Evaluierung mit Ärzten und Patienten zur Entwicklung einer marktreifen Applikation.

**Keywords:** *Serious Game, Handgelenksrehabilitation, mobil, Prototyp, Android, User Centered Design*

# Abstract

Wrist injuries are a common health issue affecting many people. After a medical diagnosis the patients are referred to occupational and physical therapists that tailor a rehabilitation plan. Besides the immediate therapy session with the therapists, there are a bunch of home exercises that need to be performed autonomously by the patients. Although these home exercises are crucial for the success of the treatment, many patients fail to execute them regularly and correctly.

The wrist region grants the opportunity to practice pervasively which makes smartphones an interesting option to support the therapy. To find the needed requirements for a prototype of a serious game a user centered design process containing two occupational therapists and eight physical therapists was used.

This prototype shows the ability to directly transform common wrist rehabilitation exercises to movement patterns covered by the serious game. Additionally further requirements were obtained from the therapists and serve as a solid foundation for further research in the topic of wrist rehabilitation, especially for future work covering the evaluation with patients and doctors on the road towards a market-ready application.

**Keywords:** *serious game, wrist rehabilitation, pervasive, prototype, android, user centered design.*

# Inhalt

<b>1 EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
1.1 PROBLEMSTELLUNG.....	1
1.2 MOTIVATION.....	2
1.3 ZIELSETZUNG.....	2
1.4 AUFBAU DER ARBEIT.....	4
<b>2 THERAPEUTISCHE GRUNDLAGEN.....</b>	<b>6</b>
2.1 PRÄVALENZ.....	6
2.2 THERAPIE.....	7
2.2.1 Heimübungen in der Handtherapie.....	9
2.2.2 Compliance.....	11
<b>3 AKTUELLER STAND DER TECHNIK.....</b>	<b>13</b>
3.1 SERIOUS GAMES.....	13
3.1.1 Serious Games in der Rehabilitation.....	16
3.2 GAMIFICATION.....	19
3.2.1 Einführung.....	19
3.2.2 Mobile Computerspiele.....	21
3.3 LITERATURANALYSE.....	22
3.3.1 Calibration games.....	22
3.3.2 DroidGlove.....	24
3.3.3 Designing to support prescribed home exercises.....	26
3.3.4 Übersicht.....	29
<b>4 ANFORDERUNGSANALYSE UND USABILITY.....</b>	<b>31</b>
4.1 EINFÜHRUNG.....	31
4.2 DOKUMENTATION.....	32
4.2.1 Anwendungsfall.....	32
4.2.2 Unified Modeling Language (UML).....	33
4.3 USABILITY ENGINEERING.....	33
4.3.1 User Centered Design.....	35
4.3.2 User Centered Design in Spielen.....	36
4.4 METHODEN ZUR ANFORDERUNGSANALYSE.....	37
4.4.1 Brainstorming.....	38
4.4.2 Rapid Prototyping.....	38
4.4.3 Interviews.....	38
<b>5 UMSETZUNG.....</b>	<b>40</b>
5.1 SCOPE.....	40
5.2 STAKEHOLDER.....	41
5.3 ASPEKTE DER USABILITY.....	42
5.4 BESCHREIBUNG DES UCD-PROZESSES.....	42
5.5 INTERVIEWS.....	43
5.6 RAPID PROTOTYPING.....	44
<b>6 ERGEBNISSE.....</b>	<b>46</b>
6.1 ERGEBNISSE DER LITERATURRECHERCH.....	46

6.2 BRAINSTORMING.....	48
6.3 ARCHITEKTUR.....	50
6.3.1 <i>Android</i> .....	50
6.3.2 <i>AndEngine</i> .....	52
6.4 ERSTE ITERATION.....	53
6.4.1 <i>Haltung</i> .....	54
6.4.2 <i>Bewegungen</i> .....	55
6.4.3 <i>Sensorgenauigkeit</i> .....	56
6.5 ZWEITE ITERATION.....	57
6.5.1 <i>Bewegungen der Übungen / Levels</i> .....	57
6.5.2 <i>Schmerzskala</i> .....	61
6.5.3 <i>Terminplanung</i> .....	62
6.5.4 <i>Information</i> .....	63
6.5.5 <i>Übungsablauf</i> .....	63
6.6 DRITTE ITERATION.....	64
6.6.1 <i>Adaptierung der Spielmechanik und Analysefunktion</i> .....	64
6.6.2 <i>Highscore</i> .....	67
6.6.3 <i>Menüstruktur und Einstellungen</i> .....	67
6.7 NICHT UMGESETZTE ANFORDERUNGEN.....	69
6.7.1 <i>Übungen der Finger</i> .....	69
6.7.2 <i>Schnittstellen zu externen Informationssystemen</i> .....	70
6.7.3 <i>Konzepte der Belohnung und des Wettkampfes</i> .....	71
6.7.4 <i>Tagebuch und Checkliste</i> .....	71
6.8 ÜBERBLICK DER ANFORDERUNGEN.....	72
6.8.1 <i>Funktionale Anforderungen</i> .....	72
6.8.2 <i>Nichtfunktionale Anforderungen</i> .....	73
6.8.3 <i>Domänenanforderungen</i> .....	74
6.8.4 <i>Anwendungsfälle</i> .....	74
<b>7 DISKUSSION.....</b>	<b>76</b>
7.1 <i>SPIELERISCHE UMSETZUNG DER HEIMÜBUNGEN</i> .....	76
7.2 <i>EINORDNUNG IN STATE OF THE ART</i> .....	78
7.3 <i>ANMERKUNGEN ZUR STICHPROBE</i> .....	80
<b>8 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....</b>	<b>81</b>
8.1 <i>ZUSAMMENFASSUNG</i> .....	81
8.2 <i>AUSBLICK</i> .....	83
<b>ANHANG.....</b>	<b>85</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>I</b>

## Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Methodik.....	3
Abbildung 2: Messblatt zur Dokumentation des Bewegungsausmaßes [2].....	8
Abbildung 3: Beschreibung einer einzelnen Heimübung auf einem Handout [93].....	9
Abbildung 4: Messung der Flexion und Extensions des Handgelenks (links bzw. rechts) mittels eines Goniometers [20].....	10
Abbildung 5: Modell der stetigen Compliance [1]. Zeigt das Zusammenspiel mehrerer Faktoren in Bezug auf deren Auswirkung auf Compliance bei der Therapie von Arthrose.....	12
Abbildung 6: Das Verhältnis von Serious Games zu anderen Konzepten [29].....	14
Abbildung 7: Gamification between game and play, whole and parts [46].....	20
Abbildung 8: Das "BabyLaunch Game" erlaubt es dem Spieler, mittels tiefem Einatmen ein lachendes Baby in einen Haufen bunter Bälle zu schießen. Das Baby lag vorher in einem Korb, der als Katapult dient [53].....	23
Abbildung 9: Hauptmenü von DroidGlove [47].....	24
Abbildung 10: Experimentelle Sitzung mit DroidGlove implementiert auf einem HTC G1 Smartphone: Debug Information über Beschleunigung und Orientierung wird in Echtzeit am Bildschirm dargestellt. ....	25
Abbildung 11: bioPLUX Gerät zur Erkennung von Biosignalen.....	26
Abbildung 12: Auszug aus dem Storyboard: Motivation durch Unterhaltung (oben) und Motivation durch Resultate (unten) [9].....	28
Abbildung 13: Zwei Lernkurven für ein hypothetisches System. Die blaue Kurve fokussiert sich auf Einsteiger und bringt zu Beginn rasch Lernfortschritte. Die orange Kurve ist für Experten optimiert und erreicht nach längerer Einarbeitungszeit eine höhere Effizienz [64].....	34
Abbildung 14: User Centered Design Prozess [67].....	42
Abbildung 15: Zusammenhänge zwischen Motivation, Compliance und dem Therapieerfolg.....	46
Abbildung 16: Ergebnisse der Literaturrecherche.....	48
Abbildung 17: Das von der API verwendete Koordinatensystem relativ zum Gerät [96].....	51
Abbildung 18: Android Activity Lebenszyklus [94].....	52
Abbildung 19: Scene eines Levels.....	53
Abbildung 20: Haltung A: Gerät liegt in der Handfläche, Handrücken zeigt nach oben, Unterarm bleibt stabil und parallel zum Boden. Haltung B: Unterarm bleibt stabil, Gerät wird in der Hand gehalten, das Display zeigt lateral, Bewegung der Hand ausschließlich in Radial- und Ulnardeviation.....	54
Abbildung 21: Screenshot eines frühen Prototypen, um die Genauigkeit der Sensoren der Testplattform zu evaluieren.....	57
Abbildung 22: Mock-up des Labyrinth-Levels, wie er mit den Therapeuten diskutiert wurde.....	59
Abbildung 23: Prototyp des ersten Levels. Der als Smilie dargestellte „Radiergummi“ wird vom Spieler mittels leichter Bewegungen des Handgelenks über das Spielfeld balanciert. Ziel ist das „Wegradiieren“ der gelben Fläche.....	60
Abbildung 24: Pac-Man Level zur Mobilisierung in Pronation/Supination und Extension/Flexion.....	60
Abbildung 25: Visuelle Analogskala (VAS). a Vorderseite der Skala, b Rückseite der Skala [2].....	61
Abbildung 26: Eigens implementierte Visuelle Analogskala.....	62
Abbildung 27: Informationsbildschirm zu einer Übung bzw. eines Levels.....	63
Abbildung 28: Aktivitätsdiagramm zu den Übungen.....	64
Abbildung 29: "Sternlevel": Wird der leuchtende Stern gesammelt, so erhöht sich die Punktezahl und der nächste wird hervorgehoben und darf gesammelt werden.....	65
Abbildung 30: Analyse der Bewegungen einer Übung, versehen mit Datum und eingetragener Schmerzintensität.....	66
Abbildung 31: Die Highscoreliste zeigt Level-Nummer, Punkteanzahl und Datum.....	67
Abbildung 32: Einstellungen: Stammdaten des Patienten, Freischalten von Levels und Variation der Schwierigkeitsgrade pro Level.....	68
Abbildung 33: Hauptmenü des Prototypen, welches seine Funktionalität auf einen Blick offenbart.....	69
Abbildung 34: Leveleditor in WebRes [95].....	71
Abbildung 35: Anwendungsfalldiagramm der Applikation mit den Akteuren Patient und Therapeut.....	75
Abbildung 36: Android Systemarchitektur [97].....	86

## Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Handgelenk: Ulnar-/Radialdeviation [2].....	10
Tabelle 2: Unterschied zwischen Serious Games und Unterhaltungsspielen [8].....	14
Tabelle 3: Klassifikation und Vergleich von Serious Games im Bereich der Rehabilitation [26].....	18
Tabelle 4: Level of Game Design Elements [46].....	21
Tabelle 5: Übersicht relevanter State of the Art.....	30
Tabelle 6: Minimale Anforderungen für die Benutzung der Methoden; Einschränkungen zeigen die minimale Anzahl der benötigten Personen an [70].....	37
Tabelle 7: Informationen zu den Experten.....	41
Tabelle 8: Identifizierte Anforderungen an das Serious Game zur Rehabilitation von Handgelenksverletzungen.....	73
Tabelle 9: Klassifizierung der eigenen Serious Games nach den Kriterien von Rego et al.[26].....	79
Tabelle 10: Tabellarische Übersicht der Merkmale von WristDroid.....	80

## Verzeichnis des Anhangs

A: Mindmap.....	85
B: Mockups.....	85
C: Android Systemarchitektur.....	86
D: Beispiel des Quellcodes.....	87

## Abkürzungsverzeichnis

<b>ADL</b>	activities of daily life (deutsch: Aktivitäten des täglichen Lebens)
<b>HUD</b>	Head-up-Display (wörtlich: Kopf-oben-Anzeige)
<b>ROM</b>	range of movement (deutsch: Bewegungsausmaß)
<b>MRT</b>	Magnetresonanztomographie
<b>EMG</b>	Elektromyographie
<b>UML</b>	Unified Modeling Language (deutsch: Vereinheitlichte Modellierungssprache)
<b>DIN</b>	Deutsches Institut für Normung
<b>EN</b>	Europäische Norm
<b>ISO</b>	Internationale Organisation für Normung
<b>ACRE</b>	Acquisition of Requirements
<b>UCD</b>	User Centered Design (deutsch: Nutzerorientierte Gestaltung)
<b>GUI</b>	graphical user interface (deutsch: Benutzeroberfläche)
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>VAS</b>	Visuelle Analogskala
<b>App</b>	application software (deutsch: Anwendungssoftware)

# 1 Einleitung

Dieses Kapitel beginnt mit einer Einführung in die Problemstellung der Therapie von Handgelenksverletzungen und beschreibt anschließend die Motivation, welche zur Verfassung dieser Diplomarbeit geführt hat. Daraufhin wird die Zielsetzung beschrieben und mit welcher Methodik sie erreicht werden sollte. Es schließt mit einem Überblick über den weiteren Aufbau der Arbeit.

## 1.1 Problemstellung

Verletzungen des Handgelenks können für Betroffene eine schwerwiegende Einschränkung darstellen [1]. Nach einem Trauma bzw. einer Operation erfolgt eine stationäre oder ambulante Therapie, welche nur dann effektiv ist, wenn der Patient begleitend dazu regelmäßig die vom Therapeuten verordneten Heimübungen ausführt.

Motivation ist für Patienten wichtig, um die Übungen regelmäßig auszuführen und eine Therapie nicht vorzeitig abzubrechen. Diese „Therapietreue“ (*Compliance*) kann vom Therapeuten nur teilweise beeinflusst werden [1].

Sowohl die Übungsdurchführung an sich als auch vorgenommene Übungseinheiten im Verlauf des Tages können vom Patienten vergessen werden. Der Verlauf wird oft nicht dokumentiert, und so haben weder der Patient noch der Therapeut einen Überblick über den tatsächlichen Fortschritt. Abgesehen von Handouts, auf denen die Übungen beschrieben sind, steht dem Patienten bei der Durchführung der Heimübungen keine Unterstützung zur Verfügung.

## 1.2 Motivation

Die Therapie von Handgelenksverletzungen erfolgt meist mittels Übungen, welche Aktivitäten des täglichen Lebens nachahmen und für den Patienten Sinn stiften sollen [2]. Diese Bewegungen bzw. Metaphern durch spielerische Elemente nachzuahmen ist Ziel dieser Diplomarbeit.

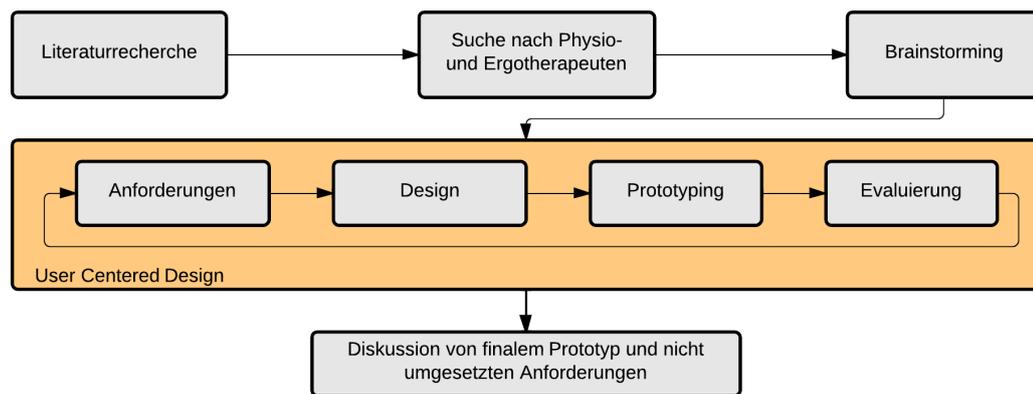
Marktreife Therapieanwendungen sind vor allem für stationäre und speziell entwickelte Hardware erhältlich [3]. Die zunehmende Marktdurchdringung von Bewegungssensoren für Spielekonsolen (Ninendo Wii, Microsoft Kinect, Sony Playstation Move) hat zu zahlreichen kommerziellen Anwendungen im Fitnessbereich und einigen wissenschaftlichen Arbeiten innerhalb der Rehabilitation geführt [4]–[8]. Aktuelle Arbeiten im Forschungsbereich der Rehabilitation für mobile Geräte setzen entweder Biosensoren voraus [9] oder verwenden keine spielerische Umsetzung [10]. Dabei zeigt sich, dass vor allem Motivation großen Einfluss auf die Compliance der Therapie hat [1], [9].

Ein weiterer Grund für die prototypische Entwicklung eines mobilen Serious Game ist die rasant gewachsene Marktdurchdringung von Smartphones; so besaßen im Oktober 2013 bereits 37,4 Millionen Deutsche ein Gerät dieser Kategorie [11]. Dadurch würde der Kauf eines zusätzlichen Geräts entfallen und die Übungen könnten immer und überall ausgeführt werden, was sich positiv auf die Motivation auswirken könnte. Die meisten mit Android ausgelieferten Smartphones und Tablets bringen die für die Übungsdurchführung benötigten Sensoren mit; das Software Development Kit ist frei erhältlich.

## 1.3 Zielsetzung

Ziel ist es, zum einen Anforderungen der Therapeuten an die Applikation festzuhalten und zum anderen diese mittels eines Prototypen exemplarisch umzusetzen und somit Erkenntnisse über deren Realisierbarkeit zu gewinnen. Die Möglichkeit, die in der Therapie gebräuchlichen Bewegungsabläufe in ein Serious Game umzusetzen, soll durch das Feedback der Therapeuten verifiziert werden. Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt demnach auf einer Anforderungsanalyse und auf einer kreativen Ideenfindung, wie die limitierte Leistungsfähigkeit der verwendeten mobilen Technologie für eine spielerische Umsetzung der Übungen optimal eingesetzt werden kann.

Feedback von Experten sowie eventuell gefundene Probleme bei der Realisierung des Prototypen sollen Aufschluss über die Frage geben, ob sich das bisher in der Praxis verwendete Übungskonzept effektiv durch ein Spiel am Smartphone umsetzen und unterstützen lässt. Zudem werden unabhängig vom Prototypen weitere Anforderungen generiert, welche, abseits der unmittelbaren Übungsdurchführung, aus Sicht der Experten die Therapie verbessern können.



**Abbildung 1: Methodik**

Die Methodik dieser Arbeit wird in *Abbildung 1* dargestellt; sie gliedert sich in mehrere Arbeitsschritte:

- Am Anfang steht eine umfangreiche *Literaturrecherche*, welche sowohl Wissen über das Forschungsgebiet und die zur Problemlösung dieser Diplomarbeit benötigten Grundlagen vermittelt, als auch eine genauere Analyse des therapeutischen Kontextes beinhaltet.
- Um die in der Literatur beschriebenen Konzepte besser zu verstehen und die konkreten Anforderungen der Therapeuten für die gewählte Problemstellung zu identifizieren, ist das Mitwirken von Experten notwendig. Dazu konnten für diese Arbeit zwei Ergo- und acht Physiotherapeuten gewonnen werden, welche allesamt ihre Ausbildung abgeschlossen haben und ihre berufliche Erfahrung mit einbringen konnten.
- Durch ein initiales *Brainstorming* mit einigen Therapeuten wird ein grobes Konzept erarbeitet. Dieser Schritt ist notwendig, um eine Brücke von der in der Literatur beschriebenen Theorie zum in der Praxis durchgeführten Ist-Zustand der Rehabilitation zu schlagen.
- Das aus dem Brainstorming gewonnene Konzept wird in einem *User Centered Design* Prozess mit enger Einbindung der Physio- und Ergotherapeuten verfeinert. Die

Experten fungieren als Interviewpartner, mit deren Hilfe die Anforderungen erstellt werden, welche mittels eines Prototypen schrittweise verfeinert und evaluiert werden. Dieser Zyklus wird so lange wiederholt, bis keine neuen Anforderungen mehr gefunden werden und die exemplarisch im Prototyp umgesetzten Funktionen lauffähig sind.

- Erzeugte Artefakte dieser Arbeit sind sowohl der finale *Prototyp* als auch die gefundenen Anforderungen, welche am Schluss dieser Arbeit kritisch diskutiert werden. Dabei werden die Resultate im Kontext des aktuellen Stands der Wissenschaft eingeordnet und es wird ein Ausblick über weiterführende Arbeiten zu diesem Thema gegeben.

## 1.4 Aufbau der Arbeit

*Kapitel 2* erläutert die Grundlagen der Therapie und verschafft somit einen Überblick über den gesundheitlichen und therapeutischen Kontext dieser Diplomarbeit. Dabei wird das Krankheitsbild von Handgelenksverletzungen erläutert, dessen Diagnose und Therapie durchleuchtet und abschließend dargelegt, welche Faktoren sich auf den Therapieerfolg auswirken.

Ein umfassender Überblick über den wissenschaftlichen Kontext wird in *Kapitel 3* gegeben. Neben der Erklärung von Serious Games, zu deren Genre auch der Prototyp dieser Diplomarbeit zählt, werden Konzepte wie Gamification erläutert und abschließend relevante Literatur analysiert sowie dargelegt, auf welchen Ergebnissen die eigene Arbeit aufbaut.

*Kapitel 4* definiert den Begriff von Anforderungen im Kontext der Softwareentwicklung und stellt Techniken dar, mit denen sie gewonnen und analysiert werden können. Neben der Dokumentation und der Erhebung wird auch dem Aspekt der Usability Rechnung getragen. Nach der Erläuterung der Theorie wird eine Brücke zur Umsetzung geschlagen, indem die Konzepte für die Problemstellung dieser Arbeit implementiert werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit werden in *Kapitel 6* beschrieben. Es beginnt mit den Erläuterungen der Konzepte aus der Literaturrecherche und legt dar, wie diese mittels Brainstorming verfeinert wurden. Anschließend dienen Iterationen des User Centered Design Prozesses als Gliederung, um dem zeitlichen Verlauf der Entwicklung Rechnung zu tragen. Es schließt mit der Übersicht und der Beschreibung der diskutierten Anforderungen.

*Kapitel 7* fasst die Ergebnisse zusammen und bietet eine wissenschaftliche Diskussion. Während die identifizierten Anforderungen dieser Arbeit bereits im vorhergehenden Kapitel im Detail beschrieben wurden, werden diese Ergebnisse nun kritisch diskutiert. Dabei wird insbesondere der Wert der eigenen Arbeit im Vergleich zur vorhandenen State of the Art durchleuchtet.

Das letzte Kapitel fasst die wichtigsten Ideen und Ergebnisse dieser Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick über weiterführende Arbeiten zu dieser Problemstellung.

## 2 Therapeutische Grundlagen

Dieses Kapitel wirft einen Blick auf die medizinischen bzw. therapeutischen Abläufe und Hintergründe der Rehabilitation von Handgelenksverletzungen. Dabei wird zuerst Einblick in Erkrankungen des Bewegungsapparats im Allgemeinen gegeben, woraufhin eine Erläuterung der Diagnose von Handgelenksverletzungen und deren Handtherapie im Speziellen folgt.

Es werden alle für die Unterstützung durch eine Applikation relevanten Hintergründe erläutert und die wichtigsten an der Therapie beteiligten Personen, im Folgenden *Stakeholder* genannt, und deren Rollen vorgestellt. Anschließend werden Heimübungen beschrieben, deren Unterstützung den Kernbereich der zu entwickelnden Technologie darstellt. Am Ende des Kapitels wird *Compliance* definiert, erklärt, wie sie beeinflusst werden kann, und warum dieser Aspekt für diese Arbeit von Relevanz ist.

### 2.1 Prävalenz

Erkrankungen des Bewegungsapparates stellen ein signifikantes weltweites Gesundheitsproblem dar [9]. Oft sind sie durch die Arbeit bedingt; so waren im Jahr 2009 innerhalb Europas um die 40 Millionen Arbeiter und Angestellte davon betroffen, was zu einem geschätzten jährlichen volkswirtschaftlichen Schaden von € 240 Milliarden führte [12]. Krankenstände machen einen Großteil dieser Summe aus. In den USA wurden 2010 1,2 Millionen Diagnosen dieses Krankheitsbildes gestellt, welche im Durchschnitt zu acht Tagen Krankenstand führten und ein Verlust von geschätzten 76 Millionen Arbeitsstunden im Jahr ausmachten [12]. Nicht alle Erkrankungen werden durch die Arbeit hervorgerufen; die Prävalenz steigt insbesondere auch mit dem Alter an, wodurch es zu einem Problem der zunehmend älter werdenden Gesellschaft in der Europäischen Union wird [13].

Die Hände helfen dem Menschen mit seiner Umwelt zu agieren und sind somit mehr als andere Körperteile deren schädlichen Einflüssen ausgesetzt [2]. Sowohl im beruflichen als auch im privaten Umfeld treten gehäuft Verletzungen auf. 2012 stellten Handgelenk-, Hand- und

Fingerverletzungen 22,8% der Freizeit und Berufsunfälle in der Schweiz dar [14]. Es handelt sich also um eine häufig gestellte Diagnose, deren effiziente Behandlung von hoher Relevanz für Patienten, Arbeitgeber und Sozialpartner ist.

Die Diagnose der Erkrankung erfolgt durch einen Arzt, im Speziellen meist durch einen Orthopäden. Die ärztlichen Angaben können einen Aufnahmebefund, Untersuchungsergebnisse (Röntgen, MRT-Befund, ...), einen Operations-Bericht, Risikofaktoren des Patienten (z.B. Hypertonie) und Vorgaben für die physiotherapeutische Behandlung enthalten [15]. Basierend darauf entwickeln Physio- oder Ergotherapeuten mit dem Patienten eine Therapie.

Der Ablauf der Diagnose und der Therapie von Erkrankungen des Bewegungsapparats kann je nach betroffener Körperregion ähnlich ; die in dieser Diplomarbeit gewonnenen Erkenntnisse sind bis zu einem gewissen Grad allgemein für die Therapie gültig. Da sich Übungen des Handgelenks besser auf mobilen Geräten abbilden lassen, fokussiert sich diese Diplomarbeit exemplarisch auf dieses Krankheitsbild.

## **2.2 Therapie**

Nach der gestellten Diagnose erhält der Patient eine Überweisung für eine Therapie bei niedergelassenen oder freiberuflich tätigen Ergo- bzw. Physiotherapeuten. In Österreich ist die Überweisung auch von rechtlicher Relevanz, da es eine gesetzliche Regelung gibt, welche es Therapeuten ohne Verordnung nur erlaubt präventiv tätig zu werden [16].

Physiotherapie stellt eine Sammelbezeichnung für Techniken zur Prävention und Wiederherstellung von Funktionen des Bewegungssystems [17] dar. Ergotherapie ist der Oberbegriff für die arbeits- und beschäftigungstherapeutische Behandlung unterschiedlicher medizinischer Disziplinen [17]. Sie beinhaltet insbesondere auch den kognitiven Status der Patienten [18]; Physiotherapie hingegen legt ihren Fokus auf den Bewegungsapparat.

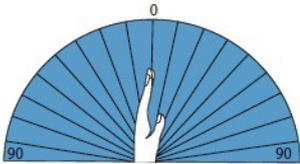
Handtherapie ist die Kombination aus physiotherapeutischer und ergotherapeutischer Theorie und Praxis [2], weswegen diese Diplomarbeit keine strikte Trennung zwischen diesen zwei Schulen vornimmt und stattdessen auch die Bezeichnung Handtherapie verwendet. Die Definition der Handtherapie bezieht den gesamten oberen Quadranten des Körpers, insbesondere Schultergürtel und Halswirbelsäule mit ein. Ist von nun an von Experten oder Therapeuten die Rede, so richtet sich der Autor gleichermaßen an Physio- und ErgotherapeutInnen.

Zu Beginn der Handtherapie erheben die Therapeuten eine umfangreiche Anamnese der Einschränkungen des Handgelenks, wie zum Beispiel das mögliche Bewegungsausmaß (siehe *Abbildung 2*). Basierend darauf werden Therapieziele erstellt und eine Therapie konzipiert.

Name: \_\_\_\_\_  
 Diagnose: \_\_\_\_\_

Datum	

Linkes Handgelenk

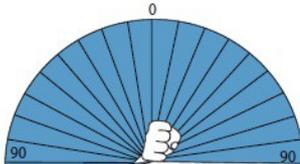


Extension - Flexion

Rechtes Handgelenk



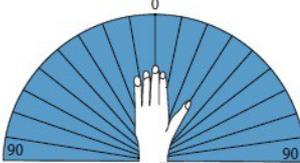
Flexion - Extension



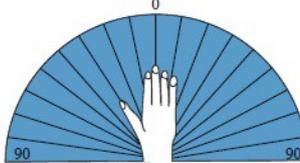
Supination - Pronation



Pronation - Supination



Ulnare - Radiale Deviation



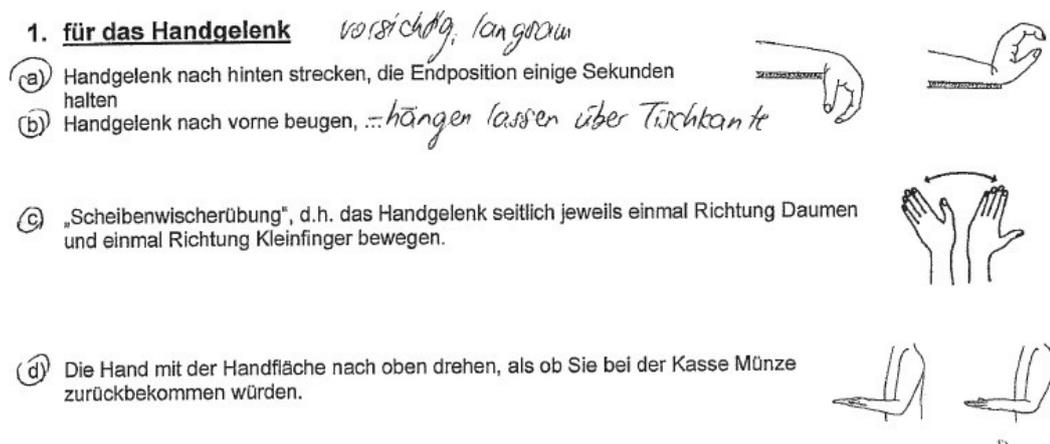
Radiale - Ulnare Deviation

**Abbildung 2: Messblatt zur Dokumentation des Bewegungsausmaßes [2]**

Den Therapeuten stehen dabei mehrere Methoden zur Verfügung. Dazu gehören passive und aktive Bewegung, Körperwahrnehmungsschulung, Manuelle Therapie, Hydrotherapie, Wärmetherapie, Elektrotherapie und viele mehr [19]. Die Sitzungen mit dem Therapeuten finden meist mehrmals die Woche statt und erstrecken sich über mehrere Monate.

### 2.2.1 Heimübungen in der Handtherapie

Hauptaugenmerk dieser Diplomarbeit liegt auf der Unterstützung der Heimübungen, welche einen integralen Bestandteil der Therapie darstellen. Therapeut und Patient erstellen einen individuellen Plan mit Übungen, welche vom Patienten selbstständig abseits der Therapiesitzungen durchzuführen sind. Nachdem diese vom Therapeuten vorgezeigt bzw. erklärt wurden, erhält der Patient oftmals ein Handout mit Übungsanweisungen als Gedankenstütze (siehe *Abbildung 3*).



**Abbildung 3: Beschreibung einer einzelnen Heimübung auf einem Handout [93]**

Um die Beweglichkeit der Gelenke wiederherzustellen, werden die Hände in der Achse der Einschränkung bewegt. Die Kontraktion der Muskel verstärkt die Durchblutung und stärkt die Muskulatur, somit wird der natürliche Gebrauch der Extremität auch unabhängig von der Übung angeregt [2]. Wichtig bei der Durchführung der Übungen ist, dass die Schmerzgrenze eingehalten wird [18], d.h. beim Eintreten großer Schmerzen abgebrochen wird.

Die (Heim-)Therapie erfolgt, indem Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL = „activities of daily living“) nachgeahmt werden bzw. eigene Übungen erstellt werden, welche das gewünschte Bewegungsprofil enthalten. Zum besseren Verständnis der drei möglichen Bewegungsachsen des Handgelenks sei nochmal auf *Abbildung 2* hingewiesen. *Tabelle 1* zeigt Metaphern, welche zur Verbesserung der Beweglichkeit des Handgelenks in Ulnarer Deviation bzw. deren Gegenbewegung der Radialen Deviation dienen sollen.

Tätigkeit	Variationsmöglichkeit	Ausführung	Variationen
Papier falten		Papier ausstreichen	Dicke/Größe des Papiers
Papier schneiden	Messer		Dicke/Größe des Papiers
Linoldruck		Drucken	Position der Arbeit
Peddigrohrarbeit		Flechten	Position/Größe der Arbeit
Lederarbeit	Rillblock	Leder rillen	Position der Arbeit, Größe des Rills und der Löcher im Leder
Holzarbeit		Nageln	Stellung des Armes, Gewicht des Hammers, Härte des Holzes, Größe der Nägel
Brettspiel	Unterarmstütze	Spielsteine setzen/wegnehmen	Position des Spiels und der Spielsteine
„Sjoelbak“		Spielsteine wegschieben	Entfernung des Ziels, Größe der Spielsteine, Reibung
Ringe werfen		Ringe auf Ziel werfen	Abstand zum Ziel/Größe der Ringe
Therapeutische Knetmasse, Theraband		Masse/Band nach ulnar/radial stoßen bzw. ziehen	Widerstand der Masse/des Bands
Staub wischen		Wischen	Größe der Fläche

Tabelle 1: Handgelenk: Ulnar-/Radialdeviation [2]

Das mögliche Bewegungsausmaß wird als „range of movement“ (ROM) bezeichnet. Es variiert zwischen der linken und der rechten Hand, von Person zu Person, ist von der Lage des Gelenks abhängig (pronation oder supination) und nimmt mit fortschreitendem Alter ab [20]. Die Winkel des ROM werden mittels Goniometern gemessen (siehe Abbildung 4).

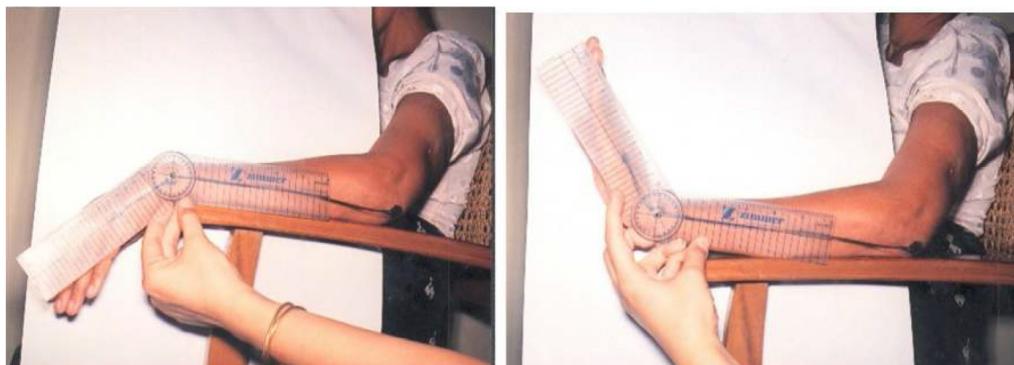


Abbildung 4: Messung der Flexion und Extensions des Handgelenks (links bzw. rechts) mittels eines Goniometers [20]

Die Bewegungsbahnen der Gelenke sind bei einigen Aktivitäten des täglichen Lebens bekannt [21] und stehen zu einander in Beziehung [22]. Diese Zusammenhänge müssen bei der Auswahl der Rehabilitationsübungen in Betracht gezogen werden.

### 2.2.2 *Compliance*

*Compliance* bezeichnet im Kontext der Rehabilitation die regelmäßige und korrekte Ausführung der mit dem Therapeuten vereinbarten Übungen bzw. die aktive Teilnahme bis zum Schluss der Therapie. Sie stellt den Schlüssel zu einer erfolgreichen Verbesserung oder Heilung der Symptome dar [23]. Mangelnde *Compliance* wird wie folgt beschrieben:

„Non-compliance is traditionally defined as a failure by patients to follow advice.“ [1]

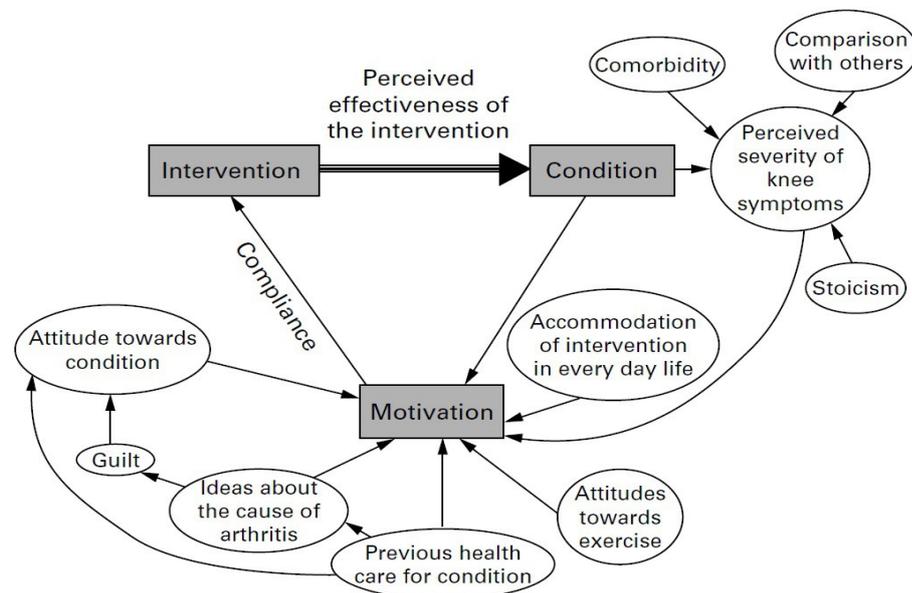
Chan et al. [24] evaluierten in ihrer Studie die *Compliance* von Heimübungen innerhalb der Physiotherapie und identifizieren dabei, welche Einflüsse Patienten, Physiotherapeuten, Pflegepersonal oder Umgebung darauf haben. Folgende Faktoren werden von ihnen herausgestrichen:

- Geschlecht
- externe Motivation
- Rolle der Heimübungen innerhalb der Therapie
- Begreifen der Übungen
- verbale und visuelle Präsentation der Übungen vom Therapeuten
- Qualität der Präsentation
- Nachbehandlung nach den Heimübungen
- Zufriedenheit des Patienten mit dem Therapeuten

In ihrer Konklusion raten die Autoren dazu, die Kommunikation zwischen Therapeut und Patient zu verbessern. Der Therapeut solle mehr Zeit für die Erklärung der Übungen und zur Nachkontrolle aufbringen. Für die technologische Unterstützung der Therapie von Relevanz sind vor allem beeinflussbare Faktoren, wie die der externen Motivation, der Kommunikation zwischen Patient und Therapeut und der Qualität der Präsentation.

Campbell et al [1] untersuchen, welche Faktoren sich auf *Compliance* der Heimübungen von Arthrose auswirken. Da der Prozess der Heimübungen sich im Allgemeinen nur durch die unmittelbare Übungsdurchführung der jeweiligen behandelten Extremitäten unterscheidet, sind die Ergebnisse auch für die Handrehabilitation relevant. Persönliche Wahrnehmung der Sym-

ptome des Patienten, Unterstützung vom Therapeuten, die Effektivität der Heimübungen und die Möglichkeit, sie in den Alltag einzubinden, wurden als wichtige Variablen identifiziert (siehe Abbildung 5). Gründe für einen Behandlungsabbruch können aus Sicht der Patienten als rational angesehen werden, womit sie in die rationale Entscheidungsfindung der Therapie als Partner eingebunden werden sollten.



**Abbildung 5: Modell der stetigen Compliance [1]. Zeigt das Zusammenspiel mehrerer Faktoren in Bezug auf deren Auswirkung auf Compliance bei der Therapie von Arthrose.**

Interviews mit mehreren Physiotherapeuten haben gezeigt, dass die mangelnde Übungsbereitschaft der Patienten als frustrierend empfunden wird [9]. Im Zuge dieser Interviews wurden auch Faktoren gefunden, denen die Therapeuten eine positive Auswirkung auf die Motivation der Patienten zuschreiben. So sei es wichtig, die Auswirkung der Übungen zu verstehen, insbesondere, wenn diese Übungen den Patienten unangenehm sind oder ihnen Schmerzen bereiten. Die Sorgen der Patienten sollten von den Therapeuten ernst genommen werden. Als weiterer Motivator wurde das Feedback über den Therapiefortschritt genannt. Zu wissen, dass die geleisteten Übungen einen positiven Einfluss auf den Therapieverlauf haben, reiche dabei nicht aus; der Therapiefortschritt müsse quantifiziert werden.

## 3 Aktueller Stand der Technik

Dieses Kapitel erläutert, welche Möglichkeiten sich bieten, um Spiele bzw. Spielelemente für einen bestimmten, nicht rein der Unterhaltung dienenden Zweck einzusetzen. Es liefert eine Einführung in die Thematik von Serious Games und Gamification und zeigt, in welcher Verbindung sie zueinander stehen. Darauf folgend werden wissenschaftliche Arbeiten in diesen Bereichen beschrieben und erklärt, welche Relevanz sie für die Verfassung dieser Diplomarbeit haben.

### 3.1 Serious Games

Der Begriff der Serious Games ist relativ jung; er wurde das erste Mal 1984 von Clark C. Abt beschrieben [25]. Videospiele erfreuen sich zunehmender Beliebtheit und besitzen das Potential mehr als nur Unterhaltung zu sein, ähnlich wie Bücher, Filme und Fernsehen [26]. In der Literatur haben sich viele verschiedene Definitionen des Begriffes etabliert, dessen Kern von folgender Definition erfasst wird:

„...serious games are (digital) games used for purposes other than mere entertainment“. [8]

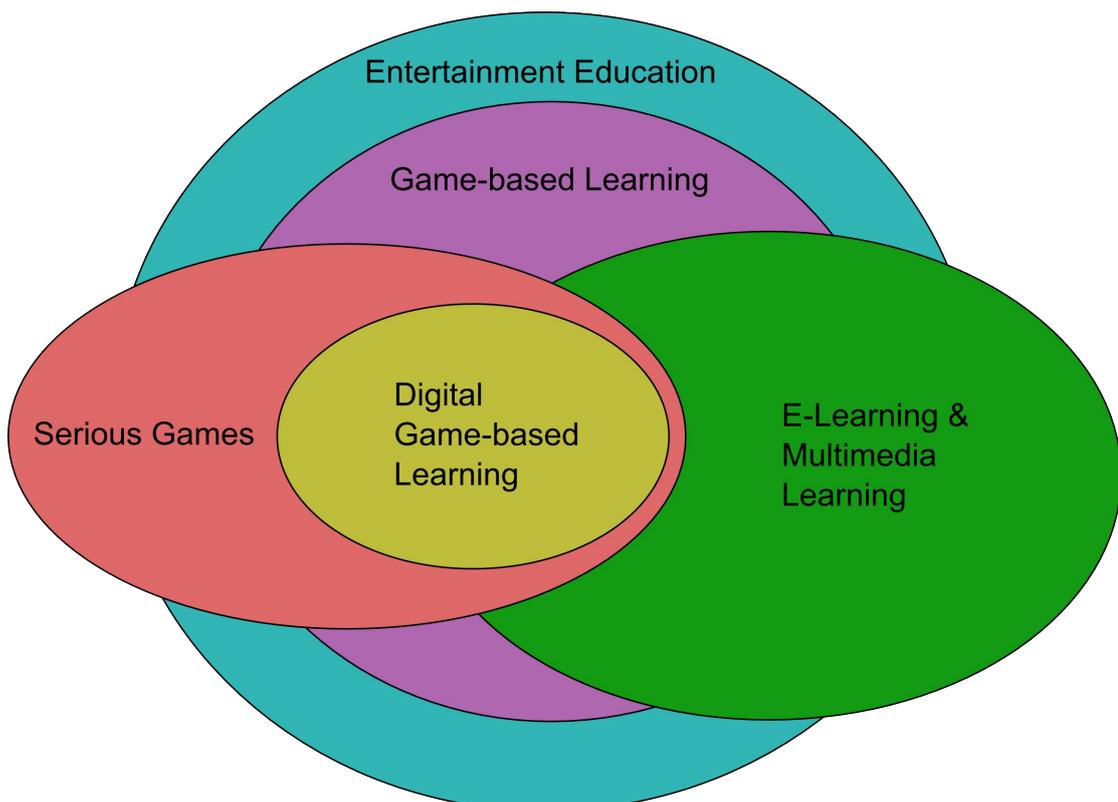
*Spielen* bezeichnet eine freiwillige Form der menschlichen Tätigkeit, welche meist aus intrinsischer Motivation entsteht [27]. Diese Motivation ist quasi der Katalysator, der zur Unterstützung der jeweiligen Problemstellung des Serious Game dient. Während „herkömmliche“ Unterhaltungsspiele mehr Wert auf eine beeindruckende Präsentation der Spielwelt legen, sind Serious Games stark zielorientiert [8] (*Gegenüberstellung siehe Tabelle 2*). Dieser Punkt ist insbesondere in Hinblick auf die Spielgestaltung wichtig; eine schlichte, zielorientierte Umsetzung ist effektiver als bombastische Grafik- und Soundeffekte. Einerseits sollen Serious Games niedrige Systemanforderungen besitzen, andererseits muss ihre Präsentation

ausreichend interessant gestaltet sein, um auch mit „herkömmlichen“ Spielen mithalten zu können [28].

	<b>Serious Games</b>	<b>Unterhaltungsspiele</b>
Zielerfüllung kontra „Spielerfahrung“	Problemlösung im Fokus	Spielerlebnis steht im Vordergrund
Fokus	wichtige Elemente des Lernens	Spaß
Simulation	Annahmen wichtig für funktionierende Simulation	vereinfachte Simulationsprozesse
Kommunikation	sollte natürliche (d.h. nicht perfekte) Kommunikation widerspiegeln.	Kommunikation ist oft perfekt

**Tabelle 2: Unterschied zwischen Serious Games und Unterhaltungsspielen [8]**

Wie in *Abbildung 6* ersichtlich ist, überschneidet sich die Definition von Serious Games mit einer Reihe ähnlicher Begriffe. Dazu gehören unter anderem Digital Game Based Learning, Game Based Learning, E-Learning & Multimedia Learning und Entertainment Education [29], welche ihren Fokus auf Pädagogik legen.



**Abbildung 6: Das Verhältnis von Serious Games zu anderen Konzepten [29]**

Serious Games gehören zu verschiedenen Genres, die eine beliebige Spieltechnologie verwenden und für sämtliche Plattformen entwickelt werden [26]. Folgende Aufzählung liefert einen kurzen Überblick der von Susi et al. [8] beschriebenen und nach Michael und Chen [30] in verschiedene Märkte unterteilten Serious Games:

- **Military Games**

Traditionell vorherrschend auf diesem Markt sind Simulationen, welche deutlich niedrigere Kosten als konventionelle Simulatoren aufweisen. 2002 wurde mit „Americas Army“ ein Spiel entwickelt, das zur Rekrutierung von Soldaten für die US-Armee dient, indem es aus der Ego-Perspektive verschiedene Kampf- und Trainingssituationen nachstellt.

- **Government Games**

Diese Spiele beschäftigen sich mit einem breiten Spektrum von Anwendungsgebieten, welche mit der Regierung auf regionaler oder internationaler Ebene in Verbindung stehen, wie zum Beispiel Krisenmanagement, Stadtplanung und Feuerbekämpfung. So erhalten Feuerwehrlente die Möglichkeit gefährliche Situation in einem sicheren Umfeld zu üben.

- **Educational Games**

Spiele im Bildungsbereich können sich positiv auf die Entwicklung verschiedener Talente wie strategisches Denken, Planung, Kommunikation, Kollaboration, Gruppenentscheidungsfindung und Verhandlungsführung auswirken. Ihre Wirkung ist allerdings noch nicht mit ausreichender Evidenz belegt; zudem erschwert alte Hardware in den Schulen und nötige Einschulungszeit für die Lehrkräfte deren Verbreitung.

- **Corporate Games**

Der Markt von Firmenschulungen wurde im Jahr 2007 auf über 10 Milliarden US-Dollar geschätzt und wäre somit identisch mit dem Umsatz der Videospiele innerhalb der Unterhaltungsindustrie. Die Verwendung von Corporate Games kann für die Entwicklung verschiedener Talente von Nutzen sein; dazu gehören menschliche Fähigkeiten, berufsspezifische Fähigkeiten, Organisationstalent, Kommunikationsfähigkeit und strategisches Denken.

- **Healthcare Games**

Das Thema „Leben“ ist seit je her in Computerspielen enthalten; so hat man oft nur eine bestimmte Menge an Leben, welche durch Treffer verringert wird, während das gute Abschneiden bei anderen Aufgaben diesen Wert wieder erhöht. Ziel von Healthcare Games ist es, direkte oder indirekte positive Effekte auf Individuen auszuüben. Dafür existiert eine breite Palette an Einsatzgebieten:

- Physische Fitness („Exergames“)

- Erziehung im Sinne gesunder Ernährung und eines gesunden Lebensstils
- Ablenkungstherapie bei Schmerzen
- *Rehabilitation* nach Operationen und bei bestimmten Krankheitsbildern
- Training und Simulation: Simulation von chirurgischen Eingriffen
- Diagnose von psychischen Störungen
- Kognitives Training
- (Selbst-)Kontrolle: Herzschlag und Emotionen sollen mittels Biofeedback-Sensoren besser unter Kontrolle gebracht werden

Als Beispiel für ein Healthcare Game sei die Arbeit von Xu et al. [31] genannt, sie beschäftigten sich mit der Konzeption eines Spieles, das amerikanische Jugendliche zu mehr Bewegung anspornen sollte, um ihnen somit zu einem gesünderen Verhalten zu verhelfen. Dabei wurde festgestellt, dass es für Spiel-Designer oft unklar ist, welchen Ausgang die einzelnen Design-Entscheidungen auf die angestrebten Ziele darstellen, unterteilt in *Anpassbarkeit*, *Nachhaltigkeit* und *Sozialisierbarkeit*. Unter dem Punkt Nachhaltigkeit sollte eine bleibende Verhaltensänderung der Probanden erreicht werden. Anpassbarkeit des Spieles sei wichtig, um die Ausführung in die tägliche Routine integrieren zu können. Sozialisierbarkeit biete viel Potential bezüglich der kompetitiven und kooperativen Interaktion der Spieler um die Motivation zu erhöhen.

### 3.1.1 Serious Games in der Rehabilitation

Die im Zuge dieser Diplomarbeit zu entwickelnde Applikation findet sich im Bereich der Rehabilitation wieder, welcher in der Taxonomie nach Susi et al. [8] unter den Healthcare Games einzuordnen ist.

*Rehabilitation* ist ein sehr breit gefasster Begriff [17]:

...Prozess, der darauf abzielt, dass Menschen mit Behinderung ihr optimales physisches, sensor., intellektuelles, psych. u./od. soziales Funktionsniveau erreichen u. aufrechterhalten, indem ihnen Hilfestellungen zur Änderung ihres Lebens geben wird...

Dieser Prozess stellt oft einen langen und steinigen Weg dar. Es hat sich gezeigt, dass Spiele zur Steigerung der Motivation beitragen können, deren Mangel ein großes Problem innerhalb der Rehabilitation darstellt [26].

Rego et al. [26] geben in ihrer Arbeit einen Überblick über eine Auswahl von Serious Games in der Rehabilitation, welche in *Tabelle 3* dargestellt und mittels folgender Kriterien eingeteilt werden:

- **Anwendungsgebiet**  
Unterteilt die Problemstellung, für die das Serious Game entwickelt wird in zwei Hauptkategorien: kognitive Rehabilitation und Motor-Rehabilitation. Kognitive Rehabilitation liegt zum Beispiel nach einer traumatischen Hirnschädigung vor und zielt darauf ab, mentale Vorgänge wie, unter anderem, Sprache, Konzentration und Willenskraft wieder herzustellen. Motor-Rehabilitation versucht Bewegungsabläufe wiederherzustellen, die nach Schlaganfällen, innerhalb der Parkinsonkrankheit oder durch orthopädische Erkrankungen beeinträchtigt wurden.
- **Interaktionstechnologie**  
Beschreibt die Schnittstellen, mit deren Hilfe der Benutzer mit der Anwendung interagiert. Klassische Methoden wie Tastatur und Maus sind ebenso vertreten wie Spracheingabe und Head Mounted Displays (ein Helm mit integriertem Bildschirm, dessen Inhalt sich an die Ausrichtung des Kopfes des Benutzers anpasst). Auch Motion Tracking, bei dem verschiedene Körperteile oder Eingabegeräte mit einer Kamera registriert werden, ist vertreten.
- **Spielschnittstelle**  
Interfaces, die im Spiel verwendet werden, können zwei- oder dreidimensional sein.
- **Anzahl der Spieler**
- **Kompetitiv / Kollaborativ**  
Es besteht die Möglichkeit, gegen andere oder mit anderen Spielern anzutreten/zu spielen.
- **Genre**  
Spiele, welche die Bewegungen des Spielers evaluieren, Strategiespiele, Simulationen oder eine Kombination aus verschiedenen Genres darstellen.
- **Anpassungsfähigkeit**  
Ein häufig verwendetes Instrument dafür stellen Levels dar, die ab einem bestimmten Leistungsniveau des Spielers freigeschaltet werden. Es ist aber auch möglich, die Spielsituation dynamisch an das Können des Spielers anzupassen.
- **Feedback**  
Unmittelbares Feedback über haptisches, visuelles oder auditives Feedback über die korrekte Ausführung; aber auch Einordnung des Fortschritts über Errungenschaften und Anzeige des erreichten Leistungsniveaus.

- **Fortschrittsverlauf**  
Speichermöglichkeiten des Spielfortschritts.
- **Portabilität**  
Mobilität der Ausführung, zum Beispiel in einer Klinik oder zu Hause.

	Betker et al. [32]	Ma et Bekkoum [33]	Conconi et al. [34]	Caglio et al. [35]	Cameirão et al. [7]	Burke et al. [36]	Ryan et al. [37]	System Reha-Com [38]
<b>Anwendungsgebiet</b>	Motor	Motor	kognitiv	kognitiv	Motor & kognitiv	Motor	Motor	kognitiv
<b>Interaktionstechnologie</b>	Gewichtverlagerung	Motion Tracking & HMD	Sprache & Berührung & Biosensoren	Keyboard	Motion Tracking	Motion Tracking	WiiMote & WiiBalance	Spezial-Keyboard & Joystick
<b>Spielschnittstelle</b>	2D	3D	3D	3D	3D	2D	2D	2D
<b>Anzahl der Spieler</b>	1	1	1	1	1	1	1+	1
<b>Kompetitiv/Kollaborativ</b>	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
<b>Genre</b>	Memory & Simulation	Simulation	Strategie	Simulation	—	Simulation	Labyrinth	gemischt
<b>Anpassungsfähigkeit</b>	ja	ja	ja	nein	ja	ja	—	nein
<b>Feedback</b>	ja	ja	ja	nein	ja	—	—	ja
<b>Fortschrittsverlauf</b>	ja	ja	ja	—	ja	—	—	ja
<b>Portierbarkeit</b>	zu Hause	Klinik	Klinik	Klinik	Klinik / zu Hause	zu Hause	—	Klinik

**Tabelle 3: Klassifikation und Vergleich von Serious Games im Bereich der Rehabilitation [26]**

In ihrer Konklusion stellen die Autoren fest, dass sich die in herkömmlichen Spielen verwendeten Technologien und Erzähltechniken auch abseits des Unterhaltungskontextes als effektiv erweisen. Allerdings bestehe bei bisherigen Lösungen von Serious Games innerhalb der Rehabilitation noch viel ungenütztes Potential, die Motivation durch bessere Unterhaltungsmöglichkeiten zu verbessern. Diesbezüglich wird auch vorgeschlagen, das Potential von kollaborativem Wettkampf der Spieler näher zu untersuchen. Ein Austausch von Spielern auf ähnli-

chem Leistungsniveau bzw. mit ähnlichem Therapiefortschritt könne sich positiv auf die Motivation auswirken.

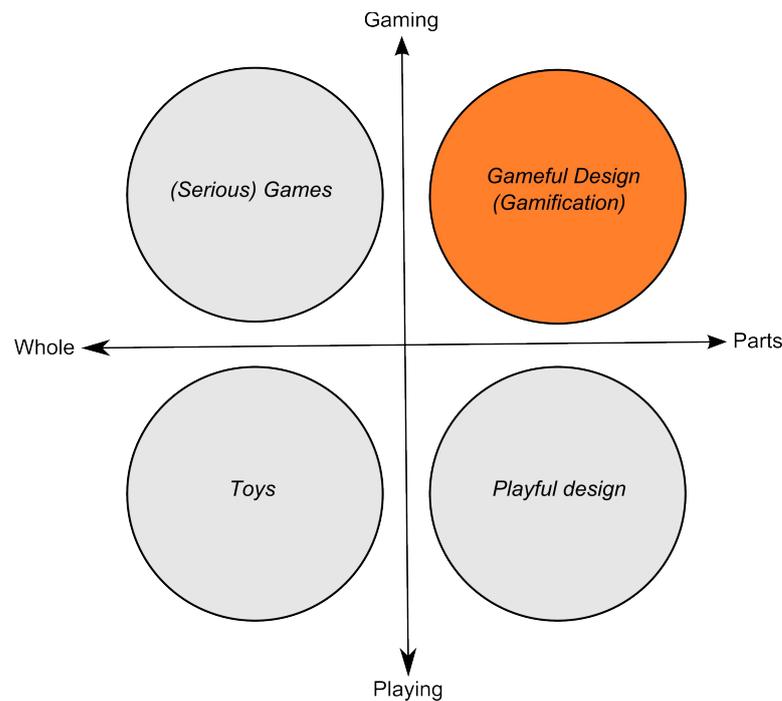
Die Integration von Kameras und Sensoren zur Bewegungserkennung in Spielkonsolen wie dem Nintendo Wii hat zur Entwicklung einiger Prototypen von Serious Games innerhalb dieser Plattformen geführt [26][4][39][40][9][31][41]. Dieser Boom ist insofern interessant, als dass es sich bei diesen Technologien um erschwingliche und unmodifizierte Hardware aus der Unterhaltungsindustrie handelt. Mit Wii Fit [42] und Wii Sports [43] sind bereits kommerzielle Hardware und Software erhältlich, mit welcher der Kunde spielerisch Fitnessübungen und Sport betreiben kann.

## **3.2 Gamification**

Dieses Kapitel führt in den Begriff Gamification ein, erklärt, in welchem Verhältnis er zu Serious Games steht, und erläutert einige Spieldesignelemente.

### *3.2.1 Einführung*

*Gamification* ist als die Verwendung von Elementen des Spiel-Designs in einem spielfremden Kontext definiert [44]. Die Verwendung von Spielelementen in einem spielfremden Kontext lässt Ähnlichkeiten zu Serious Games erahnen. Im Gegensatz dazu muss aber nicht notwendigerweise ein Spiel entstehen; es ist hinreichend, wenn eine Anwendung spielerische Elemente einfügt, ohne dabei selbst ein Spiel darzustellen [44] *siehe Abbildung 7*.



**Abbildung 7: Gamification between game and play, whole and parts [46]**

Auch wenn es sich bei dieser Diplomarbeit um die Entwicklung eines Spieles handelt, und nicht um Gamification einer bestehenden Anwendung, so sind die in der Gamification verwendeten Konzepte dennoch von Relevanz. Diese Definition ist nicht an einen bestimmten Anwendungsfall oder eine Technologie gebunden; das erklärte Ziel, die Anwender durch die Verwendung von Spielelementen zu mehr Engagement zu bewegen, erfreut sich vor allem bei kommerziellen Anwendungen großer Beliebtheit [45].

Der Begriff Gamification reicht ins Jahr 2008 zurück und erlangte eine größere Verbreitung in der zweiten Hälfte des Jahres 2010, als er durch zahlreiche Konferenzen und Adaptierungen von Firmen populär wurde. Das Soziale Netzwerk Foursquare erreichte seine große Beliebtheit wahrscheinlich vor allem durch Gamification [45]. Eine Funktion ist das Einchecken an bestimmten Punkten mittels Geolokation von Mobiltelefonen. Dieser Vorgang wurde den Mitgliedern dieses sozialen Netzwerks schmackhaft gemacht, indem man ihnen Punkte und Abzeichen verlieh. Das verleitete zum Sammeln im engeren und zum Erfüllen der von Foursquare gewünschten Ziele im weiteren Sinne.

*Tabelle 4* listet Design-Elemente von Gamification, gereiht nach unterschiedlichen Graden der Abstraktion, von konkret nach abstrakt [46].

Level	Beschreibung	Beispiel
<i>Spiel-Interface-Designmuster</i>	Häufige Verwendung von bewährten Designmustern für spezifische Problemstellungen, inklusive prototypischer Entwicklung	Abzeichen, Bestenliste, Level
<i>Spieldesign und Spielmechanik</i>	Wiederkehrende Designelemente betreffend des Spielerlebnisses	Zeiteinschränkung, limitierte Ressourcen, Züge
<i>Spiel-Gestaltungsprinzipien und Heuristiken</i>	Richtlinien um Designproblemen zu begegnen oder bestehende Lösungen zu evaluieren	ausdauerndes Spielen, Ziele erfüllen, verschiedene Spielstile
<i>Spiel-Modelle</i>	Konzeptuelles Modell von Spielkomponenten oder Spielerfahrung	MDA (mechanics dynamics aesthetics), Herausforderung, Fantasie, Neugierde; Spieldesignelemente; CEGE (core elements of gaming experience)
<i>Spieldesign Methoden</i>	Praktiken und Prozesse spezifisch für das Spieldesign	Spieltesten, spielzentriertes Design, Playtesting, playcentric design, wertorientiertes Spieldesign

**Tabelle 4: Level of Game Design Elements [46]**

Im Detail gibt es viele verschiedene Elemente der Spiel-Mechanik, die für Gamification eingesetzt werden können. Ein von einer Gemeinschaft betreutes Wiki [47] nennt dabei dutzende, auf verschiedene Spielertypen [48] zugeschnittene Beispiele. Zu vielen dieser Metaphern gibt es bereits ausführliche Literatur, wie zum Beispiel zur Metapher der Abzeichen [49].

### 3.2.2 Mobile Computerspiele

2010 lag der Umsatz von mobilen Spielen bei 800 Millionen US-Dollar [50]; diese Kategorie rückt also immer mehr in der Fokus der Aufmerksamkeit von Spieleentwicklern. Smartphones sind sehr weit verbreitet und, im Gegensatz zu PCs, den meisten Spielekonsolen und stationären Rehabilitationsapplikationen, portabel [26]. Die Tätigkeit des Spielens ist damit im Alltag allgegenwärtig [51].

Parallel dazu entwickeln sich die heutigen Technologien in eine Richtung, welche ihre Nutzung ebenfalls jederzeit und allorts verfügbar macht [52]. Egal, ob auf den Bus oder auf eine Zahnbehandlung gewartet wird, mobile Computerspiele stellen zeitliche Lückenfüller im Alltag dar.

Die oben aufgezeigten Vorteile mobiler Technologien haben den Autor dieser Arbeit dazu bewogen, eine mobile Plattform zur Implementierung von Serious Games ins Auge zu fassen. Zudem ermöglicht es diese hohe Verfügbarkeit, Heimübungen auch außerhalb der eigenen Wohnung auszuführen.

### 3.3 Literaturanalyse

Durch die Literaturanalyse konnten drei wissenschaftliche Arbeiten identifiziert werden, deren Ergebnisse für die Eingrenzung der eigenen Fragestellung von besonderer Relevanz sind. Dieser Abschnitt fasst die Methodik und Erkenntnisse der einzelnen Paper zusammen, und erläutert wie sich deren Problemstellungen von dieser Diplomarbeit unterscheiden.

#### 3.3.1 Calibration games

Flatla et al.[53] konzipierten ein Framework, mit dessen Hilfe Prototypen von PC Applikationen entstanden, welche die Kalibrierung angeschlossener Biosensoren unterhaltsam gestalten sollte.

Das Framework besteht aus vier Punkten:

1. **Kalibrierungstypen**

Identifiziert die verschiedenen Arten der Kalibrierung.

2. **Kernaufgaben der Kalibrierung**

Definiert die zugrundeliegenden Aufgaben der Kalibrierung um sicherzustellen, dass das Spiel diese Aufgaben erfüllt.

3. **Spielmechanik der Kernaufgaben**

Transformiert die zuvor extrahierten Kernaufgaben in Elemente der Spielmechanik.

4. **Spiel-Design Elemente**

Verwendet Elemente des Spiel-Designs um Kalibrierungsaufgaben unterhaltsamer zu gestalten:

- **Herausforderung**

Setzt klare Ziele, deren Erfüllung eine Herausforderung für die Spieler darstellen soll.

- **Thema**  
Verschleiert die eigentliche Aufgabe durch Verwendung von Metaphern.
- **Belohnung**  
Unmittelbare Belohnung des Spielers, unter anderem durch visuelle und grafische Effekte
- **Fortschritt**  
Gibt Feedback über den Fortschritt in Form von Levels, Aufgaben und verschiedenen Welten. Visualisiert den Fortschritt mit Hilfe von Punkten und Abzeichen.

Konkreter Anwendungsfall für einen Prototypen stellte die Kalibrierung eines Sensors dar, welcher die Lungenaktivität des „Spielers“ misst (siehe Abbildung 8). Dabei wurden die Effekte der Design-Elemente *Belohnung* (lachendes Baby, bunte Repräsentation), *Herausforderung* (Distanz wie weit das Baby geschossen werden kann), *Thema* (Baby, das in einem Haufen von Bällen spielt) und *Fortschritt* (maximal erreichte Flugweite) gemessen.

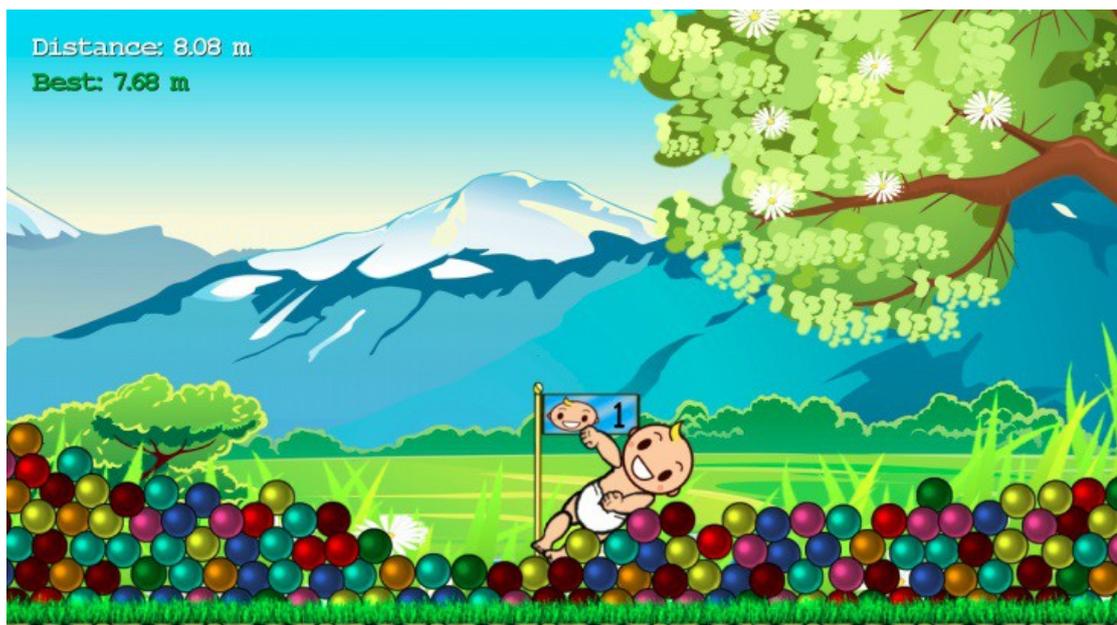


Abbildung 8: Das "BabyLaunch Game" erlaubt es dem Spieler, mittels tiefem Einatmen ein lachendes Baby in einen Haufen bunter Bälle zu schießen. Das Baby lag vorher in einem Korb, der als Katapult dient [53].

In ihrer Konklusion stellen die Autoren fest, dass ihre Ziele erreicht werden konnten; einerseits wurde die Durchführung der Kalibrierung durch das Spiel als unterhaltsam empfunden,

andererseits wurde die Genauigkeit der Kalibrierung nicht durch die erfolgte Transformation in ein Spiel beeinträchtigt.

### 3.3.2 DroidGlove

Ein Prototyp eines Serious Games zur Handgelenkrehabilitation auf Basis der mobilen Android Plattform wurde von Deponti et al. [10] entwickelt (siehe Abbildung 9).



Abbildung 9: Hauptmenü von DroidGlove [47]

Für die Entwicklung des Prototypen standen drei wichtige Anforderungen im Vordergrund:

- Der Therapeut kann für den Patienten Übungen erstellen, indem er Bewegungsmuster aufnimmt und auf sein Smartphone lädt.
- Das System passt sich dem Fortschritt des Patienten automatisch an.
- Die Übungsdaten werden für den Therapeuten gespeichert und ermöglichen ein Auswerten des Übungsfortschritts.



**Abbildung 10: Experimentelle Sitzung mit DroidGlove implementiert auf einem HTC G1 Smartphone: Debug Information über Beschleunigung und Orientierung wird in Echtzeit am Bildschirm dargestellt.**

Anschließend an eine reguläre Therapiesitzung stellt der Therapeut dem Patienten eine maßgeschneiderte Reihe von Übungen zusammen, indem er das Smartphone des Patienten in der Hand hält (*siehe Abbildung 10*) und die Übungen in einem Aufnahmemodus direkt aufzeichnet oder die Bewegungsmuster von einem PC auf das Gerät lädt.

Bei der Durchführung der Übungen signalisiert das Gerät durch akustische Signale, ob das vorgegebene Bewegungsmuster korrekt ausgeführt wurde. Dabei wurde ein Algorithmus verwendet, der den Schwierigkeitsgrad der Anwendung durch Variation der Toleranzgrenzen dynamisch an die Fähigkeiten des Spielers anpasst. Diese Daten werden gesammelt und können vom Therapeuten ausgewertet werden, um den Therapiefortschritt zu beurteilen.

Die Autoren streichen die innovativen Möglichkeiten heraus, welche die mobile quelloffene Plattform Android bei der Therapie bieten kann. Bei der Implementierung stießen sie auf Probleme, welche auf limitierte Sensorgenauigkeit, Prozessorleistung und Ladekapazität der mobilen Plattform zurückzuführen sind. Als Ausblick auf zukünftige Arbeiten wurde eine Verbesserung des Erkennungsalgorithmus, eine Netzwerkunterstützung zum Datenmanagement und die Einbindung einer öffentlichen Bestenliste gegeben.

### 3.3.3 Designing to support prescribed home exercises

Chandra et al. [9] entwickelten Konzepte zur Umsetzung einer überall verfügbaren (*engl. pervasive*) Applikation zur Verbesserung der Compliance von Heimübungen innerhalb der Physiotherapie. Zur Aufnahme von Feedback während der Übungen diente ein Gerät zum Biomonitoring, konkret das bioPLUX-System, welches die Aktionspotentiale der Muskelaktivitäten misst (EMG - Elektromyographie) und diese Daten drahtlos und in Echtzeit an eine Basisstation sendet (*siehe Abbildung 11*).



**Abbildung 11: bioPLUX Gerät zur Erkennung von Biosignalen**

Als Methode um herauszufinden, wie sich der Muskelsensor mit herkömmlichen Technologien wie Smartphones zur Unterstützung der Therapie verbinden lässt, wählten sie eine Benutzerstudie. Zunächst wurden drei Physiotherapeuten interviewt, deren Ergebnisse mit Szenarien und Storyboards festgehalten wurden. Diese Artefakte wurden anschließend durch die Befragung von 11 Patienten evaluiert.

Folgende Konzepte zur Unterstützung der Compliance wurden generiert und später untersucht:

- **Motivation durch Verstehen**

Heimübungen können den Patienten ineffektiv erscheinen, insbesondere dann, wenn die Durchführung unangenehm ist oder Schmerzen bereitet [1]. Durch eine Visualisierung der Übungen in Echtzeit soll die Effektivität besser verstanden werden.
- **Motivation durch Unterhaltung**

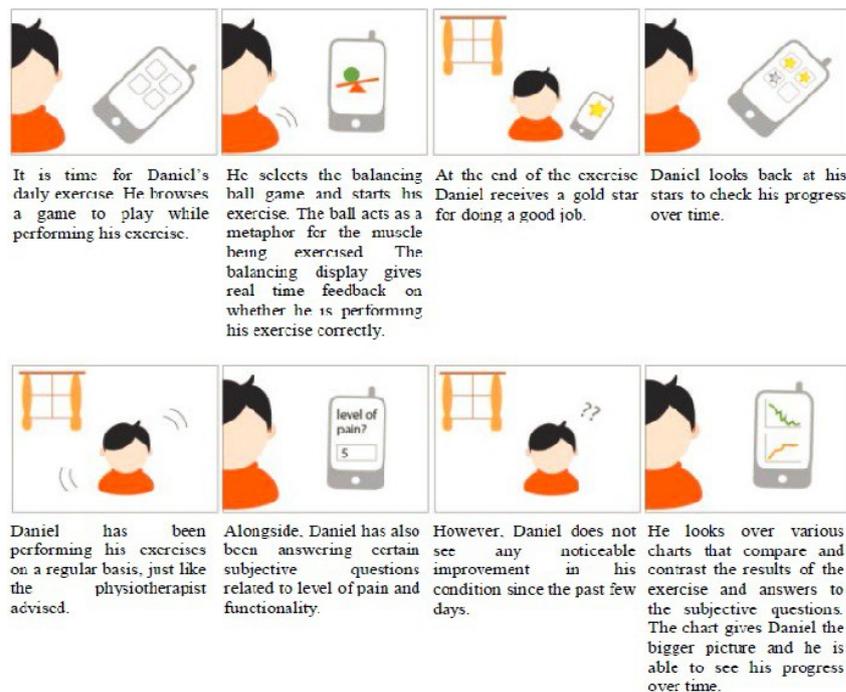
Es existiert Evidenz, dass Spiele zur Steigerung der Motivation innerhalb der Rehabilitation beitragen können [54]. Dieser Umstand wird durch kleinere Spiele aufgegriffen, welche durch das Durchführen der eigentlichen Übung gesteuert werden.
- **Motivation durch Resultate**

Da der Therapiefortschritt nur langsam eintritt, ist er für die Patienten oft schwierig wahrzunehmen [55]. Dieser Fortschritt wird mittels Grafiken visualisiert und gibt dem Patienten so eine bessere Perspektive über den Heilungsverlauf.
- **Motivation durch Terminplanung**

Es ist essentiell, die Therapie in den Tagesablauf zu integrieren [1]. Dieses Szenario ermöglicht die Planung persönlicher Therapieziele, benachrichtigt den Patienten über anstehende Übungen und enthält eine Funktion zur Verwaltung von Terminen mit Ärzten und Therapeuten.
- **Motivation durch Unterstützung**

Die Übungsdaten werden zu einer Plattform hochgeladen, mit deren Hilfe der Therapeut unmittelbares Feedback auch außerhalb der vereinbarten Termine geben kann.
- **Motivation durch Angehörige**

Die interviewten Testpersonen dieses Papers meldeten ihre Zweifel bezüglich der Nützlichkeit von sozialer Interaktion als Motivator an. Im Gegensatz dazu zeigt die Literatur, dass Konkurrenz, öffentliche Verpflichtungen und Mitgliedschaft in Gruppen starken Einfluss auf die Motivation darstellen [56]. Diesem Umstand wird in diesem Szenario Rechnung getragen, indem die Leistungsdaten der Übung mit anderen Patienten geteilt werden.



**Abbildung 12: Auszug aus dem Storyboard: Motivation durch Unterhaltung (oben) und Motivation durch Resultate (unten) [9]**

Zusammenfassend wird der mögliche Nutzen gut designer Technologien zur Unterstützung der Patienten bzw. der Verbesserung von Compliance hervorgehoben und sechs konkrete Designempfehlungen für Applikationen in diesem Bereich gegeben:

- **Effektivität und Korrektheit**  
Patienten hatten Probleme ihren Zustand mit den Übungen zu verknüpfen und waren besorgt falsch zu üben. Dieses Problem könne durch die Entwicklung gezielter Bio-monitoring-Techniken zur Verbesserung der Präsentation über die Effektivität der (gerade) durchgeführten Übungen verbessert werden.
- **Resultate sind Belohnung**  
Zukünftige Applikationen in diesem Bereich sollten einfache Visualisierung über den (realen) Fortschritt der Therapie enthalten.
- **Übungen sind keine Unterhaltung**  
Die Probanden schätzten den Unterhaltungswert, stellten aber fest, dass die Übungen immer noch anstrengend waren. Spaß sollte nachrangig zu einer exakten Repräsentation der Übungsdaten sein.
- **Kontextsensitive Terminplanung**  
Terminplanung ist essentiell um die Compliance zu verbessern und die Übungen besser in den Alltag einzufügen. Im Bereich der Biosensoren kann es sinnvoll sein, kon-

textsensitive Erinnerungen in das mobile Gerät zu integrieren. Beispiel hierfür wäre eine Hinweismeldung zur geplanten Übungsdurchführung am Smartphone des Patienten wenn das Haus betreten wird.

- **Leichtgewichtige Kommunikation**

Die Kommunikation zwischen Patienten und Therapeuten zu verbessern sei wichtig. Diese müsse aber leichtgewichtig sein, um schnelle Antworten zu ermöglichen und den Patienten somit das Gefühl zu vermitteln, dass ihre Anliegen erhört werden.

- **Gesundheitsdaten sind private Daten**

Soziale Motivatoren wurden von allen befragten Teilnehmern abgelehnt.

### 3.3.4 Übersicht

Table 5 stellt eine Gegenüberstellung der drei in den vorangegangenen Abschnitten vorgestellten Arbeiten dar, welche im Folgenden näher erläutert wird. Dabei werden Erkenntnisse welche für diese Diplomarbeit von besonderer Relevanz sind hervorgehoben.

Das Paper „*Calibration Games*“ [53] hat zwar keinen therapeutischen Hintergrund, es ist dennoch aus mehreren Gründen speziell für diese Arbeit relevant. Zum einen beschäftigt es sich mit der Auswertung von verschiedenen Sensordaten eines Smartphones, zum anderen konnten mehrere Design-Elemente zur Förderung der Motivation beschrieben werden. Auch die systematische Transformation von (Teil-)Aufgaben der Kalibrierung in Spielelemente ist beispielgebend für diese Diplomarbeit.

In „*DroidGlove*“ [10] konnte gezeigt werden, dass eine Verifizierung der Bewegungsabläufe bei Übungen zur Therapie des Handgelenks mittels Smartphones prinzipiell möglich ist. Ihr Ansatz beschränkt sich im Wesentlichen auf die Durchführung der Bewegungsabläufe und enthält keine speziell auf Motivation ausgerichteten (spielerischen) Konzepte.

Die Arbeit „*Designing to support prescribed home exercises*“ [9] fokussiert sich auf die Unterstützung von Heimübungen im Allgemeinen und konnte wertvolle Konzepte für den in dieser Arbeit angestrebten Prototypen gewinnen. Unterschiedlich ist allerdings die Aufzeichnung der Bewegung mittels Biosensoren, welche in der eigenen Arbeit fehlt und von den Sensoren des mobilen Smartphones direkt übernommen werden soll.

	<b>Flatla et al. [53]</b>	<b>Deponti et al. [10]</b>	<b>Chandra et al. [9]</b>
<b>Einordnung</b>	Gamification	Serious Game	Benutzerstudie
<b>Kontext</b>	Kalibrierung	Handrehabilitation	Heimübungen in der Physiotherapie
<b>Fokus</b>	Spiel-Design	Sensoralgorithmen	Compliance
<b>Unterstützt</b>	Kalibrierungsvorgang	unmittelbare Übungsdurchführung	Therapieprozess
<b>Umsetzung</b>	Prototypen	Prototyp	Konzepte
<b>Plattform</b>	(Bio-)Sensor & PC	Smartphone	Biosensor & Smartphone

*Tabelle 5: Übersicht relevanter State of the Art*

## 4 Anforderungsanalyse und Usability

Software Requirements, im Folgenden Anforderungen genannt, bilden das Fundament jedes Software Projekts. Anforderungen sollten klar und präzise formuliert sein, um die Entwicklung qualitativ hochwertiger Software zu gewährleisten [57]. Dieses Kapitel beschreibt die Grundzüge der Anforderungsanalyse (engl.: Requirement Engineering) und die wichtigsten Aspekte der Usability.

### 4.1 Einführung

Eine Anforderungsanalyse ist kein trivialer Prozess; sie bedarf sorgfältiger Methodik, guter Planung und der Festsetzung einiger Parameter im Vorfeld [58]:

- **Scope:** Bestimmt das Ausmaß des Projektes. Es enthält sowohl Ziele als auch „Nicht-Ziele“, um den Umfang der (umzusetzenden) Anforderungen explizit und klar abzugrenzen.
- **Stakeholder:** Alle Menschen, die am jeweiligen Projekt beteiligt sind oder ein Interesse an diesem haben. Sie stehen in Wechselwirkung mit dem Projekt, beeinflussen es und werden wiederum davon beeinflusst. Stakeholder stellen die wichtigste Quelle für die Bestimmung der Anforderungen dar. Unterschiedliche Gruppen von Stakeholdern nehmen oft unterschiedliche, nicht technische Perspektiven ein. Beispiele für Stakeholder sind:
  - Kunden / Auftraggeber / Sponsoren
  - Geschäftsführer
  - Promotoren
  - Besitzer des Altsystems bzw. dessen Datenmanagements
  - Betreiber und Entwickler von Schnittstellensystemen
  - Benutzer
  - Projektleiter
  - Projektsteuergruppe

- Systemarchitekten
- Softwareentwickler
- Qualitätssicherung und Test
- Betrieb
- Wartung

Anforderungen lassen sich in drei Kategorien unterteilen [58]:

- **Funktionale Anforderungen**  
Stellen die eigentlichen Funktionen des Systems dar, wie zum Beispiel das Verhalten nach bestimmten (Benutzer-)Eingaben.
- **Nichtfunktionale Anforderungen**  
Einzuhaltende Standards und Normen, der verwendete Entwicklungsprozess und Qualitätseigenschaften nach ISO9126 [59], wie zum Beispiel *Usability* (siehe Kapitel 4.3).
- **Domänenanforderungen**  
Anforderungen der beiden oben genannten Kategorien, welche sich oft implizit durch die Domäne ergeben.

Zum einen sollten gute Anforderungen *vollständig* definiert sein, um eine gute Abdeckung zu gewährleisten; zum anderen sollten sie *konsistent* sein, also ohne Konflikte und Widersprüchlichkeiten [58].

## 4.2 Dokumentation

Dokumentation dient zur Kommunikation zwischen den Stakeholdern sowie zur Nachvollziehbarkeit der getätigten Schritte und der erstellten Artefakte. Agile Methoden der Softwareentwicklung, also Prozesse, welche ein meist iteratives Vorgehen verwenden und versuchen, bürokratischen Aufwand zu vermeiden, kommen oft mit wenig Dokumentation aus [60].

### 4.2.1 Anwendungsfall

Beginnt man mit der Dokumentation der Anforderungen, wird man anfangs oft mit *Szenarien* konfrontiert. Es handelt sich hierbei um Beschreibungen der Akteurs über eine oft idealisierte Nutzung des Systems [61], welche meist in natürlicher Sprache notiert wird.

*Anwendungsfälle* (engl. *Use-Cases*) fassen Szenarien zusammen und liefern somit das gewünschte externe Systemverhalten aus der Perspektive der Akteure. Sie stellen einen Teil der Anforderungen dar, die das System erfüllen muss [61]. Anwendungsfälle bieten einen einfachen aber mächtigen Weg, das Verhalten des Systems abzubilden und dabei trotzdem für alle Stakeholder des Systems verständlich zu bleiben [62].

#### 4.2.2 Unified Modeling Language (UML)

Die Unified Modeling Language ist eine visuelle Sprache zur Spezifikation, Konstruktion und Dokumentation von Artefakten eines Systems [63]. Nicht nur auf Softwaresysteme beschränkt, dient sie der Dokumentation der Anwendung und der Kommunikation unter den verschiedenen Stakeholdern.

Zur ihrer Darstellung werden 14 verschiedene Arten von Diagrammen verwendet, für die exemplarisch drei erwähnt werden sollen [58]:

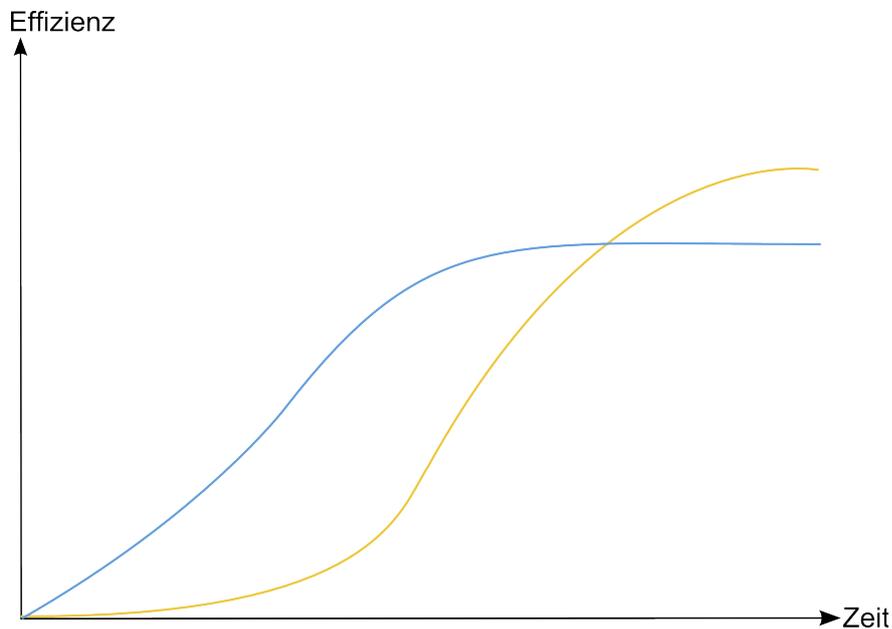
- **Anwendungsfalldiagramm**  
Modellierungen bestimmter Anforderungen an ein System. Stellt den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Stakeholdern und den Anwendungsfällen dar.
- **Aktivitätsdiagramm**  
Beschreibt den Ablauf von Anwendungsfällen, wobei jede Aktivität einen Schritt innerhalb des Programmablaufs darstellt.
- **Klassendiagramm**  
Beschreibt die Struktur eines Systems anhand von Klassen, welche untereinander in Wechselwirkung stehen. Objekte innerhalb einer Klasse teilen sich bestimmte Eigenschaften und Fähigkeiten.

### 4.3 Usability Engineering

*Usability Engineering* versucht Anwendungen so zu gestalten, dass sie eine gute Usability (deutsch: Gebrauchstauglichkeit) aufweisen, welche traditionell mit folgenden fünf Kriterien assoziiert ist [64]:

- **Erlernbarkeit (*learnability*)**  
Die Einarbeitungszeit der Benutzer in das System sollte möglichst gering sein. In diesem Zusammenhang wird für die meisten Produkte eine Erlernbarkeit angestrebt,

welche eine steil beginnende Lernkurve aufweist, sprich nach kurzer Lernzeit rasch Fortschritte bemerkbar sind (siehe blaue Kurve in *Abbildung 13*), um rasch mit dem System produktiv arbeiten zu können.



**Abbildung 13:** Zwei Lernkurven für ein hypothetisches System. Die blaue Kurve fokussiert sich auf Einsteiger und bringt zu Beginn rasch Lernfortschritte. Die orange Kurve ist für Experten optimiert und erreicht nach längerer Einarbeitungszeit eine höhere Effizienz [64].

- **Effizienz (*efficiency*)**

Die Effizienz eines Systems beschreibt, wie produktiv das System genutzt wird, nachdem die Verwendung vom Benutzer erlernt wurde. In Analogie zur Lernkurve wird nach einer gewissen Zeit ein Plateau erreicht, bei dem nur mehr eine geringe Steigerung der Effizienz stattfindet. Manchmal kann es sinnvoll sein, eine höhere Einarbeitungszeit in Kauf zu nehmen, um eine höhere Effizienz zu gewährleisten (siehe orange Kurve in *Abbildung 13*).

- **Einprägsamkeit (*memorability*)**

Gelegenheitsnutzer (*casual users*) sollten in der Lage sein, das System auch nach einer langen Unterbrechung zu nutzen, ohne sich wieder einarbeiten zu müssen. Sie verwenden das System nur sporadisch, sind weder Experten noch blutige Anfänger. Gelegentliche Nutzung liegt oft vor, wenn das System nur in Ausnahmefällen bzw. als ergänzendes Werkzeug für einen Zweck verwendet wird, der mit der primären Nutzung nichts zu tun hat.

- **Fehler (*errors*)**

Das System sollte so gestaltet werden, dass dem Benutzer wenig Fehler bei der Interaktion mit dem System unterlaufen und diese leicht wieder korrigierbar sind. Katastrophale Fehler, welche vom Benutzer unerkannt bleiben oder seine Arbeit unbrauchbar machen und somit nur mehr schwer korrigierbar sind, sollten erst gar nicht auftreten.

- **Zufriedenheit (*satisfaction*)**

Die subjektive Zufriedenheit der Benutzer bestimmt, wie angenehm oder gar unterhaltsam es ist, das System zu benutzen. Dieser Aspekt ist vor allem bei Anwendungen wichtig, welche abseits von der Arbeit verwendet werden, wie zum Beispiel Spiele (siehe *Kapitel 4.3.2*). Hierbei gilt es nicht, möglichst schnell Dinge fertigzustellen, sondern den Benutzer/Spieler dazu zu animieren, Zeit mit dem System zu verbringen [65].

### 4.3.1 User Centered Design

User Centered Design [66] ist ein Ansatz zur Gestaltung von interaktiven Systemen mit hoher Usability, indem die Benutzer ins Zentrum der Entwicklung gestellt werden. Dieser Fokus erfolgt sowohl in der Planungs- als auch in der Design- und Entwicklungsphase und ermöglicht eine frühzeitige Anpassung an die Bedürfnisse der Benutzer [58].

Grechenig et al. [58] beschreiben den Prozess eines User Centered Design, welcher auf der Norm DIN EN ISO 13407 [67] aufbaut. Er verläuft in vier aufeinanderfolgenden Phasen, welche wiederholt durchlaufen werden:

1. **Anforderungen**

Zunächst werden Informationen über den Kontext der Applikation und deren Nutzer eingeholt. Anschließend werden die Anforderungen der Benutzer an das System erhoben.

2. **Design**

Basierend auf den Anforderungen sollen Designlösungen entwickelt werden. Die Erfahrungen des Entwicklerteams sind ebenso miteinzubeziehen wie der aktuelle Stand der Technik.

### 3. Prototyping

Konkretisiert und realisiert die im vorherigen Schritt erarbeiteten Lösungen und setzt sie mittels Prototypen um. Die Genauigkeit reicht dabei von einfachen Skizzen (*Paper-prototyping*) bis hin zu lauffähigen Systemen.

### 4. Evaluierung

Evaluiert bzw. testet den momentanen Prototypen in Hinblick auf Benutzerfeedback oder auf Einhaltung von Qualitätskriterien und Normen. Die dabei gewonnenen Kenntnisse fließen in die nächste Iteration mit ein.

#### 4.3.2 User Centered Design in Spielen

User Centered Design ist insbesondere für die Entwicklung von Spielen relevant [68]. Nolan Bushnell, Mitbegründer der traditionsreichen Spiele-Schmiede Atari, brachte diesen Sachverhalt auf den Punkt:

„No one wants to read an encyclopedia to play a game“ [69]

Es gibt erhebliche Unterschiede zwischen der Zielsetzung von Spielen im Vergleich zu herkömmlichen Anwendungen. Gutes Design produktiver Applikationen zeichnet sich dadurch aus, dass es wenig Einschränkungen und Hindernisse in der Zielerreichung gibt.

Bei Spielen hingegen stellen diese Restriktionen ein wichtiges Element zur Generierung von Herausforderung und damit zur Motivation von Spielern dar. Man stelle sich ein Spiel vor, dessen einzige Funktion darin besteht, einen Knopf „Drücken“ zu betätigen, um eine Hinweismeldung mit „Sie haben gewonnen“ zu erhalten [68]. Das Spiel wäre wenig unterhaltsam, auch wenn aus klassischer Usability Sicht keine Fehler gemacht worden wären.

*Konsistenz* und *Abwechslung* sind zwei weitere Attribute, deren Bewertung zwischen produktiven Applikationen und Spielen variiert [68]. Erstere versuchen Funktionen innerhalb der Anwendung konsistent zu halten, um eine möglichst hohe Produktivität zu erreichen. Spiele hingegen müssen abwechslungsreich gestaltet werden, um Monotonie und Langeweile entgegenzuwirken, um so die Spieler bei der Stange zu halten.

## 4.4 Methoden zur Anforderungsanalyse

Die Anforderungsanalyse beschäftigt sich damit, von den Stakeholden Anforderungen für das zu entwickelnde System zu finden [57]. In der Literatur sind viele Methoden zur Analyse von Anforderungen beschrieben, weshalb es Richtlinien und Frameworks zur Wahl der richtigen Lösung gibt.

Eine davon stellt ACRE (Acquisition of Requirements) [70] dar. Die Requirement-Experten dieses Papers schlagen vor, *verschiedene Methoden zu kombinieren*. Nur so könne die volle Bandbreite der Anforderungen an komplexe Software Systeme festgehalten werden. ACRE legt den Fokus auf die Extraktion der Anforderung von den Stakeholdern; es soll deren Kommunikation verbessern, richtet sich also nicht primär auf die Analyse von Dokumenten. Die Zuordnung zu den jeweiligen Methoden findet anhand von verschiedenen Kriterien (*siehe Tabelle 6*) statt.

	Beobachtung	unstrukturierte Interviews	strukturierte Interviews	Protokolle	Card-Sorting	Laddering	Repertory Grid Analyse	Brainstorming	Rapid Prototyping	Szenarioanalyse	RAD	ethnographisch
<b>Einschränkungen</b>												
<b>Treffen notwendig</b>	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x
<b>Vorbereitungszeit</b>	✓✓	✓✓	—	✓	✓	✓✓	—	✓✓	—	—	✓	✓✓
<b>Zeit für Akquisition</b>	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	x	x
<b>Zeit für die Gewinnung d. Anf.</b>	—	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓	✓✓	✓	x	x
<b># Anforderungsanalysten</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b># Stakeholder</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	2
<b>Komfort für Stakeholder</b>	—	✓✓	✓	—	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓	✓	x	x
<b>kein technologischer Overhead</b>	✓	✓✓	✓✓	—	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	x	✓✓	x	✓

*Tabelle 6: Minimale Anforderungen für die Benutzung der Methoden; Einschränkungen zeigen die minimale Anzahl der benötigten Personen an [70]*

Mittels des ACRE-Frameworks wurden im Einklang mit User Centered Design für diese Arbeit drei Methoden zur Gewinnung der Anforderungen von den Stakeholdern ausgewählt, welche im folgenden Teil vorgestellt werden.

#### *4.4.1 Brainstorming*

Brainstorming ist eine kreative Technik zur Generierung und Sammlung von Ideen [71]. Es wird meist in Gruppen durchgeführt, wobei jeder möglichst ungehemmt seine freie Meinung äußern sollte. Kritik ist (noch) unerwünscht, Ziel ist es, eine möglichst hohe Anzahl von Ideen zu erhalten.

Es hat sich gezeigt, dass es unerheblich ist, ob Brainstorming in einer Sitzung bzw. Gruppe stattfindet, oder die Ideen zwischen verschiedenen Sitzungen transportiert werden [72]. Dieser Aspekt ist für die Anforderungsanalyse für diese Diplomarbeit von Bedeutung, da es die Terminplanung mit den Experten wesentlich erleichtert.

Eine Stärke/ein Vorteil ist, Wissen der Domäne auf höchster Ebene zu erlangen und Einblicke zu erhalten, die andernfalls nur schwer möglich gewesen wären. Eine Schwäche/ein Nachteil ist das mögliche Auftreten von Gruppeneffekten und das (vermeidbare) unstrukturierte Vorgehen [73].

#### *4.4.2 Rapid Prototyping*

Hierbei werden Stakeholder gebeten, Feedback zu physisch laufenden Prototypen des Systems zu geben [74]. Brooks [75] geht davon aus, dass kein Benutzer in der Lage ist, eine vollständige Anforderungsdefinition einer Software zu liefern, ohne vorher eine laufende Version davon gesehen zu haben.

Gut, um Fehler in Funktionen zu finden, die als selbstverständlich angenommen wurden. Wissensdefizite werden schnell sichtbar. Nachteilig ist die Entwicklungszeit der Prototypen. Falsch verwendet können evolutionäre Prototypen zu einem Problem für das Systemdesign werden.

Bei der eigenen Arbeit handelt es sich um die Entwicklung eines Prototypen, weswegen möglichst schnell darauf geachtet wird, kritische Anforderung exemplarisch umzusetzen, um die Schwierigkeit der Realisierbarkeit festzustellen.

#### *4.4.3 Interviews*

Interviews stellen die Befragung der Stakeholder dar und sind sowohl in strukturierter Form, mit einer vorbereiteten Liste von Fragen, als auch unstrukturiert möglich. Vorteil der strukturierten

rierten Form ist das systematische Vorgehen über die Stakeholder hinweg, allerdings werden dadurch möglicherweise einige Themen übersehen [76].

Eine Kombination der beiden Varianten stellen semistrukturierte Interviews dar, bei denen es eine Art von „roten Faden“ vorher festgelegter Fragen gibt, der Gesprächsfluss aber weitgehend natürlich bleibt [77].

## 5 Umsetzung

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Grundlagen zu Anforderungsanalyse und Usability werden nun für die Problemstellung dieser Diplomarbeit angepasst. Neben diesem Kontext wird die Methodik erklärt, mit welcher die Anforderungen gewonnen werden und der Prototyp erstellt wird.

### 5.1 Scope

Anforderungen stellen immer einen Kompromiss zwischen Funktionalität und vorhandenen Ressourcen dar:

„It is not a requirement, if you can't afford it.“ [78]

Folgende Ziele der Anforderungsanalyse stehen zueinander in wechselseitigem Konflikt [79]:

- die Vollständigkeit der Anforderungen
- das genaue Verstehen der Benutzer-Anforderungen und deren Zusammenhänge
- die Spezifikation, wie diese Anforderungen im Design umgesetzt werden
- das Vollenden der Anforderungsanalyse mittels beschränkter Ressourcen an Zeit und Geld

Es ist nur eine Annäherung an die Perfektion möglich; Projektziel dieser Diplomarbeit ist die experimentelle Evaluierung der Technologien und des Anwendungsfalls. Es wird eine möglichst hohe Abdeckung der von den Stakeholdern gewonnenen Anforderungen angestrebt.

Eine „überzeichnete“ Präsentation ist im Zuge der Kriterien von Serious Games (*siehe Tabelle 2*) zu vermeiden. Die Gewährleistung der korrekten Ausführung von Übungen muss gegenüber einer unterhaltsamen Umsetzung abgewogen werden.

## 5.2 Stakeholder

Für die Durchführung von User Centered Design mussten zunächst Stakeholder bzw. Experten gewonnen werden. Ihr Anforderungsprofil ergibt sich aus der aus Literatur gewonnenen Erkenntnisse über den Ablauf des Therapieprozesses (*siehe Abschnitt 2.2.1*) und enthält die folgenden zwei Eckpunkte:

- abgeschlossene Ausbildung zur Ergo- oder PhysiotherapeutIn [16]
- praktische therapeutische Erfahrung in einer Therapieeinrichtung oder im Zuge freiberuflicher Tätigkeit

Die Rekrutierung erfolgte über Stellenanzeigen, direkten Kontakt mit Ausbildungseinrichtungen und Berufsverbänden, Postings in Alumniforen und über den Bekanntenkreis des Autors. Alle für die Diplomarbeit befragten Experten wirkten auf freiwilliger Basis und unentgeltlich mit.

Insgesamt konnten acht PhysiotherapeutInnen und zwei Ergotherapeutinnen als Experten für diese Diplomarbeit gewonnen werden (*siehe Tabelle 7*). Aus Termingründen war es nicht möglich, jede Phase der Anforderungsanalyse mit allen Therapeuten zu durchlaufen. Drei Expertinnen nahmen an einem initialen Brainstorming teil, um das grundlegende Konzept zu erarbeiten. Zusätzlich stand während des gesamten Verlaufs eine Ergotherapeutin mit beruflichem Fokus auf Handgelenkrehabilitation zur Verfügung, um Fragen über den therapeutisch-fachlichen Kontext zu beantworten.

Name	Geschlecht	Alter	Ausbildung	Brainstorming	# Interviews
D	♀	32	Physiotherapeutin	ja	3
Y	♀	25	Ergotherapeutin	ja	4
G	♀	43	Physiotherapeutin	ja	2
J	♀	22	Physiotherapeutin	nein	1
T	♀	26	Ergotherapeutin	nein	1
M	♂	35	Physiotherapeut	nein	1
BI	♀	25	Physiotherapeutin	nein	1
BX	♀	24	Physiotherapeutin	nein	1
N	♀	32	Physiotherapeutin	nein	1
W	♂	46	Physiotherapeut	nein	1

**Tabelle 7: Informationen zu den Experten**

Die Experten brachten die Kompetenz ihrer Ausbildungen und in der Praxis gewonnene Erfahrung mit ein und ermöglichten so eine realitätsnahe Entwicklung. Ihre Expertise diente sowohl der Anforderungsanalyse als auch der Evaluierung der identifizierten Anforderungen.

### 5.3 Aspekte der Usability

Die speziellen Anforderungen von Usability bzw. User Centered Design im Zuge von Spielen (siehe Abschnitt 36), wurden beim Design der Applikation berücksichtigt.

Für die abseits von der spielerischen Umsetzung relevanten User Interface Design Entscheidungen wurde Anleihe an den Designprinzipien der verwendeten Android Plattform genommen [80]. Auf ihr aufbauend wurden auch andere Android Anwendungen entwickelt, wodurch vor allem eine gute Abdeckung des Usability Kriteriums *Einprägsamkeit* gewährleistet wird.

### 5.4 Beschreibung des UCD-Prozesses

Die Phasen des in Kapitel 4.3.1 vorgestellten User Centered Design Prozesses werden für die eigenen Problemstellung implementiert. Wie in diesem Konzept vorgeschlagen [81], legt diese Arbeit einen frühen Fokus auf die Anforderungen der Benutzer bzw. Experten des Systems, und durchläuft dabei iterativ mehrere Phasen (siehe Abbildung 14):

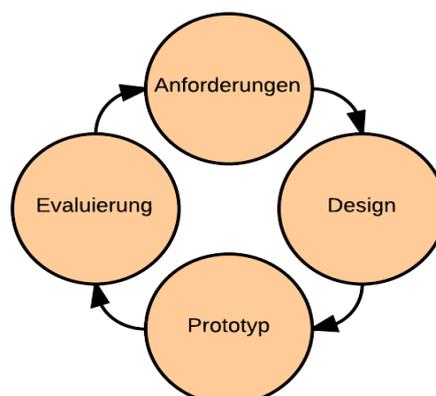


Abbildung 14: User Centered Design Prozess [67]

### **1. Anforderungen**

Die in der Literatur identifizierten Konzepte der State of the Art, liefern zusammen mit den im initialen Brainstorming erhaltenen Ideen das Fundament der Anforderungen. Aufbauend darauf werden in den Interviews mit den Experten konkrete Anforderungen erstellt, verfeinert oder verworfen.

### **2. Design**

Im Designprozess wird die Implementierung der Anforderungen geplant; dabei handelt es sich insbesondere in Hinblick auf die Spielgestaltung um einen kreativen Prozess. Wichtig hierbei ist die Expertise der Therapeuten, welche ihr Wissen um die richtige Ausführung der Heimübungen mit einbringen.

### **3. Prototyp**

Zu Beginn der Phase werden die Konzepte noch mittels Prototypen und Skizzen am Papier festgehalten und dadurch den Experten kommuniziert. Es wird so schnell wie möglich ein lauffähiger Prototyp erstellt, der exemplarisch einige Anforderungen umsetzt und mit jeder Iteration verbessert wird. Beginnend mit Skizzen werden in späteren Iterationen Prototypen mit zunehmender Funktionalität präsentiert.

### **4. Evaluierung**

Viele Probleme werden erst durch die Verwendung der Benutzer in vollem Ausmaß sichtbar. Aus diesem Grund evaluieren die Experten den Prototypen und geben Feedback zu dessen Verbesserung. Die Erkenntnisse dieser Phase fließen in die nächste Iteration mit ein.

## **5.5 Interviews**

Die Interviews mit den Experten fanden in Form persönlicher Treffen statt, welche zwischen ein und zwei Stunden dauerten. Bis auf zwei Ausnahmen, bei denen Therapeutinnen jeweils eine Kollegin mitnahmen, fanden diese unter vier Augen statt.

Zu Beginn der Interviews wurde die eigene Person vorgestellt, die Thematik erklärt und die Einverständnis zur elektronischen Aufzeichnung des Gesprächs eingeholt, welche ab diesem Zeitpunkt erfolgte. Die ersten Fragen an die Experten richteten sich an die Person, deren (Zusatz-) Ausbildungen und ihren beruflichen Werdegang.

Es wurde nach Problemen und Verbesserungsmöglichkeiten der Therapie gefragt und welche Anforderungen eine Applikation erfüllen müsste, um diesen Ablauf zu verbessern. Dabei

wurde darauf geachtet die Experten ins Detail gehen zu lassen, damit ein natürlicher Gesprächsfluss entstehen kann, anstatt eine fixe Liste vorgefertigter Fragen abzuarbeiten [82].

Die Experten gaben ihr Feedback zum jeweils aktuellen Stand des Prototypen ab, indem sie ihn testeten und ihre Expertise insbesondere in Bezug auf die korrekte Haltung und Bewegung des Geräts während der Übungen einbringen konnten. Auch ihre Meinung zu den (noch) nicht im Prototypen implementierten aber schriftlich festgehaltenen Anforderungen wurde eingeholt, weswegen das Interview als semistrukturiert klassifiziert werden kann [77]. Die Reihenfolge der Fragen erfolgte zufällig, da dies erwiesenermaßen keinen Einfluss auf die Ergebnisse hat [83].

Während der Interviews wurden, neben der Tonbandaufzeichnung vom Autor, auch Notizen gemacht, welche von den Therapeuten zur besseren Erklärung ihrer Ideen ergänzt wurden. Das Interview wurde formell mit dem Abschalten der Aufzeichnung beendet, woraufhin noch etwas Small Talk betrieben wurde. Wie in der Literatur angemerkt [82], konnte in der Praxis festgestellt werden, dass die befragten Personen in diesem informellen Rahmen noch Ideen hatten, welche als Notiz festgehalten wurden.

## 5.6 Rapid Prototyping

Durch den experimentellen Charakter der zu entwickelten Applikation, mit der einhergehenden Unsicherheit der technischen Umsetzung, wurde angestrebt, möglichst schnell lauffähige Prototypen zur Verifizierung der Umsetzbarkeit zu erstellen (*siehe Abschnitt 4.4.2 Rapid Prototyping*). Zunächst mussten allerdings einige Attrappen aus Papier erstellt werden – es handelte sich hierbei um *Paper Prototyping*, im Sinne von User Centered Design.

Diese frühe Veranschaulichung war wichtig, da viele Benutzer erst dann wissen was sie wollen, wenn sie es sehen - „*I know it, when I see it*“ [78]. Literatur über Game Design, Gamification und Serious Games diente dem Autor dieser Arbeit als Fundament für die Entwicklung der Applikation. In wiefern die Anforderungen der Therapeuten umgesetzt werden konnten bzw. wie spielerisch die Umsetzung realisierbar war ergab sich aus der Kombination der Anforderungen und der Leistungsfähigkeit der verwendeten mobilen Plattform.

Es ist sehr riskant, das exakte Layout der Grafischen Benutzeroberfläche (GUI) zu früh exakt zu definieren; etwaige Änderungen können sehr zeitaufwendig sein, weshalb schon möglichst

rasch der Prototyp als „lebende“ Spezifikation verwendet werden sollte. Änderungen erfolgen somit innerhalb der verwendeten Beschreibungssprache für das GUI [78].

Die den Experten in dieser frühen Phase gezeigten Mock-ups sind nicht als Spezifikation für das User-Interface gedacht. Sie dienen vor allem der Veranschaulichung und Evaluierung der verwendeten Konzepte und deren resultierenden Anforderungen.

## 6 Ergebnisse

Dieses Kapitel fasst zunächst die Erkenntnisse der Literaturrecherche zusammen, liefert Informationen zu den Therapeuten und erklärt, wie in einem Brainstorming mit den Experten die Brücke von den Konzepten in der Literatur zur Praxis geschlagen wurde. Darauf folgt eine Beschreibung der Architektur des Prototypen und der Iterationen des User Centered Design Prozesses. Die letzten zwei Abschnitte geben einen Überblick über die verworfenen und umgesetzten Anforderungen.

### 6.1 Ergebnisse der Literaturrecherche

Die Literaturrecherche hat gezeigt, dass das zentrale Problem bei der Durchführung von Heimübungen, unabhängig von der therapierten Körperregion, mangelnde *Compliance* darstellt, welche direkt durch die Motivation der Patienten beeinflusst wird [1]. Positives Feedback bzw. die (Visualisierung) des Therapiefortschritts wirken sich wiederum positiv auf die Motivation der Patienten aus [9]. Diese Zusammenhänge wurden vereinfacht in *Abbildung 15* dargestellt; die drei genannten Faktoren beeinflussen jeweils einen anderen.



*Abbildung 15: Zusammenhänge zwischen Motivation, Compliance und dem Therapieerfolg.*

Motivation unabhängig vom jeweiligen Einsatzszenario zu steigern ist das primäre Ziel von Serious Games bzw. Gamification. Zur Steigerung der Motivation bei der Durchführung von Heimübungen im Zuge der Physiotherapie wurden bereits folgende Konzepte untersucht [9]:

- Motivation durch Verstehen
- Motivation durch Unterhaltung
- Motivation durch Resultate
- Motivation durch Terminplanung
- Motivation durch Unterstützung
- Motivation durch Angehörige

Diese Konzepte werden auch für den User Centered Design Prozess dieser Diplomarbeit verwendet, und durch die im selben Paper vorgeschlagenen Änderungen verbessert [9]. Insbesondere dem Feedback der befragten Patienten, dass die Übungen trotz unterhaltsamer Präsentation anstrengend seien und der Fortschritt die beste Belohnung sei, soll durch eine Abbildung der Fähigkeiten bzw. des Therapiefortschritts des Patienten in die Spielmechanik Rechnung getragen werden.

Neben dem Unterhaltungswert von Spielen liefert der Umstand, dass Übungen der Handtherapie oft in Metaphern wie „Scheibenwischen“ unterteilt werden [2], ein weiteres Argument für die spielerische Umsetzung, welche sich diese Möglichkeit zur Transformation zunutze machen kann.

Bewegungen des menschlichen Handgelenks werden in drei *Bewegungsrichtungen* eingeteilt, welche durch die Heimübungen im Zuge der Handrehabilitation, je nach Einschränkung der Patienten, ausgeführt werden sollen [2]:

1. Ulnare Deviation / Radiale Deviation
2. Extension / Flexion
3. Pronation / Supination

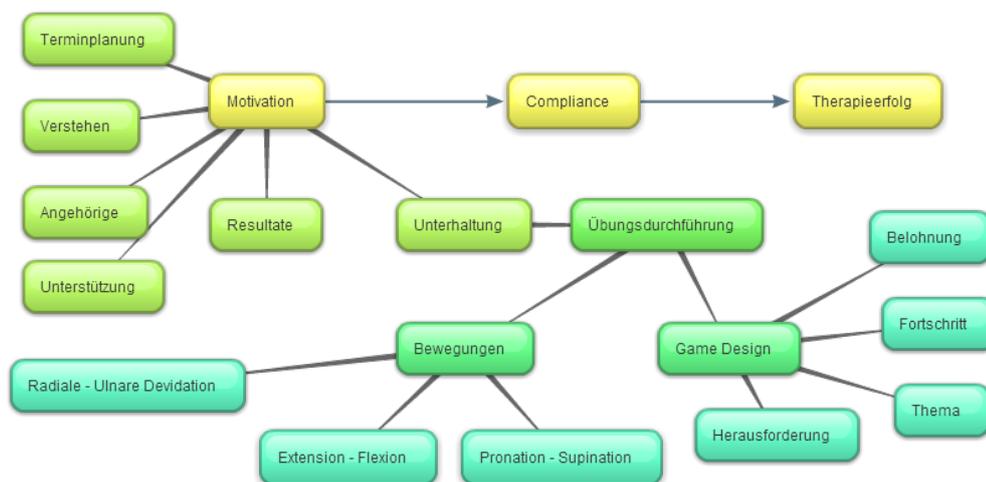
Literatur zur State of the Art der Serious Games gibt Aufschluss über grundlegende Anforderungen an das Genre. So wird herausgestrichen, dass die Repräsentation zweitrangig gegenüber der korrekten Abdeckung des (ernsten) Spielziels ist [8].

Als Unterhaltung dient in der Konzeption der eigenen Arbeit vor allem die unmittelbare Übungsdurchführung, welche die drei vorgestellten Bewegungsachsen abdecken soll und dabei den Versuch unternimmt, sie mit folgenden Elementen von Gamification [53] spielerischer zu gestalten:

- Herausforderung
- Thematik

- Belohnung
- Fortschritt

Die Erkenntnisse der Literaturrecherche wurden zu einem Konzept verwoben, welches als Basis der mit den Experten zu entwickelnden Applikation dient. Als Technik zur visuellen Darstellung des Themengebiets und wurde eine Mind-Map [84] erstellt, siehe *Abbildung 16*.



*Abbildung 16: Ergebnisse der Literaturrecherche*

## 6.2 Brainstorming

Ziel des Brainstormings ist es, die Ergebnisse der Literaturrecherche mit den Erfahrungen in der Praxis der Therapie zu verknüpfen, um eine Entscheidungsgrundlage für die weitere Vorgehensweise zu erhalten. Dazu wurden zwei Physiotherapeutinnen und eine Ergotherapeutin mit jahrelanger Berufserfahrung zu unterschiedlichen Zeitpunkten informell in kurzen Treffen oder telefonisch befragt.

Der in der Literatur beschriebene Prozess des Brainstormings [70] schlägt hierzu gemeinsame, interaktive Treffen vor. Da dies aus Termingründen nicht möglich war, wurde darauf geachtet, die geäußerten Ideen von Treffen zu Treffen zu transportieren, um eine möglichst breite Diskussionsgrundlage zu erhalten. Es wurden Einblicke in den Alltag der Therapie, insbesondere über deren Ablauf und Probleme in der Praxis gewährt. Die Experten waren grundsätzlich alle neugierig, welche Möglichkeiten sich durch die Entwicklung eines Spiels bieten

würden. Geäußerte Ideen über mögliche Anwendungsbereiche wurden nicht eingeschränkt, sondern frei diskutiert.

Bestätigt wurde der in der Literatur als wichtig beschriebene Faktor der *Motivation*. Der Therapiefortschritt hängt massiv von der regelmäßigen Ausführung der Übungen ab; werden diese nicht regelmäßig ausgeführt, stellt sich auch bei den Therapeutinnen ein Gefühl der Frustration ein. Sie haben kaum Kontrolle, den Patienten zu mehr Engagement zu bewegen. Aussagen der Patienten, wie „Ja, ich habe jeden Tag fleißig geübt“ sind häufig. So kann bei stockendem Therapiefortschritt nicht mit festgestellt werden, ob der Patient untätig war, oder der Therapieplan ineffektiv ist und somit einer Überarbeitung bedarf.

Ein sehr starker Faktor für eine positive Compliance ist der Ausblick auf einen konkreten Therapiefortschritt. So berichten die Therapeuten über einen stark gesteigerten Fleiß der Patienten, wenn ihnen in Aussicht gestellt wird, dass sie eine Operation durch die regelmäßige und korrekte Ausführung der Übungen vermeiden können. Auch diese Aussagen decken sich mit den Untersuchungen in der Literatur [1].

Um die Patienten zum gewünschten Verhalten zu bewegen bzw. ihre Motivation zur häufigeren Übungsausführung zu steigern, standen einige Vorschläge im Raum. Es wurden klassische Elemente von Gamification, wie das Erhalten von Trophäen, eben so diskutiert, wie radikale Methoden der Einschränkung. So stand der Vorschlag im Raum, man könne andere Funktionen des Smartphones so lange sperren, bis die Übungen erledigt seien. Erklärungen über Hintergründe der Therapie könnten die Patienten durch Einsicht zu mehr Engagement überzeugen.

Ein Therapiekalender könne hilfreich sein, um die Therapie besser mit dem Alltag der Patienten zu verbinden. Dies ist sowohl durch eine Erinnerung an die Übungszeitpunkte an sich, als auch durch eine Planung der Termine mit Therapeuten und Ärzten möglich.

Bei der Ausführung der Übungen sei die Geschwindigkeit der Bewegungen von untergeordneter Rolle; Auslenkung, Genauigkeit und Anzahl der Wiederholungen sei meist wichtiger. Je nach Heilungsfortschritt und Art der Verletzungen können diese Variablen von unterschiedlicher Bedeutung sein.

Um den kreativen Prozess des Brainstormings zu unterstützen und die dabei gewonnenen Ideen zu ordnen und zu kommunizieren wurde eine MindMap [84] erstellt (*siehe Anhang A*). Sie

dient als Grundlage für die spätere Durchführung der Interviews und setzt die vom Brainstorming gewonnenen Ideen und Konzepte zueinander in Beziehung.

## 6.3 Architektur

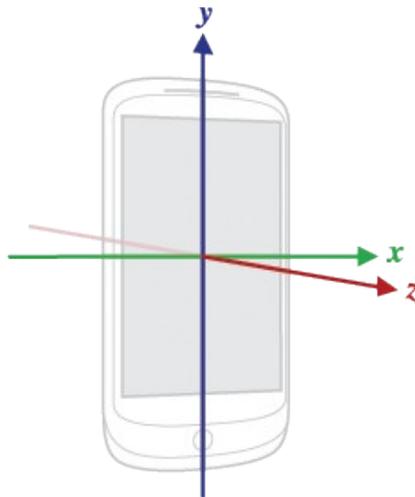
Dieser Abschnitt beschreibt die für die Entwicklung des Prototypen verwendeten Technologien und die daraus entstandene Architektur.

### 6.3.1 Android

Im dritten Quartal 2013 wurden 81% aller weltweiten Smartphones mit dem Android-Betriebssystem ausgeliefert [85], dessen Programmierschnittstellen in der ebenfalls weit verbreiteten Java Programmiersprache geschrieben, quelloffen und gut dokumentiert sind. Die gute Verfügbarkeit, hohe Verbreitung und durch Java zu erwartende flache Lernkurve bei der Implementierung, führten zur Wahl von Android zur Implementierung des Prototypen. Eine detaillierte Übersicht der in Android enthaltenen Technologien befindet sich in *Anhang C*.

Android Smartphones besitzen eine Vielzahl verschiedener Sensoren, deren Integration je nach Modell und Softwareversion abweicht und für mehrere Einsatzmöglichkeiten verwendet werden kann. Als Beispiel sei der Trend genannt, bei neueren Modellen einen Barometer-Sensor zu integrieren, um den Luftdruck und somit die Höhe der momentanen Position zu messen; dadurch kann eine schnellere Ortsbestimmung in Verbindung mit GPS-Signalen ermöglicht werden. Der Prototyp des Serious Game wurde für ein LG Nexus 5 Smartphone entwickelt, auf der die Version 4.4.2 von Android lief.

Die Android Programmierschnittstelle unterscheidet Basissensoren, welche direkt bestimmten Sensoren zugeordnet sind, und gemischten Sensoren, deren Daten aus ein oder mehreren Basissensoren errechnet werden [86]. Um die Lage des Smartphones bei der Durchführung der Übungen richtig zu bestimmen, wurde ein Rotationsvektor verwendet, welcher die Position des Geräts im Raum über drei Vektoren darstellt (*siehe Abbildung 17*).



**Abbildung 17: Das von der API verwendete Koordinatensystem relativ zum Gerät [96]**

Die Vektoren werden aus den Werten mehrerer Basissensoren, wie der Messung der Beschleunigung (Beschleunigungssensor), der Rotationsgeschwindigkeit (Gyroskop) und des Erdmagnetfelds (Magnetometer), berechnet. Diese drei Sensoren sind in den meisten Android Geräten vorhanden und eröffnen der Applikation somit eine große Zielgruppe.

Programmabschnitte werden in Android, unter anderem zur besseren Wiederverwendbarkeit, in sogenannte *Activities* unterteilt. Sie stellen das Herzstück einer Applikation dar und folgen einem klar definierten Lebenszyklus, siehe *Abbildung 18*. Eigene Implementierungen leiten von der Klasse *Activity* ab, und können das Verhalten innerhalb des Lebenszyklus gestalten, indem sie die vererbten Methoden überschreiben.

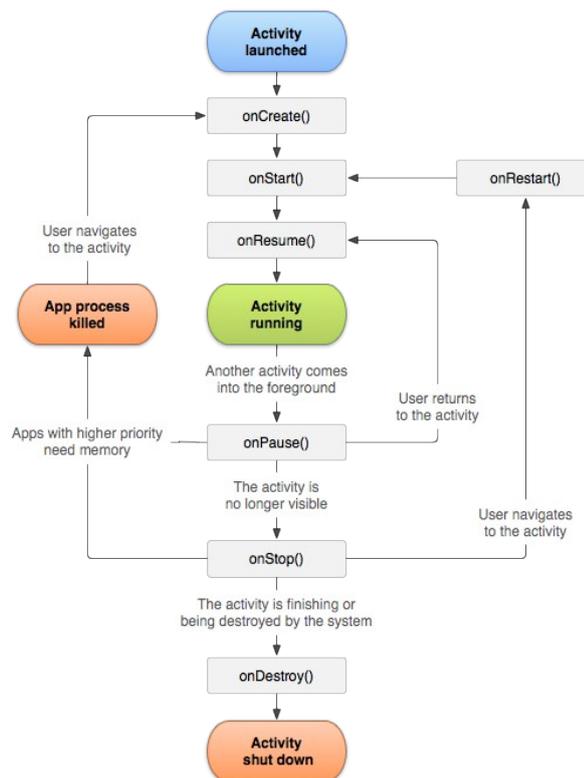


Abbildung 18: Android Activity Lebenszyklus [94]

Zur einfachen Speicherung von Schlüssel-Wertepaaren liefert Android die *Preferences* Schnittstelle mit. Sie diente im Prototypen zur Speicherung getätigter Einstellungen, wie dem Schwierigkeitsgrad oder dem Freischalten verschiedener Level. Komplexere Datenstrukturen wie Punkteanzahl und Bewegungsmuster wurden mittels der ebenfalls in Android enthaltenen SQLite Datenbank gespeichert.

### 6.3.2 AndEngine

Spiel-Engines abstrahieren und kapseln häufig in Spielen verwendete Funktionen wie Grafikbeschleunigung und Soundsysteme. Sie ermöglichen es dem Entwickler mehr Zeit mit der eigentlichen Implementierung des Spiels zu verbringen. Durch den explorativen Charakter des in dieser Diplomarbeit entwickelten Prototypen, war es notwendig rasch Resultate zu erhalten, um Feedback von den Experten einholen zu können.

Zur Implementierung des Prototypen wurde die von Nicolas Gramlich entwickelte und quelloffene Spiel-Engine *AndEngine* [87] verwendet. Sie bringt neben der performanten Verwal-

tung von Pixelgrafiken (engl. Bitmaps), eine leistungsfähige Physik-Engine mit, durch die Objekte im Spiel physikalisch korrektes Verhalten simulieren können.

Aus Entwicklersicht erweitert AndEngine die oben vorgestellten Activities um häufig für Spiele benötigte Funktionen. Sichtbare Bildschirminhalte werden wiederum in *Scenes* gekapselt, eine Activity enthält also mehrere Scenes. Zur besseren Veranschaulichung sei auf *Abbildung 19* verwiesen, welches einen Level zeigt, der als Scene implementiert wurde. Es handelt sich um eine Art Leinwand, das Koordinatensystem beginnt links unten bei null, seine Breite (x) und Höhe (y) beträgt 800 bzw. 480 Pixel. Zur Anzeige des Punktestand wird ein Head-up-Display eingeblendet. Alle Objekte, wie das HUD, der türkise Rand, die Sterne und die Spielfigur („Pac-Man“) sind im programmatischen Sinne Kinder der dargestellten Scene.

Ein Beispiel wie durch Überschreiben der Methode „onCreate()“ die Scene befüllt wird, liegt als Auszug des Quelltextes in *Anhang D*.

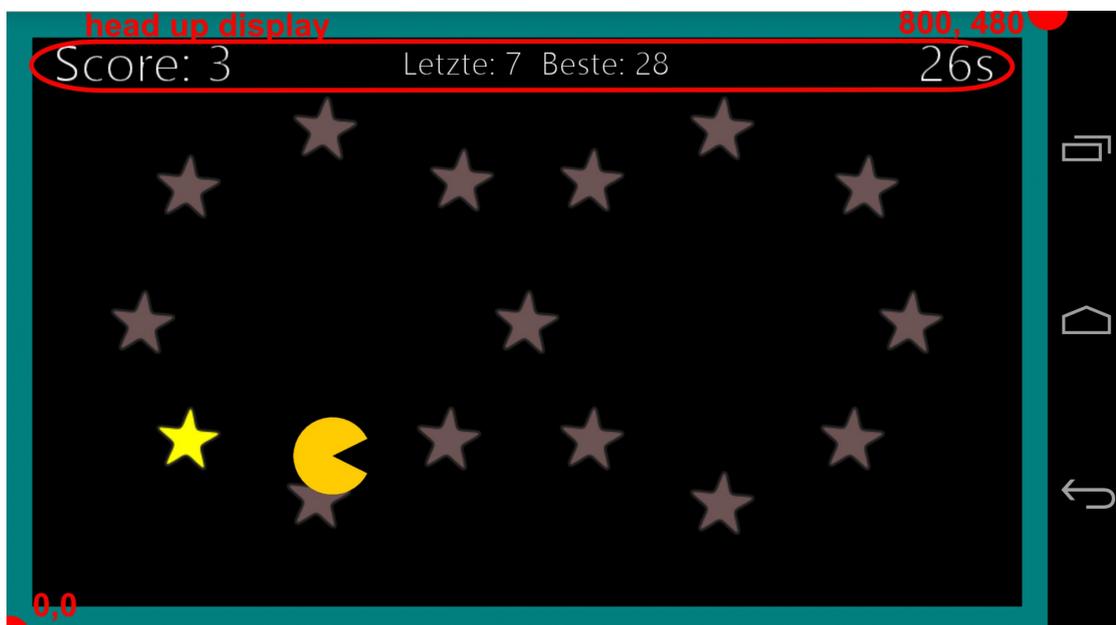


Abbildung 19: Scene eines Levels

## 6.4 Erste Iteration

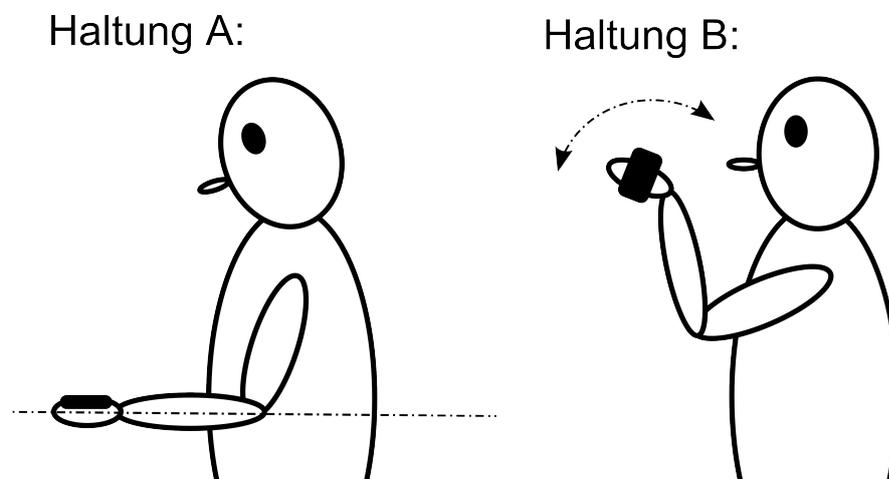
Die erste Iteration diente vor allem zur Konkretisierung der im Brainstorming kreierte Ideen und zur Evaluierung der technischen Umsetzbarkeit der direkten Übungsdurchführung mittels

der verwendeten Android Smartphone Plattform. Auch konnten wichtige Informationen über die richtige Haltung des Geräts bei der Übungsdurchführung gewonnen werden.

### 6.4.1 Haltung

Bevor mit der Erstellung eines Spielkonzeptes begonnen werden konnte, musste festgelegt werden, wie das Smartphone bei der Durchführung der Übungen zu halten sei. Handtherapie beschäftigt sich nicht nur mit der Therapie des Handgelenks, sondern schließt die Arme inklusive Schultern mit ein [2]. Diese Diplomarbeit setzt ihren Fokus exemplarisch auf das Handgelenk, weshalb Bewegungen in anderen Körperregionen während der Übung zu vermeiden sind.

Im Gespräch mit den Therapeuten wurden zwei verschiedene Haltungen für die Übungsdurchführungen konzipiert, *siehe Abbildung 20*. Für Übungen, welche durch den Bildschirm des Geräts visualisiert werden, sollte der Unterarm parallel zum Boden positioniert werden, indem er an einem Tisch oder auf dem Oberschenkel abgestützt wird. Eine weitere Möglichkeit zur Übungsdurchführung speziell für die Ulnar- und Radialdeviation ergibt sich, wenn das Gerät, ähnlich wie ein Glas beim Trinken oder eine Angelrute, seitlich vom Körper gehalten wird. Auch hier bleibt der Unterarm stabil und die Bewegung findet rein im Handgelenk statt.



**Abbildung 20:** Haltung A: Gerät liegt in der Handfläche, Handrücken zeigt nach oben, Unterarm bleibt stabil und parallel zum Boden. Haltung B: Unterarm bleibt stabil, Gerät wird in der Hand gehalten, das Display zeigt lateral, Bewegung der Hand ausschließlich in Radial- und Ulnardeviation.

Die Wahl dieser zwei Haltungen zur Übungsdurchführung hat auch praktische Gründe. In diesen Positionen ist die Gefahr gering, das Gerät fallen zu lassen und somit zu beschädigen. Befestigt man das Gerät mit Gummibändern oder gar einem Handschuh an der Hand, sind viele weitere Möglichkeiten zur Haltung möglich. Durch die unterschiedliche Positionierung des Geräts entsteht auch größere Dynamik bezüglich der trainierten Achsen. Legt man das Gerät nicht quer sondern hochkant in die Handfläche, so verändern sich die Bewegungsachsen bei gleichem Spielinhalt. Die Therapeuten wiesen darauf hin, dass diese Flexibilität vor allem bei stark in der Bewegung eingeschränkten Patienten von großem Nutzen sein kann. So könne ein Patient, der seine Hand nicht mehr in die Supination bekommt, durch Befestigung des Smartphones auf dem Handrücken dennoch die Möglichkeit bekommen, bei der Übungsdurchführung auf den Bildschirm zu blicken.

Bei der Verwendung des Geräts zu Übungszwecken ist zu beachten, dass die Bewegung nur aus dem Handgelenk kommt und möglichst wenig Bewegung in anderen Extremitäten statt findet. Um diese Haltung zu evaluieren, hielten die Therapeuten ein Smartphone in der Hand und versuchten, Bewegungen von Übungen nachzustellen, welche Patienten regelmäßig als Heimübungen verordnet bekommen.

Es lassen sich eine Vielzahl verschiedener Bewegungen ausführen, deren Schwierigkeitsgrad auch von der momentanen Positionierung der Hand abhängt. Es ist schwieriger, die ausgestreckten Finger zu bewegen, wenn die Hand in maximaler Flexion ist, als wenn diese entspannt zwischen den Extrema verweilt.

### 6.4.2 Bewegungen

In der Literatur finden sich, abhängig von Trainingszielen wie Kraftausdauer, Maximalkraft und Beweglichkeit, unterschiedliche Empfehlungen betreffend Dauer und Intensität des Trainings bzw. der Rehabilitation [88]. Die Interviews mit den Experten haben gezeigt, dass diese Intensität speziell an den Anwendungsfall angepasst werden muss. Üblich in der Praxis seien zwei bis vier mal wöchentlich stattfindende Sitzungen mit den Therapeuten, in deren Folge Heimübungen verordnet werden, welche mehrmals täglich ausgeführt werden sollen. Es konnten mit den Therapeuten folgende Parameter für die Übungsdurchführung identifiziert werden:

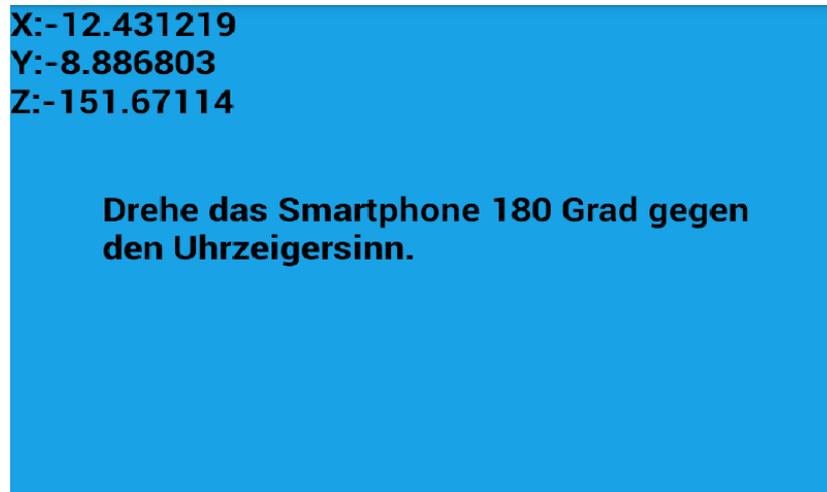
- **Reihenfolge**

Die Reihenfolge, in der die Übungen durchgeführt werden, ist unerheblich.

- **Beschleunigung**  
Die Beschleunigung stellt kein großes Verletzungsrisiko dar. Allerdings wird für eine effiziente Übungsdurchführung eine gleichmäßige Beschleunigung ohne Schwung empfohlen.
- **Kraft**  
Da keine Gewichte verwendet werden, wird nur mit der Schwerkraft bzw. der Trägheit gearbeitet. Die Verletzungsgefahr ist dadurch gering.
- **Wiederholungen**  
Die Anzahl der benötigten Wiederholungen hängt stark vom Zustand des Patienten ab und soll deshalb einstellbar sein. Im Groben scheinen pro Übung 20-30 Wiederholungen zu je zwei Sätzen bei mehrmaliger täglicher Ausführung realistisch.
- **Übungsdurchführung**  
Das Vermischen mehrerer Übungen ist möglich, muss aber bei der Messung des Fortschritts berücksichtigt werden. Es ist unerheblich, ob bei der Durchführung einer Übung der ganze Radius durchlaufen wird oder nur jeweils im Bereich der größten Auslenkung trainiert wird.

#### 6.4.3 Sensorgenauigkeit

Aus technischer Sicht war es wichtig, möglichst schnell Information über die Genauigkeit der verwendeten Smartphone-Sensoren zu bekommen. Um dies zu verifizieren, wurde ein Prototyp erstellt, der die Sensordaten aller drei möglichen Rotationsachsen des Testgeräts am Display ausgibt (*siehe Abbildung 21*).



*Abbildung 21: Screenshot eines frühen Prototypen, um die Genauigkeit der Sensoren der Testplattform zu evaluieren*

Da noch kein Konzept für eine spielerische Umsetzung bestand, war es das Ziel, einen Level zu entwickeln, der in vorher festgelegten Extremwerten der Auslenkung vibriert. Die Implementierung dieses Konzeptes war nur teilweise erfolgreich. Zwar konnten bei allen Achsen ungefähr der Winkel abgelesen werden, doch die Genauigkeit war vor allem bei den Extremwerten nahe 180 Grad Auslenkung zu ungenau.

## **6.5 Zweite Iteration**

Nachdem die Haltung des Geräts und die grundlegenden technischen Möglichkeiten eruiert worden waren, konnte mit der Entwicklung der spielerischen Umsetzung und Implementierung weiterer Anforderungen für den Prototypen begonnen werden.

### *6.5.1 Bewegungen der Übungen / Levels*

Essentiell für den Therapieerfolg ist die richtige Ausführung der Übungen bzw. der zugrunde liegenden Bewegungen. Wie in der Literatur festgehalten wurde [2], ergab auch die Befragung der Therapeuten, dass die Therapie sehr individuell an die Bedürfnisse des Patienten angepasst wird. Liegt die Verletzung oder die Operation des betroffenen Körperteils noch nicht

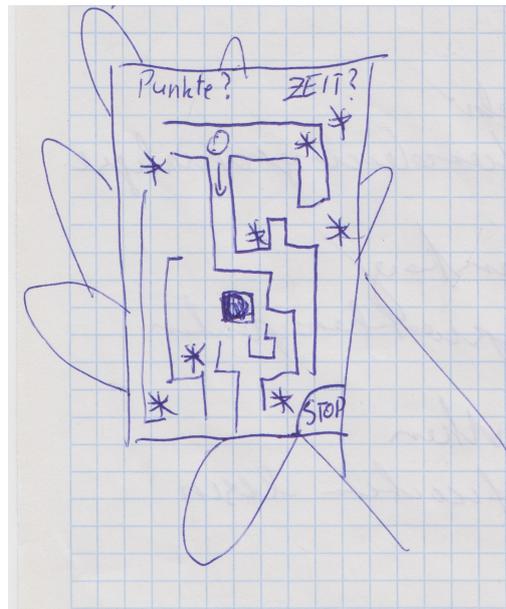
so lange zurück, findet zunächst eine Mobilisierung der betreffenden Region statt. Dabei wird ohne zusätzliche Gewichte trainiert, wodurch die Verletzungsgefahr verringert wird. Je nach Diagnose werden mit Fortschreiten der Therapie auch Gewichte zur Stärkung der betroffenen Muskulatur verwendet.

In Anlehnung an die im Spieldesign vorherrschende Taxonomie, werden einzelne im Serious Game umgesetzte Übungen im Folgenden auch als *Levels* [46] bezeichnet. Zur Konzeption der Levels werden Übungen der Therapie in Betracht gezogen, welche ohne zusätzliches Gewicht auskommen. Zum einen wird so der Vorteil geringerer Verletzungswahrscheinlichkeit ausgenutzt, zum anderen ermöglicht es die Levels ohne zusätzliche Ausrüstung ausführen zu können. Es ist allerdings durchaus möglich, das Smartphone mit einem Handschuh zu verbinden, welcher Gewichte enthält.

Fragen an die Therapeuten, mit welcher Geschwindigkeit die Übungen in der Praxis ausgeführt werden sollten, wurden unterschiedlich beantwortet. Ruckartige Bewegungen wurden von allen Experten als wenig zielführend erachtet. Die Bewegungen sollten bei gleichmäßiger Geschwindigkeit und sauber ausgeführt werden, allerdings müsse die Möglichkeit gegeben sein, Bewegungen, welche im Alltag schnell ausgeführt werden müssen, auch in der spielerischen Umsetzung in realitätsnaher Geschwindigkeit zu trainieren.

Die Auslenkung der Bewegungen bis zur ihren Extrema in den Range of Movement wurde von den Therapeuten als nicht so wichtig erachtet. Es sei durchaus möglich, die Beweglichkeit zu verbessern ohne in den extremen Bereichen der Range of Motion zu trainieren. Stattdessen könne man einen höheren Wert auf die Koordination bzw. auf die saubere Durchführung der Bewegungen legen; dies wäre nicht nur für Menschen mit kognitiven Einschränkungen, wie Patienten bei der Rehabilitation nach Schlaganfällen, sondern allgemein für die Wiederherstellung einer koordinierten Bewegung von Nutzen.

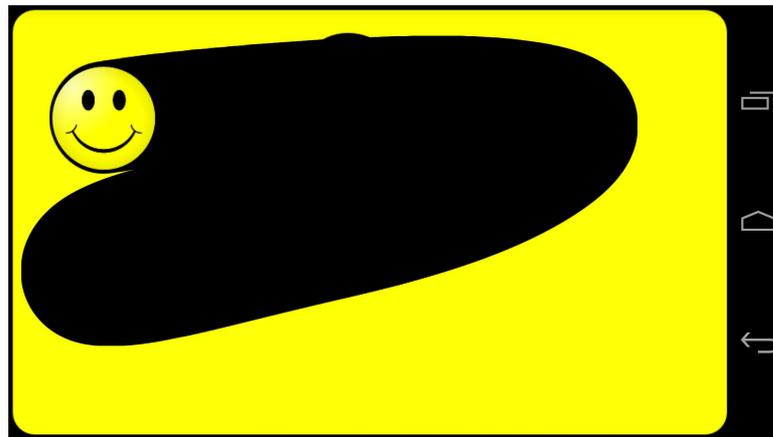
Das erste Konzept für eine spielerische Umsetzung einer Übung bestand aus einem Labyrinth. Der Benutzer soll durch Balancieren einer Kugel durch ein Labyrinth die Koordination des Handgelenks trainieren. Dabei ist eine Bewegung in alle Richtungen notwendig, insbesondere aber Pronation/Supination und Extension/Flexion (*siehe Abbildung 22*).



**Abbildung 22: Mock-up des Labyrinth-Levels, wie er mit den Therapeuten diskutiert wurde**

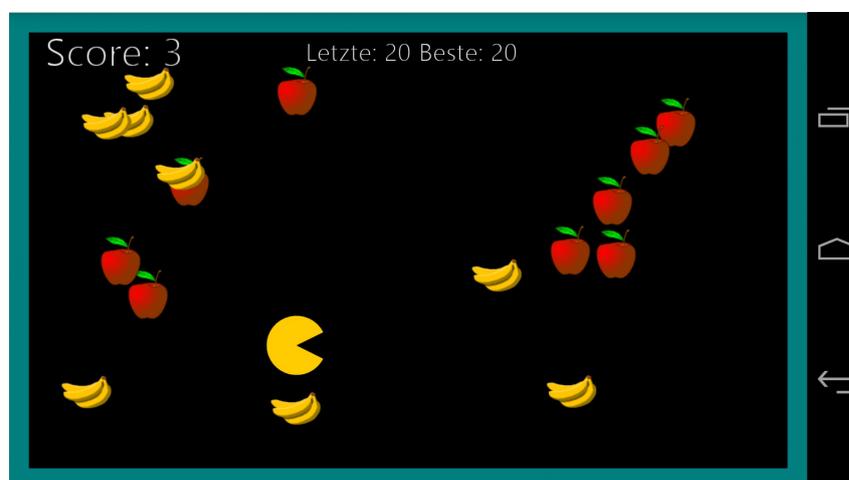
Wichtiges Element dieser Übung war die Simulation der Schwerkraft und das dadurch entstehende Balancieren in einer Ebene. Zur Umsetzung dieser Funktion wurde eine Game Engine verwendet, welche durch eine Physikerweiterung in der Lage ist, Objekte physikalisch korrekt in einem zweidimensionalen Raum abzubilden. Es abstrahiert die zugrunde liegenden Sensoren und bietet zahlreiche Möglichkeiten, Parameter wie Trägheit, Masse und Reibung einzustellen.

Die Funktion wurde durch den Prototypen eines ersten Spiels umgesetzt. Hierbei wird ein Radiergummi über einer Ebene balanciert – Ziel ist es, eine gelbe Fläche frei zu radieren, bis alles schwarz ist, *siehe Abbildung 23*.



*Abbildung 23: Prototyp des ersten Levels. Der als Smilie dargestellte „Radiergummi“ wird vom Spieler mittels leichter Bewegungen des Handgelenks über das Spielfeld balanciert. Ziel ist das „Wegradieren“ der gelben Fläche.*

Das „Radiergummi“-Level wurde wieder verworfen, da es schwer war, eine diskrete Punktzahl zu integrieren und die Bewegungen des Benutzers nicht durch das Level Design gesteuert werden konnte. Es wurde durch ein Level ersetzt, bei dem der Spieler Punkte in Form von Früchten, welche den gesundheitsfördernden Aspekt hervorheben sollen, einsammeln muss; siehe *Abbildung 24*. Als Spielfigur wurde der von dem japanischen Unterhaltungsunternehmen Namco 1980 entwickelte Pac-Man gewählt, der durch seine Popularität wie kaum eine andere Figur als Symbol für elektronische Videospiele steht.

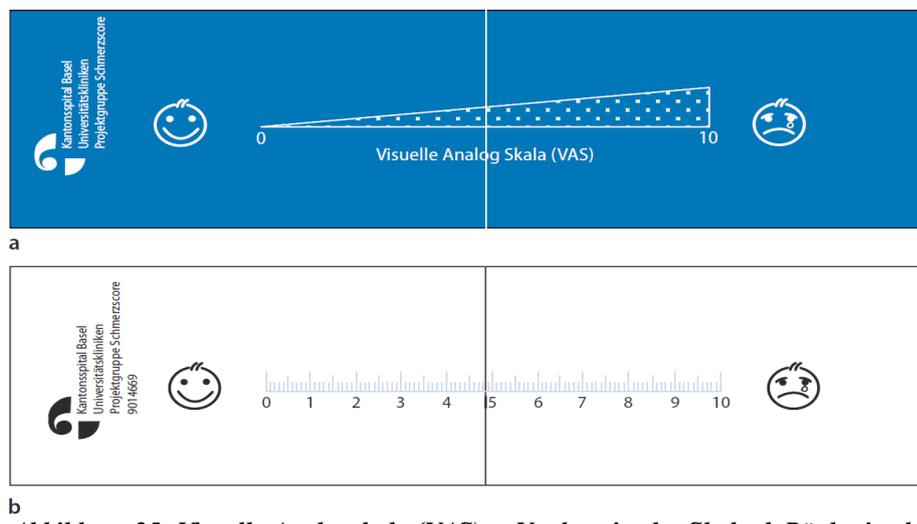


*Abbildung 24: Pac-Man Level zur Mobilisierung in Pronation/Supination und Extension/Flexion*

### 6.5.2 Schmerzskala

Sehr unterschiedliche Angaben kamen auf die Frage, wie auf Schmerzen reagiert werden soll, welche während der Übung auftreten. Manche Experten erachteten leichte Schmerzen als notwendiges Übel, das während der Therapie auftritt. Andere hatten dazu konträre Ansichten: „Ich trainiere ungern in den Schmerz hinein“.

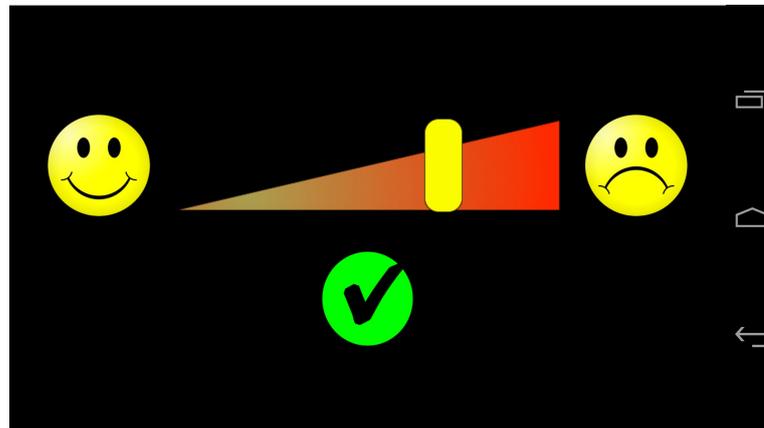
Allgemein von den Therapeuten als sinnvoll erachtet wurde die Aufzeichnung der Schmerzen nach den Übungen. Als eine Best Practice hat sich hierfür in der Literatur die Visuelle Analogskala bewährt [89]. Patienten erhalten hierbei einen Schieberegler, auf dem der empfundene Schmerz nach eigenem Empfinden auf einer analogen Skala zwischen schwach und stark eingestellt wird, die diskreten Werte auf der Rückseite aber nur für Therapeuten sichtbar sind (siehe Abbildung 25).



**Abbildung 25: Visuelle Analogskala (VAS). a Vorderseite der Skala, b Rückseite der Skala [2]**

Ebenso wie die Trainingsintensität bei den Schmerzen wurde auch die Verwendung der von der Visuellen Analogskala gewonnenen Daten diskutiert. Es wurde vorgeschlagen, den Benutzer zu warnen, wenn die vorgegebenen Werte sehr stark variieren. Zur besseren Einordnung wurde auch ein Kommentarfeld als Schmerztagebuch angeregt; war der Patient vorher physisch aktiv, ließen sich die Schmerzen eventuell relativieren. Gegenargument ist die Hemmschwelle am Smartphone einen Kommentar einzutippen, wenn der Benutzer ohnehin gerade Schmerzen im Handgelenk verspürt.

Am Ende der Übung wird der Patient gebeten, die Intensität der Schmerzen, sofern sie während der Übung auftraten, auf einer Visuellen Analogskala zu klassifizieren, welche mittels der Nachbildung eines Schiebereglers, in Analogie zur in der Literatur erwähnten Handhabung, implementiert wurde, *siehe Abbildung 26*.



*Abbildung 26: Eigens implementierte Visuelle Analogskala*

### 6.5.3 Terminplanung

Ein zentrales Design-Ziel bei der Entwicklung des Serious Game ist, die Übungen überall ausführen zu können und somit die Hemmschwelle der Übungen zu senken. Die Integration in den Alltag kann durch Planung der Übungen erleichtert werden; in der Literatur wurde dieses Konzept als „Motivation durch Planung“ [9] beschrieben.

Die Integration der Planung in einen Kalender wurde mit allen Experten diskutiert und als sinnvoll erachtet. Denkbar ist sowohl die Planung der Heimübungen durch Erinnerungen als auch eine eventuell später mögliche Verknüpfung mit Informationssystemen, die der Planung von Terminen mit Therapeuten und Arzt dienen. Die Alarme sollten selbst gewählt und optional sein und dürfen den Patienten nicht „nerven“.

Die Anforderung zur Terminverwaltung wurde umgesetzt, indem die vom Benutzer im Android System als Standard definierte Applikation geöffnet wird. Der Vorteil dieses Vorgehens besteht darin, dass der Benutzer die Termine gleich in seiner bevorzugten Applikation hat, sich also nicht in eine neue Anwendung einarbeiten oder mehrere Kalender pflegen muss.

### 6.5.4 Information

Übungen können den Patienten kontraproduktiv erscheinen, insbesondere, wenn sie ihnen Schmerzen bereiten und der Zweck der Übung nicht verstanden wird [1]. In der Praxis der Therapie werden die Übungen den Patienten erklärt und sporadisch Handouts verteilt. Da die Übungen individuell zusammengestellt werden, ist es für die Therapeuten mit zusätzlichem Aufwand verbunden, passendes Informationsmaterial zur Verfügung zu stellen. Jede Übung sollte sowohl in ihrer korrekten Ausübung als auch in ihrer Wirkung und ihrem Hintergrund beschrieben werden.

Bevor ein Level begonnen wird, erscheint eine dazu passende Ansicht, welche Informationen zur Übung bzw. des Levels bietet. Hier werden die Regeln des jeweiligen Levels, die richtige Haltung wie auch der Zweck der Übung beschrieben. Zusätzlich wird ein Hyperlink zu weiterführenden Hintergrundinformationen zur jeweiligen Übung gegeben, welche der Benutzer durch Verlassen der Applikation im jeweiligen Internetbrowser des Systems recherchieren kann, *siehe Abbildung 27*.

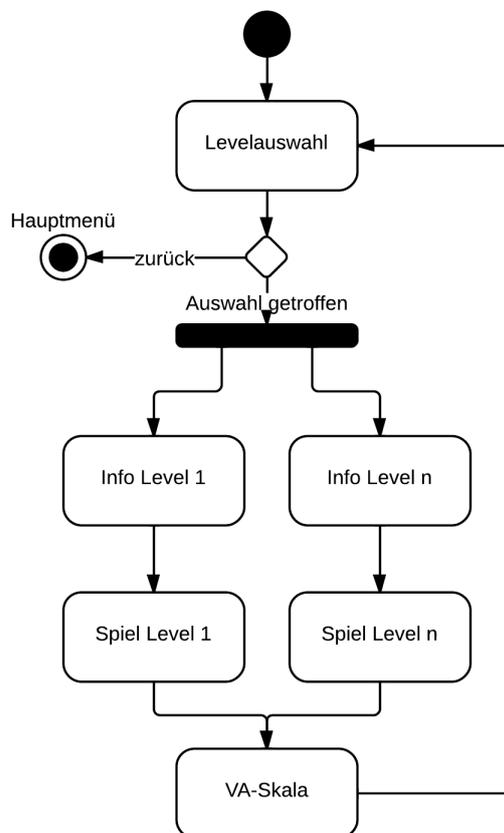


*Abbildung 27: Informationsbildschirm zu einer Übung bzw. eines Levels*

### 6.5.5 Übungsablauf

Einen wichtigen Anwendungsfall der Applikation stellt das Spielen der Levels bzw. das Durchführen der Übungen dar. Der Ablauf wurde so gestaltet, dass die Spieler nach Auswahl des jeweiligen Levels den im vorherigen Abschnitt erwähnten Informationsbildschirm angezeigt bekommen. Nachdem sie diesen gelesen haben, beginnt das eigentliche Spiel, auf das anschließend die Eingabe der Schmerzintensität folgt. Danach wird der Patient zurück zur

Auswahl der Levels weitergeleitet. *Abbildung 28* illustriert zusammenfassend den Ablauf der Übungen durch ein Ablaufdiagramm.



*Abbildung 28: Aktivitätsdiagramm zu den Übungen.*

## 6.6 Dritte Iteration

Hauptbestandteil der dritten Iteration war die Verbesserung der Spielmechanik sowie eine Evaluierung der restlichen Anforderungen, welche der Analyse und Anzeige des Therapiefortschritts dienen.

### 6.6.1 Adaptierung der Spielmechanik und Analysefunktion

Eine große Herausforderung bestand darin, das Therapieziel dahingehend in die Spiele einzubauen, dass sie die Patienten beim Spielen motivieren und der Verlauf der Punkteanzahl

analog zum Therapiefortschritt dargestellt wird. Einhellig als sinnvoll erachtet wurde eine saubere Ausführung der Bewegungen mit einer Aufzeichnung zur späteren Analyse der Therapeuten.

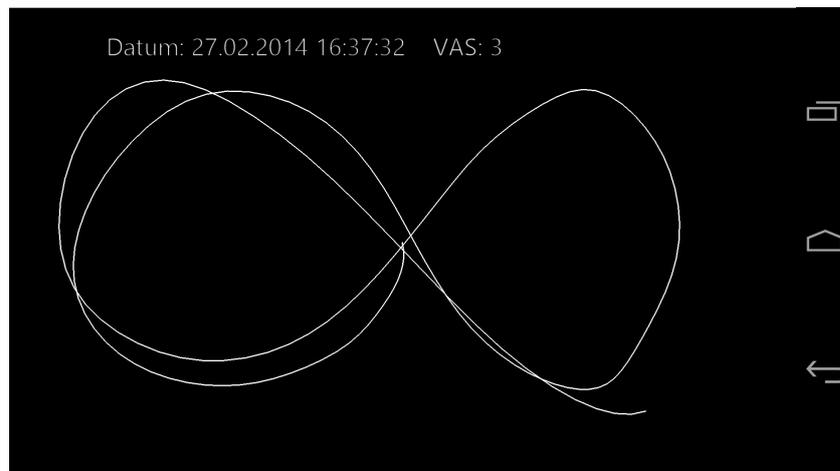
Eine häufige Übung zur Rehabilitation des Handgelenks ist das „Nachzeichnen“ eines gedachten Achters mit dem Handgelenk. Es findet dabei eine Bewegung in Pronation/Supination, Extension/Flexion sowie Radial- und Ulnardeviation statt. Diese Bewegung wurde als Level nachgebildet, bei dem der Patient der Reihe nach aufleuchtende Sterne einsammeln muss um Punkte zu erhalten, *siehe Abbildung 29*.



**Abbildung 29: "Sternlevel": Wird der leuchtende Stern gesammelt, so erhöht sich die Punktzahl und der nächste wird hervorgehoben und darf gesammelt werden.**

Als herausforderndes Spielelement steht der Spieler hierbei unter Zeitdruck; er muss die Bewegung aber so genau wie möglich ausführen, da ihm bei Wandberührungen Punkte abgezogen werden. Beim Testen dieses Levels wurde festgestellt, dass der Benutzer das Gerät beim Spielen intuitiv parallel zu seinem Sichtfeld hält, und somit nur eine bedingte Bewegung in Richtung Radial- und Ulnardeviation statt findet.

Der Patient sollte nicht nur implizit durch die erreichte Punktzahl Aufschluss über seinen Übungsfortschritt bekommen, auch die von einigen Therapeuten gewünschte Aufzeichnung der Übung konnte umgesetzt werden. Hierbei wird jede zehnte X- bzw. Y-Koordinate der Spielfigur aufgezeichnet, wodurch die Bewegung später durch verbinden dieser Punkte mit Linien wieder interpoliert und dargestellt werden kann, ersichtlich in *Abbildung 30*. Sowohl der Patient als auch der Therapeut haben so Kontrolle über die korrekte Ausführung der Übung, indem sie den Verlauf einsehen können.



**Abbildung 30: Analyse der Bewegungen einer Übung, versehen mit Datum und eingetragener Schmerzintensität**

Da im beschriebenen Szenario die Bewegung in Richtung Ulnar- und Radialdeviation gering bleibt, wurde ein eigener Level entworfen, welcher gezielt diese Richtung trainieren soll. Hierbei wurde das Konzept des ersten Prototypen wieder aufgegriffen, bei dem das Gerät wie eine Angelrute gehalten wird, bei maximaler Auslenkung vibriert, und somit die Bewegung in die entgegengesetzte Richtung forciert.

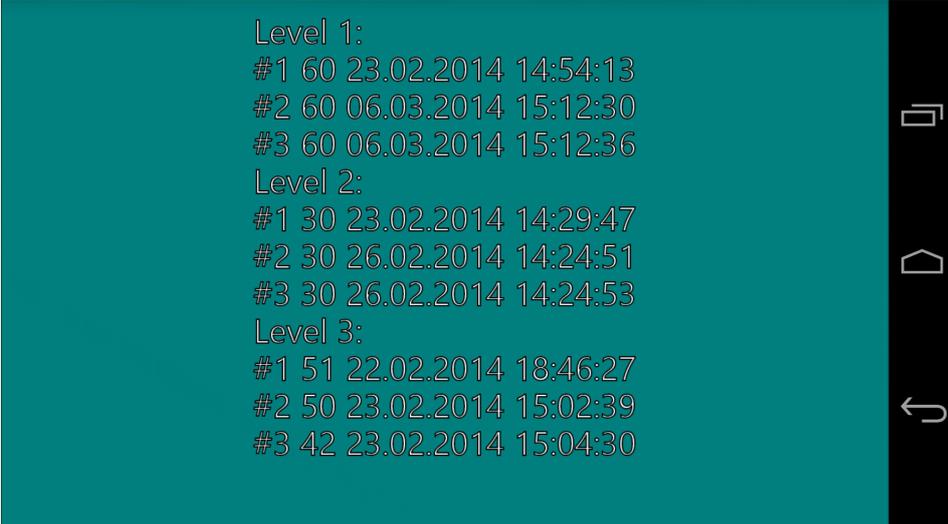
Die Genauigkeit der von der Sensorschnittstelle gelieferten Daten reicht nicht aus, um das maximale Range of Movement zuverlässig zu erkennen. Außerdem entsteht durch diese Vorgehensweise, sprich das exakte Messen der Winkel der Achsen, das Problem, dass das Gerät sehr genau im Raum gehalten werden muss, *siehe Abbildung 20*. Beide Probleme können dadurch umgangen werden, indem nicht die Auslenkung, sondern die Winkelgeschwindigkeit bzw. die Rotation des Geräts gemessen wird. Die Bewegung gilt als begonnen, wenn die Geschwindigkeit über einen in den Einstellungen festgelegten Wert steigt, und als beendet, wenn er unter diese Schwelle fällt. Daraufhin vibriert das Handy und der Patient muss das Handgelenk wieder in die entgegengesetzte Richtung bewegen.

Da für Android bereits einige Apps mit Winkelmesser verfügbar sind, ist anzunehmen, dass sich die Sensorgenauigkeit bei der Erkennung des korrekten Winkels des Smartphones im Raum durch andere Implementierungen verbessern lässt. Zur Umsetzung des beschriebenen Spielszenarios scheint dem Autor eine Kombination aus Winkelgeschwindigkeit (Beschleunigung) und Rotationsvektoren (Position) zur Erkennung der Bewegung als effektiv.

### 6.6.2 Highscore

Das Konzept einer öffentlichen Highscoreliste, wie sie in vielen anderen (reinen Unterhaltungs-) Spielen zur Anwendung kommt, wurde von den Therapeuten vehement abgelehnt. Dabei wurden nicht nur datenschutzrechtliche Gründe aufgeführt, sondern auch Bedenken, der Wettkampf könnte die Patienten veranlassen, zu viel zu üben, oder sie durch einen zu großen Abstand zum „Spitzenfeld“ zu demotivieren. Ein weiterer Grund warum die geteilte Bestenliste keinen Anklang bei den Experten fand, bestand schlicht in der Tatsache, dass die Patienten sehr unterschiedliche Diagnosen bzw. Ausgangsstellungen haben, deren Vergleich wenig sinnvoll sei.

Eine Fortschrittsanzeige im Prototypen liefert zum einen die Einblendung der letzten und besten Punkteanzahl während des Spiels, zum anderen eine private Highscoreliste [29], deren Implementierung in *Abbildung 31* dargestellt ist.



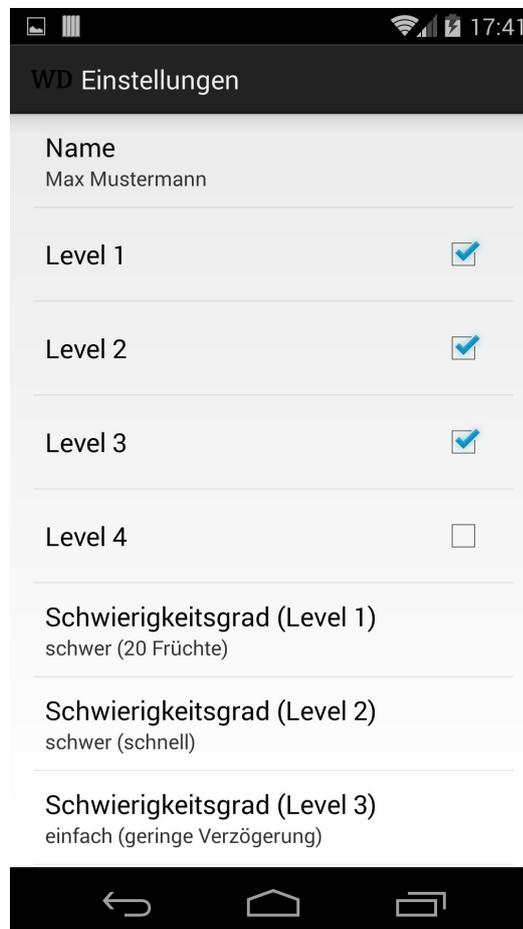
Level	Rang	Punkte	Datum	Zeit
Level 1:				
	#1	60	23.02.2014	14:54:13
	#2	60	06.03.2014	15:12:30
	#3	60	06.03.2014	15:12:36
Level 2:				
	#1	30	23.02.2014	14:29:47
	#2	30	26.02.2014	14:24:51
	#3	30	26.02.2014	14:24:53
Level 3:				
	#1	51	22.02.2014	18:46:27
	#2	50	23.02.2014	15:02:39
	#3	42	23.02.2014	15:04:30

*Abbildung 31: Die Highscoreliste zeigt Level-Nummer, Punkteanzahl und Datum*

### 6.6.3 Menüstruktur und Einstellungen

Gerade der erste Prototyp des „Sternlevels“ wurde von den Therapeuten als eine große Herausforderung für die Patienten erachtet. Um die Übungen besser auf die individuellen Bedürfnisse und Fähigkeiten der Patienten anpassen zu können bzw. fortgeschrittene Patienten nicht zu langweilen, lässt sich der Schwierigkeitsgrad pro Level einstellen. Hierbei können verschiedene Variablen, wie die Anzahl der einzusammelnden Elemente, die Schwerkraft der simulierten Objekte oder die nötige Beschleunigung für eine Bewegungserkennung, einge-

stellt werden, siehe *Abbildung 32*. Levels können je nach Eignung und Fortschritt des Patienten vom Therapeuten aktiviert werden, so erhält ein Patient der nur in der Pronation des Handgelenks eingeschränkt nur dazu passende Übungen zur Auswahl.



**Abbildung 32: Einstellungen: Stammdaten des Patienten, Freischalten von Levels und Variation der Schwierigkeitsgrade pro Level**

Die Funktionen des Prototypen sind auf einen Blick im Hauptmenü des Prototypen, wie er in *Abbildung 33* dargestellt wird, ersichtlich:

- Spielfunktion mit dem dafür konzipierten Workflow
- Kalender zum Planen von Terminen und Erinnerungsfunktion
- Einstellungen für die Therapeuten wie Schwierigkeitsgrad und Freischalten von Übungen
- Der Highscore zeigt die Bestmarken der jeweiligen Level an
- Die Analysefunktion erlaubt es die Qualität der in den Übungen aufgezeichneten Bewegungen zu beurteilen

Beim Design wurde darauf geachtet, dass die Tasten den verfügbaren Platz möglichst großzügig ausnutzen, um auch in ihrer Koordination eingeschränkten Benutzern die Bedienung zu erlauben.



*Abbildung 33: Hauptmenü des Prototypen, welches seine Funktionalität auf einen Blick offenbart*

## 6.7 Nicht umgesetzte Anforderungen

Dieser Abschnitt beschreibt zusätzliche, mit den Experten diskutierte Anforderungen, welche nicht im Prototypen implementiert wurden.

### 6.7.1 Übungen der Finger

Auch die Finger der Hand können Verletzungen erleiden, welche eine Therapie notwendig machen [2], weswegen von einigen befragten Experten eine gezielte Übung der Finger vorgeschlagen wurde. In der Praxis wird eine Übung durchgeführt, welche der Bewegung der Finger beim Tippen auf einer Schreibmaschine gleicht. Es wurde mit den Therapeuten ein Konzept der spielerischen Umsetzung diskutiert, bei welcher der Patient die Hand in leichter Extension über dem Gerät schweben lässt, und abwechselnd aufblinkende Kreis mit der Hand berühren muss um Punkte zu erlangen.

Die Implementierung dieser Übung wurde nicht in den Prototypen aufgenommen, da der Fokus dieser Diplomarbeit unmittelbar auf der Rehabilitation des Handgelenks lag. Außerdem

muss kritisch angemerkt werden, dass Patienten, welche stark in der Bewegung der Finger eingeschränkt sind, eventuell Probleme bei der Bedienung eines Smartphones haben, welches die Plattform zur Entwicklung des Prototypen darstellte. Deswegen, und wegen der Problematik alle fünf Finger auf der Bildschirmgröße handelsüblicher Smartphones ablegen zu können, scheint ein Tablet-Format mit üblichen Bildschirmdiagonalen von über sieben Zoll geeigneter für eine Umsetzung.

### *6.7.2 Schnittstellen zu externen Informationssystemen*

Als unnötig wurden Kontroll- oder Kommunikationsmöglichkeiten wie etwa ein Nachrichtencenter oder Fernzugriff für den Übungsverlauf durch Therapeuten gesehen. Es wurde befürchtet, dass Patienten diese Funktion zu unnötiger Kontaktaufnahme nutzen würden, was zu Unklarheiten bei der Verrechnung der Leistung führe. Außerdem wurde argumentiert, dass es die Therapeuten unter Druck setzen könne, wenn Patienten eine rasche Antwort erwarten.

Ein weiteres Argument gegen diese Art der Kommunikation bietet der Umstand, dass die meisten befragten Therapeuten freiberuflich arbeiteten, der Patient somit also ohnehin Kontaktdaten wie Telefonnummer oder E-Mail-Adresse besitze.

Bei der Entwicklung des Prototyps und der Befragung der Experten stand von Anfang an das Ziel im Raum, Teile der Applikation durch externe Informationssysteme zu ergänzen. Der Therapeut könnte die Übungen auf seinem eigenen Gerät analysieren und den Schwierigkeitsgrad einstellen.

Hierbei stand die Funktionalität von WebRes [90], einer modularen Software zur Unterstützung des gesamten Rehabilitationsprozesses im Raum. Die Software besitzt Schnittstellen, die es erlaubt Spielstände zu speichern, und individuelle Übungen zusammen zu stellen. Dabei existiert bereits ein Leveleditor zum Kreieren von Übungen für das Wii Balanceboard, siehe *Abbildung 34*. Für verschiedene Highscores werden automatisch Belohnungen erstellt, welche den Patienten präsentiert werden können, mehr dazu im folgenden Abschnitt.

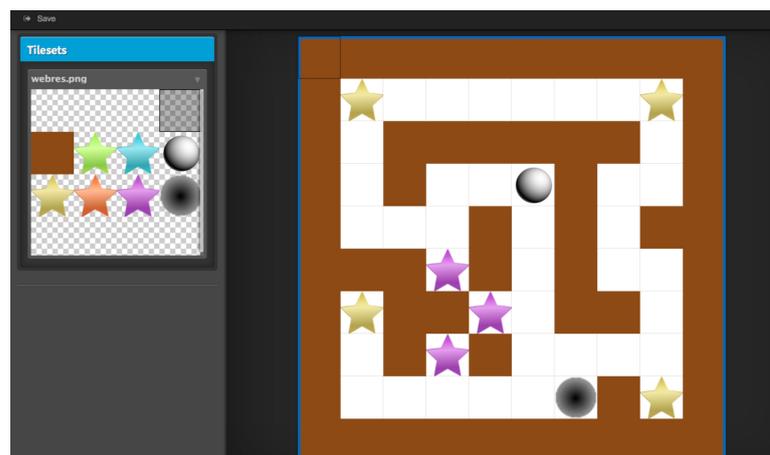


Abbildung 34: Leveleditor in WebRes [95]

### 6.7.3 Konzepte der Belohnung und des Wettkampfes

Belohnungen (engl. Achievements) [49] sind ein häufig verwendetes Element, um das Verhalten der Spieler zu beeinflussen [91]. Diese können, angepasst an das Spielszenario, zum Beispiel ein Stern oder eine goldene Ananas sein. Die Experten standen diesem Konzept offen gegenüber, warnten aber davor, zu „jugendliche“ Symbolik zu verwenden, welche von älteren Patienten als lächerlich empfunden werden könnte.

Die Integration von sozialen Komponenten, wie zum Beispiel ein Wettkampf über eine öffentliche Rangliste, stieß weitgehend auf Ablehnung. Es gibt Bedenken hinsichtlich der missbräuchlichen Verwendung von Patientendaten. Zudem könne der von Außen herbeigerufene Druck dazu führen, dass der Patient aufgibt, wenn er zu weit von einer Topposition entfernt ist. Eine Therapeutin warf ein, dass männliche Patienten tendenziell erst unter höherem Leistungsdruck eine Therapie beginnen, sich dafür aber schnell bei der Übungsintensität übernehmen und somit schnell Schmerzen bekommen würden. Dieses Verhalten könnte sich durch Konkurrenzdruck zusätzlich verschlimmern.

### 6.7.4 Tagebuch und Checkliste

Tagebücher bieten eine zusätzliche Möglichkeit den Verlauf der Therapie auch unabhängig vom behandelten Körperteil zu dokumentieren. Eine ähnliche Kommentarfunktion wurde be-

reits in Verbindung mit der Visuellen Analogskala (*siehe Abschnitt 6.5.2*) diskutiert, bietet davon aber auch getrennt einige Möglichkeiten.

Eine Variante wäre es, nach Ende einer Übungssitzung oder auch nach der letzten Therapie-sitzung des Tages, dem Patienten die Möglichkeit zu bieten, den Verlauf aus seiner persönlichen Sicht zu dokumentieren. Das hätte den Vorteil, dass auch nach längeren Abständen zwischen den Terminen zu Therapeuten keine der dabei aufgetretenen Fragen vergessen würden. Nachteilig ist dabei der zusätzliche Aufwand für den Patienten; Motivation, die eventuell für die eigentliche Durchführung der Übung gebraucht wird, kann dadurch verloren gehen.

Eine Therapeutin regte an, den Verlauf ähnlich einer Checkliste abzuarbeiten, um der Therapie dadurch einen Rahmen zu geben. Das wäre weniger Aufwand und bietet dem Patienten zudem die Möglichkeit, als „Belohnung“ die von ihm erledigten Übungen abzuhaken. Möglicherweise erhöht dies auch die Hemmschwelle beim darauffolgenden Termin mit dem Therapeuten betreffend der Frage, was geübt wurde, zu „schummeln“.

## **6.8 Überblick der Anforderungen**

Nach den mit drei Experten stattgefundenen Brainstorming-Sitzungen und 15 Interviews mit zehn verschiedenen Physio- und Ergotherapeuten wurde der Prozess des User Centered Designs, der sich in drei grobe Phasen gliederte, abgeschlossen. Einerseits konnte ausreichend Feedback zu den exemplarisch implementierten Konzepten gewonnen werden, andererseits waren die Anforderungen stabil genug, um sie abschließend zu reflektieren.

Der Umstand, dass manche Anforderungen zwar dokumentiert aber nicht umgesetzt wurden, hat zwei Gründe. Zum einen handelte es sich um Konzepte die aus der Literatur übernommen wurden, und bei den Experten auf Ablehnung stießen, zum anderen diente der Prototyp vor allem der Evaluierung der Spielumsetzung und der Veranschaulichung der Abläufe.

### **6.8.1 Funktionale Anforderungen**

Die im Zuge der Anforderungsanalyse identifizierten Anforderungen werden wie in *Kapitel 4.1* beschrieben, in funktionale und nichtfunktionale Anforderungen unterteilt. *Tabelle 8* liefert einen Überblick der gewonnenen funktionalen Anforderungen, weist sie grob den Konzepten nach Chandra et al. [9] zu und gibt Aufschluss über die erfolgte explorative Imple-

mentierung. Diese Einteilung erfolgte, da diese Konzepte den Ausgangspunkt für die empirische Untersuchung mit den Experten lieferten. Durch die unterschiedliche Zielsetzung der verglichenen Arbeit und insbesondere durch das Feedback der eigens befragten Experten, weichen die abgeleiteten Konzepte davon oder überschneiden sich (*siehe Abschnitt 7.2*).

#	Name	[9] Motivation durch ...	im Prototyp
1	Level für Pronation / Supination	Unterhaltung	ja
2	Level für Extension / Flexion	Unterhaltung	ja
3	Level für Radiale- / Ulnare Deviation	Unterhaltung	ja
4	Visuelle Analogskala	Resultate	ja
5	Terminplanung	Terminplanung	ja
6	Beschreibung und Hintergrundinformation	Verstehen	ja
7	Analyse der Übungen	Resultate	ja
8	Highscore	Resultate	ja
9	Adaptiver Schwierigkeitsgrad	Resultate	ja
10	Indirektes Training durch Finger	Unterhaltung	nein
11	Belohnung	Resultate	nein
12	Wettkampf	Angehörige	nein
13	Tagebuch	Resultate	nein
14	Schnittstelle zu externen Systemen	Unterstützung	nein

**Tabelle 8: Identifizierte Anforderungen an das Serious Game zur Rehabilitation von Handgelenksverletzungen**

### 6.8.2 Nichtfunktionale Anforderungen

Als nichtfunktionale Anforderungen des Serious Games sind vor allem die Aspekte der Usability, welche in *Kapitel 4.3* beschrieben wurden, zu nennen. Der *Einprägsamkeit* wurde Rechnung getragen, indem bewährte Konzepte aus der Android und Spielentwicklung verwendet werden [80]. Somit sollten insbesondere Android-Benutzer und (Gelegenheits-)Spieler bekannte Designmuster vorfinden.

Zentral im Kontext des Spiels ist der Aspekt der *Zufriedenheit*, denn der Benutzer soll dazu verführt werden oft zu üben. Durch bessere Präsentation und mehr Abwechslung kann der Unterhaltungswert noch verbessert werden.

Der Benutzer soll beim Spielen unmittelbares Feedback über den Fortschritt erhalten. Dies wurde umgesetzt, indem sich der Punktestand in Echtzeit aktualisiert und die Eingabeverzögerung möglichst gering ist.

### 6.8.3 Domänenanforderungen

Inbesondere für die Entwicklung einer marktreifen Applikation ergeben sich einige Domänenanforderungen.

Der medizinisch / therapeutische Ansatz stellt hohe Anforderungen an den Datenschutz, Patientendaten sind vertraulich und dürfen unter keinen Umständen in die Hände Dritter gelangen. Dies lässt sich sowohl durch Verschlüsselung als auch durch den Verzicht auf den Austausch personenbezogener Daten erreichen.

Eine weitere Besonderheit der Domäne stellt die Notwendigkeit einer Zertifizierung als Medizinprodukt dar. Um sie zu erlangen müssen je nach konkretem Einsatzzweck weitere Auflagen erfüllt werden.

### 6.8.4 Anwendungsfälle

Im Folgenden werden die im Prototypen umgesetzten Anwendungsfälle beschrieben und mittels eines Anwendungsfalldiagramms in *Abbildung 35* dargestellt, theoretische Grundlagen siehe *Kapitel 4.2*.

Das Durchführen der Übungen stellt den zentralen Anwendungsfall für die Patienten dar. Er beinhaltet die Auswahl der gewünschten Levels, die dazugehörige Informationsansicht, das „Spielen“ an sich und die abschließende Aufzeichnung eventuell aufgetretener Schmerzen mittels der Visuellen Analogskala.

Die erreichte Punktezahl und die aufgezeichneten Bewegungen können sowohl von Patienten als auch von Therapeuten eingesehen werden. Die Planung der Termine obliegt den Patienten, während die Anpassung der Levels durch den Therapeuten durchgeführt wird.

Da der Prototyp mit den Therapeuten entwickelt wurde, konnte auf eine Abbildung der verschiedenen Rollen im System verzichtet werden. Eine Trennung der Zugänge wurde mit den Therapeuten diskutiert und ist für eine „marktreife“ Anwendung erstrebenswert. Der Zugang der Therapeuten könnte mittels Schnittstellen zu externen Informationssystemen, wie etwa WebRes, erfolgen.

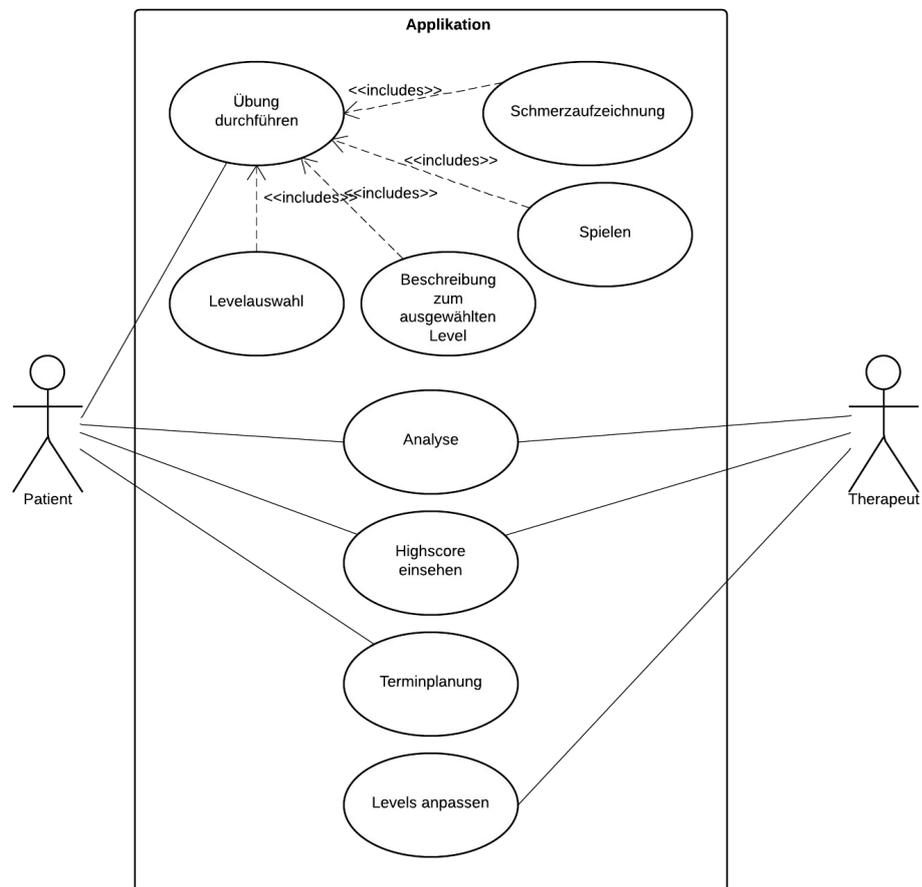


Abbildung 35: Anwendungsfalldiagramm der Applikation mit den Akteuren Patient und Therapeut

## 7 Diskussion

Nachdem im vorangegangenen Kapitel bereits eine ausführliche Dokumentation der identifizierten Anforderungen erfolgte, werden diese im Folgenden in ihrer wissenschaftlichen und praktischen Relevanz, insbesondere im Vergleich zum aktuellen Stand der Wissenschaft, kritisch diskutiert. Literatur aus State of the Art von Gamification, Serious Games und Applikationen zur Rehabilitation bilden das Fundament dieser Arbeit, weswegen sich diese Arbeit nun dem Vergleich zu ihren Ursprüngen stellt.

### 7.1 Spielerische Umsetzung der Heimübungen

Deponti et al. [10] haben bereits gezeigt, dass es möglich ist, Bewegungen von Übungen zur Handtherapie am Smartphone aufzuzeichnen und mittels programmatischer Auswertung der Sensordaten am Gerät in Echtzeit zu erkennen. Im Gegensatz zu dieser Lösung verfolgte die eigene Arbeit einen Ansatz, der die Bewegungen als Spiel abdeckt; die Übungen finden implizit statt und werden durch das Spieldesign gesteuert. Nach Meinung der Therapeuten wurden die Bewegungen der Übungen ausreichend genau abgedeckt. Die Verletzungsgefahr, die durch falsche Bewegungen des Patienten beim Spielen auftreten kann, wird von den Therapeuten als gering eingeschätzt.

Durch die indirekte Ausführung der Übungen durch Spiele, welche den Sichtkontakt des Patienten erfordern, können Bewegungen aller Richtungen, sprich Pronation/Supination, Extension/Flexion und Radiale-/Ulnare Deviation, ausgeführt werden. Als Kontrast wurde im Prototypen ein Spiel eingebaut, welches Bewegungen bei abgeschaltetem Display direkt misst, durch Vibrationen Feedback zur Korrektheit gibt, und somit vom Patienten keinen Sichtkontakt erfordert. Diese explizite Messung der Übungen stellte eine höhere Herausforderung dar, da die Sensoren des verwendeten Prototypen Abweichungen in den Extrema der Auslenkungen aufwiesen. Die angedachte Messfunktion der genauen Winkel konnte nicht umgesetzt werden und bedarf abseits der technischen Implementierung weiterer Planung. Hierbei stellen

sich Fragen zur Kalibrierung der Start- und Endpositionen und der eingeschränkten Genauigkeit, wenn etwa innerhalb sich bewegender Verkehrsmittel geübt wird.

Bei der Umsetzung wurde darauf geachtet, die Spiele bzw. Levels möglichst unterhaltsam bzw. motivierend zu gestalten. Wie für das Genre der Serious Games üblich [8], war die korrekte Abbildung der für die Übung erforderlichen Bewegungen vorrangig gegenüber einer effektvollen Präsentation. Als Richtlinie dienten die bereits von Flatla et al. [53] zur Gamifizierung einer Anwendung verwendeten vier Elemente des Spieldesigns, deren Implementierung in diesem Serious Game anhand des „Sternlevels“ veranschaulicht werden soll:

**1. Herausforderung**

Es sind unter Zeitdruck so viel Sterne wie möglich einzusammeln; dabei soll die durch die Sterne vorgegebene Form so genau wie möglich eingehalten werden.

**2. Thema**

Das Thema ist unterhaltsam gestaltet, die Spielfigur gleitet über den Bildschirm und „frisst“ Sterne, die eigentliche Rehabilitation wird durch dieses Szenario verschleiert.

**3. Belohnung**

Die Sterne verschwinden und die Punktezahl wird unmittelbar hochgezählt.

**4. Fortschritt**

Durch den Highscore wird zu wiederholtem Spielen angeregt, um die Punkteanzahl zu verbessern. Außerdem kann der Patient durch die Analysefunktion verfolgen, wie die Bewegungen sich im Laufe der Zeit verbessern. Der Therapeut kann, aufbauend auf dem Fortschritt, den Schwierigkeitsgrad höher stellen und weitere Levels freischalten.

Die Flexibilität der eingesetzten Technologien hat zahlreiche weitere Einsatzmöglichkeiten zu Tage gebracht. Von den Therapeuten wurden Übungen angeregt, welche das Handgelenk ohne Bewegung des Handgelenks, sondern nur durch Bewegen der Finger, wie zum Beispiel durch Simulation einer Schreibmaschine, trainieren können. Dieses Konzept wurde für den Prototypen verworfen, da es sich vor allem für größere Geräte wie Tablets eignet. Davon würde auch eine von den Therapeuten angeregte Erweiterung der Übungen auf Patienten mit kognitiven Beeinträchtigungen, wie sie unter anderem nach Schlaganfällen auftreten, profitieren.

## 7.2 Einordnung in State of the Art

Chandra et al.s [9] Arbeit leistete Vorarbeit zur Identifizierung möglicher Konzepte zur Unterstützung der Therapie, weswegen diese mit dem Ziel, Kritikpunkte zu verbessern angepasst wurden.

Ihre Problemstellung beinhaltet die Verwendung eines Biosensors, der die Übungen erfasst und die Ergebnisse in Echtzeit auf einem mobilen Gerät visualisieren soll; diese Konzepte wurden als *Motivation durch Unterhaltung* und *Motivation durch Verstehen* beschrieben. Die von ihnen befragten Patienten merkten zwar an, dass Unterhaltung wichtig sei, Fortschritt aber im Vordergrund stünde. Der Fortschritt (*Motivation durch Unterhaltung*) wurde separat visualisiert. Diesem Umstand wurde mit der Implementierung als Serious Game Rechnung getragen, welches Unterhaltung und Fortschritt vereint, indem die Spielmechanik so designet wurde, dass gutes Abschneiden bei den Spielen direkt mit dem Fortschritt beim Heilungsverlauf korreliert.

Diese spielerische Umsetzung stieß bei den Therapeuten auf positive Resonanz; sowohl das Konzept als auch die verwendete Hardware scheinen für die Unterstützung der Therapie als geeignet. Über die Auswirkungen auf die Compliance der Therapie und die Akzeptanz dieser Therapieunterstützung beim Patienten kann keine Aussage getroffen werden.

Das Konzept des Verstehens wurde aufgegriffen, indem der Patient zu Beginn jeder Übung eine genaue Beschreibung der Übung erhält und auf Wunsch weitere (medizinische) Hintergründe nachlesen kann. Es wurde von den befragten Experten einhellig als sinnvoll erachtet und ist durch Multimediadaten wie Fotos und Videos zur Erklärung erweiterbar.

*Motivation durch Terminplanung* wurde im Prototypen als Kalender- und Erinnerungsfunktion umgesetzt. Sie schien den Experten in dieser Form als nützliche Hilfe, um die Therapie besser in den Alltag der Patienten integrieren zu können.

Auf große Skepsis stießen Konzepte, welche den Therapieverlauf des Patienten für Dritte zugänglich machen. Das Konzept *Motivation durch Angehörige* wurden von den Experten klar abgelehnt; zu Bedenken bezüglich des Datenschutzes gesellte sich vor allem die schwierige Vergleichbarkeit verschiedener Diagnosen. Das Feedback der eigenen Befragung deckt sich also auch in diesem Punkt mit der von Chandra et al. durchgeführten Erhebung [9].

Die Umsetzung von *Motivation durch Unterstützung* wurde mit den Experten kontrovers diskutiert. Konkrete Ablehnung erfuhr die Idee eines Nachrichtencenters oder eine Überwachung der Therapie per Fernzugriff. Leistungen der Therapeuten außerhalb der vereinbarten Termine seien schwer zu verrechnen und nicht im Interesse der Therapeuten. Die befragten Patienten in der Studie von Chandra et al. [9] äußerten Bedenken darüber, dass ihre Nachrichten nicht gelesen würden, und erwarteten deshalb rasches Feedback; als Gegenstück dazu gaben die im Zuge dieser Diplomarbeit befragten Therapeuten explizit an, dass sie die Erwartung einer raschen Antwort unter Druck setze.

Mehr Anklang fand eine Funktion zur Anbindung des Smartphones des Patienten an bestehende Praxisinformationssysteme oder Rechner der Therapeuten. Hierbei ließen sich die Übungen bequem an die Bedürfnisse des Patienten anpassen, Fortschritte und Termine könnten (lokal) zwischen mobilen und stationären Geräten abgeglichen werden.

*Tabelle 9* beschreibt den auf den Namen „*WristDroid*“ getauften Prototypen dieser Arbeit nach der Taxonomie von Rego et al. [26]. „Wrist“ ist englisch für Handgelenk und spezifiziert somit die therapierte Region, „Droid“ ist die Abkürzung für Android und weist dadurch auf die verwendete Plattform hin. Der Prototyp wendet sich ganz klar an die motorische Rehabilitation des Handgelenks, zu dessen Interaktion die Sensoren des Smartphones dienen. Die Präsentation erfolgt zweidimensional, es wird nur alleine gespielt und die Levels an sich sind unterschiedlichen Genres zuzuordnen. Der Schwierigkeitsgrad kann angepasst werden, das Feedback des Benutzers erfolgt unmittelbar über visuelles und graphisches Feedback. Der Fortschrittsverlauf wird über den Highscore bzw. die Analysefunktion realisiert und die Anwendung kann überall benutzt werden.

	<b>WristDroid</b>
<b>Anwendungsgebiet</b>	Motor
<b>Interaktionstechnologie</b>	Bewegungs- und Beschleunigungssensoren, Magnetometer
<b>Spielschnittstelle</b>	2D
<b>Anzahl der Spieler</b>	1
<b>Kompetitiv/Kollaborativ</b>	nein
<b>Genre</b>	gemischt
<b>Anpassungsfähigkeit</b>	ja
<b>Feedback</b>	ja
<b>Fortschrittsverlauf</b>	ja
<b>Portierbarkeit</b>	zu Hause und Unterwegs

*Tabelle 9: Klassifizierung der eigenen Serious Games nach den Kriterien von Rego et al. [26]*

Zusammenfassend wird in *Tabelle 10* WristDroid analog zur in *Kapitel 3.3.4* vorgestellten State of the Art beschrieben. Es handelt sich beim Prototypen um ein mobiles Serious Game zur Unterstützung der Rehabilitation bei Handgelenksverletzungen, im Speziellen der spielerischen Umsetzung darin integrierter Heimübungen.

	<b>WristDroid</b>
<b>Einordnung</b>	Serious Game
<b>Kontext</b>	Handrehabilitation
<b>Fokus</b>	Spiel-Design
<b>Unterstützt</b>	Heimübungen
<b>Umsetzung</b>	Prototyp
<b>Plattform</b>	Smartphone

*Tabelle 10: Tabellarische Übersicht der Merkmale von WristDroid*

### 7.3 Anmerkungen zur Stichprobe

Es wurden acht Physiotherapeuten und zwei Ergotherapeutinnen aller Altersschichten und verschiedener Nationalitäten befragt. Diese Vielfalt ist insofern interessant, als dass sich die (Zusatz-)Ausbildungen und die in der Praxis erlangten Erfahrungen der an den Interviews teilnehmenden Personen teilweise stark unterschieden. Somit konnte ein starker Praxisbezug hergestellt werden und ein guter Einblick in den Ablauf der Rehabilitation gewonnen werden.

Gamification und Serious Games versuchen Abläufe spielerisch zu ergänzen bzw. durch ein Spiel zu ersetzen. Die Äquivalenz der Resultate zu ihrer „ernsten“ Ausgangsbasis konnte zum Beispiel bei einem zur Kalibrierung von Biosensoren entwickelten Spiel verifiziert werden [53]. Aussagen darüber, wie sich die Compliance der Therapie von Handgelenksverletzungen durch das Verwenden von Serious Games im Therapiealltag verändert, können nicht getroffen werden. Chan et al. [24] haben allerdings bereits einige Faktoren, welche sich auf die Compliance der Heimübungen innerhalb der Physiotherapie auswirken, identifiziert.

Es ist unklar, welche zusätzlichen Aspekte durch eine Befragung von Orthopäden eingebracht werden können. Für eine Stellungnahme bezüglich der Machbarkeit ist die Stichprobe der befragten Experten zu gering.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Das letzte Kapitel fasst die wichtigsten Ideen und Ergebnisse dieser Diplomarbeit zusammen und gibt einen Ausblick über zukünftige und darauf aufbauende Arbeit.

### 8.1 Zusammenfassung

Handgelenksverletzungen haben hohe Prävalenz; sie stellten 2012 in der Schweiz 22,8% der Freizeit und Berufsunfälle dar [14]. Ihre Therapie wird meist von Ergo- und Physiotherapeuten durchgeführt. Essentiell für eine effektive Rehabilitation ist die vom Patienten selbstständige, regelmäßige und korrekte Durchführung der von den Therapeuten aufgetragenen Heimübungen. Ist dies nicht der Fall, spricht man von mangelnder *Compliance*.

Motivation hat großen Einfluss auf die Compliance [1], weshalb bei erhöhter Motivation auch mit einer Verbesserung der Compliance gerechnet werden kann. Um die Motivation und damit auch die Compliance bei der Durchführung der Heimübungen zu verbessern, entstand das Konzept der prototypischen Entwicklung von Serious Games zur Unterstützung der Rehabilitation bei Handgelenksverletzungen. Das Forschungsgebiet von Serious Games hat in den letzten Jahren insbesondere durch die Bewegungserkennung kommerzieller Spielekonsolen großen Aufwind erhalten [4], [5], [7], [10], [35], [43], [90].

Smartphones hingegen haben in den letzten Jahren eine große Verbreitung erreicht [11], womit sich auch der Markt für mobile Spiele vergrößert hat. Die alltägliche Präsenz dieser Technologien [31] wurde für diese Diplomarbeit aufgegriffen, um ein mobiles Serious Game zur Lösung der oben erläuterten Problemstellung zu konzipieren und prototypisch zu entwickeln.

Zum einen ist es so möglich, die Heimübungen überall und ohne technische Hilfsmittel auszuführen. Zum anderen eignen sich Smartphones aufgrund ihrer Konzeption für die Hand gut für die Entwicklung eines explorativen Prototypen zur Rehabilitation dieser Körperregion. Die Verbreitung der bereits angesprochenen mobilen Spiele könnte dazu beitragen, die Übun-

gen besser in den Alltag zu integrieren; gerade für „Spieler“ wäre die Durchführung der Übungen nichts Ungewöhnliches.

Zunächst wurde auf Basis des State of the Art in den Bereichen von Serious Games, Gamifikation und Applikation zur Unterstützung der Therapie ein grundlegendes Konzept erarbeitet. Dieses baut auf den Erkenntnissen der Literatur auf und adaptiert die Konzepte für den eigenen Anwendungsfall der Handgelenksrehabilitation.

Die aus der Literatur gewonnenen Konzepte wurden in einem Brainstorming mit drei Therapeuten verfeinert (Ideen siehe Mindmap in *Anhang A*). Darauf aufbauend wurde in engerer Zusammenarbeit mit zwei Ergotherapeutinnen und acht PhysiotherapeutInnen im Zuge eines User Centered Design Prozesses ein Prototyp entwickelt.

Im Fokus der Arbeit stand die spielerische Umsetzungen der Heimübungen sowie die Möglichkeit, diese Tätigkeit immer und überall ausführen zu können. Die Genauigkeit der verwendeten Sensoren wurde anhand des Prototypen von den Therapeuten beurteilt und als ausreichend genau für eine implizite Umsetzung der Übungen empfunden; also eine Transformation der in der Therapie häufig verwendeten Metaphern von Aktivitäten des täglichen Lebens in ein Spiel.

Neben den konkreten Anforderungen an eine Applikation zur Unterstützung der Therapie, welche in *Kapitel 6.8* dokumentiert wurden, konnte die Antwort auf die Zielsetzung dieser Arbeit gefunden werden. Sowohl die Hardware des verwendeten Prototypen als auch die verwendete Spielmechanik ermöglichen es, Bewegungen der herkömmlichen Therapie in einem Spiel abzubilden.

Die Befragung hat außerdem ergeben, dass es dabei einen gewissen Freiraum gibt, der für kreative Elemente der Spielmechanik genutzt werden kann. Mit dem Spielaufbau kann die Bewegung gesteuert werden, welche vom Patienten gewünscht wird. Dadurch und mittels modifizierter Haltung des Geräts können Übungen an die Bedürfnisse der Patienten angepasst werden.

Abseits der spielerischen Gestaltung der Übungen selbst, welche sich wie ein roter Faden durch diese Diplomarbeit zieht, wurden die Experten zu weiteren Anforderungen aus ihrer Praxis bzw. aus der Literatur befragt. Möglichkeiten, die Übungen an den jeweiligen Patien-

ten anzupassen, die Übungstermine zu planen und einen Überblick über den Verlauf der Übungen zu ermöglichen bzw. ihn zu analysieren, wurden diskutiert.

## 8.2 Ausblick

Das gefundene Konzept birgt großes Potential. Offen ist eine Unterstützung der Rehabilitation von kognitiven Erkrankungen, insbesondere durch die Umsetzung von Übungen, welche die Koordination der Finger trainieren. Die entwickelte Software kann zu diesem Zweck einfach auf andere Formfaktoren wie Tablets adaptiert werden.

Übungen an anderen Extremitäten könnten ebenfalls umgesetzt werden; dabei sind sowohl kreative als auch technische Problemstellungen zu überwinden. Evaluierungen für andere Extremitäten müssten zeigen, ob es möglich wäre, die Übungen (wie hier) direkt abzubilden oder sie durch die Technologie zu ergänzen.

Apps, welche die Verbesserung von Fitness und Gesundheit der Benutzer zum Ziel haben, erfreuen sich immer größerer Beliebtheit. So wurde auf Basis einer wissenschaftlichen Arbeit eine App entwickelt, welche ein speziell definiertes Übungsprogramm mittels Timer und Sprachunterstützung anleitet [92]. Als „early adopter“ stellen gerade gesundheitsbewusste Menschen eine interessante Zielgruppe dar. Diesbezüglich scheint es erstrebenswert, auch präventive Maßnahmen durch Serious Games zu unterstützen. Bis zur Marktreife eines Produkts zur Rehabilitation fehlt die Zertifizierung als Medizinprodukt, welche beim Einsatz zur Prävention wegfallen würden.

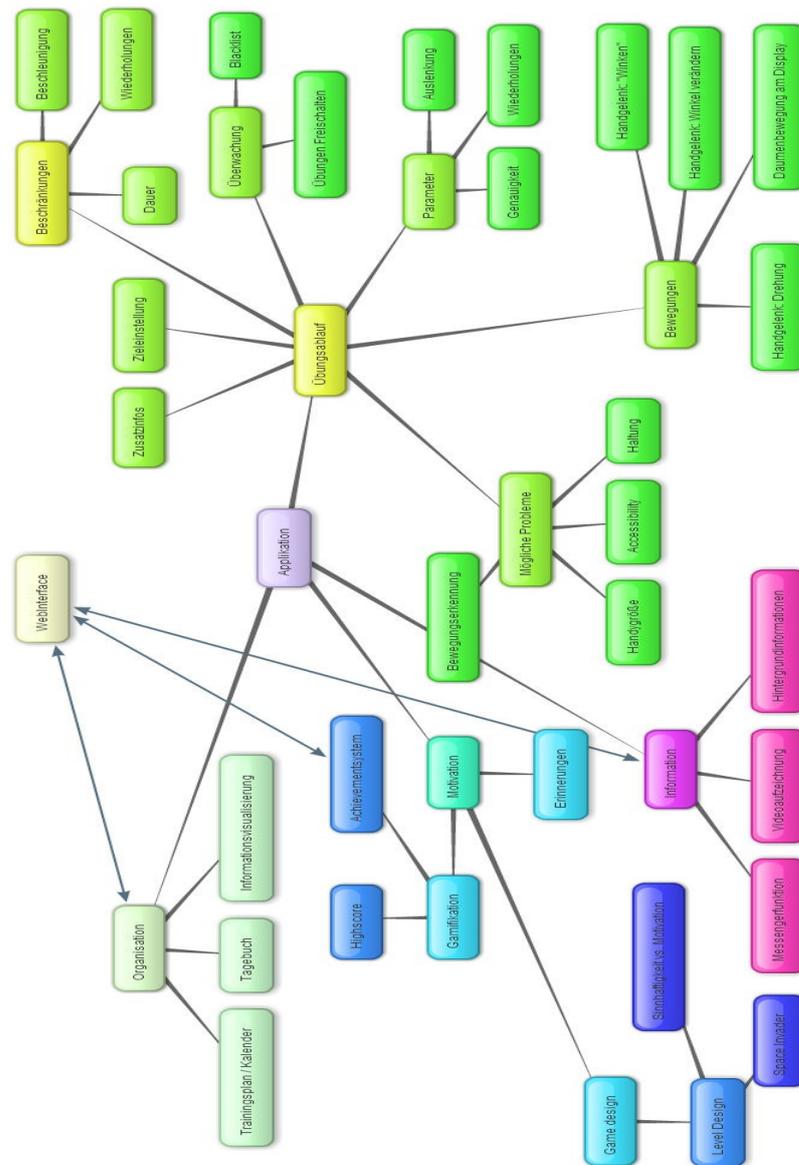
Als auf diesem Thema aufbauende Arbeiten eignen sich Evaluierungen zur Akzeptanz bei Patienten. Die Compliance der Rehabilitation von Patienten mit Unterstützung des mobilen Serious Games muss mit der von Patienten ohne Unterstützung verglichen werden. Die Ergebnisse dieser Diplomarbeit wurden bereits dem Leiter eines Physikalischen Instituts vorgestellt, wodurch neben den Anforderungen, die von in dieser Arbeit befragten Therapeuten gestellt wurden, auch positives Feedback von ärztlicher Seite eingeholt werden konnte.

Die Problemstellung dieser Arbeit beinhaltete nur Aspekte, welche der Rehabilitation bestehender Einschränkungen und Verletzungen dient. Eine möglicherweise präventive bzw. gesundheitsfördernde Wirkung von Serious Games zur Handgelenksrehabilitation ist noch zu zeigen.

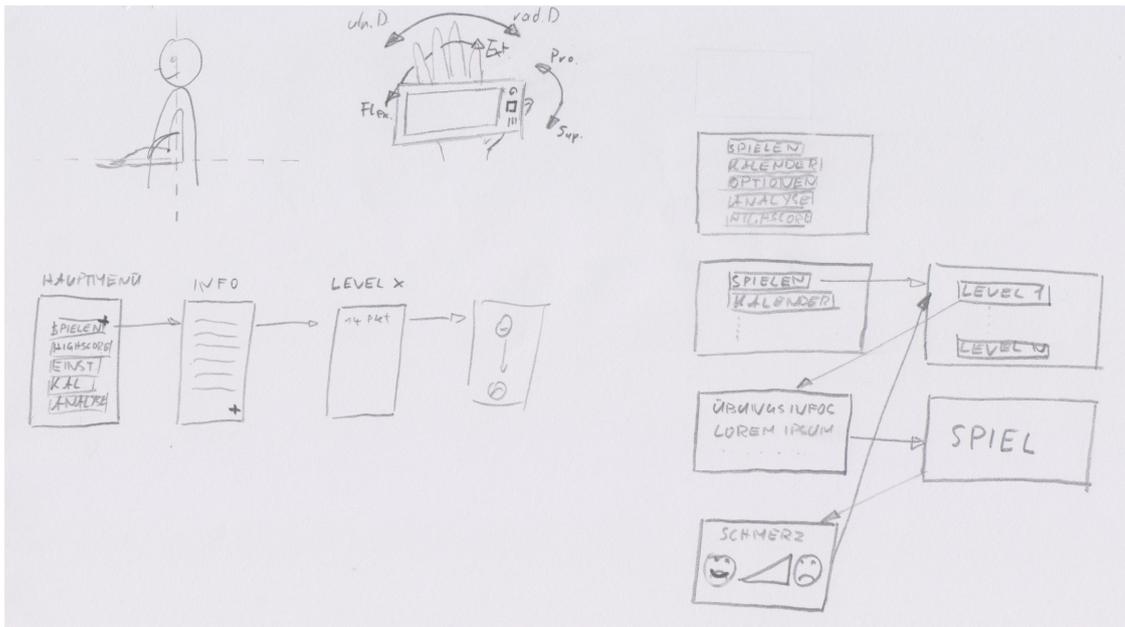
Zusammenfassend wurde der Grundstein für die Entwicklung von mobilen Serious Games zur Handgelenksrehabilitation gelegt. Erkenntnisse dieser Arbeit können sowohl für die Entwicklung eines marktreifen Produktes als auch für weitere Forschung verwendet werden.

# Anhang

## A: Mindmap



## B: Mockups



### C: Android Systemarchitektur

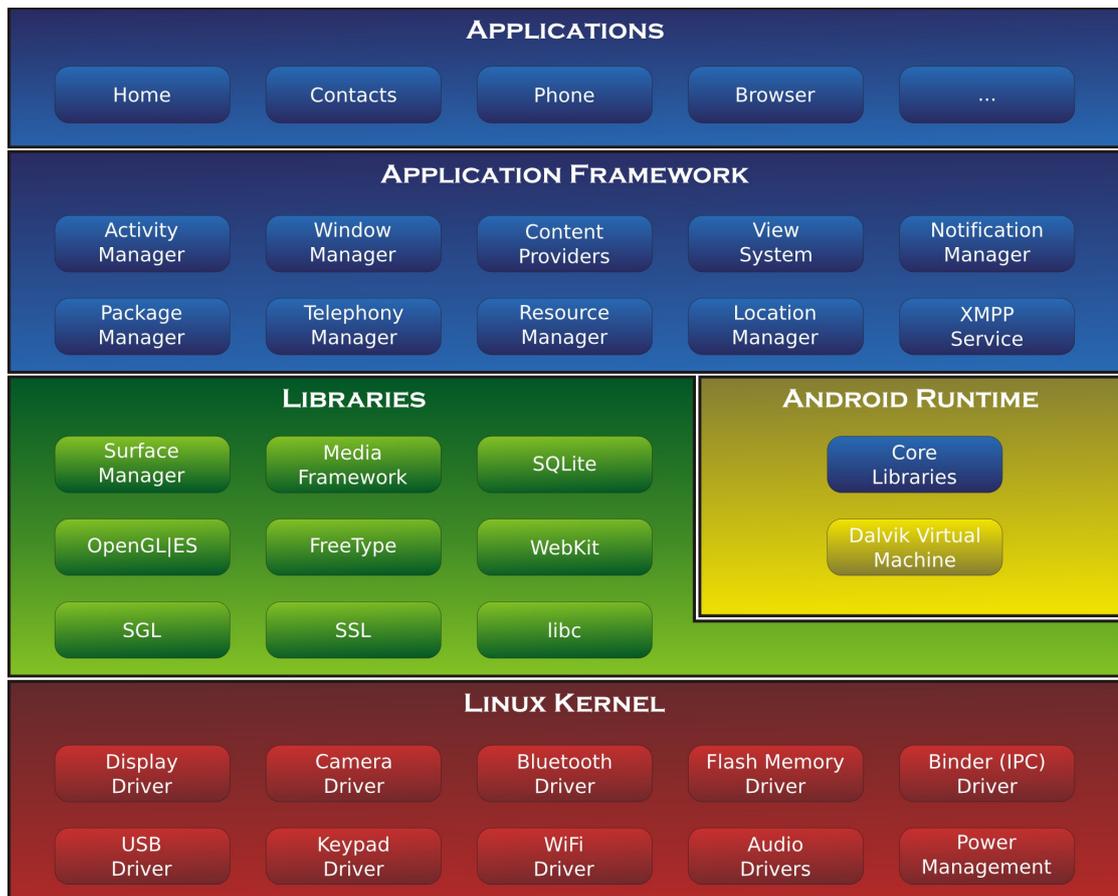


Abbildung 36: Android Systemarchitektur [97]

## D: Beispiel des Quellcodes

```

@Override
public void createScene() {
    // Spielstand initialisieren
    initScore(LEVEL_ID);

    // Schwierigkeitsgrad laden und Physikvariable anpassen
    difficultyId =
        Integer.valueOf(
            PreferenceManager.getDefaultSharedPreferences(
                activity).getString("key_difficulty_list_level_3",
                ""));
    this.FIXTURE_DEF =
        Settings.getFixtureDefByDifficulty(difficultyId);

    // PhysicsWorld initialisieren
    this.physicsWorld = new PhysicsWorld(new Vector2(0,
        SensorManager.GRAVITY_EARTH), false);

    // Hintergrund deklarieren und zur Szene hinzufügen
    this.background = new Sprite(400, 240,
        ResourceManager.getInstance().getLevel3Background(),
        vbom);
    attachChild(this.background);

    // Mauern deklarieren und zur Szene hinzufügen
    this.walls = new Sprite(400, 240,
        ResourceManager.getInstance().getLevel3Walls(), vbom);
    attachChild(this.walls);

    // HUD zur Szene hinzufügen, Code ausgelagert
    this.createHUD();

    // Sterne zur Szene hinzufügen, Code ausgelagert
    spawnStars();

    // physikalische Grenzen definieren und zur PhysicsWorld
    hinzufügen
    final Rectangle ground = new
        Rectangle(this.camera.getWidth() / 2, WALL_THICKNESS,
            this.camera.getWidth(), 0, this.vbom);
    final Rectangle roof = new Rectangle(this.camera.getWidth() /
        2, this.camera.getHeight() - WALL_THICKNESS,
            this.camera.getWidth(), 0, this.vbom);
    final Rectangle left = new Rectangle(WALL_THICKNESS,
            this.camera.getHeight() / 2, 0, this.camera.getHeight(),
            this.vbom);
    final Rectangle right = new Rectangle(this.camera.getWidth() -
        WALL_THICKNESS, this.camera.getHeight() / 2, 0,
            this.camera.getHeight(), this.vbom);
    final FixtureDef wallFixtureDef =
        PhysicsFactory.createFixtureDef(0, 0.5f, 0.5f);
    PhysicsFactory.createBoxBody(this.physicsWorld, ground,
        BodyType.StaticBody, wallFixtureDef);
    PhysicsFactory.createBoxBody(this.physicsWorld, roof,
        BodyType.StaticBody, wallFixtureDef);
    PhysicsFactory.createBoxBody(this.physicsWorld, left,
        BodyType.StaticBody, wallFixtureDef);

```

```
PhysicsFactory.createBoxBody(this.physicsWorld, right,
    BodyType.StaticBody, wallFixtureDef);

// Pacman bzw. Spieler deklarieren und zur Scene hinzufügen
this.pacman = new Sprite(400, 240,
    ResourceManager.getInstance().getLevel3Pacman(), vbom) {

    // diese Methode wird bei jedem Update der Szene
    // aufgerufen
    @Override
    protected void onManagedUpdate(float pSecondsElapsed) {
        // überprüft ob die Wand berührt wurde, wenn ja
        // Punktabzug
        if (this.getY() < 51
            || this.getY() > 429
            || this.getX() < 51
            || this.getX() > 749) {
            wallTouched();
        }
    }
};
this.pacman.setScale(0.5f);
attachChild(this.pacman);

// Sprite des Spielers erhält phys. Eigenschaften
Body body = PhysicsFactory.createCircleBody(this.physicsWorld,
    this.pacman, BodyType.DynamicBody, FIXTURE_DEF);
this.physicsWorld.registerPhysicsConnector(new
    MyPhysicsConnector(this, this.pacman, body, true, true));

// PhysicsWorld wird mit Beschleunigungssensor initialisiert
ResourceManager.getInstance().getEngine()
    .enableAccelerationSensor(activity, this);
registerUpdateHandler(this.physicsWorld);
this.sceneReady = true;
}
```

# Literaturverzeichnis

- [1] R. Campbell, M. Evans, M. Tucker, B. Quilty, P. Dieppe, and J. L. Donovan, “Why don’t patients do their exercises? Understanding non-compliance with physiotherapy in patients with osteoarthritis of the knee.,” *J. Epidemiol. Community Health*, vol. 55, no. 2, pp. 132–8, Mar. 2001.
- [2] B. Waldner-Nilsson, A. Diday-Nolle, A. Reiter Eigenheer, D. Slatosch, and S. Breier, *Handrehabilitation, Für Ergotherapeuten und Physiotherapeuten, Band 1: Grundlagen, Erkrankungen*, 2. Auflage. Springer Medizin Verlag Heidelberg, 2009.
- [3] B. Schuster, “Rehabilitation of TBI using RehaCom,” *Eura. Medicophys.*, vol. 38, no. 202, pp. 39–44, 2002.
- [4] J. Decker, H. Li, D. Losowyj, and V. Prakash, “Wiihabilitation: rehabilitation of wrist flexion and extension using a wiimote-based game system,” *Governor’s Sch. Eng. Technol. Res. J.*, pp. 92–98, 2009.
- [5] W. Van Den Hoogen, W. Ijsselsteijn, and Y. De Kort, “Yes Wii Can ! using digital games as a rehabilitation platform after stroke-the role of social support,” in *Virtual Rehabilitation International Conference, 2009*, 2009, p. 195.
- [6] R.-G. Lee and S.-C. Tien, “Augmented Reality Game System Design for Stroke Rehabilitation Application,” in *2012 Fourth International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks*, 2012, pp. 339–342.
- [7] M. S. Cameirão, S. Bermúdez I Badia, E. Duarte Oller, and P. F. M. J. Verschure, “The rehabilitation gaming system: a review.,” *Stud. Health Technol. Inform.*, vol. 145, pp. 65–83, Jan. 2009.
- [8] T. Susi, M. Johannesson, and P. Backlund, “Serious games: An overview,” 2007.
- [9] H. Chandra, I. Oakley, and H. Silva, “Designing to support prescribed home exercises: understanding the needs of physiotherapy patients,” in *Proceedings of the 7th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Making Sense Through Design*, 2012, pp. 607–616.
- [10] D. Deponti, D. Maggiorini, and C. E. Palazzi, “DroidGlove: An android-based application for wrist rehabilitation,” in *2009 International Conference on Ultra Modern Telecommunications & Workshops*, 2009, pp. 1–7.
- [11] “Anzahl der Smartphone-Nutzer in Deutschland bis 2013 | Statistik.” [Online]. Available: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/198959/umfrage/anzahl-der-smartphonenuutzer-in-deutschland-seit-2010/>. [Accessed: 27-Mar-2014].
- [12] “Nonfatal occupational injuries and illnesses requiring Days away from work 2010.” [Online]. Available: [http://www.bls.gov/news.release/archives/osh2\\_11092010.pdf](http://www.bls.gov/news.release/archives/osh2_11092010.pdf). [Accessed: 21-Mar-2014].
- [13] K. Giannakouris, “Ageing characterises the demographic perspectives of the European societies,” 2010. [Online]. Available: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_OFFPUB/KS-SF-08-072/EN/KS-SF-08-072-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-SF-08-072/EN/KS-SF-08-072-EN.PDF). [Accessed: 21-Mar-2014].

- [14] “Unfallstatistik UVG 2012.” [Online]. Available: <http://www.unfallstatistik.ch/d/publik/unfstat/pdf/Ts12.pdf>. [Accessed: 21-Mar-2014].
- [15] M. Fleischhauer and P. Appenroth, *Leitfaden Physiotherapie in der Orthopädie und Traumatologie*. Elsevier, Urban & Fischer Verlag, 2006.
- [16] “RIS - Gesamte Rechtsvorschrift für MTD-Gesetz - Bundesrecht konsolidiert, Fassung vom 28.08.2013.” [Online]. Available: <http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010701&FassungVom=2013-08-28>. [Accessed: 28-Aug-2013].
- [17] “Pschyrembel Klinisches Wörterbuch 2013 TT - Pschyrembel Clinical Dictionary .” De Gruyter , Berlin, Boston , 2012.
- [18] W. Presber, *Ergotherapie. Grundlagen und Techniken*, 4. Auflage. Urban & Fischer Verlag, Elsevier GmbH, 2003.
- [19] U. Arnold and W. Pschyrembel, *Pschyrembel Handbuch Therapie*. De Gruyter, 2005.
- [20] T. Than, A. San, and T. Myint, “Biokinetic Study of the Wrist joint.,” *Int. J. Collab. Res. Intern. Med. Public Heal.*, vol. 4, no. 5, pp. 450–458, 2012.
- [21] C. J. van Andel, N. Wolterbeek, C. a M. Doorenbosch, D. H. E. J. Veeger, and J. Harlaar, “Complete 3D kinematics of upper extremity functional tasks.,” *Gait Posture*, vol. 27, no. 1, pp. 120–7, Jan. 2008.
- [22] Z.-M. Li, L. Kuxhaus, J. a Fisk, and T. H. Christophel, “Coupling between wrist flexion-extension and radial-ulnar deviation.,” *Clin. Biomech. (Bristol, Avon)*, vol. 20, no. 2, pp. 177–83, Feb. 2005.
- [23] G. Jamtvedt, K. T. Dahm, I. Holm, and S. Flottorp, “Measuring physiotherapy performance in patients with osteoarthritis of the knee: a prospective study.,” *BMC Health Serv. Res.*, vol. 8, no. 1, p. 145, Jan. 2008.
- [24] D. Chan and F. Can, “Patients’ adherence/compliance to physical therapy home exercises,” *Fiz. Rehabil.*, vol. 21, no. 3, pp. 132–139, 2010.
- [25] C. C. Abt, *Serious Games*. University Press of America, 1987.
- [26] P. Rego, P. Moreira, and L. Reis, “Serious games for rehabilitation: A survey and a classification towards a taxonomy,” in *Information Systems and Technologies (CISTI)*, 2010, pp. 1–6.
- [27] P. Röthig, H. Becker, and K. Carl, *Sportwissenschaftliches Lexikon.*, 6th ed. Hofmann, Schorndorf, 1992.
- [28] C. Lampert, C. Schwinge, and D. Tolks, “Der gespielte Ernst des Lebens: Bestandsaufnahme und Potenziale von Serious Games (for Health),” *Zeitschrift für Theor. und Prax. der Medien.*, vol. ISSN 1424-, no. Themenheft Nr. 15/16: Computerspiele und Videogames in formellen und informellen Bildungskontexten, 2009.
- [29] J. Breuer, “Spielend lernen? Eine Bestandsaufnahme zum (Digital) Game-Based Learning,” *LfM-Dokumentation*, no. Band 41/Online, 2010.
- [30] D. R. Michael and S. L. Chen, *Serious Games: Games That Educate, Train, and Inform*. Muska & Lipman/Premier-Trade, 2005.
- [31] Y. Xu, E. Poole, and A. Miller, “Designing pervasive health games for sustainability, adaptability and sociability,” *Proc. Int. Conf. Found. Digit. Games*, pp. 49–56, 2012.
- [32] A. L. Betker, A. Desai, C. Nett, N. Kapadia, and T. Szturm, “Game-based exercises for dynamic short-sitting balance rehabilitation of people with chronic spinal cord and traumatic brain injuries.,” *Phys. Ther.*, vol. 87, no. 10, pp. 1389–98, Oct. 2007.

- [33] M. Ma and K. Bechkoum, "Serious games for movement therapy after stroke," *Syst. Man Cybern. 2008. SMC 2008. IEEE Int. Conf.*, pp. 1872–1877, Oct. 2008.
- [34] E. Kalapanidas and H. Watanabe, "PlayMancer: A European Serious Gaming 3D Environment.," in *EHST*, 2008, pp. 51–59.
- [35] M. Caglio, L. Latini-Corazzini, F. D'agata, F. Cauda, K. Sacco, S. Monteverdi, M. Zettin, S. Duca, and G. Geminiani, "Video game play changes spatial and verbal memory: rehabilitation of a single case with traumatic brain injury.," *Cogn. Process.*, vol. 10, pp. 195–7, Sep. 2009.
- [36] J. W. Burke, M. D. J. McNeill, D. K. Charles, P. J. Morrow, J. H. Crosbie, and S. M. McDonough, "Optimising engagement for stroke rehabilitation using serious games," *Vis. Comput.*, vol. 25, no. 12, pp. 1085–1099, Aug. 2009.
- [37] M. Ryan, S. Smith, B. Chung, and S. Cossell, "Rehabilitation Games: Designing Computer Games for Balance Rehabilitation in the Elderly," 2012.
- [38] M. M. Cruz-Cu and Cunha, *Handbook of Research on Serious Games as Educational, Business and Research Tools*, vol. I. Information Science Reference, 2012.
- [39] J. Wiemeyer, "Gesundheit auf dem Spiel?—Serious Games in Prävention und Rehabilitation," *Dtsch. Z. Sportmed.*, vol. 61, no. 11, pp. 252–257, 2010.
- [40] D. Tolks, M. Fischer, and S. Berlin, "Serious Games for Health: Spielend lernen und heilen mit Computerspielen? Serious Games for Health: Learning and healing with video games?," *doaj.org*, vol. 6, no. 2, pp. 1–8, 2010.
- [41] K. Gerling, J. Schild, and M. Masuch, "Exergame design for elderly users: the case study of SilverBalance," *Proc. 7th Int. Conf. Adv. Comput. Entertain. Technol.*, pp. 66–69, 2010.
- [42] K. P. Padala, P. R. Padala, T. R. Malloy, J. A. Geske, P. M. Dubbert, R. A. Dennis, K. K. Garner, M. M. Bopp, W. J. Burke, and D. H. Sullivan, "Wii-fit for improving gait and balance in an assisted living facility: a pilot study.," *J. Aging Res.*, vol. 2012, p. 597573, 2012.
- [43] R. Kretschmann, I. Dittus, I. Lutz, and C. Meier, "Nintendo Wii Sports boxing - a pilot study according to energy expenditure, observed motion, and sport science students' perceptions," *Int. Q. Sport Sci.*, pp. 19–30, 2012.
- [44] S. Deterding, "Gamification : Toward a Definition," *ACM Press*, vol. Mindtrek 2, pp. 12–15, 2011.
- [45] J. Frith, "Turning life into a game: Foursquare, gamification, and personal mobility," *Mob. Media Commun.*, vol. 1, no. 2, pp. 248–262, May 2013.
- [46] S. Deterding, D. Dixon, R. Khaled, and L. Nacke, "From game design elements to gamefulness: defining gamification," *Proc. 15th ...*, pp. 9–15, 2011.
- [47] "Game Mechanics | Gamification.org." [Online]. Available: [http://gamification.org/wiki/Game\\_Mechanics](http://gamification.org/wiki/Game_Mechanics). [Accessed: 20-Sep-2013].
- [48] Richard A. Bartle., "Players Who Suit MUDs." [Online]. Available: <http://mud.co.uk/richard/hcde.htm>. [Accessed: 21-Mar-2014].
- [49] A. Anderson and D. Huttenlocher, "Steering user behavior with badges," *Proc. 22nd Int. Conf. World Wide Web*, pp. 95–105, 2013.
- [50] "Mobile Gaming Industry: The \$800 Million Market - TheTechLabs." [Online]. Available: <http://www.thetechlabz.com/tech-news/its-time-to-take-mobile-gaming-seriously/>. [Accessed: 18-Sep-2013].
- [51] T. Boellstorff, "A Ludicrous Discipline ? Ethnography and Game Studies," *Games Cult.*, vol. 1, no. 1, pp. 29–35, 2006.

- [52] M. Bouca, “Mobile communication, gamification and ludification.,” *MindTrek*, pp. 295–301, 2012.
- [53] D. Flatla, C. Gutwin, and L. Nacke, “Calibration games: making calibration tasks enjoyable by adding motivating game elements,” *Proc. 24th Annu. ACM Symp. User interface Softw. Technol.*, pp. 403–412, 2011.
- [54] J. Annema, M. Verstraete, V. Vanden Abeele, S. Desmet, D. Geerts, and I. K. U. Leuven, “Videogames in therapy : a therapist ’ s perspective,” *Int. J. Arts Technol.*, vol. 1/2013, pp. 106–122, 2012.
- [55] U. Petursdottir, S. A. Arnadottir, and S. Halldorsdottir, “Facilitators and barriers to exercising among people with osteoarthritis: a phenomenological study,” *Phys. Ther.*, vol. 90, pp. 1014–1025, 2010.
- [56] J. A. M. Murcia, M. L. D. S. Román, C. M. Galindo, N. Alonso, and D. González-Cutre, “Peers’ influence on exercise enjoyment: a self-determination theory approach.,” *J. Sports Sci. Med.*, vol. 7, no. 1, pp. 23–31, Jan. 2008.
- [57] I. Electronics Engineeers, “IEEE Std. 610.12-1990 - IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology,” 1990.
- [58] T. Grechenig, M. Bernhart, R. Breiteneder, and K. Kappel, *Softwaretechnik: Mit Fallbeispielen aus realen Entwicklungsprojekten*. Pearson Studium; Auflage: 1, 2009.
- [59] *Iso 9126*. pp. 1–5.
- [60] F. Paetsch, a. Eberlein, and F. Maurer, “Requirements engineering and agile software development,” *WET ICE 2003. Proceedings. Twelfth IEEE Int. Work. Enabling Technol. Infrastruct. Collab. Enterp. 2003.*, pp. 308–313, 2003.
- [61] *Requirements-Engineering und -Management*. Hanser Fachbuch.
- [62] K. Bittner, *Use Case Modeling*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2002.
- [63] O. M. G. A. Specification and C. Bars, “OMG Unified Modeling Language ( OMG UML ),” *Language (Baltim.)*, pp. 1 – 212, 2007.
- [64] J. Nielsen, *Usability Engineering*, 1st ed., vol. 44. Morgan Kaufmann, 1993, p. 362.
- [65] J. M. Carroll and J. C. Thomas, “FUN,” *ACM SIGCHI Bull.*, vol. 19, no. 3, pp. 21–24, 1988.
- [66] D. A. Norman and S. W. Draper, *User Centered System Design; New Perspectives on Human-Computer Interaction*. Hillsdale, NJ, USA: L. Erlbaum Associates Inc., 1986, p. 540.
- [67] E. DIN, “13407 (1999). Benutzer-orientierte Gestaltung interaktiver Systeme,” *Berlin, Beuth*, 2004.
- [68] R. J. Pagulayan, K. Keeker, D. Wixon, R. L. Romero, and T. Fuller, “User-centered Design in Games 1 Pagulayan, R. J., Keeker, K., Wixon, D., Romero, R., & Fuller, T. (in press). User-centered design in games. In J. Jacko and A. Sears (Eds.),” *human-computer Interact. Handb. Fundam. Evol. Technol. Emerg. Appl.*, vol. 28, pp. 1–28, 2001.
- [69] S. L. Kent, *The First Quarter: A 25-year History of Video Games*. BWD Press, 2001.
- [70] N. Maiden and G. Rugg, “ACRE: selecting methods for requirements acquisition,” *Softw. Eng. J.*, vol. 11, no. May, pp. 183–192, 1996.
- [71] A. Osborn, *Applied imagination*. Scribner, 1953, p. 317.
- [72] A. C. Lewis, T. L. Sadosky, and T. Connolly, “The effectiveness of group brainstorming in engineering problem solving,” *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. EM-22, no. 3, pp. 119–124, 1975.

- [73] N. Takeda, a. Shiomi, K. Kawai, and H. Ohiwa, "Requirement analysis by the KJ editor," *[1993] Proc. IEEE Int. Symp. Requir. Eng.*, pp. 98–101, 1992.
- [74] B. H. Boar, *Application prototyping: a requirements definition strategy for the '80s*. Wiley, 1984.
- [75] F. B. Jr, "No silver bullet-essence and accidents of software engineering," *IEEE Comput.*, pp. 1–16, 1987.
- [76] E. S. Cordingley, "Knowledge elicitation: principle, techniques and applications," D. Diaper, Ed. New York, NY, USA: Springer-Verlag New York, Inc., 1989, pp. 87–175.
- [77] A. Tahir and R. Ahmad, "Requirement Engineering Practices - An Empirical Study," *2010 Int. Conf. Comput. Intell. Softw. Eng.*, pp. 1–5, Dec. 2010.
- [78] B. Boehm, "Requirements that handle IKIWISI, COTS, and rapid change," *Computer (Long. Beach. Calif.)*, vol. 33, no. 7, pp. 99–102, 2000.
- [79] A. Sutcliffe, *User-centred requirements engineering*. Springer, 2002.
- [80] "Design Principles | Android Developers." [Online]. Available: <http://developer.android.com/design/get-started/principles.html>. [Accessed: 21-Mar-2014].
- [81] J. P. Chadia Abras, Diane Maloney-krichmar and C. Abras, "User-Centered Design," in *In Bainbridge, W. Encyclopedia of Human-Computer Interaction. Thousand Oaks: Sage Publications, 2004*, pp. 1–14.
- [82] J. Bortz and N. Döring, *Forschungsmethoden und evaluation: für human-und sozialwissenschaftler*. Springer-Verlag New York, Inc., 2006, p. 897.
- [83] G. Laudel and J. Gläser, *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen*. Vs Verlag, 2004.
- [84] T. Buzan and B. Buzan, *Das Mind-map-Buch: die beste Methode zur Steigerung Ihres geistigen Potenzials*. mvg Verlag, 2002.
- [85] "Android Pushes Past 80% Market Share While Windows Phone Shipments Leap 156.0% Year Over Year in the Third Quarter, According to IDC - prUS24442013." [Online]. Available: <http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS24442013>. [Accessed: 11-Apr-2014].
- [86] "Base sensors and trigger modes | Android Developers." [Online]. Available: [https://source.android.com/devices/sensors/base\\_triggers.html](https://source.android.com/devices/sensors/base_triggers.html). [Accessed: 21-Mar-2014].
- [87] "AndEngine » About - Android Game Engine." [Online]. Available: <http://www.andengine.org/blog/about/>. [Accessed: 11-Apr-2014].
- [88] M. Dölken and W. Laube, *Biomechanik, Bewegungslehre, Leistungsphysiologie, Trainingslehre*. Georg Thieme Verlag, 2011.
- [89] D. D. Price, P. a McGrath, a Rafii, and B. Buckingham, "The validation of visual analogue scales as ratio scale measures for chronic and experimental pain.," *Pain*, vol. 17, no. 1, pp. 45–56, Sep. 1983.
- [90] R. Baranyi, R. Willinger, N. Lederer, T. Grechenig, and W. Schramm, "Chances for serious games in rehabilitation of stroke patients on the example of utilizing the Wii Fit Balance Board," in *2013 IEEE 2nd International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, 2013, pp. 1–7.
- [91] R. Baranyi, N. Lederer, and T. Grechenig, "Towards an Architecture for a Game Achievement Based System to Analyze Human Health Comparative Behavior," in *eTELEMED 2013, The Fifth International Conference on eHealth, Telemedicine, and Social Medicine*, 2013, pp. 137–140.

- [92] B. Klika and C. Jordan, “High-Intensity Circuit Training Using Body Weight: Maximum Results With Minimal Investment,” *ACSMs Heal. Fit. J.*, vol. 17, pp. 8–13, 2013.
- [93] “Handout: Herz-Jesu Krankenhaus - Ergotherapie - Abteilung für Physikalische Medizin und Rehabilitation.”
- [94] “Activity | Android Developers.” [Online]. Available: <http://developer.android.com/reference/android/app/Activity.html>. [Accessed: 08-Feb-2014].
- [95] R. Baranyi, N. Lederer, R. Willinger, D. M. Binder, and T. Grechenig, “Fachzeitschrift Ergotherapie,” *Einsatz moderner Technik in der Ergotherapie 4/2013*, Ergotherapie Austria - Bundesverband der Ergotherapeutinnen und Ergotherapeuten Österreichs, 2013.
- [96] “Sensor Coordinate System.” [Online]. Available: [http://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors\\_overview.html](http://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_overview.html). [Accessed: 21-Mar-2014].
- [97] “Android System Architektur - Von Smieh [CC-BY-SA-3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>)], via Wikimedia Commons.” [Online]. Available: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Android-System-Architecture.svg>. [Accessed: 08-Feb-2014].