

Analyse, Design und prototypische Entwicklung eines Serious Games für Rehabilitation und Prävention von Verletzungen der Finger

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

im Rahmen des Studiums

Medizinische Informatik

eingereicht von

Stefan Meusburger, BSc

Matrikelnummer 01526330

an der Fakultät für Informatik

der Technischen Universität Wien

Betreuung: René Baranyi

Mitwirkung: Thomas Grechenig

Wien, 1. Juni 2024

Unterschrift Verfasser

Unterschrift Betreuung

Analyse, Design und prototypische Entwicklung eines Serious Games für Rehabilitation und Prävention von Verletzungen der Finger

DIPLOMA THESIS

submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of

Diplom-Ingenieur

in

Medical Informatics

by

Stefan Meusburger, BSc

Registration Number 01526330

to the Faculty of Informatics

at the TU Wien

Advisor: René Baranyi

Assistance: Thomas Grechenig

Vienna, 1st June, 2024

Signature Author

Signature Advisor



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



Analyse, Design und prototypische Entwicklung eines Serious Games für Rehabilitation und Prävention von Verletzungen der Finger

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

im Rahmen des Studiums

Medizinische Informatik

eingereicht von

Stefan Meusburger, BSc

Matrikelnummer 01526330

ausgeführt am
Institut für Information Systems Engineering
Forschungsbereich Business Informatics
Forschungsgruppe Industrielle Software
der Fakultät für Informatik der Technischen Universität Wien

Betreuung: René Baranyi

Wien, 1. Juni 2024

Erklärung zur Verfassung der Arbeit

Stefan Meusburger, BSc

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.

Wien, 1. Juni 2024

Stefan Meusburger



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Danksagung

Ich möchte meiner Familie meinen tiefsten Dank aussprechen für ihre stetige Unterstützung während meines Studiums und dieser Arbeit.

Ein besonderer Dank gilt Eric für seine stets zur Verfügung gestellte Expertise. Deine fachkundige Unterstützung war für den Erfolg dieser Arbeit von unschätzbarem Wert.

Ein großer Dank gebührt auch den Personen, die den Fragebogen sowie diese Arbeit Korrektur gelesen haben. Eure sorgfältige Durchsicht und wertvollen Anmerkungen haben wesentlich zur Qualität dieser Arbeit beigetragen.

Außerdem möchte ich mich bei allen Teilnehmern der Umfrage und speziell bei den Teilnehmern der Usability-Tests bedanken.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Kurzfassung

Fingerverletzungen sind ein häufiges Problem im Sport und können zu einer langwierigen Genesungsphase führen, die nicht nur den sportlichen Bereich, sondern auch das alltägliche Leben beeinträchtigt. Diese Diplomarbeit befasst sich mit Fingerverletzungen, ihrem Rehabilitationsprozess und Möglichkeiten zu dessen Verbesserung. Zunächst werden die medizinischen Grundlagen der Verletzungen, ihr Ablauf und die anschließende Therapie untersucht. Diese Erkenntnisse werden dann durch eine Umfrage und ein Interview mit Stakeholdern überprüft und erweitert. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Rehabilitationsprozess oft monoton und strikt ist, was die Patientenmotivation und Adhärenz verringern und somit den Therapieerfolg negativ beeinflussen kann. Zudem stehen Profisportler oft unter Druck, frühzeitig wieder zum Sport zurückzukehren, was zu erneuten Verletzungen führen kann. Um diesen Problemen entgegenzuwirken, wird nach neuen Technologien gesucht, die die Motivation steigern, Transparenz schaffen und den Therapiefortschritt quantifizierbar machen. Ein vielversprechender Ansatz hierbei ist die digitale Rehabilitation. Im Zuge der Diplomarbeit wird ein Serious Game entwickelt, das darauf abzielt, die Therapieübungen in einem unterhaltsamen Kontext umzusetzen. Der Benutzer soll das Gefühl haben, ein Spiel zu spielen, anstatt einfach nur Übungen zu absolvieren. Dies soll die Motivation der Patienten erhöhen und somit ihre Adhärenz verbessern. Die Qualität der Anwendung ist hierbei entscheidend, weshalb die Stakeholder in den Entwicklungsprozess eingebunden wurden. Eine Umfrage in der Zielgruppe wurde durchgeführt, um die Bedürfnisse der zukünftigen Benutzer zu ermitteln. Zudem wurde das Spiel in enger Zusammenarbeit mit einem Physiotherapeuten entwickelt, um sicherzustellen, dass es den Anforderungen entspricht. Das Serious Game bietet unterschiedliche Spielmodi, die verschiedene Therapieübungen integrieren. Die Benutzerfreundlichkeit des Systems wurde anschließend mit potenziellen zukünftigen Benutzern getestet, wobei die System Usability Scale (SUS) und der User Experience Questionnaire (UEQ) zum Einsatz kamen. Die Ergebnisse waren durchwegs positiv, mit einem SUS-Score von 84,64. Alle Dimensionen des UEQ erreichten eine Bewertung über 1,3, wobei 4 Dimensionen sogar einen Wert über 2 erzielten.

Keywords: *Fingerverletzungen, digital Rehabilitation, serious game, Leap Motion, Unity*



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abstract

Finger injuries are common in sports and can lead to a prolonged recovery period. During this time, the affected individual is not only impaired in sports but also in everyday life. This thesis deals with finger injuries, their rehabilitation process, and how it can be improved. The first step is to examine the medical basics of the injuries, their causes, and subsequent therapy. Following this, the findings are validated and expanded through a survey and interviews with stakeholders. The results show that the rehabilitation process can be monotonous and strict, often leading to decreased patient adherence, which can negatively impact the success of therapy. Furthermore, professional athletes are often pressured to return to sports as soon as possible, which can lead to re-injury. To counteract these factors, new technologies are being sought that provide motivation, transparency, and a quantifiable measure of therapy progress. One area that can help with this is digital rehabilitation. In the case of this thesis, a Serious Game is used for this purpose. The aim of these applications is to implement therapy exercises in an entertaining environment. The user should no longer feel like they're doing exercises; instead, they are playing a game. This is intended to increase the motivation of patients and thus improve adherence to therapy. However, this can only be achieved if the quality of the application is high. To ensure this, stakeholders must be involved in the development process. Therefore, a survey was conducted in the target group to determine the needs of future users. Furthermore, involving experts is of utmost importance, so the game was developed in close collaboration with a physiotherapist. A Serious Game with various game modes was developed, utilizing multiple therapy exercises as control options. Subsequently, the usability of the system was tested with potential future users using the System Usability Scale (SUS) and the User Experience Questionnaire (UEQ). The results were consistently positive, with an SUS score of 84.64. All dimensions of the UEQ scored above 1.3, with three dimensions even reaching a value above 2.

Keywords: *Finger injuries, digital rehabilitation, serious game, Leap Motion, Unity*



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	xi
Abstract	xiii
Inhaltsverzeichnis	xv
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Motivation	2
1.3 Forschungsziele	2
1.4 Methodisches Vorgehen und Aufbau der Arbeit	3
2 Theoretischer Hintergrund	7
2.1 Physiologie und Anatomie von Fingerletzungen	7
2.1.1 Inzidenz von Fingerletzungen	9
2.1.2 Häufige Fingerletzungen im Sport	10
2.2 Rehabilitation nach Fingerletzungen	15
2.2.1 Return-to-Sport Entscheidung	18
2.2.2 Psychologische Aspekte und Adhärenz zur Therapie	21
2.3 Digitale Rehabilitation	23
2.3.1 Serious Games	24
2.3.2 Serious Games zu Rehabilitationszwecken	28
2.4 Requirements Engineering	29
2.4.1 Phasen des Requirements Engineerings	31
2.4.2 Techniken der Erhebungsphase	33
2.5 Usability	36
2.5.1 System Usability Scale	37
2.5.2 User Experience Questionnaire	39
2.6 Sensoren	41
3 State-of-the-Art Analyse	45
4 Ergebnisse	53
4.1 Umfrage in der Zielgruppe	53
	xv

4.1.1	Fingerverletzungen	54
4.1.2	Rehabilitation nach einer Fingerverletzung	58
4.1.3	Serious Games für Rehabilitations- und Präventionszwecke	61
4.1.4	Zusammenfassung und Erkenntnisse der Umfrage	64
4.2	Experteninterview	65
4.2.1	Zusammenfassung und Erkenntnisse des Experteninterviews	68
4.3	Anforderungen an das Serious Game	69
4.4	Implementierung des Prototyps	71
4.4.1	Hard- und Software Auswahl	72
4.4.2	Erste Iteration des Prototyps	73
4.4.3	Finale Iteration des Prototyps	86
4.5	Evaluierung	95
4.5.1	Usability Tests	96
4.5.2	Anmerkungen des Physiotherapeuten	99
5	Diskussion	101
5.1	Forschungsfrage 1 (FF1)	102
5.2	Forschungsfrage 2 (FF2)	103
5.3	Prototyp	104
6	Zukünftige Arbeit	107
	Abbildungsverzeichnis	109
	Tabellenverzeichnis	113
	Literaturverzeichnis	115
	Appendix A - Umfragebogen	127
	Appendix B - Interviewleitfaden	141

Einleitung

Der erste Abschnitt dieser Diplomarbeit gibt einen Einblick in den Kontext und die Rahmenbedingungen, unter denen die folgenden Untersuchungen und Arbeiten stattfanden. Dabei wird zunächst das zugrunde liegende Problem vorgestellt und anschließend die Motivation erläutert, die zur Entwicklung dieser Diplomarbeit führte. Darauf aufbauend werden die Forschungsziele herausgearbeitet. Abschließend wird in diesem Abschnitt die Struktur der Arbeit und die angewandte Methodik behandelt.

1.1 Problemstellung

Verletzungen der Finger können nicht nur in Sportarten, sondern auch im Alltag zu Einschränkungen führen. Sie treten vermehrt bei Sportlerinnen und Sportlern auf, insbesondere beim Sportklettern und bei Ballsportarten, bei denen die Hand direkten Kontakt mit dem Ball macht. Dies umfasst unter anderem Basketball, Volleyball, Handball, American Football und Rugby [1].

Die Finger sind mit 5,84% die am zweit meisten betroffene Körperregion der oberen Extremität bei Sportunfällen [2]. Laut einer deskriptiven epidemiologischen Studie entfallen 30,7% aller akuten Verletzungen und Überlastungssyndrome beim Sportklettern und Bouldern in Österreich auf Finger [3]. Fingerverletzungen können eine langwierige Genesungszeit nach sich ziehen, die den Sportler bzw. die Sportlerin vom Training abhält. Diese kann mehrere Monate dauern. Der Rehabilitationsprozess kann mühsam sein und erfordert oft physiotherapeutische Unterstützung. Der Erfolg hängt stark von der Adhärenz und Resilienz des Patienten ab [4]. Allerdings erfolgt die Therapie meist in einem strikten und monotonen Rahmen, welcher sich negativ auf ebendiese Aspekte auswirken kann.

Durch den Einsatz von Serious Games kann versucht werden, die Behandlung interessanter zu gestalten und somit den Therapieerfolg zu verbessern. Im Allgemeinen haben diese Spiele den Zweck, Benutzer dazu zu bringen, mit einer IT-Anwendung zu interagieren, die Aspekte von Tutoring, Unterricht, Schulung und Kommunikation mit einem Freizeitelement und/oder mit Technologie, welche von Videospiele abgeleitet ist, kombiniert [5]. Der Gesundheitsbereich bietet dabei ein mögliches Anwendungsfeld, in dem Serious Games Lösungen darstellen können [6].

Es gibt bereits Studien, die den Erfolg des Einsatzes solcher Technologien im therapeutischen Bereich aufzeigen. Ein Großteil davon beschäftigt sich mit der Therapie von Patientinnen und Patienten mit neurologischen Erkrankungen wie Alzheimer und Parkinson und mit der Rehabilitation nach einem Schlaganfall [7]. Die Zielgruppe bei Sportverletzungen unterscheidet sich allerdings stark von der bei neurologischen Erkrankungen, was Auswirkungen auf die Effektivität dieser Technik haben kann.

Bis jetzt gibt es noch keine Arbeit die sich mit dem Einsatz von Serious Games in der Fingerrehabilitation nach Sportverletzungen beschäftigt. Genau hier setzt diese Arbeit an. Es soll der Erfolg solch eines Spiels in diesem Bereich überprüft werden und ob die Adhärenz und Resilienz des Patienten gegenüber des Rehabilitationsprozess dadurch erhöht werden kann. Mit Hilfe eines Serious Games soll versucht werden, bestehende Rehabilitationsübungen zu simulieren als auch neue Arten von Übungen zu entwickeln. Dadurch sollen die Patienten in ihrer Einhaltung des Therapieplanes unterstützt und ihre Motivation verstärkt werden.

1.2 Motivation

Es gibt bereits Serious Games die in der Handtherapie Einsatz finden. Allerdings setzt keines dieser Spiele den Fokus auf die Akzeptanz seitens Sportlerinnen und Sportlern. Sie spezialisieren sich stattdessen auf die Rehabilitation von Hirnkrankheiten wie Alzheimer und Parkinson oder nach einem Schlaganfall. Weiters wird in den vorhandenen Systemen die ganze Hand als Einheit behandelt und der Fokus kann nicht auf einzelne Finger oder sogar einzelne Gelenke gelegt werden. Diese Diplomarbeit untersucht die Anforderungen, die sowohl von Physiotherapeutinnen und Physiotherapeuten als auch von Sportlerinnen und Sportlern an ein Serious Game für Rehabilitationszwecke nach einer Fingerverletzung im Sport gestellt werden. Es wird ein Prototyp eines solchen Serious Games entsprechend dieser Anforderungen entwickelt. Dabei soll es herkömmliche Übungen des Rehabilitationsprozesses nachbilden und mit dem Kampfgeist von Sporttreibende verbinden. Somit soll die Adhärenz zur Therapie und die Stimmung der Patientinnen und Patienten positiv beeinflusst werden.

1.3 Forschungsziele

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, folgende Forschungsfragen zu beantworten:

FF1 Was sind die Anforderungen an ein Serious Game zur Unterstützung einer Finger-
verletzungstherapie nach Sportverletzungen?

FF2 Wie bewerten die Benutzer die Usability und User Experience des Prototyps
basierend auf standardisierten Fragebögen?

1.4 Methodisches Vorgehen und Aufbau der Arbeit

Um die Forschungsfragen zu beantworten, gliedert sich diese Arbeit in drei Phasen (Abbildung 1.1). Phase 1 widmet sich der Anforderungsanalyse. In Phase 2 erfolgt die Entwicklung eines Prototyps auf Basis der Erkenntnisse aus Phase 1, während Phase 3 den Test und die Evaluation des erstellten Prototyps behandelt.

Die erste Phase, welche sich mit der Anforderungsanalyse befasst, umfasst eine Literaturrecherche, eine State-of-the-Art-Erhebung als auch ein Experteninterview und eine Umfrage in der Zielgruppe. Die Literaturrecherche behandelt die zugrunde liegende Theorie der Arbeit. Sie widmet sich der Physiologie und Anatomie von Finger-
verletzungen sowie den entsprechenden Rehabilitationsprozessen und Übungen. Des Weiteren wurde Digital Rehabilitation in Bezug auf Serious Games und Sensoren, die hier zum Einsatz kommen, recherchiert. Die State-of-the-Art Analyse konzentriert sich auf Serious Games im Kontext von Hand- und Finger-
verletzungen. Zudem wurde eine Zielgruppenumfrage in Form eines Fragebogens durchgeführt, um einen quantitativen Überblick über die Bedürfnisse der zukünftigen Nutzer zu untersuchen. Die Fragen wurden auf Basis der Erkenntnisse der Literaturrecherche erstellt. Die Umfrage wurde an Freundinnen und Freunde geschickt, die Sport treiben, sowie an Physiotherapeutinnen und Physiotherapeuten aller Arten von Sportarten mit der freundlichen Bitte, den Fragebogen zu verbreiten, um so viele und unterschiedliche Antworten wie möglich zu sammeln. Somit wurde für die Stichprobenauswahl sowohl Convenience Sampling als auch Snowball Sampling verwendet [8]. Nach der Formel von Cochran [9] führt ein Konfidenzniveau von 80% und eine Fehlerspanne von 10% zu einer Stichprobengröße von mindestens 41 Personen. An der Umfrage haben 51 Personen teilgenommen, was diese Anzahl übertrifft. Die Ergebnisse wurden statistisch ausgewertet und analysiert. Des Weiteren wurde ein semi-strukturiertes Interview mit einem Physiotherapeuten durchgeführt. Der Physiotherapeut war bereits vor dem Interview bekannt und daher leicht erreichbar, allerdings bringt er das nötige Expertenwissen im Bereich der Rehabilitation nach Finger-
verletzungen mit sich. Er hat eine Zusatzausbildung zum Sport-Physiotherapeuten und praktiziert schon seit über 30 Jahren. Da viele seiner Patientinnen und Patienten Klettersport und Skifahren betreiben und diese ein erhöhtes Finger-
verletzungsrisiko haben, behandelt er solche Verletzungen regelmäßig. Daher kann hier von einer Mischung eines Convenience Samplings und eines Purposive Samplings gesprochen werden [8]. Das Interview wurde mittels einer qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring [10] ausgewertet. Dadurch konnte das erlangte Wissen qualitativ durch eine Expertenmeinung erweitert werden. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für die Anforderungsanalyse, welche die funktionalen und

nicht-funktionalen Anforderungen eines Serious Games zur Unterstützung einer Fingerverletzungstherapie definieren. Somit kann die erste Forschungsfrage beantwortet werden [11].

Die zweite Phase widmet sich mit der Entwicklung des Prototyps. Basierend auf den Ergebnissen der Anforderungsanalyse erfolgt die Auswahl der Hard- und Software sowie die Definition der Übungen und Spielszenarien, die später im Prototyp umgesetzt werden. Anschließend werden Mockups des Prototyps erstellt, die gemeinsam mit der Anforderungsanalyse die Grundlage für die Prototypenentwicklung bildeten. Der Prototyp wird iterativ in Rücksprache mit einem Physiotherapeuten getestet, evaluiert und verbessert. Um dies zu bewerkstelligen, wurde dem Physiotherapeuten das Programm zur Verfügung gestellt. Bei diesen Tests und Evaluationen lag der Fokus auf der Funktionalität des Prototyps. Zusätzlich erfolgt eine Evaluation der Effektivität der implementierten Übungen durch ein Interview mit dem Physiotherapeuten. Basierend auf diesen Einschätzungen werden die Übungen in der nächsten Iteration angepasst und verbessert [11]. Der finale Prototyp dient als Grundlage für die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage.

In Phase 3 erfolgt der Test und die Evaluation des entwickelten finalen Prototyps im Hinblick auf die zweite Forschungsfrage. Hierfür nutzten 7 Personen aus der Zielgruppe das Programm. Hier wurden 7 computeraffine Probanden aus meinem Bekanntenkreis ausgewählt, die bereits eine Fingerverletzungen hatten. Es wurde also ein Convenience Sampling mit Bias verwendet [8]. Usability Tests können bereits mit einer kleinen Stichprobengröße von fünf bis 8 Usern rund 80% der Usability Probleme identifizieren [12]. Zur Bewertung der Usability und der User Experience füllten die Testpersonen anschließend den User Experience Questionnaire (UEQ) [13] und den System Usability Scale (SUS) Fragebogen aus. Dies sind beide standardisierte Fragebögen und ermöglichen Aussagen über die Usability und User Experience. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die Beantwortung von Forschungsfrage 2.

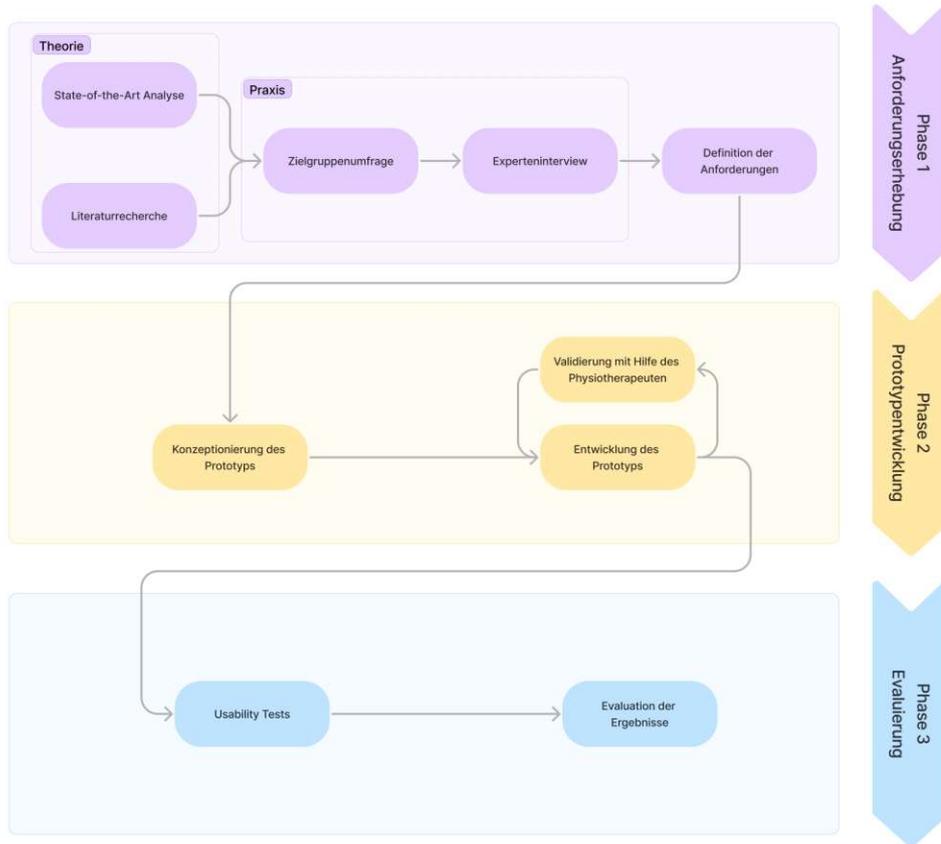


Abbildung 1.1: Methodischer Ablauf der Arbeit



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Theoretischer Hintergrund

Um die in Abschnitt 1.1 festgestellten Probleme besser zu verstehen, werden in diesem Abschnitt alle relevanten theoretischen Grundlagen erläutert. Zu Beginn werden die Anatomie der Hand, medizinische Beschreibungen und eine epidemiologische Analyse von häufigen Finger-Verletzungen beschrieben. Des Weiteren wird der rehabilitative Prozess nach solchen Verletzungen, der psychologische Aspekt dieser und die Rolle der Digitalisierung in der Rehabilitation diskutiert. Insbesondere Serious Games und ihr Einsatz in der Rehabilitation werden besprochen. Gefolgt wird dies von einer Erklärung des Anforderungsengineering-Prozesses, der Usability eines Systems und die Messbarkeit davon. Zum Abschluss des Kapitels werden Sensoren behandelt, die bei Serious Games zur Finger- beziehungsweise Handrehabilitation Anwendung finden.

2.1 Physiologie und Anatomie von Finger-Verletzungen

Die Struktur der Finger ist komplex und besteht aus verschiedenen Knochen welche von mehreren Bändern zusammengehalten werden. Die Zeige-, Mittel-, Ring- und kleinen Finger (Langfinger) bestehen aus drei Fingergliedknochen, welche als Phalangen bezeichnet und in Grund- (P1), Mittel- (P2) und Endphalanx (P3) unterteilt werden, sowie drei Gelenken. Dem Fingergrundgelenk (Metacarpophalangealgelenk, MCP), Fingermittelgelenk (proximale Interphalangealgelenk, PIP) und Fingerendgelenk (distales Interphalangealgelenk, DIP). Der Daumen hingegen besteht nur aus einer Grund- (P1) und Endphalanx (P2) sowie dem Daumengrundgelenk (Articulatio metacarpophalangea pollicis, MCP I) und -endgelenk (Articulatio interphalangea pollicis, IP I). Die Grundgelenke befinden sich zwischen den Grundphalangen und den Mittelhandknochen, während die restlichen zwischen den Fingergliedern liegen [14].

Jeder 3-gliedrige Langfinger hat zwei Beugesehnen, die oberflächliche (FDS) und tiefe

2. THEORETISCHER HINTERGRUND

Beugesehne (FDP). Der Daumen hingegen hat nur Eine. Ein Ring- und Kreuzbandsystem dient zur Stabilisierung der Beugesehnen und ihrer Sehnenscheiden. Es besteht aus fünf Ringbändern (A1-A5) und drei Kreuzbändern (C1-C3) an den Langfingern und zwei Ringbändern und ein schräg verlaufendes Band am Daumen. Die Ring- und Kreuzbänder sind in Abbildung 2.1 ersichtlich. A1 bis A5 sind hier beschriftet. Die Kreuzbänder befinden sich an folgenden Stellen: C1 zwischen A2 und A3, C2 zwischen A3 und A4 und C3 zwischen A4 und A5. An den Langfingern sind insbesondere A2 und A4 biomechanisch relevant, da diese das Abheben der Sehnenscheiden bei Flexion verhindern [15].

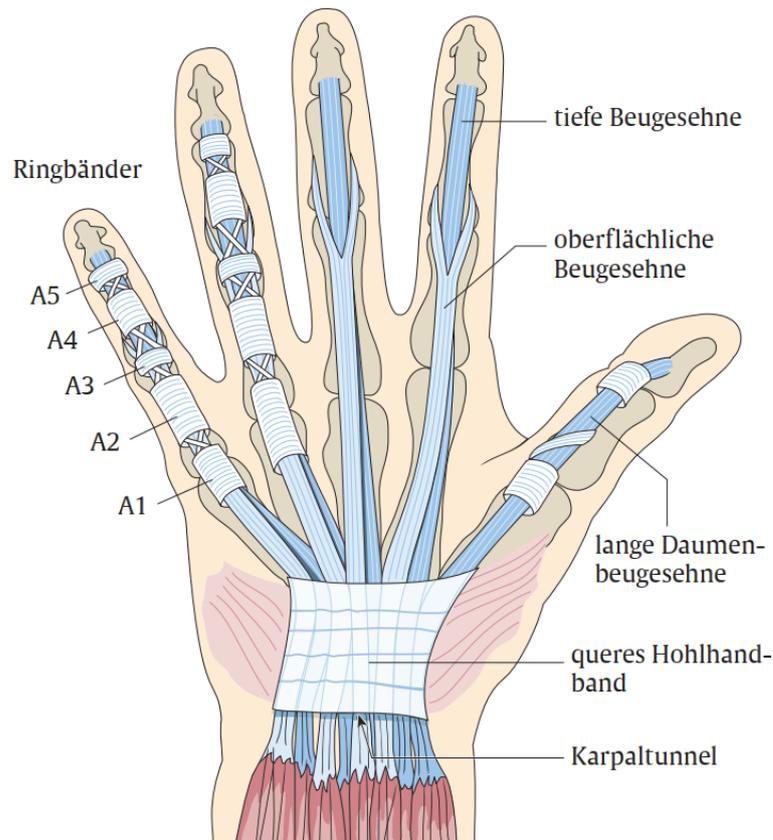


Abbildung 2.1: Palmare Ansicht der Hand mit Beugesehnen und Ringbänder [16]

Die seitlich am Fingergelenk verlaufenden Kollateralbänder welche und das Ligg. Palmaria beziehungsweise die palmare Platte, welche palmarseitig verläuft, stabilisieren die Gelenkkapseln und dienen als Überstreckungsschutz. Sie sind in Abbildung 2.2 erkennbar. Der Streckapparat ist in Abbildung 2.3 dargestellt. Er besteht im wesentlichen aus einer Strecksehne welche sich bei den zweigliedrigen Langfingern in Höhe der Grundphalangen in einen Mittelzügel (Tractus intermedius) und zwei lateral verlaufende Seitenzügel (Tractus laterales) teilt. Der Mittelzügel ist für die Streckung des PIP-Gelenks zuständig, während die lateralen Bänder das DIP-Gelenk strecken. Auf Höhe der Grundgelenke

verlaufen die Strecksehnen unter der sogenannten Extensorhaube. Diese zentriert die Sehnen und verhindert eine Hyperextension [17].

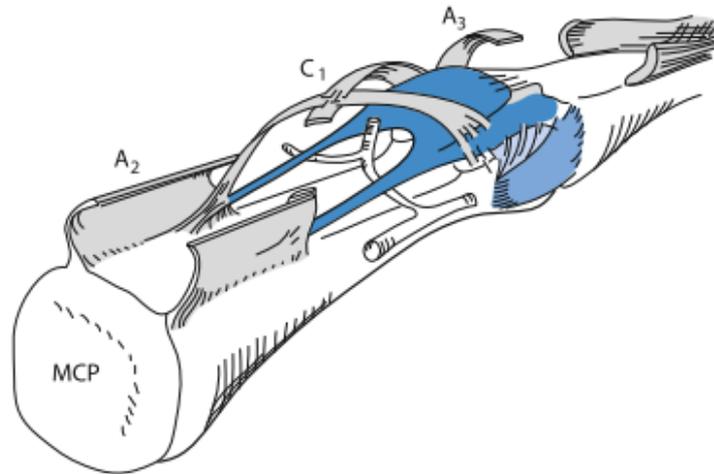


Abbildung 2.2: Palmare Platte und ein Kollateralband des PIP-Gelenks sowie die A2-,C1 und A3 Bänder [18]

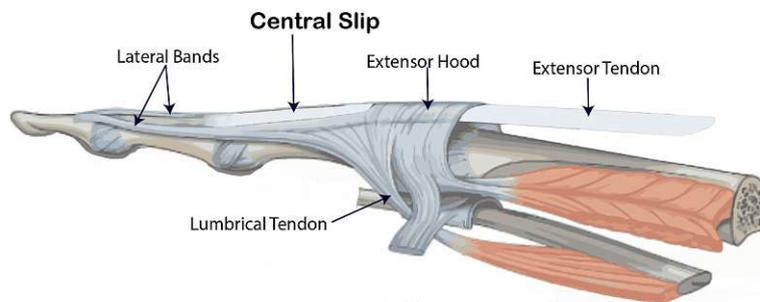


Abbildung 2.3: Dorsale Ansicht der Hand mit Strecksehnen [19]

2.1.1 Inzidenz von Fingerverletzungen

In einer Studie von Ootes et al. [20] wurde die Epidemiologie von Verletzungen der oberen Extremitäten untersucht, welche in der Notaufnahme in den Vereinigten Staaten vorkommen. Hierzu wurde das National Electronic Injury Surveillance System (NEISS) nach all diesen Verletzungen durchsucht, welche im Jahr 2009 aufgetreten sind. Das Ergebnis dieser Untersuchung führte zu einer Inzidenz von 1.130 Verletzung von oberen Extremitäten pro 100.000 Personen pro Jahr. Die am häufigsten betroffene Region waren die Finger mit 38,4%, was uns zu einer Inzidenz von 434 Fingerverletzungen pro 100.000

Personen pro Jahr führt. Ein großer Teil dieser Verletzungen tritt bei der Ausführung von Sport auf. Majewski [2] untersuchte ein Kollektiv von 30.603 Sportverletzten. Hier stellte sich heraus, dass die Finger mit 5,84% die am zweit meist betroffene Körperregion der oberen Extremität bei Sportunfällen ist. Des Weiteren wurde von Voth et al. [21] die Epidemiologie von Finger und Handverletzungen bei Kindern untersucht. Von insgesamt 2.823 Patienten, hatten 60,4% eine Fingerverletzung. Hauptursache für relevante Verletzungen waren Sportverletzungen. Im Speziellen beim Sportklettern und bei Ballsportarten bei denen die Hand direkten Kontakt mit dem Ball macht. Die umfasst unter anderem Basketball, Volleyball, Handball, American Football und Rugby [1].

Bove et al. [22] untersuchte die Verletzungsepidemiologie von Spielern eines professionellen Basketball Clubs. Die Daten der Spieler des FC Barcelona wurden über 22 Saisonen (1993/94-2015/16) gesammelt und anschließend ausgewertet. Insgesamt wurden 3452 Verletzungen aufgenommen. Die Finger waren eine der Körperregionen welche signifikant in Verletzungen verwickelt waren. Handgelenks und Fingerverletzungen machen in ihrer Studie 8,8% aus. Meist werden sie durch das Aufprallen des Balls auf den Finger hervorgerufen, insbesondere wenn der Ball die Fingerspitze trifft.

Eine größere Ausprägung kann bei Kindern und Jugendlichen gefunden werden. In einer Arbeit von Greier [23] wurden die Formen und Häufigkeiten von Ballspielverletzungen im Schulsport untersucht. Beim Basketball trat mit 68% ein Großteil der Verletzungen in den oberen Extremitäten auf, wobei allein 61% Fingerverletzungen waren. Auch hier war der Hauptgrund die individuelle Ballbehandlung ohne Einwirkung von Mitschülern. Ebenfalls beim Volleyball und Handball lag eine Dominanz der oberen Extremität mit 76% beziehungsweise 63% vor. Davon betrafen 52% beziehungsweise 49% die Finger.

In einer Studie von McGuine et al. [24] wurde die Inzidenz von Verletzungen beim Mädchen High School Volleyball untersucht. Insgesamt nahmen 2.072 Mädchen an der Studie Teil. Hier machten Hand und Fingerverletzungen mit 13% eine der meist betroffenen Regionen aus. In 76,6% ist die Verletzungsursache der Kontakt des Fingers mit dem Ball und nicht durch den Kontakt mit anderen Spielern [25].

Beim Sportklettern und Bouldern werden die Finger besonders stark belastet. Dies führt dazu, dass sie häufig verletzt werden. Laut einer deskriptiven epidemiologischen Studie entfallen 30,7% aller akuten Verletzungen und Überlastungssyndrome beim Sportklettern und Bouldern in Österreich auf Finger [3]. Auch in einer Studie von Schweizer & Göhner Schweizer wurden die meisten Kletterverletzungen in der oberen Extremität und im Speziellen in den Fingern gefunden [26]. Am häufigsten sind hier die Ringbänder betroffen [4]. Des Weiteren sind die Finger auch am anfälligsten für Wiederverletzung [27].

2.1.2 Häufige Fingerverletzungen im Sport

Da die Finger solch eine komplexe Anatomie aufweisen, gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Verletzungen. Diese können die Bänder oder Sehnen betreffen, oder als Luxationen und Brüche auftreten. Die meisten Arten von Sportverletzungen der Finger betreffen die Bänder und Sehnen. Sie umfassen unter anderen die sogenannten Mallet, Jersey,

und Jammed Finger (Verletzungen der Gelenkkapsel), Verletzungen der Ringbänder, palmaren Platte und des Mittelzugs der Strecksehne, und den Ski Daumen [28, 29].

Der Mallet-Finger, welcher in Deutsch auch als Hammer-Finger bezeichnet wird (im Englischen auch als Baseball-Finger), ist eine Verletzung des Streckapparates am Fingergelenk (DIP). Genauer beschrieben tritt eine distale Ruptur einer Extensorsehne an der Endphalanxbasis auf. Diese kann jeden Finger betreffen, während sie mit absteigender Häufigkeit am Klein-, Ring- und Mittelfinger der dominanten Hand vorkommen und mit oder ohne einem abgerissenen Knochenfragment auftreten können. In diesem Fall wird von einer Avulsionsfraktur gesprochen. Als üblicher Unfallmechanismus gilt ein massives Flexionstrauma im maximal extendiert gehaltenen DIP-Gelenk. Zum Beispiel bei dem Versuch, einen Ball zu fangen. Kennzeichnend für einen Mallet-Finger ist eine herabhängende Fingerspitze, welche nicht gestreckt werden kann. Dies ist in Abbildung 2.4 zu sehen. Die Patienten verspüren meist Schmerzen dorsal am DIP Gelenk. Um ein befriedigendes Behandlungsergebnis zu erlangen, muss eine mühsame und langwierig Therapie durchgeführt werden. Schlechte Resultate sind nicht selten und können für Patient und Arzt frustrierend sein. Wenn der knöchernen Ausriss weniger als ein Drittel der Gelenkfläche betrifft, oder kein knöcherner Ausriss vorliegt, muss das Endglied für 6 bis 8 Wochen ruhig gestellt werden. Was zum Beispiel mithilfe einer Stack-Schiene erfolgen kann. Ansonsten muss eine operative Behandlung in Erwägung gezogen werden. Dies kommt aber nur bei einem kleinen Anteil der Fälle vor [17, 30].

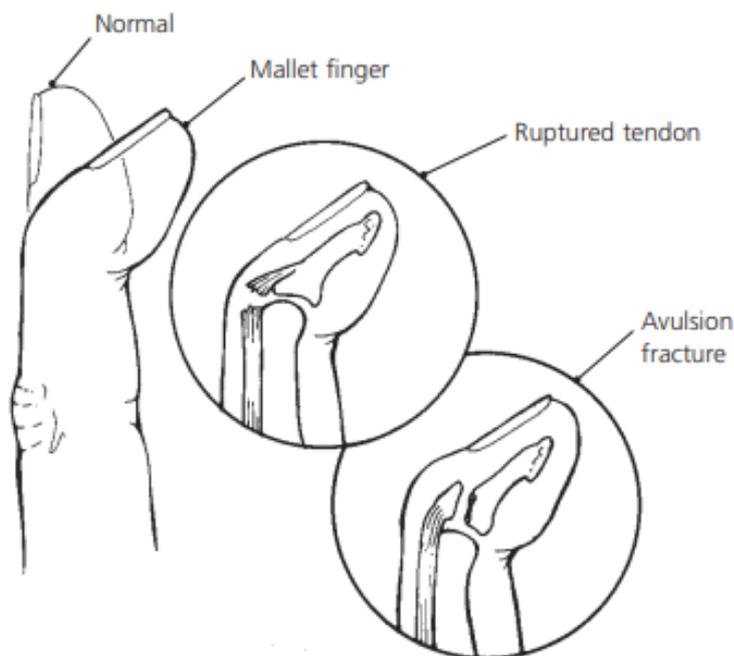


Abbildung 2.4: Mallet Finger [17]

Als Jersey Finger (Abbildung 2.5) wird ein Beugesehnenaustriss von der Endgliedbasis und die damit einhergehende Retraktion der Sehne des Flexor digitorum profundus (FDP) bezeichnet. Diese Verletzung tritt häufig bei Ballsportarten wie American Football und Rugby auf. Meist entsteht sie durch das Hängenbleiben des Fingers am Trikot (Jersey) des Gegenspielers, was den Eigennamen erklärt. Es kommt zu einer gewaltsamen Fingerstreckung eines aktiv abgewinkelten Fingers gegen Widerstand. Die Verletzung kann mit oder ohne knöchernem Ausriss auftreten [14]. 75 % der Fälle betreffen den Ringfinger, wobei theoretisch alle Finger betroffen sein können [31]. Der Patient kann keine volle Faust mehr bilden und das DIP-Gelenk kann nicht mehr aktiv gebeugt werden. Die Verletzung sollte möglichst zeitnah operativ versorgt, anschließend ruhiggestellt und durch eine Physiotherapie unterstützt werden. Nach ungefähr 6 Wochen sollten selbstständige aktive Übungen durchgeführt werden [32]. Sportler können mit einer verlorenen Spielzeit von 8 bis 12 Wochen rechnen. Wenn eine funktionale Range-of-Motion des betroffenen Fingers mit minimalem oder keinem Schmerz vorliegt und eine Griffstärke die größer als 80% der unverletzten Hand vorhanden ist, darf der Patient wieder seinen Sport durchführen [30].

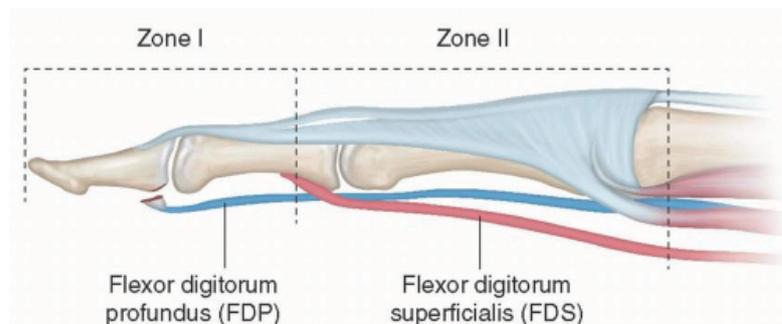


Abbildung 2.5: Jersey Finger [33]

Ringbandverletzungen treten insbesondere im Klettersport häufig auf. Durch die Beugstellung der Finger vergrößert sich die Kraft, die auf den Ringbandapparat wirkt. Die größte Beanspruchung ist bei einer maximalen Beugung im PIP-Gelenk zu erkennen. Daher treten beim Klettern in schweren Routen mit sehr kleinen Griffen besonders hohe Belastungen an den Ringbändern auf. Am häufigsten sind die Ringbänder betroffen, welche das PIP-Gelenk umgeben (A2-A4) [34]. Es kann zu einer Ruptur dieser kommen, was dazu führt, dass die Beugesehne nicht mehr am Knochen geführt wird [14]. Daher tritt der sogenannte Bogensehnen effekt (Bowstring-Phänomen) auf. Dieser ist in Abbildung 2.7 erkennbar.

Die Verletzung kann ein oder mehrere Ringbänder betreffen. Ist sie singular, erfolgt bisher ein konservatives Vorgehen mit initialer Ruhigstellung und einer Behandlung mittels Ringbandschutzring, welcher die Beugesehnen wieder an ihre gewohnte Position nahe den Fingerphalanxe zwingt [34]. Zusätzlich sollten Range-of-Motion (ROM) Übungen vom Patienten durchgeführt werden [29]. Die Genesungszeit beträgt zwischen 2 und 3 Monaten und mit einer vollen Belastbarkeit ist nach 4-6 Monaten zu rechnen [4]. Bei einer

Komplexruptur von mehreren Ringbändern wird eine operative Rekonstruktion mittels Ringbandplastik durchgeführt. Auch hier wird empfohlen, frühzeitig ROM Übungen durchzuführen. Mit einer stärkeren Belastbarkeit sollte erst nach 6 Monaten gerechnet werden [34].

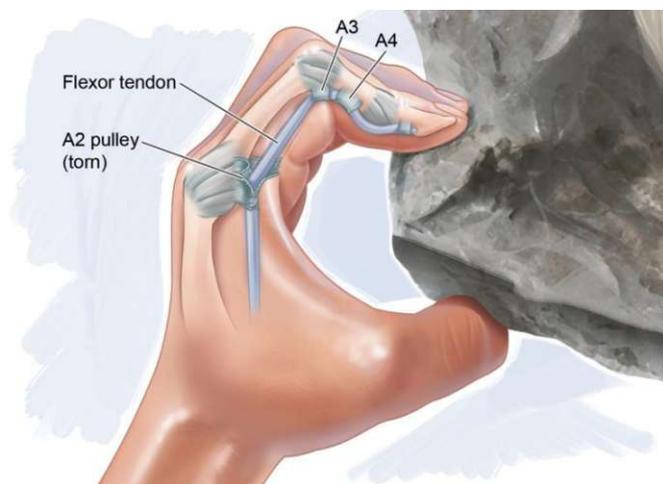


Abbildung 2.6: Ringbandeinriss während dem Klettern [35]



Abbildung 2.7: Bogensehneneffekt [36]

Bei einer Hyperextension eines Fingergelenks, wie einer dorsalen Luxation, kann eine Verletzung der palmaren Platte auftreten. Diese kann eingerissen oder angerissen sein, oder in Form eines knöchernen Ausrisses (Avulsionsfraktur) auftreten. Üblicherweise ist das PIP Gelenk betroffen. Meist geht dies mit einer Beschädigung des Seitenbandes des Gelenks einher. Dies führt zum Verlust von Stabilität, wodurch die Strecksehne das Gelenk kontinuierlich in Hyperextension zieht und dadurch zu einer Deformität führen kann. Diese Verletzung kann konservativ behandelt werden, wenn das Gelenk stabil geführt werden kann. In diesem Fall wird eine Schiene eingesetzt, welche je nach Ausmaß für 2 bis 4 Wochen getragen werden muss. Bei weniger schweren Fällen, kann

der Finger auch mit einem Benachbarten per Buddy-Tape verbunden werden. Mit Hilfe dieser Techniken kann der Patient bereits vor der vollen Genesung wieder an bestimmten Sportarten teilnehmen. Allerdings ist dies von der Sportart und Position abhängig [17].

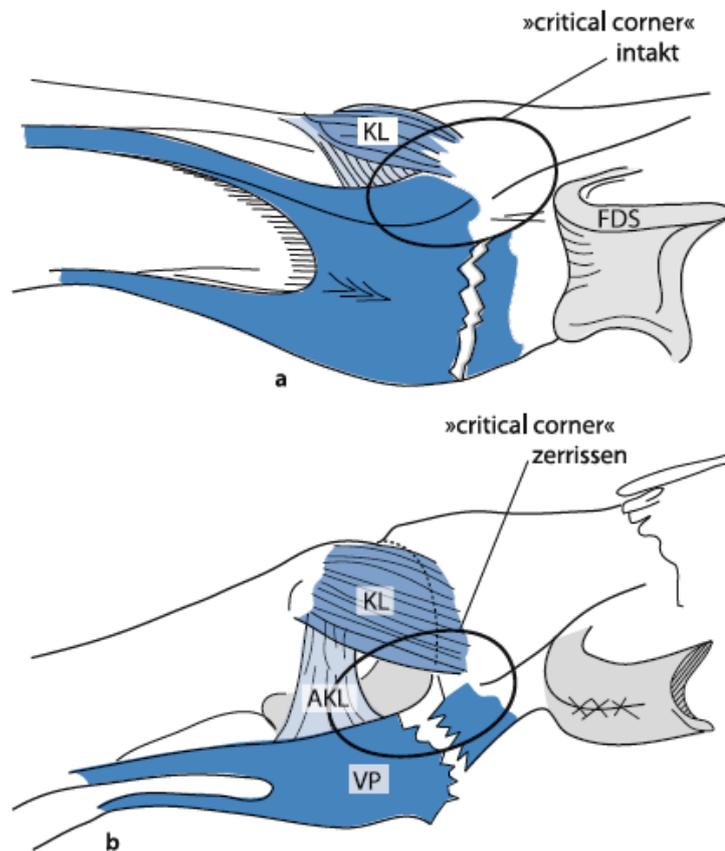


Abbildung 2.8: Ruptur der palmaren Platte mit einem kleinen Knochenfragment. **a** Die distalen, lateralen Ansätze sind intakt, und das PIP-Gelenk ist bei der Dehnung in Hyperextension stabil (KL Kollateralligament, FDS M. flexor digitorum superficialis). **b** Die Ruptur liegt zwischen den Kollateralbändern. Das Gelenk ist beim Dehnungstest in Hyperextension instabil, die Seitenstabilität ist dennoch gewährleistet (AKL akzessorisches Kollateralband, VP volare Platte (palmare Platte), KL Kollateralband) [18].

Die Verletzung des Mittelzügels der Strecksehne des Fingers tritt häufig bei Basketball- und Volleyballspielern auf, insbesondere durch palmare Luxation oder forcierte Flexion des aktiv gestreckten PIP-Gelenks [32]. Dabei kann es zu akuten Rissen oder chronischen Dehnungen des dreieckigen Bandes am distalen Ende des zentralen Sehnenzuges kommen [29]. Der Patient kann in weiterer Folge das PIP-Gelenk nicht aktiv durchstrecken. Eine passive Streckung ist allerdings möglich. Als Folge dieser Verletzung wandern die lateralen Bänder volar. Eine Verzögerung der Behandlung um 2 bis 3 Wochen kann daher

zu einer Beugung des PIP-Gelenks und einer Überstreckung am distalen Interphalangealgelenk (DIP) führen was als Boutonnière-Deformität oder Knopflochdeformität bekannt ist. (Abbildung 2.9) Mit der Zeit kann es zu fortschreitendem Bewegungsverlust in den betroffenen Gelenken kommen [17]. Bei einem unverschobenen knöchernen Ausriss des Mittelzügels wird konservativ therapiert. Der Patient muss allerdings in der Lage sein, die passiv hergestellte Streckung im PIP-Gelenk aktiv zu halten. In diesem Fall wird das PIP-Gelenk für 6 bis 8 Wochen durch eine Schiene in Streckstellung stabilisiert. Zusätzlich sollten vom Patienten stündliche Flexionsübungen des DIP Gelenks durchgeführt und somit eine Knopflochdeformität verhindert werden. Wenn die konservative Therapie nicht möglich ist, wird die Verletzung operativ versorgt. Postoperativ muss eine intensive physiotherapeutisch angeleitete Mobilisierung des Fingers erfolgen [32].

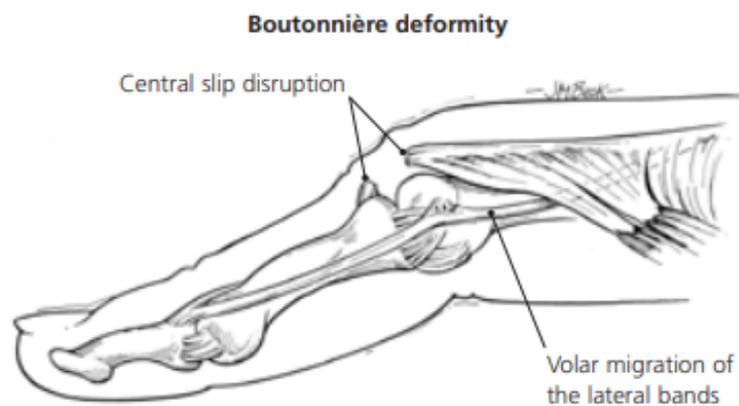


Abbildung 2.9: Boutonnière-Deformität durch die Verletzung des Mittelzügels der Strecksehne hervorgerufen [17].

Eine Verletzung des ulnaren Kollateralbandes (UCL) wird auch als Skidaumen bezeichnet. (Abbildung 2.10) Wie der Name schon sagt tritt diese häufig bei Skiunfällen auf, kann aber auch bei Sportarten wie Basketball und American Football vorkommen [29]. Das UCL wird meist durch eine forcierte Radialabduktion des MCP Gelenks des Daumens verletzt. Beim Skifahren passiert dies üblicherweise durch einen Sturz wegen des Skistocks der in der Hand gehalten wird. Wenn ein knöcherner Ausriss oder eine Stener-Läsion vorliegt, muss die Verletzung operativ versorgt werden. Andernfalls wird eine konservative Therapie verschrieben [14]. Bei nicht-Behandlung ist das Gelenk instabil und hat einen Kraftverlust beim Zufassen zur Folge [28].

2.2 Rehabilitation nach Fingerverletzungen

Im vorigen Absatz ist ersichtlich, dass insbesondere bei schwerwiegenden Fingerverletzungen eine operative Intervention vorgenommen werden muss. Die Nachbehandlung eines solchen Eingriffs kann in drei Phasen unterteilt werden, die sich überschneiden können und deren Dauer variiert [38]:

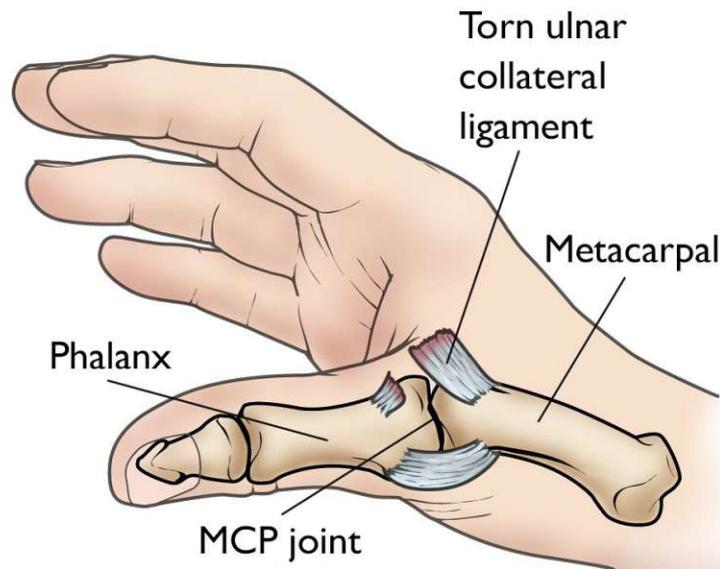


Abbildung 2.10: Vollständiger Riss des ulnaren Kollateralbandes (UCL) [37].

- 1. Phase: früh-postoperative Phase
- 2. Phase: postoperative Phase
- 3. Phase: spät-postoperative Phase

Die Rehabilitation nach Fingerverletzungen, die keine operative Versorgung benötigen, können ebenfalls in 3 Phasen unterteilt werden. Der Fokus der jeweiligen Phasen ist vergleichbar mit den postoperativen Phasen. Allerdings kann es vorkommen, dass Teile übersprungen werden können.

Meist wird das betroffene Gelenk in der ersten Phase durch eine Schiene oder einen Gips ruhiggestellt. Zu dieser Zeit liegt in den meisten Fällen ein Ödem, welches entweder operations- oder traumabedingt ist, vor. Fördernd ist hierfür die Mobilisation der nicht-ruhiggestellten Gelenken der betroffenen Hand. Des Weiteren soll dadurch verhindert werden, dass die nicht-betroffenen Gelenke durch die Ruhigstellung in Mitleidenschaft gezogen werden und das Auftreten des "Complex Regional Pain Syndrom" verhindert werden. Nach manchen Verletzungen oder operativen Eingriffen (z.B. Beugeschnennaht) kann es in dieser Phase von Vorteil sein, eine frühe kontrollierte Mobilisation der betroffenen Strukturen durchzuführen. Dies wird auch als Frühmobilisation bezeichnet. Arora et al. hat in einer retrospektiven Studie [39] gezeigt, dass bei dorso-lateralen Luxationen des PIP-Gelenks durch Frühmobilisation eine erhöhte Beweglichkeit und Kraft im Spitzgriff im Vergleich zu Immobilisation erreicht werden.

In der zweiten Phase wird der Fokus immer mehr auf die Mobilisation der betroffenen Struktur gelegt. Es werden Bewegungsübungen durchgeführt, welche in aktive und passive

Mobilisation unterteilbar sind [38]. Während aktive Bewegungen nur durch die Muskeln die das Gelenk umgeben durchgeführt werden, wird bei passiven Übungen entweder durch die andere Hand oder durch den Therapeuten bei der Bewegung nachgeholfen. Die Übungen können je nach Verletzung entweder von einer begleitenden physiotherapeutischen Behandlung unterstützt oder als Selbstmobilisation durchgeführt werden. Dadurch wird das Gleiten des Gewebes gefördert und die Adhäsion von Bändern und Sehnen vermieden. Die Bewegungs-, Funktions- und Handlungsfähigkeit des Patienten soll kontinuierlich verbessert werden. Das Respektieren der Schmerzgrenze ist bei allen Übungen äußerst wichtig. Das Überschreiten dieser kann zu weiteren Schwellungen, Schmerzen und Bewegungseinschränkungen führen [18].

Die dritte Phase beginnt, wenn keine Belastungslimitierung mehr besteht. Hier stehen Kraft- und Ausdauer aufbau im Mittelpunkt. Die Übungen sollten ab jetzt mit einem Widerstand durchgeführt werden. Hierfür können zum Beispiel elastische Bänder oder Physioknete verwendet werden. Außerdem soll die Hand immer mehr bei Alltagsbeschäftigungen verwendet werden. Oftmals werden in dieser Phase spezielle Übungen vom Physiotherapeuten vorgeschlagen, welche speziell für den Beruf des Patienten von Vorteil sind [18]. Ziel dieser Phase ist es, die alltags-, berufs- und erwerbsbezogene Gebrauchsfähigkeit der Hand wieder herzustellen [38].

Meist orientiert sich die Physiotherapie an einem Protokoll. Hier gibt es pro Verletzung unterschiedliche Herangehensweisen. Als Beispiel dient hier der Rehabilitationsprozess der Beugesehnen. Speziell in der postoperativen Phase sind hier große Unterschiede in den Protokollen erkennbar. Während Protokolle wie das von Kleinert oder Duran mit passiver Flexion arbeiten, gibt es auch welche, die auf sogenannte "place and hold" oder aktive Bewegung setzen [40]. Weiters wird darüber diskutiert ob frühe Mobilisation die Heilung anregen kann. Meist wird allerdings von den Therapeuten eine Modifikation oder Kombination dieser Protokolle angewendet um die Ergebnisse zu verbessern [41]. Ein Beispiel hierfür ist das Viennese flexor tendon rehabilitation programme, welches ein modifiziertes und kombiniertes Kleinert und Duran Protokoll darstellt [42]. Der Ablauf ist in Tabelle 2.1 dargestellt.

Grundsätzlich können alle Übungen, die in der Fingerrehabilitation durchgeführt werden, in 3 Typen unterteilt werden:

1. Range-of-motion Übungen
2. Kraftübungen
3. Ausdauerübungen

Range-of-Motion Übungen oder auch Beweglichkeitsübungen werden eingesetzt, um die Flexibilität der Gelenke zu fördern und der Steifigkeit der Finger entgegenzuwirken. Kraftübungen beinhalten meist eine Art Widerstand. Dies kann ein Ball, Band oder

Woche 1-6	Woche 7 and 8	Woche 9 - 12
Aktive und passive Streckung aller Finger	Handgelenk in Schutzstellung	Aktive Streckung des Handgelenks und aller Finger bis 0°
Aktive und passive Streckung des PIP und des DIP (MP fixiert 90°)	MCP in geschützter Position	Aktive Streckung des Handgelenks über 0° mit entspannten Fingern
Aktive Streckung des Handgelenks über 0° bei entspannten Fingern	Übungen während der ersten sechs Wochen	Aktive Beugung des DIP und des PIP (MP 90°)
Passive Beugung aller Finger	aktiver lockerer Verschluss des Handgelenks	Handgelenk in 0°–30° Streckung
Entfernung der Schiene (Handgelenkübungen)	Aktive und passive Handgelenkbewegungen ohne Fingeraktivität	Aktive Beugung des DIP (MP, PIP 90°)
Hautpflege		Handgelenk in 0°–30° dorsale Extension
In Woche 3 Neupositionierung der HILEI-Schiene in 0°-Position des Handgelenks		Aktive Beugung des PIP (MP 90°–0°), Handgelenk in 0°–30° dorsale Extension
		Alle Arten des Greifens üben
		Koordination üben

Alle passiven Bewegungen der PIP- und DIP-Gelenke werden im vollen Bewegungsausmaß unter Berücksichtigung der Schwellung ausgeführt – in einer schonenden Beugstellung des Handgelenks

Tabelle 2.1: Viennese Flexor Tendon Rehabilitation Protocol[43]

Ähnliches sein. Mit ihnen sollen die Muskeln gestärkt werden, um die Gelenke zu unterstützen und zu schützen. Durch Ausdauerübungen wird ein gesundes Kardiovaskuläres System sichergestellt, welches die Schwellung der Gelenke in manchen Fällen reduzieren kann [44].

2.2.1 Return-to-Sport Entscheidung

Eine frühere Verletzungen einer anatomischen Struktur kann das Risiko einer erneuten Verletzung um das vierfache erhöhen [45]. Laut einer statistischen Auswertung der Verletzungen beim Fußball, bezogen auf die Spieler der UEFA, ist der größte Risikofaktor für eine Sportverletzung eine vorherige Schädigung [46]. Daher ist die Return-to-Play Entscheidung essenziell für die erfolgreiche Behandlung von Verletzungen. Die Heilung des Gewebes ist zwar der wichtigste Aspekt bei der Behandlung von Fingerverletzungen, allerdings spielen bei der Return-to-Sport Entscheidung andere Faktoren ebenfalls eine Rolle. Die Sportart, die Spielposition, das Spielniveau, ob die dominante Hand betroffen

ist, das Alter und finanzielle Überlegungen sind alles Punkte, die den Zeitpunkt und die Art der Rückkehr beeinflussen [47]. Oft versuchen Personen, die keine medizinische Ausbildung oder Erfahrung haben, den Prozess zu beeinflussen. So können zum Beispiel Trainer, übereifrige Eltern oder andere Vereinsfunktionäre Druck auf den Therapeuten und den Athleten ausüben, um ihn möglichst rasch wieder auf das Spielfeld zu bringen. Speziell im Profisport können diese Entscheidungen große finanzielle Auswirkungen haben, was sie weiters erschwert. So kommt es immer wieder zu fragwürdigen Praktiken, die von der üblichen Therapie abweichen wie Injektionen am Wettkampf- oder Spieltag, um den Schmerz zu unterdrücken. Auch wenn der medizinische Experte zuständig ist, um eine möglichst frühe Rückkehr zum Sport zu gewährleisten, so muss trotzdem beachtet werden, dass die finale Entscheidung immer beim Patienten bzw. der Patientin liegt [30, 48].

Um diese schwierigen Entscheidungen für die behandelnden medizinischen Fachleute zu erleichtern hat Creighton et al. [45] ein entscheidungsbasiertes Model entworfen. Es besteht aus 3 Schritten: Evaluation des Gesundheitsstatus, Evaluation des Teilnahmerisikos, und der Entscheidungsmodifikation. Das Model ist in Abbildung 2.11 dargestellt.

Im ersten Schritt werden die medizinischen Faktoren evaluiert. Die demographischen Daten des Patienten wie das Geschlecht und Alter können die Regenerationsfähigkeit des Gewebes beeinträchtigen. Bei den Symptomen ist Schmerz ein essenzieller Faktor, um den Gesundheitsstatus zu evaluieren. Schmerz kann ein Indiz für eine unvollständige Heilung sein. Andere Symptome wie das Gefühl der Gelenkstabilität können auch Einfluss nehmen. In der medizinischen Vorgeschichte des Patienten sind Vorverletzung von Interesse. Mit wiederkehrenden Verletzungen sollte anders umgegangen werden als mit erstmaligen. Die Anamnese bietet dem Arzt einen Kontext, in dem der Gesundheitszustand bewertet werden kann. Anzeichen wie die Muskelkraft und die Range of Motion des betroffenen Gelenks geben Auskunft über den Heilungszustand der Verletzung. Wie weiter oben bereits erwähnt ist zum Beispiel beim Jersey-Finger die Range-of-Motion und die Griffstärke von großer Bedeutung. Laut Bachoura et al. [30] sollte 80% der Griffstärke im Vergleich zur nicht-verletzten Hand und eine funktionale aktive Range-of-Motion vorhanden sein, bevor zum Sport zurückgekehrt wird. Durch Labortests können bildgebende Verfahren einen objektiven Nachweis der Gewebeheilung liefern. Manchmal kann ein verletztes Gewebe biologisch geheilt sein, aber es bleiben Defizite, die sekundär auf die Verletzung zurückzuführen sind. Um diese zu beurteilen, kann der Arzt oder Therapeut Funktionstest durchführen, die sportartspezifische Handlungen simulieren. Dadurch kann die Muskelkraft, Range-of-Motion und weiteres evaluiert werden. Ein weiterer Aspekt ist der psychologische Zustand des Patienten bzw. der Patientin. Durch Besorgnis, Furcht und Angst kann ein höheres Risiko einer erneuten Verletzung herbeigeführt werden. Schließlich spielt auch der potenzielle Schweregrad der Verletzung eine große Rolle. So muss zum Beispiel bei Gehirnerschütterungen mit mehr Vorsicht vorgegangen werden als bei Knöchelverstauchungen, da die Langzeitfolgen einer erneuten Gehirnerschütterung vor voller Genesung verheerender sind [31, 49].

Der zweite Schritt evaluiert das Teilnahmerisiko am jeweiligen Sport. So sind grundsätzlich Kollisionssportarten wie American Football oder Rugby mit einem höheren Risiko für

Decision-Based RTP Model

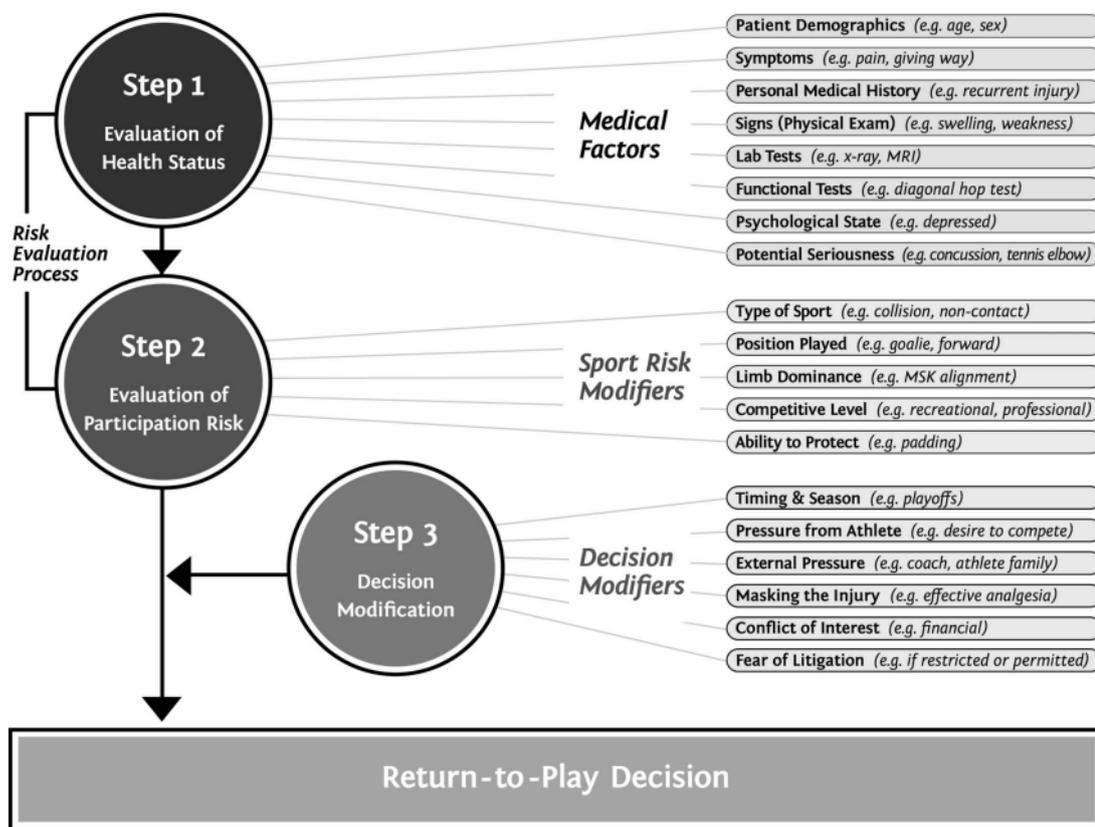


Abbildung 2.11: Entscheidungs-basiertes Return-to-Practice Model von Creighton et al. [45]

akute Verletzungen verbunden als Kontaktsportarten wie Basketball. Ein noch kleineres Risiko zeigen kontaktlose Sportarten wie Schwimmen. Allerdings können bei kontaktlosen Sportarten Überlastungsverletzungen durchaus häufig auftreten. Auch die Position, die der Patient bzw. die Patientin in der Sportart einnimmt, ist von Bedeutung. Je nach Position können unterschiedliche Kräfte und daher andere Risiken bestehen. Die dominante Hand (oder Fuß) beeinflusst die Entscheidung ebenfalls. Sie ist in manchen Sportarten ausschlaggebend dafür, ob das betroffene Körperteil belastet wird. Weiters muss beachtet werden, dass je höher das Niveau des Sports, desto höhere Kräfte und Belastungen wirken auf den Körper. Manche Verletzungen ermöglichen es in bestimmten Sportarten das verletzte Körperteil durch Bandagen, Schienen oder Polsterungen zu schützen. Allerdings muss hier auch berücksichtigt werden, ob die zusätzliche Ausrüstung das Verletzungsrisiko der anderen Athleten erhöht [50, 51].

Im dritten und letzten Schritt findet die sogenannte Decision Modification statt. Hier wird die Entscheidung basierend auf weiteren externen Einflüssen modifiziert. Der Zeitpunkt

in Bezug zur Wettkampfsaison kann ausschlaggebend sein. Während der entscheidenden Phase wird eher ein größeres Risiko eingegangen als außerhalb der Saison, da sich dies mehr lohnen kann. Während der Arzt bzw. die Ärztin zwar die gesundheitlichen Faktoren besser bewerten kann, muss der Patient bzw. die Patientin andere Risiken abschätzen. Diese können die Jobsicherheit, das Potenzial auf ein Stipendium, Vertragsangebote und Weiteres umfassen. Neben diesem Druck, der von dem Patienten bzw. der Patientin ausgeht, kommt ein weiterer von extern hinzu. Unterschiedliche Personengruppen können von einer raschen Rückkehr des Athleten bzw. der Athletin zum Sport profitieren: Trainer, Teammitglieder, Verwandte, Agenten, Sponsoren, Fans etc. Dadurch kann es dazu führen, dass Teile dieser Gruppen hilfreiche Informationen zur Evaluation der Risiken und Vorteile beitragen. Allerdings könnten auch einige Missinformationen verbreiten, um davon zu profitieren. Ferner müssen auch Optionen der Maskierung der Verletzung in Betracht gezogen werden. Das lokale injizieren von Schmerzmitteln ist in der Sportmedizin sehr verbreitet. Insbesondere Ärzte, Ärztinnen, Therapeuten und Therapeutinnen, die bezahlte Mitarbeiter des Vereins oder Teams sind, haben einen Interessenskonflikt. Zwar ist es ihre ethische Verpflichtung, sich für den Athleten bzw. die Athletin einzusetzen. Allerdings haben sie auch Verpflichtungen gegenüber dem Team. So kann auch der Sportmediziner bzw. die Sportmedizinerin unter Druck stehen und Entscheidungen für die eigene Jobsicherheit anstatt das Wohl des Athleten treffen. Zu guter Letzt spielt auch die Furcht vor Rechtsstreitigkeiten seitens des medizinischen Experten bzw. der medizinischen Expertin eine Rolle. Wenn zu früh eine Return-to-Practice Entscheidung getroffen wird und sich der Spieler verletzt, könnte dieser eine Klage einreichen. Wichtig ist, dass unabhängig der schlussendlichen Entscheidung, das medizinische Personal den Patienten bzw. die Patientin möglichst umfassend über das Risiko der Return-to-Practice informieren [52, 53].

2.2.2 Psychologische Aspekte und Adhärenz zur Therapie

Wie bereits im vorhergehenden Absatz angesprochen, spielt der psychologische Zustand des Patienten bzw. der Patientin eine große Rolle in der Therapie und deren Erfolg. Die Hand hat eine funktionelle, psychosoziale Bedeutung. Sie ist ein bewundernswertes Werkzeug, das eine Vielzahl an Tätigkeiten ausführen kann und wird konstant im Alltag verwendet. Sie wird zur Kommunikation eingesetzt und besitzt einen ästhetischen als auch sozial-kulturellen Stellenwert. Zusätzlich ist sie der Hauptempfänger und Auslöser von Reizen. Daher kann eine Verletzung der Finger nicht nur physische, sondern auch psychische Auswirkungen mit sich bringen [18]. In diesem Absatz wird auf psychologische Auswirkungen von Fingerverletzungen eingegangen. Außerdem wird der Effekt dieser auf den Therapieerfolg behandelt. In diesem Kontext wird speziell die Adhärenz zur Therapie genauer betrachtet, da diese stark mit psychologischen Aspekten wie der Motivation zusammenhängt.

Es gibt eine Vielzahl an Emotionen, die mit einer Verletzung der Finger verbunden sein können. Diese umfassen unter anderem Ärger, Wut, Irritation, störende Gedanken, Stimmungsschwankungen, Hypervigilanz, Frustration, Angst, Furcht und Schuldgefühle.

Die Emotionen treten direkt nach der Verletzung oder auch im weiteren Verlauf auf und kommen bei 24% bis 27% der Patienten vor [54, 55, 56]. Wie unter Punkt 2.2.1 bereits besprochen kann die Auswirkung einer Verletzung insbesondere bei Sportlern bzw. Sportlerinnen große Auswirkungen haben. Daher sind die Emotionen hier stärker ausgeprägt. Außerdem muss beachtet werden, dass die Therapieziele eines Profisportlers bzw. einer Profisportlerin oft andere sind, als die eines nicht-Sportlers bzw. einer nicht-Sportlerin. Da das professionelle Leben bei ihnen von der körperlichen Fähigkeit abhängig ist und damit auch der finanzielle Wohlstand muss das bestmögliche Ergebnis erreicht werden. Während bei nicht-Sportlern bzw. -Sportlerinnen das Wegbleiben von Schmerzen als ein akzeptables Therapieergebnis angesehen werden kann, ist für Athletinnen und Athleten oftmals das Ziel zumindest dieselbe Leistungsfähigkeit oder sogar eine bessere als vor der Verletzung zu erreichen. Dies übt weiteren Druck auf die Therapie aus und kann zu Ängsten und weiteren negativen Emotionen führen. Meist sind diese die Angst vor einer erneuten Verletzung und die Angst davor nicht mehr fähig zu sein, den eigenen Sport durchzuführen oder lebenslange Symptome und Schmerzen zu haben [57].

Diese Emotionen wirken sich auf die Therapie und die Prävention von Verletzungen aus. Laut Ivarsson et al. [58] sind eine negativ belastende Lebenssituation und hohe Stressempfindlichkeit die stärksten Prädiktoren für ein erhöhtes Verletzungsrisiko. Die Ängste von Athletinnen und Athleten können sowohl positive als auch negative Auswirkungen haben. So wird von Kvist und Silbernagel gezeigt, dass sie zum Einen ein Motivator sein können, um eine noch bessere körperliche Leistungsfähigkeit zu erreichen und die Intensität der Rehabilitation zu steigern. Zum anderen aber auch zu einer erhöhten Wiederverletzungsgefahr und zu schlechteren Ergebnissen der Therapie führen kann. In manchen Fällen können die Ängste zur Folge haben, dass die Sportlerinnen bzw. Sportler ihre Sportart nicht mehr aufnehmen [57].

Für diese Arbeit ist allerdings die Auswirkung von psychologischen Faktoren auf die Motivation und infolgedessen auf die Adhärenz, welche die Patientinnen und Patienten gegenüber der Therapie darbieten von Relevanz. Adhärenz kann folgend definiert werden [59]:

„Als Adhärenz bezeichnet man in der Medizin die Einhaltung der gemeinsam von Patient und Behandler gesetzten Therapieziele im Rahmen des Behandlungsprozesses.“

Wenn diese niedrig ist, kann mit einem schlechteren Therapieergebnis gerechnet werden. So konnte zum Beispiel bei Patientinnen und Patienten mit einem Mallet Finger, die konservativ behandelt wurden, eine Korrelation zwischen einer schwachen Adhärenz und des Grades der möglichen Streckung des Fingers nach der Therapie erkannt werden [60]. Dies zeigt, dass die Therapie darauf abzielen muss, die höchstmögliche Adhärenz zu erreichen. Zum einen ist es wichtig, dass der Therapeut die psychologischen Umstände der behandelten Person versteht und entsprechend diesen handelt. Zum anderen hat die Motivation diese Person den größten Einfluss auf seine Adhärenz. Die Motivation

ist ein komplexes Konzept, welches von vielen Faktoren wie das berufliche Niveau, die körperliche Aktivität und psychologische Faktoren beeinflusst wird [61]. Es gibt mehrere Wege wie versucht werden kann diese zu erhöhen. So ist es wichtig, dass die Übungen vorsichtig begonnen werden, um den Patienten bzw. Patientinnen die Angst vor der Bewegung langsam zu nehmen. Außerdem sollten realistische Erwartungen vereinbart werden und erreichbare Ziele definiert werden. Durch das Erreichen der einzelnen Ziele kann sich die Motivation steigern [62]. Ein weiteres Vorgehen ist die Edukation des bzw. der Behandelten. Ein erhöhtes Verständnis der eigenen Erkrankung oder Verletzung führt in vielen Fällen zu einer erhöhten Adhärenz [56]. Weiters werden oft auch Gruppenansätze gewählt, um einen besseren Erfolg zu erzielen. Durch gemeinsame Aktivitäten und den Austausch untereinander werden soziale Kontakte innerhalb der Gruppe geknüpft. Diese bewirken eine erhöhte Motivation und Adhärenz zur Gruppe [63].

2.3 Digitale Rehabilitation

Die Digitalisierung erweitert sich auf immer mehr Aspekte des Alltags. Seit den 1970er-Jahren erfolgt die schrittweise Umstellung von analogen auf digitale Technologien im Gesundheitsbereich. Ein Gesundheitsbetrieb ohne Computer ist heutzutage kaum vorstellbar und Ausfälle führen zu umfangreichen Problemen [64]. Dieser Fortschritt ist auch im Rehabilitationsbereich erkennbar. Digitale Rehabilitation ist ein Überbegriff, der alle Formen und Phasen der Rehabilitation abdeckt, in der Digitalisierung verwendet wird [65].

Die Nutzung der Digitalisierung kann im Rehabilitationsbereich unter anderem zu folgendem führen [66]:

- kostengünstige Technologien, die für eine breite Zielgruppe verfügbar sind
- ambulant bzw. zu Hause verfügbare Versorgung
- neue therapeutische Lösungen
- zeitlich und räumlich flexibel verfügbares Expertenwissen
- neue Forschungsmethoden auf der Basis sensorischer Daten und maschinellen Lernens

Es gibt mehrere technische Entwicklungen, die den Fortschritt der digitalen Rehabilitation vorangetrieben haben. Einen großen Einfluss hat die Entwicklung immer genauerer Sensoren und der Verarbeitung der dadurch aufgenommenen Daten. Diese ermöglichen eine Objektivierung des Behandlungserfolges und die Darstellung der Ergebnisqualität. Die systematische Messung von Patientendaten gibt dem gesamten Rehabilitationsteam einen klaren Überblick über die Symptome des Patienten bzw. der Patientin. Dadurch kann genauer auf diese Person eingegangen, die Symptome besser eingeordnet und eine

individuelle Therapie angeordnet werden. Dank der großen Menge an Patientendaten können Referenzwerte und individuelle Patientenwerte abgeglichen und in den richtigen Kontext gestellt werden. Dies hilft dem Rehabilitationsteams Entscheidungen nicht auf Bauchgefühl und Intuition, sondern basierend auf erhobener Werte und fundierter statistischer Analysen zu treffen [65].

Des Weiteren lassen sich durch den Einsatz von "Big Data", Deep-Learning und künstliche Intelligenz die großen Datenmengen analysieren, um neue Erkenntnisse zu gewinnen. Dies wird zum Großteil in der Diagnose und Prävention eingesetzt. So können zum Beispiel in der Alzheimerforschung Biomarker definiert werden, welche für die Verschlechterung der kognitiven Leistung bei Alzheimer verantwortlich sind. Auf diese Weise lassen sich Risikogruppen frühzeitig erkennen, was wiederum die Einleitung präventiver Maßnahmen ermöglicht [66]. Zudem dienen die gesammelten Daten als Grundlage für die Analyse bestehender und neuartiger Methoden hinsichtlich ihrer Wirksamkeit, Langzeiteffekte und Kosteneffizienz für verschiedene Patientengruppen. Basierend auf den Ergebnissen dieser Analysen kann für jeden Patienten und jede Patientin ein individuelles softwaregestütztes Rehabilitationskonzept abgeleitet werden.

Dank des Fortschritts im Bereich des Internets ist die Rehabilitation immer weniger ortsgebunden. Die Patientenedukation spielt in der Prävention und Rehabilitation eine große Rolle. Je besser eine behandelte Person ihr Krankheitsbild versteht, desto besser wird er die Therapiemaßnahmen durchführen können. Dank des Internets ist der Zugang zu Wissen einfacher denn je und immer mehr digitale edukative Anwendungen für Patientinnen und Patienten kommen auf den Markt .

Außerdem kann durch den Einsatz von telemedizinischen Rehabilitationsangeboten, das Setting der Therapie geändert werden. Anstatt vor Ort die Physiotherapie durchzuführen, wo häufig ein Mangel an qualifiziertem Fachpersonal und lokaler Infrastruktur vorliegt, können Patientinnen und Patientin Teile der Rehabilitation orts- und zeitunabhängig erledigen. Wichtig ist eine individuelle Anpassbarkeit der Telerehabilitation an die jeweilige Person und die Möglichkeit des Feedbacks zu geben [64]. Im nachfolgenden Absatz wird genauer auf eine Technik, die in der Telerehabilitation eingesetzt werden kann, eingegangen.

2.3.1 Serious Games

In der digitalen Rehabilitation werden immer öfter Serious Games eingesetzt. Diese sind ein Grundkonzept dieser Arbeit. Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit der Geschichte, möglichen Definitionen, Herausforderungen und möglichen Einsatzfeldern, und Vorteile, die Serious Games mit sich bringen.

Der Begriff wurde bereits in 1970 erstmals von Abt geprägt [67]. Er bezeichnete Serious Games als Spiele, die einen expliziten und sorgfältig durchdachten pädagogischen Zweck haben und nicht primär zur Unterhaltung gespielt werden. Durch den Einsatz von innovativen Spiel-Ansätzen versuchte er die Ausbildung und Berufswahl zu verbessern. In den folgenden Jahren wurden mehrere Spiele entworfen, die der oben genannten Definition

entsprechen [68]. Einen großen Einfluss auf die Entwicklung von Serious Games hatte die US Army. Diese veröffentlichte 2002 das Spiel „America’s Army“ und startete damit die Serious Games Bewegung [69]. Das Spiel ist ein Ego-Shooter-Spiel, welches kostenlos über das Internet erhältlich war. Es simuliert militärische Übungen und Kampfeinsätze [68]. Der ernste Teil des Spiels war nicht das Kriegssetting, sondern der Fakt dass die besten Spieler eine Einladung bekamen, sich für die Armee anzumelden. Der Zweck des Spiels war es, für die Armee zu werben und als Werbeplattform zu dienen. Das Spiel wurde damals als das erste erfolgreiche und gut ausgeführte Serious Game bezeichnet [70]. Ebenfalls in 2002 wurde die Serious Games Initiative des Woodrow Wilson Center for International Scholar in Washington, D.C. gegründet und der Begriff Serious Game verbreitete sich [69]. In den darauffolgenden Jahren wächst der Serious Game Markt stark und erreicht in 2010 einen Wert von 1,5 Milliarden Euro [68]. Auch in der darauffolgenden Dekade hielt das Wachstum an und laut einem Bericht von Future Market Insight soll er 2023 einen Wert von 8,3 Milliarden US-Dollar überschreiten. Bis 2033 wird ein Wert von 33,0 Milliarden US-Dollar erwartet [71]

Es gibt eine Vielzahl von verschiedenen Definitionen des Begriffs Serious Game. Sawyer & Smith [72] haben 2008 beschrieben, dass jedes computergestützte Spiel, das nicht hauptsächlich der Unterhaltung dient, und jedes Unterhaltungsspiel, das neben der Unterhaltung zusätzliche Zwecke hat, als Serious Game bezeichnet werden kann. Bei der Definition von Michael und Chen [73] wird der primäre Zweck betont: "A serious game is a game in which education (in its various forms) is the primary goal, rather than entertainment" Diese Definition lässt immer noch sehr viel Spielraum zur Interpretation offen. In der Definition von Zyda [74] wird zusätzlich der pädagogische Aspekt von Serious Games erwähnt: "Serious games have more than just story, art, and software, however. (...) They involve pedagogy: activities that educate or instruct, thereby imparting knowledge or skill. This addition makes games serious." Laut Tolks [5] ist diese Definition immer noch nicht vollständig, da erst der tatsächliche Einsatz des Spiels in einem didaktischen Setting das Game zum Serious Game macht. Er gibt folgende Kriterien an, die ein Serious Game definieren:

- Intention des Spieles ist die Vermittlung von Inhalten, die nicht primär der Unterhaltung dienen.
- Das Spiel muss einen pädagogischen Inhalt besitzen.
- Der pädagogische Inhalt muss sich dem Unterhaltungsfaktor unterordnen.
- Das Spiel muss auf mindestens ein Lernziel abzielen.

Serious Games bilden eine Schnittstelle von Bildungsinhalten, ernsthaften Zwecken, Spiel Techniken, und Spaß und Storytelling. Dies ist in Abbildung 2.12 zu sehen.

Der Markt für Serious Games wächst kontinuierlich. Da Generationen erwachsen werden, welche mit Computerspielen aufgewachsen sind, wird auch die Vertrautheit Erwachsener



Abbildung 2.12: Anwendungskontext von Serious Games [75]

mit der Bedienung von Spielen immer größer. Durch den Einsatz von Serious Games soll die Motivation für die Verrichtung des ernstesten Zwecks erhöht werden. Um die Motivation besser zu verstehen, ist ein Blick auf die sogenannte "Flow Theorie" hilfreich. Hier wird der Begriff "Flow" als das holistische Gefühl bei völligem Aufgehen in einer Tätigkeit bezeichnet. Um dies zu erreichen, muss eine Balance zwischen dem Anspruch einer Aufgabe und dem Fähigkeitsniveau der Person herrschen. In diesem Zustand ist die maximale intrinsische Motivation zu erwarten und die Person geht in der Tätigkeit auf, vergisst teilweise die Umgebung und konzentriert sich voll auf die Aufgabe [76]. Ist der Anspruch zu hoch oder die Fähigkeiten zu klein, folgt Überforderung, Beunruhigung und eine eingeschränkte Motivation. Ist der Anspruch zu gering oder die Fähigkeiten zu hoch, ist Unterforderung, Langeweile und wiederum eine niedrige Motivation zu erwarten [77]. Ein Diagramm zu Flow Theorie ist in Abbildung 2.13 zu sehen.

Basierend auf diesen Aspekten lassen sich Anforderungen an Serious Games erstellen. Gregory hat Ansprüche an die Spielmechanik und Interaktivität von Computerspielen aufgelistet, welche auch auf Serious Games umgemünzt werden können [78]:

- Ziele sind klar - Der Einzelne weiß, was er oder sie tun möchte
- Sofortiges Feedback - eine Person weiß jederzeit, wie gut es ihr geht
- Fähigkeiten passen zu den Herausforderungen - das Fähigkeitsniveau steht im Einklang mit der anstehenden Aufgabe
- Die Konzentration ist hoch - der Einzelne richtet seine gesamte Aufmerksamkeit auf die anstehende Aufgabe

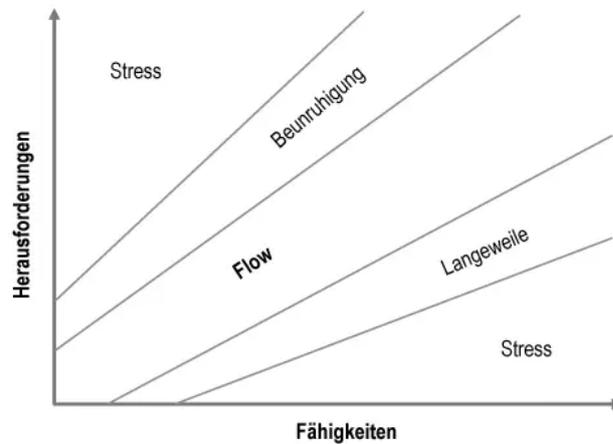


Abbildung 2.13: Flow Theorie [77]

- Probleme werden vergessen - der Einzelne ist in der Lage irrelevante Reize, die die Konzentration beeinträchtigen könnten, abzulehnen
- Kontrolle ist möglich - ein Gefühl der Meisterschaft wird gewonnen
- Das Selbstbewusstsein verschwindet - ein Individuum fühlt sich in der Lage, die Grenzen des Egos zu überschreiten
- Das Zeitempfinden verändert sich – ein Mensch verliert entweder den Überblick über die Zeit oder die Zeit scheint schnell zu vergehen
- Die Aktivität ist an sich lohnend – die Erfahrung ist allein schon eine Beschäftigung wert

Bei Serious Games kommen neben dem Flowerlebnis zusätzliche Aspekte von Spielen zum Einsatz, wie zum Beispiel: Immersion (das Eintauchen in virtuelle Spielwelten), Storytelling (Erzählen einer Geschichte), und eine differenzierte und visuell ansprechende Spielumgebung. Diese können die Motivation weiter stärken [79].

Serious Games können nach ihren Einsatzgebieten und ihrem charakterisierenden Ziel kategorisiert werden. Um ein Serious Game erfolgreich zu entwickeln, sollte es bereits vor dem Designprozess kategorisiert werden. Das charakterisierende Ziel eines Serious Games kann zum Beispiel eines der folgenden sein [80]:

- Wissen weitergeben
- Fähigkeiten vermitteln
- Bewusstsein schaffen

- Verhalten ändern
- Motivation steigern

Die Haupteinsatzgebiete von Serious Games sind Schulungen und Simulationen in Unternehmen, das Bildungs- und Gesundheitswesen und die Werbebranche. Innerhalb des Gesundheitswesens beschäftigen sich diese Spiele mit unterschiedlichsten gesundheitsbezogenen Aspekten wie Ernährung und körperlicher Aktivität. Für diese Arbeit ist der Einsatz in der Rehabilitationstherapie von größtem Interesse [80].

2.3.2 Serious Games zu Rehabilitationszwecken

Das Serious Game, das im Zuge dieser Arbeit entwickelt werden soll, findet sich im Rehabilitationsbereich wieder. Daher wird in diesem Absatz genauer auf Serious Games zu Rehabilitationszwecken eingegangen. Im Speziellen beschäftigen wir uns mit medizinischer Rehabilitation. Laut dem österreichischen Gesundheitsministerium [81] kann diese folgendermaßen definiert werden:

"Die medizinische Rehabilitation umfasst Maßnahmen, die auf die Erhaltung bzw. Besserung des Gesundheitszustandes ausgerichtet sind. Maßnahmen der medizinischen Rehabilitation sollen den Erfolg einer Krankenbehandlung sichern und die Folgen einer Erkrankung erleichtern."

Dafür sind nicht ununterbrochene medizinische Maßnahmen notwendig, vielmehr wird eine größtmögliche Selbständigkeit der Rehabilitanden angestrebt. Viele Patientinnen und Patienten haben einen langen und mühsamen Weg vor sich, bis der Erfolg einer Rehabilitation und somit eine möglichst vollständige Genesung erreicht werden kann. Die Adhärenz und Resilienz des Patienten ist für das Behandlungsergebnis ausschlaggebend. Wenn der Übungsplan nicht eingehalten wird, kann es zu Langzeitfolgen kommen. Daher ist es von großem Interesse, die Adhärenz und Resilienz von Patienten zu erhöhen [82]. Hierfür können Serious Games eingesetzt werden.

Ein Großteil der Serious Games, die in der Rehabilitation und Prävention von Verletzungen eingesetzt werden, können als sogenannte Exergames bezeichnet werden [83]. Damit sind Videospiele gemeint, welche verwendet werden, um eine physische Übung durchzuführen. Die Entwicklung von Kameras und Sensoren, welche die Bewegungen des Patienten bzw. der Patientin genau messen können und auch für die Behandelten erhältlich sind, haben diese Technologie vorangetrieben. Hauptakteure im Bereich der Gestaltung von Eingabegeräten für Exergames sind Nintendo (Wii Fit Balance Board), Microsoft (Xbox 360 Kinect) und Sony (Eye Toy, Playstation Move) [84].

Es gibt eine beachtliche Anzahl an Studien, die den Erfolg von Exergames im Rehabilitationsbereich bestätigen [85]. So hat Wiemeyer [86] zum Beispiel gezeigt, dass sie ein wirksames Mittel sind, um Gleichgewicht, Mobilität sowie exekutive und kognitive

Kompetenzen von älteren Menschen sowohl kurzfristig als auch langfristig zu fördern. Weiters zeigt eine Studie [87], dass durch den Einsatz von Exergames die Quality of Life, und Balance von Parkinson Patientinnen und Patienten verbessert werden können. Ähnliche Ergebnisse konnten von Yazgan et al. [88] bei Multiple Sklerose Patientinnen und Patienten gefunden werden. Hier wurde durch den Einsatz die Balance und die Quality of Life erhöht und das Ausmaß der Erschöpfung reduziert. Zum einen können diese Erfolge verzeichnet werden, da Motivation und somit die Adhärenz der behandelten Person durch Spieltechniken erhöht wird. Zum anderen können die Übungen jederzeit und überall durchgeführt werden. Dadurch müssen die sie ihre Komfortzone nicht verlassen und können diese ohne fremde Aufsichtspersonen durchführen.

Um einem Serious Game die bestmögliche Chance auf Erfolg zu geben, muss speziell im medizinischen Bereich so früh wie möglich mit Experten zusammengearbeitet werden [80]. Außerdem ist das umsichtige Definieren von Anforderungen entsprechend den tatsächlichen Fähigkeiten des Patienten bzw. der Patientin essenziell. Dies ist zum Teil wiederum auf die Flow-Theorie zurückzuführen, die bereits besprochen wurde. Das Spiel sollte also möglichst individuell abgestimmt sein [89]. Wiemeyer beschreibt in seiner Arbeit [90] weitere Eigenschaften von Exergames, welche erfüllt sein sollten, damit diese erfolgreich eingesetzt werden können. Sie sind in Abbildung 2.14 zu sehen.



Abbildung 2.14: Wichtige Eigenschaften von Exergames nach Wiemeyer [91]

2.4 Requirements Engineering

Schon sehr früh war im Bereich der Softwareentwicklung klar, dass Anforderungen und Anforderungsanalysen entscheidend für die erfolgreiche Umsetzung von Softwareprojekten sind. Bereits 1995 beschrieb Frederick P. Brooks in seinem Buch *The Mythical Man-Month* [92] die Definition der Anforderungen und die Entscheidung was zu entwickeln ist, als den schwierigsten Teil der Entwicklung eines Software Systems. Kein anderer

Teil kann das Ergebnis negativer beeinflussen, falls es schlecht durchgeführt wurde, und kein anderer Teil ist schwieriger im Nachhinein zu korrigieren. Genau hiermit beschäftigt sich das Requirements Engineering bzw. auf Deutsch die Anforderungsanalyse und -verwaltung. Sie ist ein integraler Teil der Entwicklung von Anwendungen und findet überall dort statt, wo Wünsche und Bedürfnisse von Kunden oder einer Gruppe von Menschen berücksichtigt werden sollen [93]. Alle Personen die ein berechtigtes Interesse am Verlauf des Projektes haben, können als Stakeholder bezeichnet werden.

Das Requirements Engineering befasst sich mit der Identifikation, Modellierung, Kommunikation und Dokumentation von Anforderungen für ein System. Zusätzlich ist der Kontext, in dem das System verwendet wird, von Interesse. Anforderungen beschreiben was das System können muss, jedoch nicht, wie es umgesetzt werden soll. Das Ziel des Requirements Engineering Prozesses besteht darin, zu wissen, was vor dem Beginn der Systementwicklung gebaut werden soll, um kostspielige Überarbeitungen zu vermeiden. Dies basiert darauf, dass je später Fehler entdeckt werden, desto teurer sind sie zu korrigieren. Allerdings ist es möglich, einen stabilen Satz an Anforderungen schon vor Beginn der Implementierung zu definieren [94].

Grundsätzlich sind die Anforderungen die Beschreibung der Anwendung bevor Sie existiert. Sie definieren, wie und wieso das System was machen soll. Um diese Fragen zu beantworten, müssen wir die Bedürfnisse der User und aller anderen Stakeholder, und den Kontext in welchem die Anwendung eingesetzt wird, verstehen [95]. Es ist essentiell, dass Anforderungen bereits vor Beginn der Implementierung des Systems vorhanden sind, damit diese als Grundlage für die Erstellung dienen können [93].

Im IEEE Std. 610.12 [96] ist eine Anforderungen folgend beschrieben:

1. Eine Bedingung oder Fähigkeit, die von einem Benutzer (Person oder System) zur Lösung eines Problems oder zur Erreichung eines Ziels benötigt wird.
2. Eine Bedingung oder Fähigkeit, die ein System oder Teilsystem erfüllen oder besitzen muss, um einen Vertrag, eine Norm, eine Spezifikation oder andere, formell vorgegebene Dokumente zu erfüllen
3. Eine dokumentierte Repräsentation einer Bedingung oder Eigenschaft gemäß (1) oder (2).

Im Software Development Kontext werden Anforderungen in zwei Kategorien unterteilt [97]:

- Funktionale Anforderungen beschreiben was das System tun soll. Sie legen fest welche Funktion im Sinne der Nutzer ein System realisiert.
- Nichtfunktionale Anforderungen beschreiben wie das System etwas durchführen soll. Sie richten sich auf Fragen der Qualität, der Kosten, der Entwicklungszeit, des Entwicklungsprozesses und vieles mehr.

Genauer beschrieben ist eine funktionelle Anforderung eine Funktion, die das System durchführen können muss. Diese sogenannten Software Anforderungen legen das Verhalten eines Systems fest. Sie beschreiben was vom System erwartet wird und die Wechselwirkungen zwischen dem System und seiner Umgebung. Darin sind die grundlegenden Prozesse oder Transformationen enthalten, die von den Systemkomponenten durchgeführt werden, um Eingaben in Ausgaben umzuwandeln [98].

Nicht-funktionale Anforderungen konzentrieren sich auf die "Wie gut" Aspekte des Systems. Dies impliziert, dass der Fokus nicht darauf liegt, welche Funktionen die Software ausführt, sondern vielmehr auf der Art und Weise, wie sie es tut. Man kann nicht-funktionale Anforderungen in drei Hauptkategorien unterteilen: Produktanforderungen, organisatorische Anforderungen und externe Anforderungen. Diese Unterteilung mit weiteren Unterkategorien ist in Abbildung 2.15 dargestellt. Die erste Kategorie spezifiziert, wie sich das Produkt in bestimmten Situationen verhalten sollte, beispielsweise hinsichtlich Ausführungsgeschwindigkeit und Zuverlässigkeit. Organisatorische Anforderungen, als zweite Kategorie, leiten sich von den Richtlinien und Verfahren einer Organisation ab, einschließlich Prozessstandards und Implementierungsanforderungen. Die dritte Kategorie umfasst Anforderungen, die sich aus externen Faktoren ergeben, die nicht Teil des Systems oder seines Entwicklungsprozesses sind, wie beispielsweise gesetzliche Vorgaben. Diese Art von Anforderung ist im Allgemeinen schwierig zu testen und neigt daher dazu, subjektiv bewertet zu werden. [98, 99]

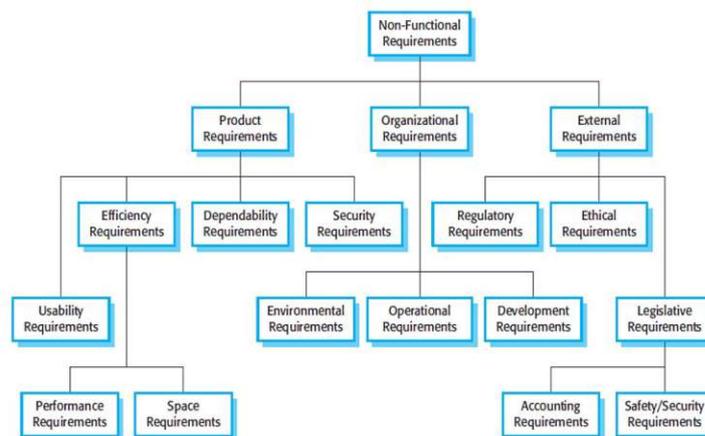


Abbildung 2.15: Non-functional Requirements [100]

2.4.1 Phasen des Requirements Engineerings

In älteren Herangehensweisen wie dem Wasserfallmodell ist der Software Prozess bereits zu Beginn in Detail für einen großen Zeitraum durchgeplant. Dies stellt eine hohe Planungssicherheit bereit. Um dieses Modell erfolgreich umzusetzen, dürfen sich die Anforderungen nicht während des Prozesses ändern. Außerdem muss das Entwicklungs-

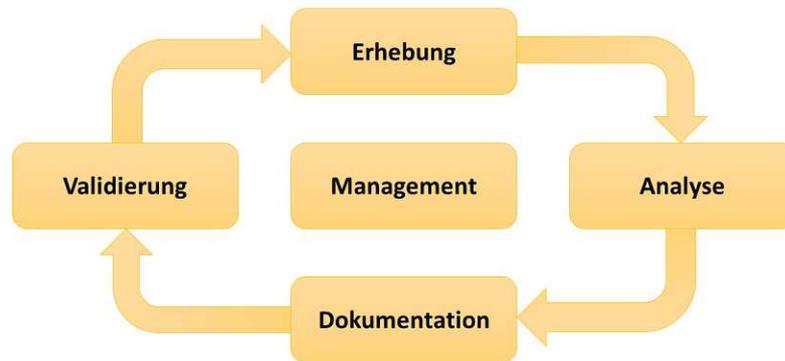


Abbildung 2.16: Phasen des Requirements Engineering Prozesses. Entwurf basierend auf der Arbeit von Paetsch et al. [94]

team ein gutes Verständnis des Anwendungsgebiets haben und die Softwaretechnologien müssen ihnen gut bekannt sein [93].

Agile Methoden hingegen wurden entwickelt, um sich an regelmäßige Änderungen anzupassen und erfolgreich damit umzugehen. Die Anforderungen können sich während des Projektes laufend ändern. Sie werden immer wieder durch User-Input evaluiert und entsprechend angepasst. Dies hat eine hohe Flexibilität zur Folge. Daraus folgt, dass das Requirements Engineering keine einmalige Sache zu Beginn des Projektes ist. Stattdessen ist es ein Prozess, der sich kontinuierlich fortsetzt. Einige der meist verbreiteten agilen Softwareentwicklungsmethoden sind Extreme Programming, Agile Modelling, Scrum, The Crystal Methodologies, Feature Driven Development, Dynamic Systems Development Method, Adaptive Software Development [94].

Der Requirements Engineering Prozess kann in 5 Phasen unterteilt: Erhebung, Analyse, Dokumentation, Validierung und Management. Diese werden iterativ durchlaufen. Sie sind in Abbildung 2.16 zu sehen [94].

In der **Erhebungsphase** werden Anforderungen und Systemgrenzen gemeinsam mit Stakeholdern erarbeitet. Die Systemgrenzen definieren dabei den Kontext des Systems. Das Verständnis über den Anwendungsbereich, die Geschäftsbedürfnisse, die Systemeinschränkungen, die Stakeholder und die Problemstellung an sich ist in dieser Phase äußerst wichtig. Es gibt eine Vielzahl an Techniken die in der Erhebungsphase eingesetzt werden können. Diese umfassen unter anderem: Interviews, Umfragen, Fokus Gruppen, Brainstorming, Prototyping und werden in Abschnitt 2.4.2 näher behandelt [101].

Im nächsten Schritt wird eine **Analyse** der Anforderungen durchgeführt. Es wird die Notwendigkeit, Konsistenz, Vollständigkeit, und Machbarkeit der einzelnen Anforderungen überprüft. Für die ermittelten Anforderungsprobleme müssen in Rücksprache mit den Stakeholdern anschließend Lösungen erarbeitet werden. Des Weiteren wird in dieser Phase

den Anforderungen Prioritäten zugeordnet. Daraus resultiert ein Kompromisspaket an Anforderungen das vereinbart wird. Die Techniken die hier am häufigsten verwendet werden sind die gemeinsame Anwendungsentwicklung, Anforderungspriorisierung, und die Modellierung [102]. Bei der gemeinsamen Anwendungsentwicklung finden moderierte Gruppensitzungen statt, bei denen Entwickler und Kunden gewünschte Produktmerkmale diskutieren. Ziel ist es, ein Projekt auf verschiedenen Detailstufen zu definieren, eine Lösung zu entwerfen und das Projekt bis es fertig ist zu überwachen [103]. Bei der Anforderungspriorisierung werden, wie der Name schon sagt, den Anforderungen Prioritäten zugewiesen. Dies ist besonders wichtig in Projekten mit engem Zeitplan, begrenzten Ressourcen und hohen Kundenanforderungen. Kunden und Entwickler tragen zur Bewertung bei, wobei der Fokus auf dem größten Nutzen für den User liegt. Die Verwendung von Systemmodellen dient als Brücke zwischen Analyse und Design. Beliebte Modellierungstechniken umfassen Datenflussmodelle, semantische Datenmodelle und objektorientierte Ansätze. Sie dienen dazu, Systemanforderungen zu beschreiben [104].

Die **Dokumentation** dient dazu die Anforderungen zwischen den Stakeholdern und Entwicklern auszutauschen. Das Anforderungsdokument dient als Grundlage der Evaluierung von resultierenden Produkten und Prozessen. Ein Anforderungsdokument sollte eindeutig, vollständig, korrekt, verständlich, konsistent, prägnant und machbar sein [105].

Während der **Validierung** wird überprüft ob die erarbeiteten Anforderungen eine akzeptable Beschreibung des erwarteten Systems darstellen. Das Ergebnis dieser Phase ist eine Liste, die Probleme des Anforderungsdokuments beschreibt und was getan werden muss um mit diese zu bewältigen [106].

Das **Anforderungsmanagement** befasst sich mit dem Erfassen, Speichern, Verbreiten und Verwalten von Informationen. Es umfasst alle Aktivitäten in Zusammenhang mit Änderungs- und Versionskontrolle, Anforderungsverfolgung und Verfolgung des Status von Anforderungen. Die Anforderungsverfolgbarkeit schafft Beziehungen zwischen den Anforderungen, dem Design und der Implementierung des Systems [107].

2.4.2 Techniken der Erhebungsphase

In den anschließenden Absätzen werden einzelne der oben genannten Anforderungserhebungstechniken, welche für diese Arbeit relevant sind genauer beschrieben. Diese umfassen: Umfragen, Interviews, und Prototyping

Umfragen

Umfragen sind ein wertvolles quantitatives Werkzeug im Requirements Engineering. Im Gegensatz zu anderen Techniken wie Interviews, können Fragebögen eine große Menge an Personen abdecken. Dadurch ist es möglich quantitative Daten zu erhalten, die statistisch

ausgewertet werden können. Bei der Erstellung eines Fragebogens muss allerdings sorgsam vorgegangen werden. Dadurch dass die Teilnehmer der Umfrage keine Rückfragen stellen können, müssen die Fragen präzise formuliert sein, damit keine Unklarheiten vorliegen können. Außerdem sollte das Ausfüllen einer Umfrage nicht zu viel Zeit in Anspruch nehmen. Ein Richtwert hierfür ist nicht mehr als 20 Minuten. Bei der Erstellung sollte bereits ein Grundverständnis für das Thema vorliegen. Ansonsten können wichtige Themenbereiche vernachlässigt werden [93, 108].

Interviews

Das **Interview** ist wahrscheinlich die am meisten eingesetzte qualitative Forschungsmethode [109]. Es dient dazu die Meinungen von potenziellen Usern und anderen Stakeholdern einzufangen. Missverständnisse können identifiziert und aufgelöst werden. Ein Vorteil von Interviews ist, dass sie eine große Menge an qualitativen Informationen bieten können. Ein Nachteil hingegen ist, dass sie schwierig zu analysieren sein können, einen großen Zeitaufwand mit sich bringen und unterschiedliche Stakeholder widersprüchliche Informationen darbieten können [94]. Interviews können in 3 Arten unterteilt werden: strukturierte Interviews, semi-strukturierte Interviews und unstrukturierte bzw. narrative Interviews. Durch diese Einteilung werden die Interviewarten auf einem Spektrum aufgeteilt, welches von Quantitativ bis Qualitativ verläuft. Während sich das strukturierte Interview am quantitativen Ende befindet, sind das semi-strukturierte und unstrukturierte Interview auf der qualitativen Seite des Spektrums [109]. Der Hauptunterschied ist das Maß an Kontrolle des Interviewers. Nichtsdestotrotz teilen sie eine charakteristische Eigenschaft: die Verwendung von Fragen, um die Gedanken, Gefühle, Überzeugungen und das Verhalten von Menschen zu verstehen [110].

Das strukturierte Interview ähnelt dem Ansatz einer Umfrage. Es basiert auf einem vordefinierten Fragebogen mit einer Reihe an Fragen, die allen Teilnehmern der Studie in derselben Reihenfolge und auf die gleiche Weise gestellt werden. Dem Forscher steht nur wenig Flexibilität zur Verfügung. Das strukturierte Interview ist mit einem Jobinterview vergleichbar. Hier werden ebenfalls oftmals vorgegebene Fragen in immer der selben Reihenfolge gestellt. Somit kann eine Vergleichbarkeit zwischen den Teilnehmern bereit gestellt werden. Genau das ist auch das Ziel eines strukturierten Interviews, es sollen vergleichbare Informationen von einer möglichst großen Anzahl an Teilnehmer erhoben werden. In vielen Fällen werden die Antworten mit statistischen Methoden ausgewertet [109] [111].

In einem typischen semistrukturierten Interview hat der Interviewer eine Liste an Fragen oder Themen die das Interview abdecken soll. Allerdings ist das Interview, in Hinsicht auf die Art wie und wann die Fragen gestellt werden und auf welche Weise der Interviewte antwortet, flexibel. Die Vorbereiteten Fragen und Themen dienen mehr als Leitfaden anstatt eines vorgegebenen Ablaufs. Der Interviewer kann Gesprächsthemen, die vom Interviewten eröffnet wurden, weiter verfolgen. Dies kann zu Diskussionen führen, die vom Leitfaden abweichen, aber interessanter sind, als die ursprünglich gestellte Frage.

Somit können Antworten weiter vertieft und neue Sichtweisen und ein neues Verständnis für das aktuelle Thema kann gewonnen werden. Dennoch bietet das semistrukturierte Interview durch den Interviewleitfaden zuverlässige und vergleichbare qualitative Daten. Semistrukturierten Interviews ist oft eine Recherche des relevanten Themas vorangestellt, damit der Forscher sich ein Verständnis dessen aneignen kann. Das ist notwendig, um relevante und aussagekräftige Fragen zu entwickeln und um den Themen des Interviewten zu folgen und diese zu vertiefen [111, 112].

Das unstrukturierte Interview wird oft verwendet wenn wenig über das Forschungsthema bekannt ist. Der Interviewer kann Notizen als Gedächtnisstütze haben, um sich an Bereiche zu erinnern, in die er das Gespräch lenken möchte. Alternativ kann er auch ein oder zwei Fragen verwenden, um das Interview zu beginnen. Diese sollen dazu führen, dass der Interviewte seine Geschichte erzählt. Das unstrukturierte Interview hat klare Forschungsziele und ein Untersuchungsthema. Dabei liegt der Schwerpunkt darauf, dem Interviewten die Freiheit zu geben, aus seiner eigenen Perspektive zu sprechen, und seine eigenen Erfahrungen und Ideen zu teilen. Ausschlaggebend für ein unstrukturiertes Interview ist die Flexibilität des Interviewers. Er muss in der Lage sein, auf den Interviewten einzugehen und den Inhalt des Interviews als auch den Schwerpunkt der Forschung basierend auf den Themen, die in den Interviews auftauchen, anzupassen. [109, 111].

Es gibt mehrere Arten, wie Interviews ausgewertet werden können. Für semistrukturierte als auch unstrukturierte Interviews ist wohl die am häufigsten verwendete Methode die Qualitative Inhaltsanalyse. Diese stellt ein systematisches, regel- und theoriegeleitetes Vorgehen dar, das Gütekriterien wie Objektivität, Reliabilität und Validität sichern soll. Sie lässt sich grundsätzlich in drei Schritte gliedern: Erhebung, Aufbereitung und Auswertung des Materials. Das Interview stellt in diesem Fall die Erhebung dar. Während der Aufbereitung wird ein Transkript erstellt. Hier werden die mündlichen Aussagen in einen Fließtext überführt. In diesem Schritt können Teile des Interviews wie die Begrüßung, die für das Thema nicht von Interesse sind, aussortiert werden. Außerdem können die Aussagen ausgehend der Fragestellung redaktionell bearbeitet werden. Dies wird durch folgende Operationen durchgeführt: Paraphrasieren, Selegieren, Auslassen und Transformieren. Der erste Schritt der Auswertung ist das Ordnen der Aussagen. Es werden Passagen, Sätze oder Teilsätze der Probanden nach thematischen Sinneinheiten zusammengefasst. Dadurch entsteht eine Bündelung bedeutungsgleicher oder -ähnlicher Aussagen. Innerhalb der Sinneinheiten werden die Aussagen in Codes bzw. Kategorien gesammelt. Neue Aussagen die keiner bestehenden Kategorie zugewiesen werden können, werden in eine ergänzte Kategorie eingeordnet. Aussagen können auch mehreren Kategorien zugeordnet werden. Anschließend werden die Aussagen innerhalb der Kategorien so geordnet, dass sie hinsichtlich der Fragestellung eine sinnvolle Reihenfolge einnehmen. Danach wird die Explikation durchgeführt. Die Vorstellungen des Probanden bzw. die geordneten Aussagen werden in einen Fließtext ausgelegt. Dieser soll die Vorstellung auslegen und erläutern. Das Ziel ist dabei Charakteristika zu diesen Vorstellungen herauszuarbeiten. Es wird versucht die Quellen dieser Vorstellungen zu interpretieren. Abschließend wird

die Einzelstrukturierung durchgeführt. Diese kann unterschiedliche Ziele verfolgen, indem eher formale, inhaltliche, typisierende oder skalierende Aspekte herausgearbeitet werden sollen [113].

Prototyping

Prototyping spielt eine besondere Rolle im Requirements-Engineering Prozess. Speziell bei agilen Projekten kann es zu großem Erfolg führen. Prototyping hat viele Definitionen. Unter Anderem kann es als ein Vorgehen bezeichnet werden, bei dem frühzeitig ein realistischer Entwurf oder sogar ein erstes Inkrement des Systems erstellt wird [93]. Der Zweck des Prototyping besteht aber immer darin, mehr Einblick in die Gestaltung des Endprodukts zu gewinnen. Bereits in den frühen 90er Jahren wurde festgestellt, dass die Verwendung eines Prototyps einem Benutzer einen genauen Blick auf die Spezifikation geben und das Risiko von Missverständnissen und unterschiedlichen Interpretationen der Systemspezifikation reduzieren kann. Der Einsatz von Prototypen harmoniert mit der agilen Denkweise [114]. Durch den Einsatz dieser ist es möglich die Stakeholder in die Anforderungsanalyse intensiv einzubinden und eine große Menge an Feedback zu bekommen [97]. Es ist extrem schwierig sich ein interaktives System vorzustellen, wenn nur eine schriftliche Beschreibung vorhanden ist. Durch den Entwurf können diese Unklarheiten beseitigt werden und das Verständnis für das System zwischen Entwickler und Stakeholder abgeglichen werden. Aus diesen Gründen ist Prototyping eine hilfreiche Methode, um Anforderungen zu erheben und validieren [94].

2.5 Usability

Usability bildet ein komplexes Konzept, das eng mit der Benutzerfreundlichkeit und der Akzeptanz eines Produkts innerhalb definierter Nutzergruppen verknüpft ist. Der Ausdruck wurde Anfang der 1980er Jahre etabliert, um bewusst den Begriff "benutzerfreundlich" zu ersetzen, welcher bis dahin eine Vielzahl unklarer und subjektiver Konnotationen angenommen hatte [115]. Der ISO-Standard für Softwarequalitäten konkretisiert Usability als eine Matrix von Attributen, die den Aufwand für die Nutzung und die individuelle Bewertung dieser Nutzung beeinflussen. Hierbei werden verschiedene Aspekte der Softwarequalität wie Effizienz und Zuverlässigkeit berücksichtigt, welche die Usability maßgeblich beeinflussen. Usability wird aus der Sicht der Anwender als subjektive Einschätzung der Softwarequalität wahrgenommen. Usability ist untrennbar mit der tatsächlichen Nutzung eines Produkts verbunden. Hervorzuheben ist jedoch, dass Schlussfolgerungen bezüglich Usability sowohl aus dynamischen als auch statischen Softwareattributen gezogen werden können. Der Begriff Usability umfasst ein breites Spektrum potenzieller Erscheinungsformen. Es muss beachtet werden, dass Bewertungen in realen Anwendungsszenarien im Vergleich zu experimentellen Labortests unterschiedliche Perspektiven bieten können, selbst wenn das gleiche Produkt evaluiert wird [116].

Usability bezieht sich im Allgemeinen auf alle Bereiche eines Systems, mit denen ein Mensch interagieren kann. Dies umfasst auch Installations- und Wartungsverfahren.

Es beschreibt, wie gut oder schlecht ein Benutzer eine Funktion nutzen kann. Nielsen definiert Usability als eine Zusammensetzung aus fünf Attributen [117]:

- **Erlernbarkeit:** Das System sollte leicht erlernbar sein, damit der Benutzer schnell beginnen kann, mit dem System zu arbeiten.
- **Effizienz:** Das System sollte effizient in der Anwendung sein, sodass der Benutzer nach dem Erlernen des Systems eine hohe Produktivität erreichen kann.
- **Einprägsam:** Das System sollte leicht zu merken sein, damit der gelegentliche Benutzer nach einer gewissen Zeit der Nichtbenutzung ohne erneutes Erlernen alles nutzen kann.
- **Fehler:** Das System sollte eine geringe Fehlerrate aufweisen, sodass Benutzer während der Nutzung des Systems wenige Fehler machen, und falls Fehler auftreten, sollten sie sich leicht davon erholen können. Darüber hinaus dürfen katastrophale Fehler nicht auftreten.
- **Zufriedenheit:** Das System sollte angenehm in der Anwendung sein, sodass Benutzer subjektiv zufrieden sind, wenn sie es verwenden.

Diese Kategorisierung erlaubt es uns, Usability systematisch anzugehen. Um sie zu messen wird meistens Usern bestimmte Aufgaben erteilt, die sie durchführen müssen. Die Nutzer können anschließend die Usability des Systems bewerten. Es gibt eine Vielzahl an standardisierten Fragebögen die zu Bewertung der Usability herangezogen werden. Diese umfassen unter anderem den AttrakDiff [118], die System Usability Scale (SUS) [119], den Post-Study System Usability Questionnaire (PSSUQ) [120], das Questionnaire for User Interface Satisfaction (QUIS) [121] und das User-Experience Questionnaire (UEQ) [122]. Für diese Arbeit wurden die System Usability Scale und das User Experience Questionnaire ausgewählt. Die SUS ist laut Yanez et al. [123] der am häufigsten eingesetzte Standardfragebogen zum ermitteln der Usability eines Systems. Somit bietet er einen guten Vergleichswert zu anderen Systemen. Durch den UEQ können diese Ergebnisse durch detailliertere Aussagen über die unterschiedlichen Bereiche der Usability erweitert werden. Die zwei angewendeten Fragebögen werden folgend genauer beschrieben und finden im Kapitel 4.5.1 Anwendung.

2.5.1 System Usability Scale

Die System Usability Scale (SUS) ist ein weit verbreitetes Werkzeug zur Messung der Benutzerfreundlichkeit eines Systems. Entwickelt von John Brooke [119] in den 1980er Jahren, zeichnet sich der SUS durch seine Einfachheit, Zuverlässigkeit und Effizienz aus. Das Ziel ist es, in einer möglichst kurzen Zeit ein Maß für die subjektive Wahrnehmung der Benutzerfreundlichkeit des Systems bereitzustellen. Es handelt sich um einen Fragebogen mit 10 Aussagen über das System. Die Benutzer werden gebeten, ihre

2. THEORETISCHER HINTERGRUND

Zustimmung gegenüber den Aussagen zu bewerten. Die Bewertung wird mit Hilfe einer Likert-Skala durchgeführt. Dies ist eine 5-stufige Skala, die von "stimme überhaupt nicht zu" bis "stimme voll und ganz zu" reicht. Die Aussagen decken verschiedene Aspekte der Benutzerfreundlichkeit ab, wie z.B. die Komplexität des Systems, die Lernfähigkeit und die Zufriedenheit des Benutzers. In Abbildung 2.17 ist die deutsche Übersetzung des SUS nach Gao et al. [124] zu sehen.

Bitte überprüfen Sie die Antwort, die Ihre sofortige Antwort auf jede Aussage widerspiegelt. Bitte denken Sie nicht zu lange über jede Aussage nach und stellen Sie sicher, dass Sie zu allen Aussagen eine Antwort geben.

	Stimme überhaupt nicht zu - 1	2	3	4	Stimme voll und ganz zu - 5
Ich denke, dass ich dieses Produkt häufig verwenden möchte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich fand das Produkt unnötig komplex	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich dachte, das Produkt war einfach zu bedienen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich denke, dass ich die Unterstützung einer technischen Person brauche, um dieses Produkt nutzen zu können	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich fand, die verschiedenen Funktionen in diesem Produkt waren gut integriert	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich dachte, dass dieses Produkt nicht konsistent genug war	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich würde mir vorstellen, dass die meisten Leute sehr schnell lernen würden, dieses Produkt zu benutzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich fand dieses Produkt sehr umständlich zu benutzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich habe mich sehr selbstsicher gefühlt, dieses Produkt zu verwenden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich musste eine Menge Dinge lernen, bevor ich mit diesem Produkt loslegen konnte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Abbildung 2.17: Deutsche Übersetzung des System Usability Scale nach Gao et al. [124]

Basierend auf den Ergebnissen der Fragebögen kann ein SUS-Score berechnet werden. Hierzu werden von den Zahlenwerten der Antworten auf die eine ungerade Numerierung haben (1,3,5,7,9) 1 subtrahiert. Bei den gerade nummerierten Fragen (2,4,6,8,10) wird der Antwortwert von 5 subtrahiert. Anschließend werden alle umgerechneten Werte addiert. Das Ergebnis ist ein Wert zwischen 0 und 100, wobei höhere Werte eine bessere Benutzerfreundlichkeit darstellen. Da dieser Wert ohne Vergleichswerte nicht aussagekräftig ist, hat Bangor et al. [125] den SUS analysiert und mit anderen Skalen verglichen, um Aussagen über die Werte treffen zu können. In Abbildung 2.18 ist das Ergebnis abgebildet.

Werte von 85 oder höher werden als ausgezeichnet angesehen, während Systeme mit einem Wert von unter 70 Probleme aufweisen.

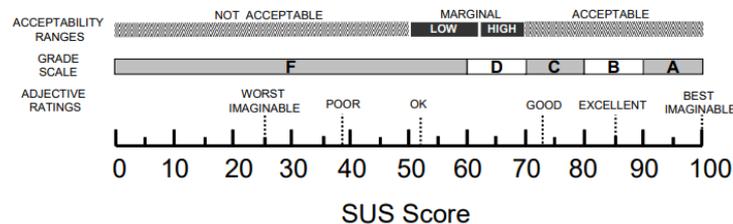


Abbildung 2.18: Bewertung des SUS Score nach Bangor et al. [125]

Der SUS wird vom Autor John Brooke [119] als "Quick and Dirty" bezeichnet. Lewis [126] zeigt allerdings auf, dass er sich als "Quickäber nicht "Dirty" erwiesen hat. In verschiedenen Studien wurde nachgewiesen, dass die Skala ein zuverlässiges Maß für die Benutzerfreundlichkeit darstellt. Weiters kann der Fragebogen in kurzer Zeit ausgefüllt werden, und die Auswertung ist unkompliziert.

Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass der SUS kein perfektes Maß für die Benutzerfreundlichkeit ist. Die Skala ist subjektiv und kann von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden, wie z. B. der Erfahrung und den Erwartungen des Benutzers. Darüber hinaus liefert der SUS keine spezifischen Informationen darüber, was an einem System falsch ist. Er zeigt lediglich, wie einfach oder schwierig das System zu bedienen ist [126].

2.5.2 User Experience Questionnaire

Ein weiterer Standardfragebogen, der sich mit der Usability eines Systems beschäftigt, ist der User Experience Questionnaire (UEQ) von Laugwitz et al. [127]. Er dient der Messung der Benutzererfahrung (UX). Im Gegensatz zur SUS, erfasst der UEQ die UX in sechs Dimensionen [122]:

- **Attraktivität:** Gesamteindruck des Produkts. Gefällt es den Benutzern oder nicht?
- **Durchschaubarkeit:** Ist es einfach, sich mit dem Produkt vertraut zu machen und den Umgang damit zu erlernen?
- **Effizienz:** Können Benutzer ihre Aufgaben ohne unnötigen Aufwand lösen? Reagiert es schnell?
- **Vorhersagbarkeit:** Hat der Benutzer das Gefühl, die Interaktion unter Kontrolle zu haben? Ist es sicher und vorhersehbar?
- **Stimulation:** Ist es spannend und motivierend, das Produkt zu nutzen? Macht es Spaß, es zu benutzen?

- **Originalität:** Ist das Design des Produkts kreativ? Weckt es das Interesse der Benutzer?

Der UEQ besteht aus 26 Items die auf einer 7-stufigen Skala bewertet werden müssen. Diese Items sind bipolar und stellen somit jeweils zwei Begriffe gegenüber. Diese sind in Abbildung 2.19 zu sehen.

	1	2	3	4	5	6	7		
unerfreulich	<input type="radio"/>	erfreulich	1						
unverständlich	<input type="radio"/>	verständlich	2						
kreativ	<input type="radio"/>	phantasielos	3						
leicht zu lernen	<input type="radio"/>	schwer zu lernen	4						
wertvoll	<input type="radio"/>	minderwertig	5						
langweilig	<input type="radio"/>	spannend	6						
uninteressant	<input type="radio"/>	interessant	7						
unberechenbar	<input type="radio"/>	voraussagbar	8						
schnell	<input type="radio"/>	langsam	9						
originell	<input type="radio"/>	konventionell	10						
behindernd	<input type="radio"/>	unterstützend	11						
gut	<input type="radio"/>	schlecht	12						
kompliziert	<input type="radio"/>	einfach	13						
abstoßend	<input type="radio"/>	anziehend	14						
herkömmlich	<input type="radio"/>	neuartig	15						
unangenehm	<input type="radio"/>	angenehm	16						
sicher	<input type="radio"/>	unsicher	17						
aktivierend	<input type="radio"/>	einschläfernd	18						
erwartungskonform	<input type="radio"/>	nicht erwartungskonform	19						
ineffizient	<input type="radio"/>	effizient	20						
übersichtlich	<input type="radio"/>	verwirrend	21						
unpragmatisch	<input type="radio"/>	pragmatisch	22						
aufgeräumt	<input type="radio"/>	überladen	23						
attraktiv	<input type="radio"/>	unattraktiv	24						
sympathisch	<input type="radio"/>	unsympathisch	25						
konservativ	<input type="radio"/>	innovativ	26						

Abbildung 2.19: User Experience Questionnaire [122]

Bei der Konstruktion des UEQ wurde die Annahme getroffen, dass die wahrgenommene Attraktivität einer Software aus einer gewichteten Bewertung dieser bezüglich mehrerer Aspekte resultiert. Der Fragebogen soll zwei Arten von Items bewerten.

- Items, die die Attraktivität direkt messen,
- Items, die die Bewertung des Produkts auf den relevanten Aspekten messen.

Mithilfe der ausgewerteter Fragebögen, kann für jede der oben angeführten Dimensionen ein Wert berechnet werden. Dieser befindet sich im Bereich von -3 bis 3 [128]. Auf der offiziellen Seite des Team UEQ [122] wird eine Excel-Datei bereitgestellt, die diese Auswertung automatisiert durchführt. Da für die einzelnen Dimensionen jeweils ein Wert berechnet wird, können Verbesserungsmöglichkeiten des Systems erkannt werden.

2.6 Sensoren

Ein wichtiger Punkt bei der Entwicklung eines Exergames ist die Auswahl des Eingabegeräts beziehungsweise des Sensors, welcher die Bewegungen des Users registriert. Hierfür gibt es eine Vielzahl an Möglichkeiten, die bereits in der Praxis getestet wurden. Um später eine fundierte Auswahl zu treffen, werden in diesem Absatz die Eingabegeräte diskutiert, die bereits in anderen Arbeiten eingesetzt wurden. Diese umfassen: den Leap Motion Controller, Microsoft Kinect, VR Geräte, Dynamometer, Smart Gloves und den HandLog.

Der Leap Motion Controller [129] ist ein optisches Hand-Tracking Modul, das über USB direkt mit jedem PC verbunden werden kann. Für Entwickler gibt es ein Software Development Kit (SDK) welches die Integration erleichtert. Außerdem sind Plugins für weit verbreitete Game Engines wie Unity und Unreal vorhanden. Er ist relativ kostengünstig und wahrscheinlich der am häufigsten verwendete Sensor in Exergames zur Rehabilitation der Hand beziehungsweise der oberen Extremität. Gamboa et al. [130] haben in ihrer Arbeit die Vorteile und die Einschränkungen des Leap Motion Controllers beim Einsatz für Exergames zur physischen Rehabilitation untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass der Leap Motion Controller ein einfach zu bedienendes Entwicklungstool ist. Er ist innovativ und komfortable, und kann in der Rehabilitation einen motivierenden Effekt auf den Patienten bzw. die Patientin haben. Allerdings bestehen noch Einschränkungen bei der Robustheit und Zuverlässigkeit. Hier stellt die Entwicklungsmaturität des Leap Motion eine Herausforderung dar. Er wird als vielversprechendes Gerät bezeichnet, das aber noch Verbesserungen benötigt. Seit diesem Bericht wurde eine neue Version des Leap Motion Controllers entwickelt, welche einige dieser Probleme beseitigen sollte [131].

Ein weiterer weit verbreiteter Sensor für Exergames ist der Microsoft Kinect. Er verwendet Tiefenbilder, um den gesamten Körper aufzunehmen. Somit können die Entfernungen von 3D-Objekten zur Kamera gemessen werden. Außerdem bietet er ein SDK, das Entwicklern Zugriff auf die Positionen und Orientierungen der Gelenke gibt. Mit Kinect V2 können 25 Gelenke verfolgt werden [132]. Allerdings ist für das Tracking von individuellen Fingern der Leap Motion Controller besser geeignet [133]. Dank der Gestenerkennung können trotzdem Exergames zur Rehabilitation der Hand beziehungsweise der oberen Extremitäten entwickelt werden [134]. Ein großer Vorteil des Kinect ist der Preis. Er ist die billigste Option, die hier besprochen wird.

Der Virtual Reality Sektor wächst stetig. Grundsätzlich ist das VR-Headset ein Anzeigegerät. Es wird auch in mehreren Exergames als solches verwendet. Allerdings wird in vielen Fällen ein extra Sensor benötigt, um die Bewegung der Finger und Hand festzustel-

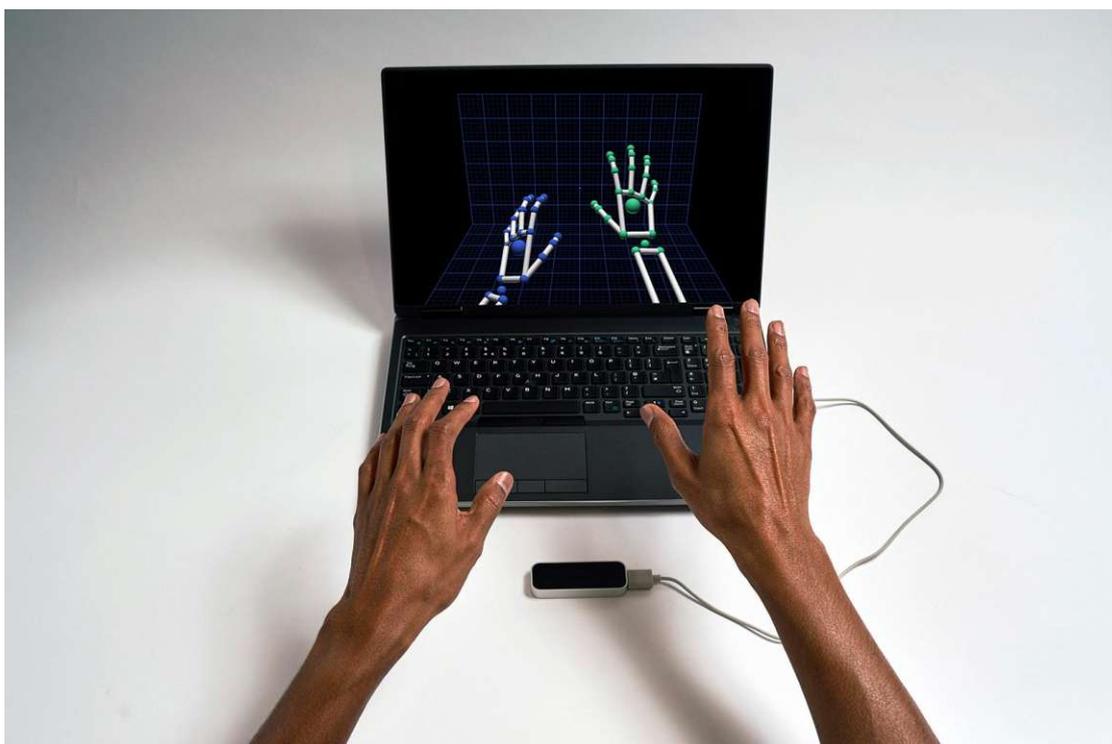


Abbildung 2.20: Leap Motion Controller [129]

len. Hierfür können die anderen angeführten Optionen wie der Leap Motion Controller verwendet werden. Es gibt mittlerweile aber auch VR-Headsets, die eingebaute Sensoren besitzen, welche zum Hand-Tracking verwendet werden können. Das ist zum Beispiel beim Oculus Quest der Fall. Vom Hersteller wird eine SDK bereitgestellt, mit der das Handtracking im Programm durchgeführt werden kann. Durch die virtuelle Umgebung kann ein immersives Spielerlebnis erreicht werden. Das Spiel kann durch eine beruhigende Umgebung eine entspannte Atmosphäre schaffen. Der Markt für VR-Headsets wächst stetig. Nichtsdestotrotz ist die Anschaffung eines VR-Headsets ein großer Kostenpunkt der beachtet werden muss [135].

Neben diesen optischen Sensoren kommen auch mechanische Sensoren zum Einsatz. Shin et al. [136] haben zum Beispiel ein eigenes Eingabegerät entwickelt, welches zur Multi-Finger Rehabilitation eingesetzt werden kann und die Griffstärke jedes einzelnen Fingers misst. (Abbildung 2.21) Hier wird ein sogenanntes Dynamometer eingesetzt. Der große Vorteil dieses Sensors ist, dass die Griffstärke der jeweiligen Finger genau gemessen werden kann. Außerdem können Übungen mit Widerstand durchgeführt werden. Dies ist speziell in der Prävention und in der späten Phase der Rehabilitation von Interesse. Ein weiterer ähnlicher Sensor ist der HandLog der 2016 von Beven et al. [137] entwickelt wurde. (Abbildung 2.22) Dies ist ein Interaktionsgerät, das einhändige Verformung durch Fingerflexion in ein digitales Eingabesignal umwandelt. Es wurde bereits eine erfolgreiche

Studie zur Verwendung des Geräts als Spielsteuerung durchgeführt. Allerdings ist seither nicht viel Literatur zum Handlog zu finden. Die Nachteile dieser Eingabegeräte ist zum einen, dass sie zu Beginn der Fingerrehabilitation nur schwer eingesetzt werden können, da zu Beginn keine Übungen mit Widerstand durchgeführt werden. Zum anderen ist die Auswahl an kommerziell erhältlichen Geräten beschränkt.

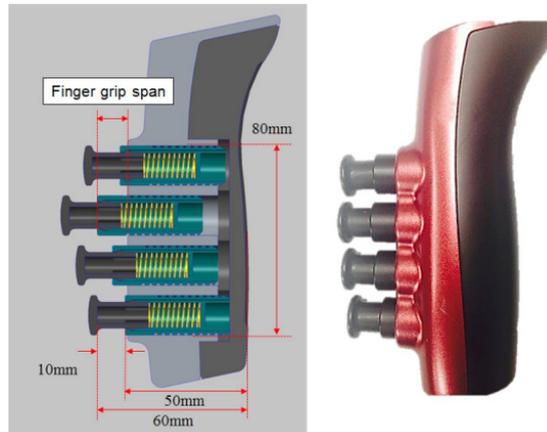


Abbildung 2.21: Dynamometer zur Messung der individuellen Fingerkraft [136]



Abbildung 2.22: HandLog [137]

Weitere mechanische Sensoren für Handrehabilitation Serious Games sind Smart Gloves. Hiervon gibt es eine Vielzahl an unterschiedlichen Entwürfen. Schon 2010 wurde von Mohamaddan et al. [138] ein sogenannter Wire-driven Smart Glove entworfen. Wie der Name schon sagt, werden hier Drähte verwendet, um die Bewegung der Finger zu messen. In einer Arbeit von Shen et al. [139] zu Handrehabilitation mithilfe von Augmented Reality fanden ebenfalls Smart Gloves Anwendung. Hier waren mehrere Sensoren in den Handschuhen enthalten, die die Position der einzelnen Abschnitte der Finger messen. Eine aktuellere Version eines Smart Gloves ist in der Arbeit von Alexandre et al. [140] aus 2019 zu finden. Hier wurden Prototypen für einen Smartglove entwickelt. Ein Vorteil

2. THEORETISCHER HINTERGRUND

dieser Smart Gloves ist, dass die Sensoren direkt an den Fingern befestigt sind. Daher können sehr genaue Messung durchgeführt werden, die nicht von externen Einflüssen wie der Belichtung oder der Lage der Hand beeinflusst werden. Es gibt immer mehr Smart Gloves, die kommerziell erhältlich sind. Allerdings sind diese oft sehr teuer oder haben noch keine gute Entwicklungsunterstützung. Das Interesse an Smart Gloves wächst aber in immer mehr Bereichen, weswegen hier eine Entwicklung in den nächsten Jahren möglich ist [141].

State-of-the-Art Analyse

Im folgenden Absatz wird eine State-of-the-Art Analyse durchgeführt. Es werden Serious Games vorgestellt, die in der Rehabilitation von Finger- und Handverletzungen eingesetzt werden. Hiermit wird das Potenzial dieser Anwendungen dargestellt und analysiert, was bereits vorhanden ist und wie diese Lösungen in der Rehabilitation eingesetzt werden. Des Weiteren können uns die Ergebnisse dieser Arbeiten Auskunft über Schwierigkeiten in der Entwicklung einer solchen Anwendung liefern. Zum Abschluss wird noch behandelt, was diese Arbeit von den vorgestellten unterscheidet und abhebt.

Pereira et al. [135] haben 2020 das Serious Game StableHand VR entwickelt. Ein Virtual Reality Spiel welches die konventionelle Physiotherapie in der Hand Rehabilitation verbessern soll. Insbesondere sollte eine neue technische Lösung entwickelt werden, die Probleme vorhandener Exergames löst. Diese umfassen eine begrenzte Unterstützung von Bewegungen und Übungen, komplizierte Kalibrierungen und der Ausschluss von Patienten mit offenen Wunden oder anderen Verstümmelungen der Hand. Das Spiel soll die Effektivität herkömmlicher Physiotherapiesitzungen bei der Verbesserung der Handfunktion nach Verletzungen, Wunden oder traumatischen Ereignissen steigern. Als Hardware wurde das Oculus Quest Headset mit seinem integrierten Handtracking verwendet. Die Software basiert auf der Unity Game Engine. Im Spiel werden Aufgaben durchgeführt, welche durch Bewegungen erledigt werden, die die Übungen der Physiotherapie widerspiegeln. Es wurden 3 Gesten implementiert, um mit der Umgebung zu interagieren. Stoßen und mit einem oder mehrern Fingern Kneifen. Es gibt 3 unterschiedliche Spielszenarien: Pflanzen, Milch und Käse. Bei den Pflanzen geht es darum, in seinem Garten Gemüse zum Wachsen zu bringen und dieses anschließend zu ernten. Hierzu müssen Wolken herbeigerufen werden, um die Pflanzen zu wässern. Abbildung 3.1 zeigt die Bewegungen, die hierfür durchgeführt werden müssen. Zuerst muss die offene Handfläche nach oben zeigen und danach wird mit allen Fingern gekniffen. Um die Interaktion abzuschließen, muss die Hand wieder geöffnet werden. Gewässerte Pflanzen wachsen anschließend und können in weiterer Folge geerntet werden. Dieser Ablauf ist in Abbildung 3.2 dargestellt. Hier muss

3. STATE-OF-THE-ART ANALYSE

mit einem Finger gekniffen werden, um das Gemüse aufzunehmen. Wenn der Kneifgriff gelöst wird, wird auch das Gemüse im Spiel fallen gelassen.



Abbildung 3.1: StableHand VR. Bewegungsablauf um mit den Wolken zu interagieren: a) Handfläche nach oben um zu starten b) Kneifen c) Hand öffnen um die Interaktion abzuschließen [142]

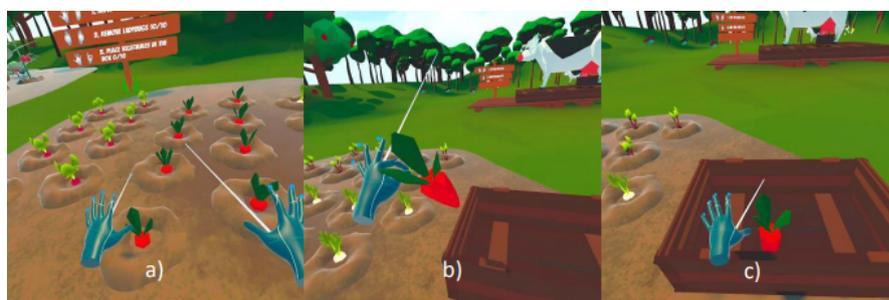


Abbildung 3.2: StableHand VR. Bewegungsablauf Gemüse zu ernten a) vor dem Aufnehmen des Gemüse b) mit einem Finger kneifen um zu greifen c) aufhören zu Kneifen um loszulassen [142]

Das Spiel wurde mit sieben körperlich gesunden Teilnehmern durch ein semistrukturiertes Interview evaluiert. Die Hardware wurde sehr positiv bewertet, obwohl einige Teilnehmer leichte Schwindelgefühle durch die VR Umgebung hatten. Es wurde auch die angenehme und beruhigende Umgebung angemerkt. Bei der Geste, um die Wolken zu bewegen, hatten einige Teilnehmer Schwierigkeiten. Dies ist keine übliche Geste, was in Unsicherheiten resultierte. Um dies zu umgehen, könnten die Gesten im Spiel vorgezeigt werden. Ein anschließendes Training beziehungsweise Tutorial würde den Usern helfen, die Gesten zu lernen. Negativ wurde auch bewertet, dass die User sich bücken mussten, um das Gemüse zu ernten. Dies könnte bei Personen mit eingeschränkter Mobilität zu Schwierigkeiten führen. Das System erreichte bei der Umfrage einen System Usability Score (SUS) von 84.3. Es wurde noch angemerkt, dass eine zukünftige Spieldatenbank von Vorteil wäre, um die Daten und den Fortschritt des Patienten zu speichern.

In der Arbeit von 2020 von Alnajjar et al. [143] wurde ein 3D Exergame zur Rehabilitation der oberen Gliedmaßen entwickelt. Das System nutzt den Leap Motion Controller als Eingabegerät und das Spiel läuft mit der Game Engine Unity. Es soll zur Behandlung

von Schwächen, Funktionsstörungen, Beeinträchtigungen oder Behinderungen der oberen Extremität, welche verschieden begründet sein können, aber häufig durch Sportverletzungen, Arbeitsbedingungen, Alterung und medizinische Zustände wie Schlaganfälle. Für den Prototypen, der vorgestellt wird, wurden 3 Spielmodi entwickelt: Objekte sammeln und sortieren, Hand Gesten, und Formen nachzeichnen. Das Sammeln und Sortieren von Objekten ist in den Abbildungen 3.3 und 3.4 zu sehen. Während das Sammeln nur eine niedrige Genauigkeit erfordert, wird beim Sortieren eine erhöhte Genauigkeit erfordert. Das Sortieren kann auf statischen oder sich bewegenden Plattformen durchgeführt werden. Der zweite und dritte Spielmodus sind selbsterklärend. Im zweiten müssen Handgesten durchgeführt werden und im dritten wird eine Form mit dem ausgestreckten Finger nachgezeichnet. Für zukünftige Arbeiten wurde das Implementieren von mehreren Übungen und Spielszenarien und das Hinzufügen eines Punktesystems, um den Fortschritt des Patienten nachzuverfolgen, erwähnt. Außerdem soll das Spiel in einer VR Umgebung umgesetzt werden.

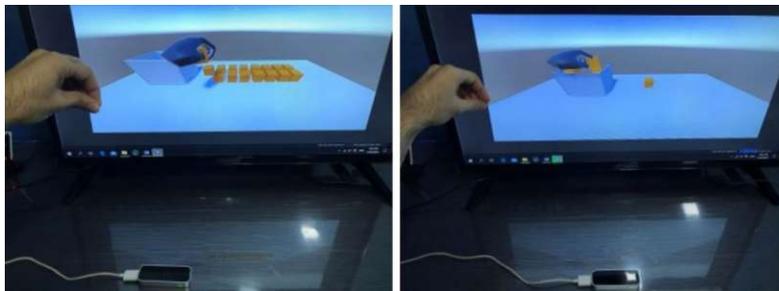


Abbildung 3.3: Sammeln von Objekten in Alnajjars Exergame [143]

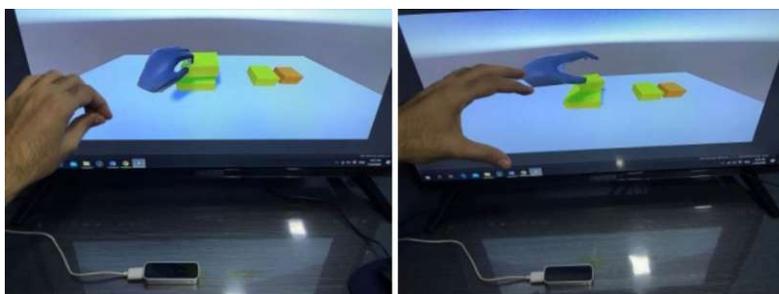


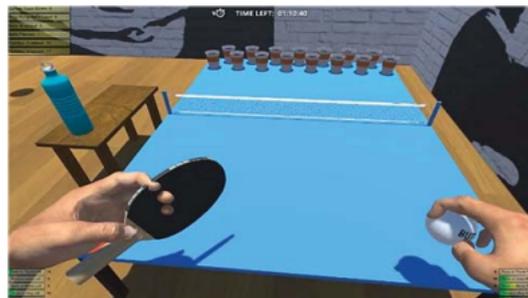
Abbildung 3.4: Sortieren von Objekten in Alnajjars Exergame [143]

Auch Alexandre et al. [140] haben 2019 ein Serious Game zur Rehabilitation der oberen Gliedmaßen entwickelt. Zielgruppe des Spiels sind Personen mit motorischen Einschränkungen, welche auf verschiedene Ursachen wie angeborene Probleme, arbeitsbedingte Unfälle, oder das Altern selbst zurückzuführen sind. Sie setzten das Spiel in einer VR Umgebung um und verwendeten sogenannte Smart Wearables als Sensoren. Hier wurden ein Stirnband und zwei Handschuhe mit integrierten Sensoren verwendet. Dank des Stirnbandes kann die Körperhaltung des Users ermittelt werden. Die Software wurde mit der Unity Game Engine entwickelt. Zwei Spielszenarios sind beschrieben: Cans Down

Challenge und Coffee Pong Challenge. Die Spiele sollen den User dazu bringen, die Finger und Arme zu trainieren, um Objekte aufzuheben und zu werfen. Die Cans Down Challenge kann auch als Dosenschießen beschrieben werden und ist in Abbildung 3.5a zu sehen. Das Ziel des Spiels ist es, die Dosen umzuwerfen. Dazu werden Tennisbälle darauf geworfen. Wenn eine Dose getroffen wird, bekommt der User einen Punkt. Das zweite Spielszenario ist in Abbildung 3.5b dargestellt und konzentriert sich auf die Streckung und Beugung der Fingergelenke. Der User muss versuchen die Kaffeebecher mit den Tennisbällen zu treffen. Die Spielergebnisse und die Beugungswerte der Hand und Finger werden aufgenommen und in einer Datenbank gespeichert. Um diese Daten zu analysieren wurde eine mobile Applikation entwickelt. Diese kann sowohl von Patient als auch vom Physiotherapeut verwendet werden.



(a) Cans Down Challenge



(b) Coffee Pong Challenge

Abbildung 3.5: VR Serious Games von Alexandre et al. [140]

Yeng et al. [144] haben für ein bekanntes Spiel eine neue Eingabemöglichkeit entwickelt. Das Spiel 2048 ist ein beliebtes Handyspiel. In der Arbeit wird eine Steuerung mittels Handgesten entworfen. Diese Gesten basieren auf üblichen Handtherapieübungen. Daher kann das Spiel zur Handrehabilitation eingesetzt werden. Die Hand wird mit einer Kamera gefilmt und mithilfe von Bildverarbeitung werden die Gesten erkannt. Das Spiel ist sehr simpel. Es müssen Felder mit derselben Zahl kombiniert werden, um möglichst hohe Zahlen zu erreichen. Da das Spiel vielen Patienten vertraut ist, benötigt es keine lange Eingewöhnungsphase. Die Gesten werden mit ihrer Funktion am Bildschirm angezeigt. Ein Screenshot des Spiels ist in Abbildung 3.6 zu sehen.

Shin et al. [136] haben 2016 in ihrer Arbeit ein Eingabegerät für Serious Games zu Multi-Finger Rehabilitation entwickelt. Dieses Dynamometer wurde bereits in Abschnitt 2.6 besprochen. Zusätzlich wurde ein Serious Game entworfen. Dieses erlaubt es, gezielt die Finger zu trainieren, welche Rehabilitation benötigen. Das Serious Game zielt auf Parkinson-Patientinnen und Patienten, oder auf Personen, die einen Schlaganfall erlitten haben, ab. Kann aber auch in anderen Fällen eingesetzt werden. Vor den Spielen wird die maximale Griffstärke der einzelnen Finger gemessen. Somit kann das Spiel auf die Fähigkeit des Patienten abgestimmt werden und auch Personen ohne Verletzung können das Spiel nutzen. Anschließend kann der User die Musik selber aussuchen. Diese wird analysiert und ein entsprechendes Rhythmusmuster wird entworfen. Der User

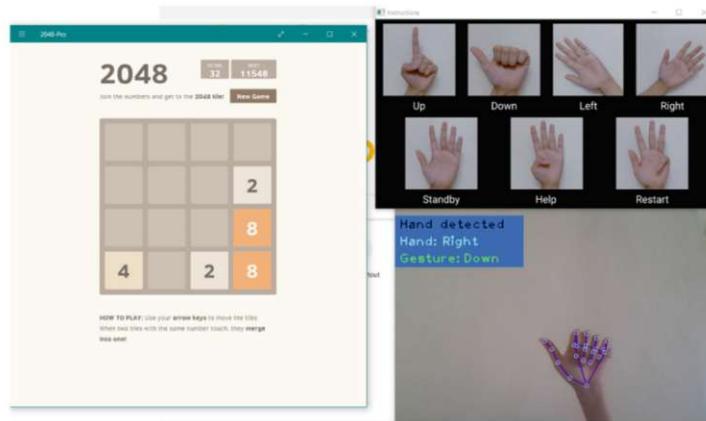


Abbildung 3.6: Das Spiel 2048 zur Handrehabilitation mit Gestensteuerung [144]

kann auswählen, welche Finger trainiert werden sollen und welcher Trainingsmodus durchgeführt werden soll. Zur Auswahl stehen Agilität, Kraft und Ausdauer. Während des Spiels ist ein Countdown in der Mitte des Bildschirms zu sehen, wenn dieser abläuft, muss der entsprechende Finger gegen das Dynamometer gedrückt werden. Nach Abschließen eines Spiels werden die Ergebnisse auf einem Ergebnisbildschirm angezeigt. Das Interface des Spiels ist in Abbildung 3.7 dargestellt.



(a) Messung der maximalen Griffstärke

(b) Spielinterface

(c) Ergebnisbildschirm

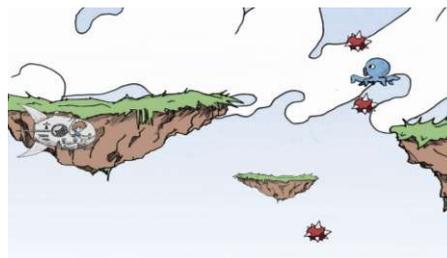
Abbildung 3.7: Rhythmusspiel von Shin et al. [136]

Elnaggar und Reichardt [145] versuchen mit Ihrer Arbeit die Hand Rehabilitation durch den Einsatz von Serious Game Methodik und nutzerorientierten Design zu digitalisieren. Die Zielgruppe des entwickelten Spiels sind Patientinnen und Patienten mit unterschiedlichen Handverletzungen die eine Handtherapie durchführen. Zur Registrierung der Bewegungen der Hand wurde auch hier der Leap Motion Controller eingesetzt. Das Spiel wurde mittels Unity entwickelt. Während des iterativen Entwicklungsprozesses des Prototyps wurden sowohl Personen aus der Zielgruppe als auch Physiotherapeuten eingebunden. Das Spiel besteht aus 2 Spielmodi. Eines basiert auf dem bekannten Spiel Angry Bids. Zur Steuerung muss der User seine Hand in alle Richtungen bewegen um zu zielen und eine Faust machen um zu schießen. Beim Anderen muss ein Raumschiff durch gesteuert und Gegnern ausgewichen werden. Weiters können die Gegner abgeschossen

werden. Gesteuert wird ebenfalls durch die Bewegung der Hand in alle Richtungen und Geschossen durch das Schließen der Faust. Die Spielmodi sind in Abbildung 3.8 zu sehen. Das Spiel wurde durch Personen die sich aktuell eine Handtherapie durchführen und Physiotherapeuten getestet und evaluiert. Das Feedback war durchaus positiv und zeigt auf, dass Serious Games eine unterhaltsame Technologie sind, die Patientinnen und Patienten in ihrer Rehabilitation unterstützen. Allerdings muss das Spiel noch genauer und mit einer größeren Anzahl an Probanden getestet werden bevor es für den Verbrauchermarkt bereit ist.



(a) Angry Birds Spielmodus



(b) Raumschiff Spielmodus

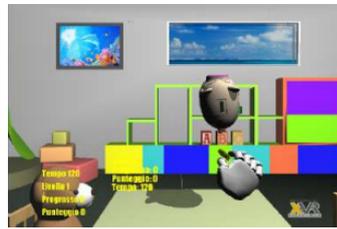
Abbildung 3.8: Spielmodi des Serious Games von Elnaggar und Reichardt [145]

In einer Arbeit von Bortone et al. [146] wird ein neuartiges Neurorehabilitationssystem für Kinder mit Bewegungsstörungen vorgeschlagen. Es basiert auf einem Serious Game mit immersiver Virtual Reality mit haptischem Feedback. Hier wird der Oculus Rift DK2 eingesetzt. Dies ist ein VR-Headset mit integriertem optischem Trackingsystem. Weiters wurde ein tragbares haptisches Gerät eingesetzt, welches sowohl für den Zeigefinger als auch Daumen dem User haptisches Feedback gibt. Eine Übersicht der eingesetzten Geräte und des Versuchsaufbaus kann in Abbildung 3.9a betrachtet werden. Das Spiel zielt auf die motorische Rehabilitation der oberen Gliedmaßen von Kindern mit Bewegungsstörungen ab. Es gibt 2 Spielmodi. Beim Moneybox Spiel muss der User nach einer goldenen Münze greifen und diese in ein schwebendes Sparschwein einwerfen (Abbildung 3.9b). Hier wird das Greifen nach Objekten trainiert. Im Labyrinth Spiel (Abbildung 3.9c) muss ein Schiebestein durch ein Labyrinth bewegt werden, indem er mit der Fingerspitze geschoben wird. Diese Aufgabe fokussiert sich auf die Bewegung einzelner Gelenke und die Adduktion und Abduktion der Schulter. Die Spiele können vom Therapeuten angepasst werden. Das Serious Game wurde mithilfe einer experimentellen Rehabilitationseinheit getestet. Die Testpersonen waren 4 Kinder mit Zerebralparese und Entwicklungsdyspraxie, 4 sich normal entwickelnde Kinder und 4 gesunde Erwachsene. Die Patientinnen und Patienten sagten, dass das Spiel ihre Motivation gegenüber der Therapie positiv beeinflusst hat.

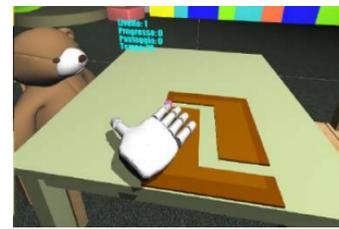
Es ist erkennbar, dass es bereits einige Serious Games gibt, die sich mit der Hand- bzw. Fingertherapie beschäftigen. Ein weiterer großer Teil von Arbeiten die hier nicht behandelt wurden, beschäftigen sich mit Serious Games die auf die Rehabilitation von Parkinson [147], oder die Behandlung nach einem Schlaganfall [7] abzielen. Keine der Serious Games legt einen konkreten Fokus auf die Rehabilitation nach Sportverletzungen



(a) Übersicht des Serious Games und der eingesetzten Geräte



(b) Money Box Spielmodus



(c) Labyrinth Spielmodus

Abbildung 3.9: Serious Game von Bortone et al. [146]

der Finger. Das ist bei dieser Arbeit hingegen der Fall. Dies beeinflusst zum einen die Zielgruppe und zum anderen treten im Sport andere Fingerverletzungen auf als im Alltag. Dadurch verändern sich die Anforderungen drastisch. Darüber hinaus ist das Serious Game zur Multi-Finger-Rehabilitation von Shin et al. das einzige, das es ermöglicht, den Fokus des Spiels auf einzelne Finger zu legen. Das Spiel wirkt aber nicht abwechslungsreich. Es wird nur eine Übung angeboten und die unterschiedlichen Spielmodi sind alle Rhythmusspiele. Keines der Spiele bietet die Möglichkeit, ein bestimmtes Gelenk auszuwählen und gezielt darauf einzugehen. Die Hand wird bei den meisten Arbeiten als Ganzes betrachtet. In dieser Arbeit soll ein Serious Game entwickelt werden, das sich auf die Verletzung des Users individuell einstellt. Es soll der verletzte Finger und das verletzte Gelenk als Steuerobjekt verwendet werden. Weiters wird mit dem Leap Motion Controller ein Sensor eingesetzt, der in der Anschaffung verhältnismäßig günstig ist. In Tabelle 3.1 werden die präsentierten Systeme mit dem Serious Game verglichen, welches in dieser Diplomarbeit vorgestellt wird ("RehArcade"). Hier können bereits Verbesserungen, welche das neu präsentierte System mit sich bringt, erkannt werden. Da das neu entwickelte Spiel RehArcade sowohl bei der Anzahl der Übungen, der Anzahl der Spielszenarios als auch der Anzahl der Steuerungsmöglichkeiten pro Spielszenario den höchsten Wert erreicht, kann es als sehr abwechslungsreich bezeichnet werden. Somit soll die Motivation der User über die lange Rehabilitationsphase aufrechterhalten werden. Weiters bietet das RehArcade viel Potential für die Zukunft. Da die erreichte Range-of-Motion des Users gemessen wird, kann der Patientin bzw. dem Patienten der Fortschritt der Rehabilitation über die Zeit angezeigt werden. Außerdem können in Zukunft personalisierte Elemente im Spiel eingebaut werden, wie die Verwendung des Lieblingssongs für das Rhythmusspiel oder kosmetische Veränderungen eingebaut werden. Das Potential des Spiels ist in Kapitel 6 genauer beschrieben.

	Sensor	Betroffenes Körperteil	Zielgruppe	Kalibrierung	Anzahl Übungen	Anzahl Spielszenarios	Anzahl Steuerungsmöglichkeiten pro Spielszenario
StableHand VR [135]	Oculus Quest	Hand	Computeraffine Personen mit Handverletzung	Keine	3 Gesten	3	1
Almajar 3D Exergame [143]	Leap Motion Controller	Obere Gliedmaßen	Personen mit Beeinträchtigung der oberen Gliedmaßen	Keine	3	3	1
Alexandre Serious Game [140]	Smart Gloves	Obere Gliedmaßen	Personen mit motorischen Einschränkungen	Vor dem Spiel	2	2	1
2048 Handrehabilitation [144]	Kamera	Hand	Personen in Handtherapie	Keine	12 simple Gesten	1	1
Multi-Finger Rehabilitation [136]	Dynamometer	Mehrere Finger	Personen mit Fingerverletzungen oder altersbedingter Fingerschwäche	Vor dem Spiel	1	3	1
Elmaggar Hand Rehabilitation Serious Game [145]	Leap Motion Controller	Hand	Personen in Handrehabilitation	Keine	1	2	1
Neuro Rehabilitation Serious Game [146]	Oculus Rift und haptisches Feedbackgerät	Hand	Kinder mit Bewegungsstörungen	Keine	2	2	1
RehArcade	Leap Motion Controller	Fokus auf verletzten Finger	Personen in Fingerverletzung nach Sportverletzungen	Vor dem Spiel	4	3	2

Tabelle 3.1: Zusammenfassung der Systeme die in der State-of-the-Art Analyse untersucht wurden und Vergleich zum System das in dieser Diplomarbeit präsentiert wird ("RehArcade")

Ergebnisse

Nachdem die zugrunde liegende Theorie erläutert und die State-of-the-Art untersucht wurde, werden alle genannten Aspekte auf dem Feld untersucht, um festzustellen, ob die Theorie in der Praxis zutrifft. Dies wird mittels einer Umfrage in der Zielgruppe (51 Teilnehmer) und einem Experteninterview bewerkstelligt. Diese sollen uns einen Einblick in die Umsetzbarkeit in der Praxis geben. Weiteres Ziel ist es, die Anforderungen an ein Serious Game zur Rehabilitation nach Fingerverletzungen im Sport zu identifizieren. Basierend auf diesen Informationen werden im nächsten Schritt die Anforderungen definiert und dienen als Grundlage für die Entwicklung des Prototyps. Dieser wird iterativ in Rücksprache mit dem Physiotherapeuten entwickelt, getestet und evaluiert. Der finale Prototyp wird abschließend auf seine Usability getestet und evaluiert. Hierfür wurden sportlich aktive Personen ausgewählt, die bereits eine Fingerverletzung erlitten hatten.

4.1 Umfrage in der Zielgruppe

Wie bereits erwähnt, wurde eine Umfrage in der Zielgruppe durchgeführt. Diese umfasst regelmäßig sporttreibende Personen. Der Fragebogen wurde basierend auf dem Wissen aus der Literaturrecherche erstellt. Dies soll einen quantitativen Überblick über die Bedürfnisse der zukünftigen Nutzer liefern und uns somit weiters Auskunft über die Anforderungen geben. Weiters können die Erkenntnisse der Literaturrecherche mit Daten aus der Praxis überprüft und durch neue Erkenntnisse erweitert werden.

Die Umfrage (siehe Appendix A) umfasst 47 Fragen und wurde mit dem online Umfragetool Question Star [148] erstellt. Vor dem Verteilen der Umfrage wurde sie von 4 Bekannten getestet, um etwaige Unklarheiten oder Fehler in den Fragen zu erkennen und auszubessern. Anschließend wurde sie an Freundinnen und Freunde, die Sport treiben, sowie an Physiotherapeutinnen und Physiotherapeuten aller Art von Sportarten per Mail

und Whatsappnachricht geschickt, mit der freundlichen Bitte den Fragebogen zu verbreiten. Dadurch sollten so viele und unterschiedliche Antworten wie möglich gesammelt werden. Es konnten somit 51 (21W, 30M) vollständige Ausfüllungen erreicht werden. Die Daten wurden zum einen direkt online auf der Question Star Webseite ausgewertet, und zum anderen mit Microsoft Excel analysiert und visualisiert.

Zu Beginn wurden persönliche Informationen zur Person (Geschlecht, Alter, regelmäßig ausgeübte Sportarten) erfragt. Anschließend wurden Fragen gestellt, die in 3 Kategorien unterteilt werden können:

1. Die erste Kategorie der Fragen befasst sich mit der persönlichen Verletzungshistorie der Teilnehmer. Die Gefahr einer Fingerverletzung und die Auswirkung dieser auf die jeweiligen Sportarten mussten bewertet werden. Weiters werden die Unfallhergänge und Arten von Verletzungen erfragt.
2. Die zweite Kategorie beschäftigt sich mit dem Rehabilitationsprozess nach einer Fingerverletzung. Die Dauer der Rehabilitation und die dabei eingesetzten Übungen werden behandelt.
3. Die Fragen der letzten Kategorie beziehen sich auf die Verwendung eines Serious Games für Rehabilitationszwecke. Sie zielen darauf ab, die Akzeptanz und Erwartungen der Sportlerinnen und Sportler gegenüber eines solchen Spiels zu verstehen.

Die Verteilung der Sportarten, die die Teilnehmer regelmäßig ausüben, ist in Tabelle 4.1 zu erkennen. Bei diesem Feld konnten mehrere Antworten angekreuzt werden. Aus diesem Grund ist die Summe der Teilnehmer der einzelnen Sportarten größer als die Gesamtzahl. Der Altersdurchschnitt aller Umfrageteilnehmer liegt bei 32,47 Jahren. Allerdings muss hier beachtet werden, dass einzelne Ausreißer den Durchschnitt stark beeinflussen. Dies ist im Boxplot in Abbildung 4.1 zu erkennen. Das Minimum liegt bei 16, das Maximum bei 65, das untere und obere Quartil ist 25 und 34 und der Median beträgt 28. Die Sportarten Basketball, Volleyball, Skifahren/Skitouren, Handball, und Klettern, wurden bereits in der vorhergehenden Theorie besprochen. Bei Ihnen gilt laut Literatur eine hohe Gefahr einer Fingerverletzung vor. Neben diesen hatten die Teilnehmer die Möglichkeit das Feld „Sonstige“ anzukreuzen und in einem Textfeld weitere Sportarten anzugeben. Hier wurde eine Vielzahl an unterschiedlichen Antworten gegeben. Einige davon sind Fechten, Laufen, Fußball, Tennis, Squash, Mountainbike fahren, Paragleiten und Schwimmen. All diese Sportarten wurden jeweils maximal von 3 Personen vermerkt. Mit 30 Antworten ist Skifahren/Skitouren die Sportart mit den meisten Teilnehmern. Dies ist keine Überraschung, da es in Österreich stark verbreitet ist. Gefolgt wird es von Kletter mit 19 und Basketball mit 15.

4.1.1 Fingerverletzungen

Bevor die persönlichen Verletzungs- und Rehabilitationsgeschichten behandelt werden, befassen wir uns zuerst mit dem Sport-spezifischen Risiko einer Fingerverletzung und

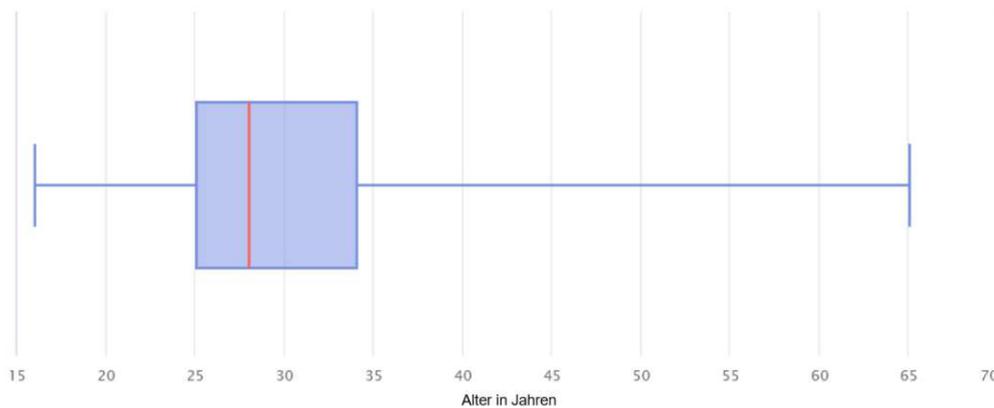


Abbildung 4.1: Boxplot des Alters der Teilnehmer der Umfrage. Minimum = 16; Unteres Quartil = 25, Median = 28; Oberes Quartil = 34; Maximum = 65

Sport	Teilnehmer	Geschlecht	Alter (Durchschnitt)
Basketball	15	1W, 14M	27,7
Volleyball	5	2W, 3M	23,4
Skifahren/Skitouren	30	11W, 19M	35,5
Handball	2	2W	26
Klettern	19	6W, 13M	30,3
Sonstige	24	10W, 14M	34,1

Tabelle 4.1: Übersicht über die Teilnehmer der Umfrage und die Sportarten die Sie regelmäßig ausüben. Die Teilnehmer konnten mehrere Sportarten auswählen.

die Auswirkung auf den jeweiligen Sport. Hierzu wurde den Probanden zu jeder von ihnen angekreuzten Sportart folgende Frage gestellt: "Wie hoch schätzen Sie die Gefahr einer Fingerverletzung beim [Sportart] ein" Die Skala reichte von 1 (kein Risiko) bis 7 (hohes Risiko). Zusätzlich wurde zu jeder angekreuzten Sportart diese Frage gestellt: "Wie stark wirkt sich eine Fingerverletzung auf die Ausübung von [Sportart] aus?" mit der Antwortskala 1 (keine Auswirkung) bis 7 (hohe Auswirkung). Diese Frage wurde auch für die Sportart, die die Teilnehmer unter Sonstiges angegeben haben, gestellt. Die Mittelwerte der Einschätzung des Risikos und der Auswirkung sind in den Abbildungen 4.2 und 4.3 zu sehen.

Es erkennbar, dass das Risiko der relevanten Sportarten bei 5 oder höher liegt mit der Ausnahme von Skifahren/Skitouren. Dies unterstreicht die Erkenntnisse des theoretischen Teils. Die Ergebnisse können bei einer späteren Frage genauer ergründet werden. Als Sportart mit der größten Gefahr, eine Fingerverletzung zu erleiden, wurde Basketball eingeschätzt mit einem Wert von 5,7, gefolgt von Klettern mit 5,5, Volleyball mit 5,2 und Handball mit 5. Wie schon erwähnt, wurde das Risiko beim Skifahren niedriger eingeschätzt mit 3,4. Die Teilnehmer sahen das Risiko der sonstigen Sportarten sehr

neutral. Wobei hier natürlich eine große Schwankungsbreite auftrat. Einer der Ausreißer ist die Sportart Mountainbike fahren. Diese wurde mit einem Mittelwert von 4,7 als risikoreich eingeschätzt.

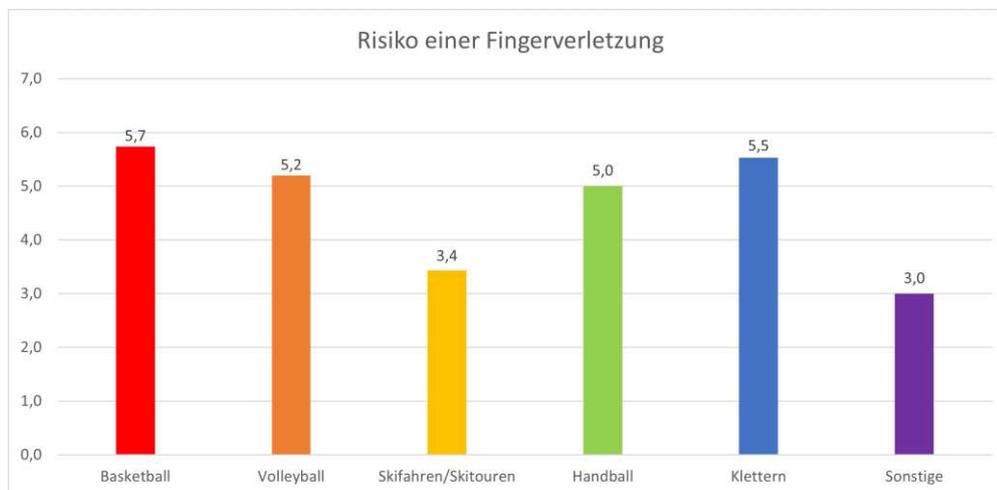


Abbildung 4.2: Fingerverletzungsrisiko der unterschiedlichen Sportarten. Skala von 1, kein Risiko, bis 7, hohes Risiko

Bei der Einschätzung der Auswirkung einer Fingerverletzung auf die jeweiligen Sportarten ist ein ähnliches Muster erkennbar. Die genannten Ballsportarten und Klettern erreichen einen Mittelwert der höher 5 ist. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass bei den Ballsportarten regelmäßig Kontakt zwischen Hand und Ball auftritt, und beim Klettern die Finger unter konstanter Belastung stehen. Den Höchstwert erreicht Handball mit 7. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass hier nur 2 Personen eine Einschätzung abgeben konnten. Gefolgt von einem sehr hohen Wert von 6,6 beim Klettern. Basketball und Volleyball liegen in einem ähnlichen Bereich wie beim Risiko mit 5,5 und 5,2. Die Auswirkung auf das Skifahren wird wiederum niedrig eingeschätzt. Hier werden die Finger nicht aktiv verwendet, außer zum Halten des Skistocks, was keine starke Belastung ist, und auch ohne Einsatz aller Finger erreicht werden kann. Die sonstigen Sportarten erreichen hier einen höheren Wert von 4,2. Dies ist wiederum auf Ausreißer zurückzuführen. Zum einen wurde Mountainbike mit 6 bewertet, zum anderen wurden Schlägersportarten wie Squash und Tennis mit einem Wert von 5,8 eingeschätzt.

Von den befragten Personen hatten 31 bereits eine Fingerverletzung und 20 noch keine, was ein Prozentsatz von knapp 61% bedeutet. Anschließend wurden Fragen zu bisherigen Fingerverletzungen gestellt. Diese konnten nur von den Teilnehmern beantwortet werden, die bereits eine Fingerverletzung erlitten haben. Es wurde erfragt, welche Finger bei einer Fingerverletzung betroffen waren. Hier konnte eine Mehrfachauswahl getroffen werden. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4.4 zu sehen. Der meist betroffene Finger ist der Ringfinger mit 17. Dahinter liegen Daumen, Zeigefinger und Mittelfinger sehr nahe bei einander mit 13, 12 und 12. Der kleine Finger ist auffallend wenig betroffen mit

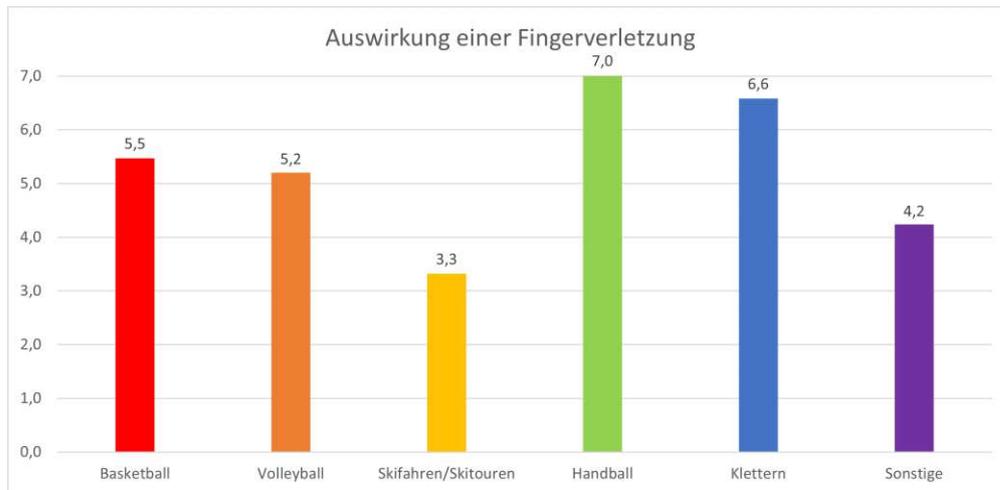


Abbildung 4.3: Auswirkungen einer Fingerverletzungen auf die Ausübung der unterschiedlichen Sportarten. Skala von 1, keine Auswirkung, bis 7, hohe Auswirkung

5-mal. Es muss beachtet werden, dass bei dieser Frage nicht berücksichtigt wurde, ob die Teilnehmer einen Finger schon öfters oder nur einmal verletzt haben.

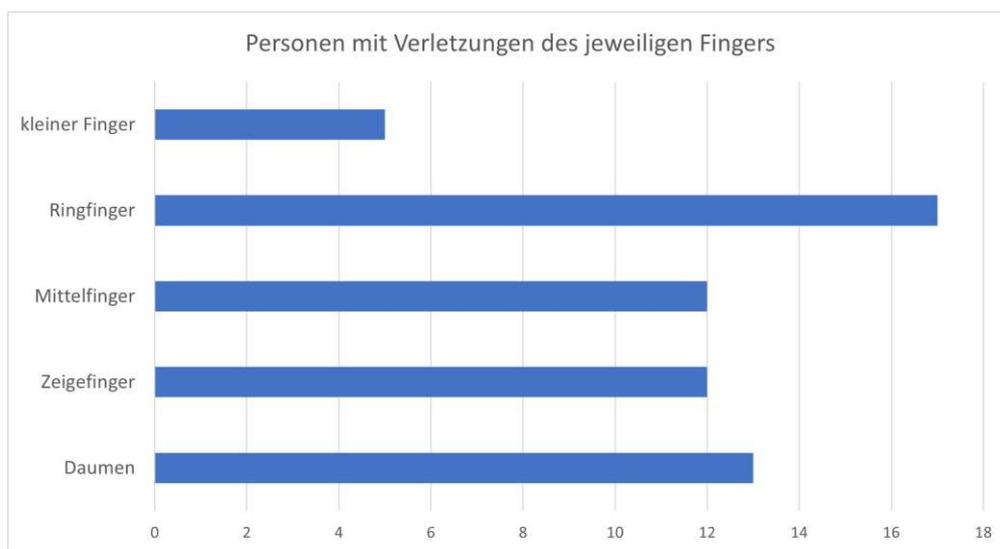


Abbildung 4.4: Betroffene Finger der Fingerverletzungen

Die Probanden wurden anschließend darum gebeten, die Unfallhergänge ihrer Fingerverletzungen zu beschreiben. Am häufigsten wurde hier ein Kontakt des Fingers mit einem Ball beschrieben, insbesondere mit einem ausgestreckten Finger. Dieser Vorfall wurde 11-mal beschrieben. Eine Überbelastung oder ein Sturz beim Klettern war in 6 Fällen der Verletzungsgrund. Auch Stürze beim Skifahren wurden 6-mal erwähnt. Hier wurde meist zusätzlich beschrieben, dass der Daumen am Skistock hängen blieb, und dieser

daher überdehnt wurde. Dies ist der übliche Unfallhergang eines Skidaumens, der bereits in der Theorie beschrieben wurde. Interessant ist hier zu sehen, dass trotz des kleinen eingeschätzten Risikos einer Fingerverletzung beim Skifahren/Skitouren, eine beachtliche Anzahl an Verletzungshergängen beschrieben wurden. Weiters wurden noch Stürze auf die Hand in unterschiedlichsten Sportarten und im Alltag beschrieben.

Anschließend sollten die bisherigen Verletzungen genauer beschrieben werden. In 16 Fällen wurden Kapselrisse oder andere Verletzungen der Gelenkkapsel erwähnt. Dies ist die am häufigsten beschriebene Verletzung. 4 Teilnehmer antworteten, dass sie einen Skidaumen hatten und in 2 Fällen wurden Symptome eines Skidaumens ohne Diagnose beschrieben. Eine Ringbandverletzung, welches eine typische Fingerverletzung des Klettersportes ist, wurde von 4 Personen erwähnt. Ebenfalls 4-mal war die Rede von Brüchen. Jeweils in nur einmal waren Beugesehnen und Strecksehnen betroffen. Eine Person beschrieb das Auftreten eines Morbus Sudeck nach dem Tragen eines Gipses und eine damit verbundene komplette Steifigkeit der Hand und Finger.

Zusätzlich zur Art der Verletzung ist die Dauer von Interesse, während die Sportarten nicht ausgeübt werden konnten. Hierzu wurde den Teilnehmern folgende Frage gestellt: "Was war die längste Zeitspanne, während der Sie wegen einer Fingerverletzung Ihren Sport nicht ausüben konnten?" In Abbildung 4.5 ist ein Boxplot der Antworten zu sehen. Da mehrere unterschiedliche Verletzungen beschrieben wurden, ist es nicht überraschend, dass hier eine große Schwankungsbreite auftritt. Während einige Personen den Sport direkt wieder aufnahmen, mussten andere lange Phasen ohne die Sportart durchstehen. Diese Zeit abseits des Sports kann sich stark auf die Leistung des Sportlers bzw. der Sportlerin auswirken. Der Median liegt bei 4,25 Wochen. Das obere Quartil liegt bei 9 Wochen, was bereits eine beachtliche Zeit ist und zu einem großen Trainingsrückstand führen kann. Im Boxplot ist außerdem ein Ausreißer zu erkennen. Dieser ist auf den vorher beschriebenen Morbus Sudeck zurückzuführen.

Abschließend für diese Kategorie an Fragen wurden noch zwei Ja-Nein-Fragen gestellt. Zum einen, ob die Teilnehmer eine Physiotherapie zur Behandlung ihrer Fingerverletzung durchgeführt haben. Zum anderen, ob ein operativer Eingriff vorgenommen werden musste. Dies kann die Schwere der Verletzungen weiters unterstreichen, und kann auch zeigen, ob Fingerverletzungen zum Teil unterschätzt und einfach ignoriert werden, anstatt medizinische Hilfe zu suchen. Die Schwere der Verletzung kann auch zeigen, ob sie zum Teil unterschätzt und vernachlässigt werden. Die erste Frage wurde 12 von 31 Mal mit Ja beantwortet, was ein Hinweis für die Unterschätzung und Vernachlässigung sein könnte. Bei 10 von 31 musste bereits ein operativer Eingriff wegen einer Fingerverletzung durchgeführt werden.

4.1.2 Rehabilitation nach einer Fingerverletzung

Nachdem wir Einsichten über die Verletzungsgeschichten der Teilnehmer erlangen konnten, beschäftigt sich die zweite Gruppe an Fragen mit dem Rehabilitationsprozess nach einer Fingerverletzung. Die Teilnehmer wurden gefragt, wie lange der Finger immobilisiert

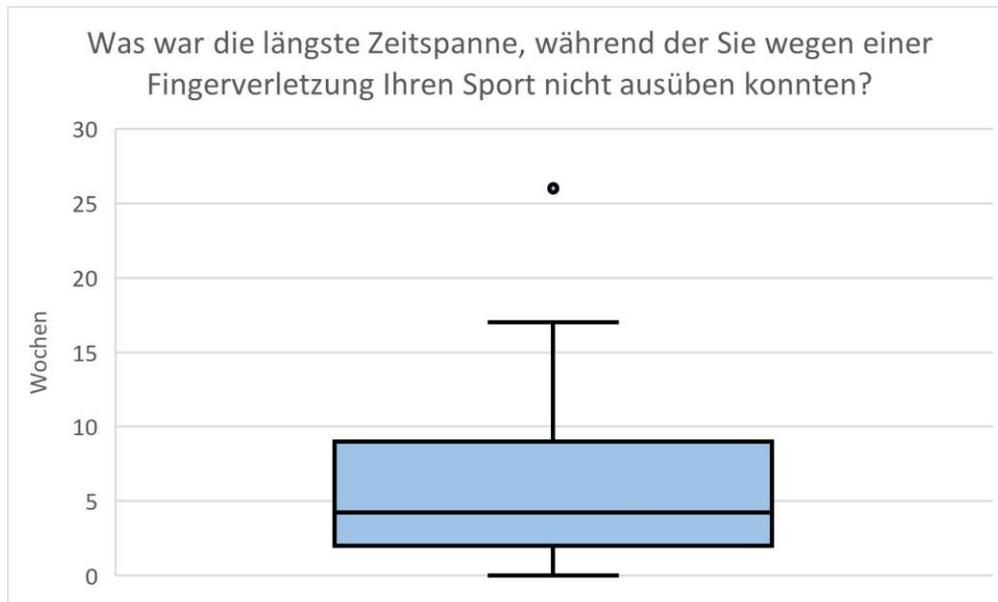


Abbildung 4.5: Boxplot der maximalen Dauer während der die Athleten ihren Sport nicht betreiben konnten

werden musste, nur Übungen ohne Widerstand durchgeführt werden konnten und wie lange Sie den Finger nicht belasten konnten. Die Ergebnisse sind in Boxplots in Abbildung 4.6 zu sehen. Ein Großteil dieser Werte liegt zwischen 1 und 4 Wochen. Interessant an diesen Daten ist, dass die Zeit, während der nur Übungen ohne Widerstand durchgeführt werden konnten, kürzer ist, als die Zeit der Immobilisierung. Dies bedeutet, dass bereits während der Immobilisierung Übungen mit Widerstand durchgeführt wurden. Der untere Teil des Boxplots der Dauer, während der keine Übungen mit Widerstand durchgeführt werden konnten, ist dem Boxplot der Dauer der Immobilisierung sehr ähnlich. Im oberen Teil ist allerdings eine größere Schwankung erkennbar. Dies scheint darauf hinzuweisen, dass bei leichteren Verletzungen die Belastbarkeit, nach der Immobilisierung gegeben ist. Bei stärkeren Verletzungen allerdings noch etwas Zeit benötigt wird bis die Finger nach der Immobilisierung wieder belastet werden können.

Die Übungen, die am häufigsten erwähnt wurden, waren einfache Streck und Beugeübungen, das Dehnen des Gelenks und Mobilisationsübungen um die Beweglichkeit des Verletzten Fingers wiederzuerlangen. Diese wurden sowohl passiv als auch aktiv durchgeführt. Die Übung, bei der der Daumen nacheinander zu den anderen Fingern geführt wird, wurde beschrieben. Massagen fanden Einsatz, um Ablagerungen zu beseitigen. Weiters war das Ziel mancher Übungen auch das Wiedererlangen der Feinmotorik. Kraftübungen wurden in der späteren Phase der Therapie eingesetzt. Das Zusammendrücken eines Balles war hier eine beliebte Übung. In einem Fall wurden auch Kraftübungen des Handgelenks durchgeführt, da dieses auch immobilisiert war. Weiters war von einer Faszientherapie die Rede.

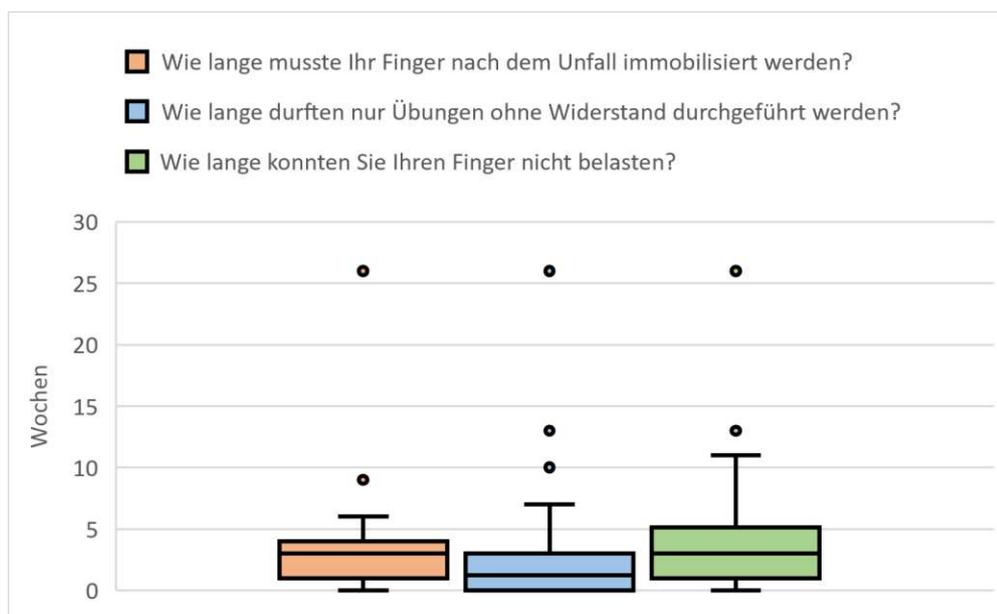


Abbildung 4.6: Boxplots der Dauer der Immobilisierung, Übungen ohne Widerstand, und Belastungsunfähigkeit

Die am häufigsten verwendeten Materialien waren unterschiedliche Bälle, Widerstandsbänder, Massagegeräte und Faszienrollen. Weiters kam auch Tape zur Stabilisierung des Fingers zum Einsatz. Als Hauptindikator des Fortschritts der Rehabilitation wurde in den meisten Fällen die Beweglichkeit des betroffenen Gelenks beschrieben. Weiter Antworten umfassen das Abnehmen der Schwellung und des Schmerzes und das Wiedererlangen des Gefühls. Viele Personen erwähnten auch die Wichtigkeit der regelmäßigen Ruhephasen. Der Großteil der Teilnehmer mussten zu Hause regelmäßig Übungen durchführen. Diese waren ebenfalls in den meisten Fällen einfach Beweglichkeitsübungen wie das Strecken und Abwinkeln des Fingers. Umfassten aber auch die anderen vorher erwähnten Übungen. Die Übungen mussten mehrmals täglich durchgeführt werden. Dies zeigt, dass eine Fingertherapie mit viel und regelmäßigen durchführen von Übungen verbunden ist und nicht beim Verlassen des Physiotherapeuten aufhört.

Maßnahmen zur Erhöhung der Motivation und Konzentration während den Übungen wurden in nur wenigen Fällen durchgeführt. Hier waren sich viele Teilnehmer einig, dass die Wiedererlangung der Funktionsfähigkeit der Finger bereits für Motivation gesorgt hat. In einem Fall wurden Zahlen wie der Fortschritt der Beweglichkeit dokumentiert. Dies wurde durch stetige Winkelmessungen erreicht und führte dazu, dass der Patient bzw. die Patientin die Wirkung der Therapie sah, was die Motivation erhöhte. Bei 5 Teilnehmern führte eine zu frühe Belastung des verletzten Fingers zu einer Wiederverletzung.

4.1.3 Serious Games für Rehabilitations- und Präventionszwecke

Die letzten Fragen hatten zum Ziel, die Ansichten der Teilnehmer bezüglich der Anwendung eines Serious Games für Rehabilitationsübungen zu erfassen. Zunächst wurde ihnen das Konzept einfach und verständlich erklärt. Die erste Frage war, ob sie es für möglich erachten, dass übliche Rehabilitationsübungen der Finger in einem Serious Game nachgebildet werden können. Über 2 Drittel der Befragten (35) glauben, dass dies machbar ist. Der Großteil des Rests (14) ist sich unsicher, und nur zwei Teilnehmer glauben nicht daran (Siehe Abbildung 4.7). Auf die Frage nach den Übungen, die sie sich in einem Videospiel vorstellen könnten, nannten die meisten Teilnehmer wiederum Beuge und Streckübungen. Weiters wurde auch die Übung, bei der der Daumen zu den anderen Fingern geführt wird genannt. Geschicklichkeitsübungen und Kraftübungen waren weitere Antworten.

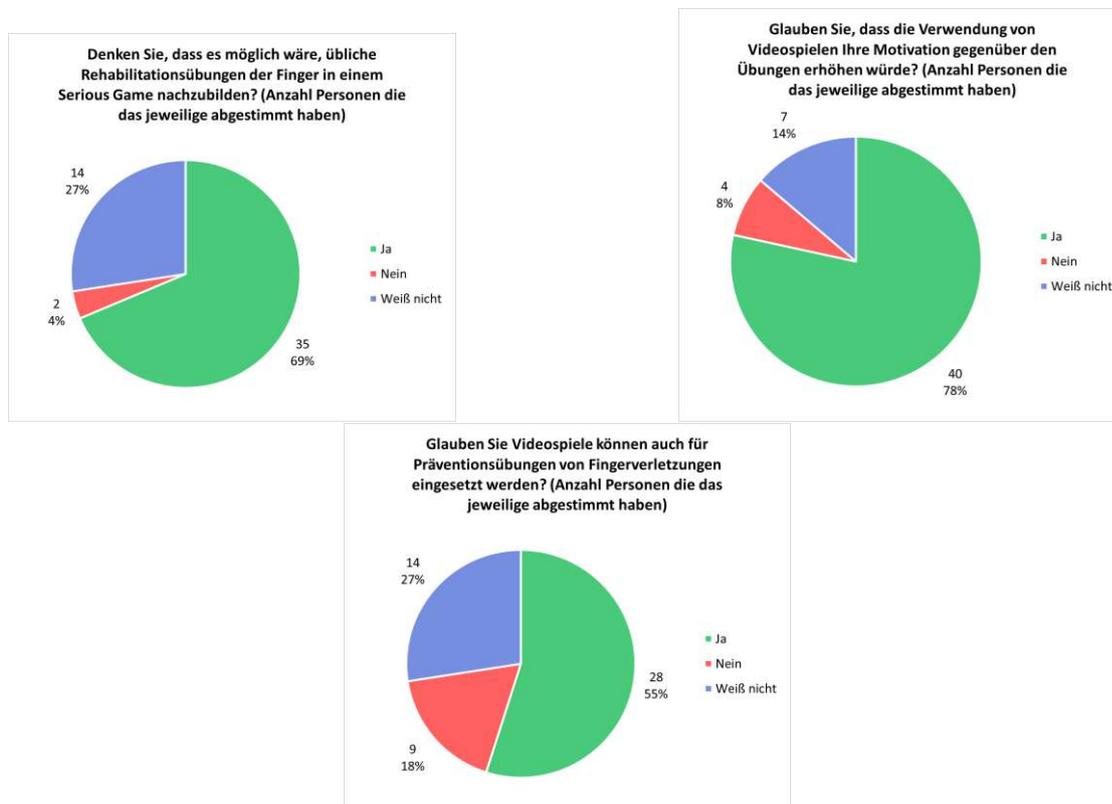


Abbildung 4.7: Antworten auf unterschiedliche Fragen zur Verwendung von Serious Games in der Prävention und Rehabilitation von Fingerverletzungen

Nachfolgend wurden zwei Fragen gestellt, welche den Motivationsaspekt des Spiels behandeln. Auf die Frage, ob die Teilnehmer denken, dass die Verwendung von Videospielen Ihre Motivation gegenüber den Übungen erhöhen würde, antworteten mehr als drei Viertel (40) mit Ja. 7 Personen wissen es nicht und 4 Personen glauben, dass die Mo-

tivation nicht erhöht werden würde (Siehe Abbildung 4.7). Die nächste Frage lautete: "Wie könnte man Ihrer Meinung nach, den Fortschritt der Rehabilitation in solch einem Spiel darstellen." Hierauf haben viele Teilnehmer mit klassischen Videospieldesignkonzepten wie Levels und Punkteständen geantwortet. Weiters wurde eine Messung der Beweglichkeit beziehungsweise die Range-of-Motion mehrmals erwähnt. Die Koordination, Sensibilität, Kraft, verbrachte Zeit, Schmerz, Anzahl an Kontraktionen und die Darstellung von Streaks wurden weiters angeführt.

Mehr als die Hälfte (28) der Teilnehmer denken, dass Videospiele auch für Präventionsübungen von Fingerverletzungen eingesetzt werden können. Mehr als ein Viertel (14) wissen es nicht und 9 glauben, dass dies nicht möglich ist (Siehe Abbildung 4.7). Dies ist interessant im Vergleich zur Frage, ob übliche Rehabilitationsübungen mit einem Serious Game nachgestellt werden können. Es ist ersichtlich, dass einige Personen zwar denken, dass Serious Games zu Rehabilitationszwecken von Fingerverletzungen eingesetzt werden können, allerdings nicht zu Präventionsübungen.

Als Nächstes wurden den Teilnehmern Fragen zu Features und Anforderungen an ein Serious Game gestellt, das zur Rehabilitation und Prävention von Fingerverletzungen eingesetzt werden soll. Hierzu mussten die Teilnehmer die Wichtigkeit von 7 unterschiedlichen Features bewerten. Die Auswahlmöglichkeiten pro Feature waren: Unwichtig, Eher unwichtig, Neutral, Wichtig und Sehr Wichtig. Die bewerteten Features waren:

- Verfolgbarer Fortschritt
- Einstellbarer Schwierigkeitsgrad
- Nachbildung mehrerer unterschiedlicher Übungen
- Abwechslungsreiche Spielsituationen (Levels)
- Spielsituationen passend zu Ihrer Sportart
- Multiplayer
- Vertraute Spielkonzepte

In Abbildung 4.8 sind die Mittelwerte und Standardverteilungen der Ergebnisse zu sehen. Es ist schnell erkennbar, dass die Wichtigkeit der ersten vier Features hoch angesehen wird. Der verfolgbare Fortschritt und die abwechslungsreichen Spielsituationen sind den Teilnehmern dabei am wichtigsten. Die Wichtigkeit der restlichen drei Features wird hingegen relativ neutral gesehen. Multiplayer ist ihnen dabei am wenigsten wichtig. Von den Neutralen werden vertraute Spielkonzepte am wichtigsten bewertet.

Weiters wurden die Teilnehmer um Features gefragt, die sie gerne im Videospiele sehen würden. Einige davon sind:

- Levels



Abbildung 4.8: Wichtigkeitsverteilung der Features laut den Umfrageteilnehmern

- Spaßige Einschübe
- Infos über die Finger aus physiologischer Sicht
- Musikalisches
- Der Vergleich des Fortschritts mit anderen Personen, auch mit Personen ohne Verletzung
- Multiplayer Koop als auch Versus

50 der 51 Teilnehmer würden in Betracht ziehen, die Anwendung zu verwenden, wenn sie fertiggestellt ist. Dies zeugt von einer hohen Akzeptanz gegenüber Serious Games zur Rehabilitation. Zu guter Letzt hatten die Teilnehmer noch die Möglichkeit weitere Anmerkungen und Kommentare anzubringen. Eine Person schrieb hier, dass Motion

Capture zwar für den Anfang einer Rehabilitation sicher gut ist, allerdings später ein spezifischer Controller mit einstellbaren Widerständen eingesetzt werden sollte. Ein Weiterer sagt, dass der Nutzen eines solchen Serious Games, von der Art und Schwere der Verletzung abhängig ist und auch auf die Dauer der Rehabilitation ankommt. Außerdem wurde noch angemerkt, dass die Anschaffung des Sensors zu einem angemessenen Preis möglich sein muss.

4.1.4 Zusammenfassung und Erkenntnisse der Umfrage

Die Umfrage mit 51 Teilnehmern überschreitet laut der Formel von Cochran [8] ein Konfidenzniveau von 80% und eine Fehlerspanne von 10%. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass das Sampling nicht zufällig durchgeführt wurde. Die Umfrage wurde an Freundinnen und Freunde, die Sport treiben, und Physiotherapeuten gesendet, mit der Bitte den Fragebogen zu verbreiten. Es wurde daher Convenience Sampling als auch Snowball Sampling verwendet. Die vielen unterschiedlichen Sportarten, die von den Teilnehmern regelmäßig betrieben werden, bewirken, dass ein guter Überblick über Fingerverletzungen im Sport erreicht werden kann. Es ist erkennbar, dass Fingerverletzungen oft auftreten und eine signifikante Auswirkung auf die Ausübung der Sportarten haben kann.

Weiters wird gezeigt, dass alle Finger regelmäßig betroffen sind, der Ringfinger aber am häufigsten und der kleine Finger am seltensten. Die üblichsten Unfallhergänge sind Bälle, die Kontakt mit einem ausgestreckten Finger machen, Überbelastungen beim Klettern, Stürze beim Skifahren und das Hängenbleiben am Skistock mit dem Daumen, und Stürze im Allgemeinen. Dies stimmt sehr gut mit den Erkenntnissen der Literaturrecherche überein. Es ist erkennbar, dass die auftretenden Verletzungen vielfältig sind. Daher muss das Spiel an die Situation des Users angepasst werden. Dies spiegelt sich später in der Anforderung R03 wieder (Tabelle 4.2). Das Auftreten von Wiederverletzungen durch zu frühe Belastung des Fingers kommt durchaus in manchen Fällen vor. Daher ist es wichtig Indikatoren für den Fortschritt des Rehabilitationsprozesses zu haben. Der meist genannte Indikator ist die Beweglichkeit des Fingers. Diese kann durch Winkelmessungen quantifiziert werden und daher auch im Serious Game zur Darstellung des Fortschritts verwendet werden. Zum einen sollte sich daher das Spiel an die aktuelle Range-of-Motion der User anpassen können (Anforderung R04) und die Winkel der Fingergelenke sollten in einer angemessenen Genauigkeit gemessen werden (Anforderung R10). Beliebte Übungen sind einfache Bewegungsübungen wie das Strecken und Abwinkeln der Finger und das Führen des Daumens zu den anderen Fingern. Diese werden speziell zu Beginn der Rehabilitation eingesetzt. Im späteren Verlauf werden immer mehr Kraftübungen durchgeführt. Auch die Feinmotorik und die Koordination der verletzten Finger darf nicht berücksichtigt werden.

Die Umfrage zeigte eine hohe Akzeptanz gegenüber Serious Games. Interessant war allerdings, dass einige Teilnehmer sich vorstellen können, das Serious Game zu verwenden, sich allerdings nicht vorstellen können, dass die Übungen der Rehabilitation in einem Serious Games umgesetzt werden können. Das könnte daran liegen, dass Serious Games in

der Rehabilitation noch nicht verbreitet sind. Daher ist das Konzept vielen Personen fremd und für sie schwer vorstellbar. Etwas skeptischer sahen die Teilnehmer den Einsatz eines Serious Games zur Prävention einer Fingerverletzung. Die Verfolgbarkeit des Fortschritts (Anforderung R05) und abwechslungsreiche Spielsituationen ist den Teilnehmern äußerst wichtig. Auch ein einstellbarer Schwierigkeitsgrad (Anforderung R04) und die Nachbildung unterschiedlicher Übungen (Anforderung R01) sehen sie als notwendig.

4.2 Experteninterview

Wie bereits in Abschnitt 2.3.2 besprochen, ist die Einbindung von Experten bei der Entwicklung von Serious Games äußerst wichtig. Daher wurde ein semi-strukturiertes Interview mit einem Physiotherapeuten durchgeführt, um qualitative Daten zu erhalten. Hierfür hat sich ein Physio- und osteopathischer Therapeut zur Verfügung gestellt. Dieser praktiziert seit über 30 Jahren und hat eine Zusatzausbildung zum Sport-Physiotherapeuten. Dank dieser Ausbildung und da ein Großteil seiner Patienten Klettersportler und Skifahrer sind, hat er viel Erfahrung im Bereich der Fingerverletzungen und kann daher seine Expertise zur Verfügung stellen. Es konnten neue Erkenntnisse gewonnen, und Aussagen aus der vorhergehenden Literaturanalyse bestätigt werden.

Das Interview wurde transkribiert, und anschließend wurde eine qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring [10] durchgeführt. Es wurde die induktive Kategorienentwicklung angewendet. Die Aussagen wurden in folgende Codes eingeteilt: betroffene Sportarten, Fingerverletzungen, Dauer der Rehabilitation, Unfallhergänge, Phasen der Rehabilitation, Übungen, Materialien in der Rehabilitation, Indikatoren für Therapiefortschritt, Return-to-Sport, Motivation und Serious Game Features.

Im Interview wurden die Sportarten, Basketball, Fußball und Volleyball genannt. Die Erwähnung von Fußball könnte dadurch begründet sein, dass der interviewte Therapeut einen Fußballclub betreut. Die häufigste Verletzung bei Sportlerinnen und Sportlern sind laut ihm Prellungen. Weiters wurden im Interview auch Luxationen der Fingergelenke genannt, welche zu unterschiedlichen Problemen rund um das Fingergelenk führen können. Der schlimmste Fall ist das Auftreten eines Bruchs. Des Weiteren können auch noch Risse von Sehnen und der Muskulatur um den Finger auftreten, was aber eher selten auftritt.

Zu den Unfallhergängen wird im Interview der Versuch des Fangens eines Balles beim Basketball genannt. Hier kann es vorkommen, dass ein Anderer ihm auf die Finger schlägt, oder der Ball Kontakt mit einem ausgestreckten Finger macht. Im Fußball kann es laut dem Interviewten vorkommen, dass ein Spieler stürzt und ein Anderer ihm mit den Fußballschuhen auf die Hand steht. Dies kann zu Brüchen der Mittelhand oder der mittleren Phalangen führen. Außerdem wird der Versuch des Blockens eines Balles beim Volleyball erwähnt.

Zu der Dauer der Rehabilitation sagte der Physiotherapeut: "Bei einem Bruch wissen wir ja, dass es ungefähr sechs bis acht Wochen geht, bis der Finger wieder voll belastbar ist. Auch bei Prellungen und Quetschungen muss man ungefähr mit dem gleichen Zeitraum

rechnen. Bei Abrissen von Sehnen ist man länger dran. Sehnen brauchen viel länger, um sich zu erholen als eine Knochenstruktur oder eine Kapselstruktur. Hier sind wir bei fast 200 Tagen."

Der Therapeut erwähnt, dass zu Beginn der Rehabilitation der Finger meist drei, vier Tage oder sogar länger immobilisiert werden muss. Bei einem Bruch kann dies sogar zwei Wochen dauern. Durch die Ruhigstellung soll das Gewebe die Möglichkeit haben, sich neu auszurichten und die Heilungsprozesse in die Wege zu leiten. Im nächsten Schritt versucht der Therapeut, das Gelenk wieder in die Beweglichkeit zu bringen. Diese Maßnahme wird in der Literatur als passive Bewegungstherapie bezeichnet. Während dieser Phase muss versucht werden, alle Bewegungsrichtungen wieder möglich zu machen. Bei den Langfingern sind hier nur zwei vorhanden. Der Daumen hingegen ist viel komplexer, da das Grundgelenk hier in mehrere Richtungen abgewinkelt werden kann. Anschließend muss der Patient aktiv daran arbeiten, damit die Beweglichkeit behalten und weiter gewonnen wird.

Bei den Übungen verweist der Interviewte wiederum auf die zwei Bewegungsrichtungen der Langfinger. Da hier nur diese vorhanden sind, beschränken sich die Übungen auf Extension und Flexion des Gelenks. In der späteren Phase, wenn die Finger schon leicht belastet werden können, kommen hier zusätzlich Widerstände zum Einsatz. Diese können zum Beispiel Bälle oder Knetmasse sein, in die der Patient oder die Patientin hineindrücken kann. Dadurch sollen vor allem die Beugestrukturen wieder Kraft gewinnen. Als Übung für den Daumen erwähnt der Physiotherapeut die Bewegung dessen zu den Langfingern. Er zeigt vor, dass alle Langfinger nacheinander mit dem Daumen in Berührung gebracht werden sollen. Er beschreibt außerdem, dass jegliche Verwendung der verletzten Hand im Alltag eine Art Bewegungstherapie darstellt. Da meistens die dominante Hand betroffen ist, wird diese automatisch beim Schreiben und weiteren Aktivitäten verwendet.

Neben den bereits erwähnten Bällen und der Knetmasse, werden auch weitere Mittel in der Therapie eingesetzt. Wenn die Schwellung nicht abnimmt, können zum Beispiel Lymphdrainagen oder Wärme-/Kältebäder eingesetzt werden, um den Kreislauf in Schwung zu bringen und vor allem das Lymphsystem zu aktivieren. Wenn die Verletzung am Ende eines Tages durch die stetige Verwendung im Alltag schmerzt, sollte man laut dem Therapeuten auch mal zum Topfenumschlag oder einfach zu kühlenden Maßnahmen greifen, anstatt Übungen durchzuführen. Als einen sehr wichtigen Aspekt der Heilung erwähnt er das Zusammenspiel zwischen dem Hirn und der Hand. Dem Patienten oder der Patientin soll bewusst sein, was die Hand hat, was sie tut, wo sie drauf liegt und so weiter. Er setzt bei seinen Patientinnen und Patienten unter anderem auf eine Box voll Rapssamen, in der sie unterschiedliche Gegenstände wie einen Spielzeugbären finden müssen. Durch dieses Gefühl, das hier angewendet werden muss wird der Finger wieder zurück in das Körperschema im Hirn integriert.

Als Indikatoren für den Therapiefortschritt beschreibt der Physiotherapeut als Erstes die Schwellung. Diese kann auch zum Teil als Gradmesser der Beweglichkeit gesehen werden. Je größer die Schwellung ist, desto weniger beweglich ist das Gelenk. Wenn die Schwellung abnimmt, wissen wir, dass der Heilungsprozess immer weiter voranschreitet.

Er erwähnt auch die Mobilität beziehungsweise die Beweglichkeit des Gelenks. Wenn die Schwellung immer weiter abnimmt und die Beweglichkeit des Gelenks zunimmt, wissen wir, dass die Heilung optimal läuft. Wenn hingegen sowohl die Schwellung als auch die Beweglichkeit gleich bleibt oder nicht verändert, muss die Therapie überdenkt werden. In diesem Fall kann zum Beispiel die Lymphdrainage aushelfen. Als weiteren Indikator bezeichnet er den Schmerz.

Er sagt, dass eine Wiederverletzung durch zu frühe Wiederbetätigung einer Sportart durchaus auftreten kann. Durch ein weiteres Trauma kann die Verletzung erneut aufblühen, was zu einem Rezidiv führt. Er führt weiter aus, dass vor allem bei Luxationen das Kapselsystem kurzfristig geschwächt ist. In diesem Fall sollte man das Gelenk nicht wieder in Situationen bringen, in der es dazu neigt zu luxieren. Auch bei Prellungen und Brüchen müssen die Belastungen vermieden werden, die zur Verletzung geführt haben.

Die Motivation und der psychische Aspekt wurde ebenfalls im Interview behandelt. Laut dem Interviewten ist oft eine Motivation vorhanden, da die meisten Patientinnen und Patienten natürlich stark daran interessiert sind, dass Ihre Hand wieder funktioniert. Dieser Effekt wird nochmals gestärkt, wenn die dominante Hand betroffen ist. Zudem glaubt er, dass der Einsatz eines Serious Games in der Rehabilitation Spaß machen und somit die Motivation fördern kann. Es seien verschiedene Reize wichtig. Propriozeption und somit das Verständnis der Patientin bzw. des Patienten, was die Hand hat und tut, sind hier von Interesse. Des Weiteren haben viele Personen Angst das verletzte Körperteil zu benutzen. Daraus resultiert eine Negierung dessen. Der Finger wird einfach nicht mehr verwendet. Der Therapeut sagt, dass wir genau das zurückgewinnen müssen. Durch Videospiele und andere Spiele können die Patientinnen und Patienten so abgelenkt werden, dass sie diese Angst vergessen. Dies sei ein guter Zugang für die Rehabilitation. Er selbst setzt speziell bei Kindern viel auf Spiele in der Therapie. Es gehe darum, dass sie Sachen machen, ohne über die Verletzung nachzudenken. Dies kann durch den Spaß und die Freude, die solch ein Spiel erzeugt, geschafft werden. Er denkt, dass dies auch bei Erwachsenen in Form eines Videospieles möglich wäre, wenn es reizvoll ist.

Der Einsatz von Serious Games in der Rehabilitation von Fingerverletzungen wurde ebenfalls im Interview behandelt. Der Physiotherapeut kann sich vorstellen, dass Übungen der Rehabilitation in Form eines Videospieles nachgebildet werden können. Seine ersten Vorstellungen sind ein Gitarrenspiel in dem die verschiedenen Töne und Akkorde getroffen werden müssen. Als Referenz nennt er auch Spiele auf der Wii. Hier können mit einem Controller mit Bewegungssensor Spiele wie Bowling oder Tennis gespielt werden. Allerdings ist das Spiel seiner Meinung nach abhängig von der Verletzung des Patienten oder der Patientin. Er glaubt auch, dass die Darstellung des Fortschrittes des Users von Vorteil für solch ein Spiel ist. Die maximal gemessenen Winkel der Gelenke, die sich durch die Verwendung des Spiels verbessern könnten, wurden hier als Beispiel genannt. Auch einen anpassbaren Schwierigkeitsgrad sieht er als sinnvolles Feature des Spiels, damit sich das Spiel im Laufe des Behandlungsprozesses anpasst und interessant bleibt. Zur Abbildung von unterschiedlichen Übungen meint er, dass dies hauptsächlich den Daumen betreffen würde, da die anderen Finger nur gestreckt oder abgewinkelt werden

können. Spielsituationen die zur Sportart des Users passen und die Möglichkeit zur Multiplayer Modalität sieht er ebenfalls positiv und meint: "Die Menschen matchen sich immer gerne und das ist sicher eine externe Motivation." Der Interviewte kommentiert die Verwendung vertrauter Spielkonzepte als angenehm, da sie es ermöglicht, auf bereits gemachte Erfahrungen zurückzugreifen. Dadurch versteht man das Spiel schneller und kann es schneller anwenden.

Abschließend sagt der Physiotherapeut, dass er die Idee eines Serious Games zur Rehabilitation nach einer Fingerverletzung ganz sinnvoll findet. Es sei sicher motivierend ein paar Parameter zu haben, die man immer verfolgen kann und sieht wie sich diese verbessern. Allerdings bräuchte es nebenbei natürlich immer einen Therapeuten bzw. eine Therapeutin, der bzw. die weitere Faktoren wie die Schwellung, die Schmerzen, das Gefühl bzw. die Sensibilität, und wie sich der Finger überhaupt bewegt, verfolgt.

4.2.1 Zusammenfassung und Erkenntnisse des Experteninterviews

Wie bereits in der Literaturrecherche und durch die Umfrage konnte das Experteninterview ebenfalls bestätigen, dass Fingerverletzungen häufig auftreten und eine ernstzunehmende Gefahr im Sport darstellen. Auch hier wurde das Fangen und Blocken von Bällen als einer der häufigsten Unfallhergänge geschildert und Stürze wurden ebenfalls erwähnt. Die Dauer bis der Finger wieder voll belastet wird beträgt in vielen Fällen 8 Wochen und kann auch bedeutend länger ausfallen. Solch eine Dauer ohne Sport kann sich stark auf die Leistungsfähigkeit des Sportlers bzw. der Sportlerin auswirken.

Wie bereits in der Literaturrecherche beschrieben, startet die Therapie meist mit einer Immobilisierung des Fingers, gefolgt von passiver Bewegung. Im nächsten Schritt muss der Patient den Finger selber aktiv bewegen, um die Beweglichkeit des Fingers zu verbessern. Bei den Langfingern ist dies nur in zwei Richtungen möglich (Flexion und Extension). Daher werden hier einfache Streck- und Beugeübungen durchgeführt. Der Daumen hingegen ist komplexer und bedarf Bewegung in mehrere Richtungen. Wenn eine leichte Belastung möglich ist, können Bälle oder Knetmasse eingesetzt werden und dienen als Widerstand gegen die Bewegung. Das Einhalten von Pausen von den Übungen, wenn die Hand schmerzt, sollte nicht vernachlässigt werden.

Ein interessanter Aspekt ist die Wichtigkeit des Zusammenspiels zwischen Hirn und Hand. Zum einen muss ein Bewusstsein für die Bewegung geschaffen werden, um den Finger wieder in das Körperschema im Hirn zu integrieren. Um im Serious Game hierauf Rücksicht zu nehmen, wurde die Anforderung R02 (Tabelle 4.2) definiert. Zum anderen sollte der Patient bzw. die Patienten aber auch von der Verletzung abgelenkt werden, da ansonsten angstbedingt der verletzte Finger negiert werden könnte (Anforderung R09). Es scheint, dass hier ein Balanceakt stattfinden muss, um diese zwei Punkte gut abzustimmen.

Der Physiotherapeut sah die Idee eines Serious Games zur Fingerrehabilitation durchwegs positiv, konnte sich allerdings nicht vorstellen, wie man das umsetzt. Dies unterstreicht wiederum, dass Serious Games zur Rehabilitation in der Praxis noch nicht verbreitet

sind, und das Konzept den Personen noch fremd ist. Auf alle vorgeschlagenen Features wurde mit Zustimmung reagiert.

Zu berücksichtigen ist, dass das Spiel sich an die Verletzung der Person anpassen muss (Anforderungen R03), sowohl im Schwierigkeitsgrad (Anforderung R04) als auch in der Übung (R01), die durchgeführt wird. Weiters konnte ein verfolgbare Fortschritt als ausschlaggebendes Feature erkannt werden (Anforderung R05). Hier wurde der Winkel der Flexion bzw. Extension als messbarer Wert vorgeschlagen (Anforderung R10).

4.3 Anforderungen an das Serious Game

Die erste Phase dieser Arbeit beschäftigte sich mit dem Requirements Engineering Prozess des Serious Games. Diese startete bereits mit Kapitel 2 und findet in diesem Abschnitt ihr Ende. Im ersten Schritt wurde eine tiefgehende Analyse des theoretischen Hintergrundes durchgeführt. Dieser umfasste die Physiologie und Anatomie von Fingerverletzungen im Sport, sowie den entsprechenden Rehabilitationsprozessen. Des Weiteren wurde Digital Rehabilitation in Bezug auf Serious Games und Sensoren die hier zum Einsatz kommen recherchiert. Anschließend wurde eine State-of-the-Art Analyse von Serious Games im Kontext von Hand- und Fingererletzungen durchgeführt.

Um die Situation in der Praxis zu bewerten wurde eine Umfrage in der Zielgruppe und ein Experteninterview mit einem Physiotherapeuten durchgeführt. Von all den unterschiedlichen Schritten wurden diverse Inputs für die Anforderungen gesammelt. In der folgenden Auflistung wird auf die Anforderungen der Tabelle 4.2 mittels ihrer IDs verwiesen. Die wichtigsten Erkenntnisse und resultierenden Anforderungen für die Implementierung des Serious Games sind:

1. Fingererletzungen sind sehr vielseitig sein. Unterschiedliche Finger und anatomische Strukturen können betroffen sein. Dies führt dazu, dass unterschiedliche Übungen durchgeführt werden. Weiters bestimmt der Fortschritt der Rehabilitation die Art und das Ausmaß der Übungen. Daher muss das Serious Game an die Situation des Users angepasst werden können. Sowohl der verletzte Finger, als auch das betroffene Gelenk muss einstellbar sein. Und der Schwierigkeitsgrad und die Range-of-Motion muss an den User angepasst werden können. (R01, R03, R04)
2. Ein Großteil der Rehabilitationsübungen muss von dem Patienten bzw. der Patientin allein zu Hause durchgeführt werden. Hier erhält der Physiotherapeut keinen Einblick über die Art, wie die Übung und ob sie überhaupt durchgeführt wird. Serious Game können hier aushelfen. Das Spiel kann die Übungsabläufe erklären und anschließend aufzeichnen. Voraussetzung hierfür ist, dass die Hardware einfach und schnell einzurichten ist. Weiters muss sie leistungsfähig sein und den Winkel des verletzten Gelenks mit einer angemessenen Genauigkeit messen können. (R08, R10, R11, R12)

3. Laut Experten haben Patientinnen bzw. Patienten oft Angst, den verletzten Finger zu bewegen und negieren diesen daher. Der Patient bzw. die Patientin muss von der Verletzung abgelenkt werden. Die Literaturrecherche und State-of-the-Art Analyse hat gezeigt, dass ein gut entwickeltes Serious Game zu Rehabilitationszwecken dazu führen kann, dass User nicht das Gefühl haben, Rehabilitationsübungen zu absolvieren. Stattdessen wird ein Spiel gespielt, welches Freude und Ehrgeiz in den Vordergrund stellt. Dies soll dazu führen, dass die Patientinnen und Patienten von der Angst abgelenkt werden und den verletzten Finger in vollem Ausmaß verwenden. (R09)
4. Während der Literaturrecherche, der Umfrage und dem Experteninterview wurde mehrmals die Range-of-Motion als guter Indikator für den Therapiefortschritt erwähnt. Daher ist dies ein wichtiger Parameter, der während des Serious Games gemessen werden sollte, um dem Patienten etwas Greifbares zu liefern, das seinen Fortschritt widerspiegelt. (R05)
5. Der Rehabilitationsprozess nach einer Fingerverletzung kann lange dauern. Dies wurde sowohl in Theorie als auch in der Praxis angemerkt. Daher ist es wichtig, dass das Serious Game möglichst abwechslungsreich ist. Es sollten mehrere Spielszenarios vorhanden sein, damit das Spiel nicht über die Zeit monoton und langweilig wird. (R06)
6. Insbesondere während des Experteninterviews stellte sich die Wichtigkeit des Zusammenspiels zwischen Hirn und Hand während des Rehabilitationsprozesses heraus. Der Patient bzw. die Patientin muss die Übungen bewusst durchführen, um den Finger wieder im Körperschema des Hirns zu integrieren. Daher sollte das Serious Game für die Übungen eine Anleitung bereitstellen, damit diese richtig durchgeführt werden. Weiters sollte die Hand des Users dargestellt sein, um das Bewusstsein zu fördern. Außerdem müssen Übungen vorhanden sein, welche die Koordination des Users fordern. (R02)

In Tabelle 4.2 werden die Anforderungen nochmals zusammengefasst beschrieben. In der Spalte "Quellen" wird mit den Nummern 1, 2 und 3 beschrieben woher die Anforderungen stammen. 1 steht für die Literaturrecherche, 2 für die Zielgruppenumfrage und 3 für das Interview mit dem Physiotherapeuten. Somit ist mit der Definition der Anforderung die erste Phase der Arbeit abgeschlossen und die zweite Phase startet, welche sich mit der Implementierung beschäftigt. Während der Implementierung wurden grundsätzlich alle Anforderungen umgesetzt, allerdings stellt sich speziell bei den nicht-funktionalen Anforderungen noch die Frage ob sie zu einem zufriedenstellenden Ausmaß umgesetzt wurden. Dies wird im Kapitel 5 näher behandelt.

ID	Anforderung	Typ	Quelle
R01	Nachstellung von unterschiedlichen Rehabilitationsübungen	funktionale Anforderung	1, 2, 3
R02	Implementierung von koordinativen Übungen	funktionale Anforderung	3
R03	Einstellbarkeit des Verletzten Fingers und Gelenks	funktionale Anforderung	1, 2, 3
R04	Individuelle Anpassbarkeit der Schwierigkeit und Range of Motion	funktionale Anforderung	1, 2, 3
R05	Visualisierung von Punkteständen und Aufzeichnung des Fortschritts (maximale ROM)	funktionale Anforderung	1, 2, 3
R06	Implementierung von mehreren Spielszenarien	funktionale Anforderung	2, 3
R07	Darstellung der Hand des Users um Bewusstsein zu stärken	funktionale Anforderung	3
R08	Ausführliche Anleitungen (Tutorials) der Übungen vor Beginn des Spielszenarios	funktionale Anforderung	1, 3
R09	Ablenkung von der Angst des Verwendens des verletzten Fingers	funktionale Anforderung	1, 3
R10	Angemessene Genauigkeit der Winkelmessung	nicht-funktionale Anforderung	1
R11	Einfaches Setup der Hardware	nicht-funktionale Anforderung	1, 2, 3
R12	Leistbare Hardware	nicht-funktionale Anforderung	1, 2, 3

Tabelle 4.2: Zusammenfassung der Anforderungen an das Serious Game (Quellen: 1 - Literaturrecherche, 2 - Zielgruppenbefragung, 3 - Experteninterview)

4.4 Implementierung des Prototyps

Wie bereits im vorhergehenden Abschnitt beschrieben wurde, ist mit der Definition der Anforderungen die erste Phase dieser Arbeit abgeschlossen. Nun startet die zweite Phase, die sich mit der Implementierung des Prototyps auf Basis der Anforderungen beschäftigt. Die einzelnen Schritte dieses Prozesses werden nachfolgend im Detail beschrieben. Der erste Abschnitt beschäftigt sich mit der Auswahl der verwendeten Hard- und Software. Anschließend werden die einzelnen Aspekte der Implementierung des ersten Prototyps behandelt. Diese umfassen zum einen die Registrierung und Verarbeitung des User-Inputs und zum anderen die einzelnen Spielszenarien. Zu all den Spielszenarien wurden vorerst Mockups erstellt, welche in diesem Kapitel auch behandelt werden. Dieser erste Prototyp wurde einem Physiotherapeuten zum Testen und Evaluieren zur Verfügung gestellt, um Feedback zu erhalten. Anschließend wurden Verbesserungen und Änderungen des Serious Games besprochen, welche im finalen Prototyp umgesetzt wurden.

Nach ausgiebigen Überlegungen wurde eine Grundidee des Spiels definiert. Es soll mehrere unterschiedliche Arcade-artige Spiele beinhalten. Bereits in der State-of-the-Art Analyse

als auch während der Umfrage und dem Interview stellte sich heraus, dass viele Serious Games simple Spielgrundlagen haben, was dazu führt, dass die User sie einfach erlernen können. Daher fiel die Entscheidung, dass das Spiel simpel und leicht verständlich sein. Wie in einer Spielarkade sollen also mehrere Minispiele umgesetzt werden, die leicht zu erlernen sind und eine überschaubare Spielzeit haben. Dies wurde bei der Namenssuche für das Spiel beachtet. Es wurden die Wörter Rehabilitation und Arcade kombiniert um den Spielnamen "RehArcadeβu bekommen.

Wie im Gespräch mit dem Physiotherapeuten mehrmals erwähnt wurde, gibt es bei den Übungen der Langfinger nur Bewegungen entlang einer Achse: das Strecken und Abbeugen des Fingers. Aus diesem Grund werden in diesem Prototyp Spielszenarien umgesetzt, in denen sich die Spielfigur nur entlang einer Achse bewegt. Der User-Input soll die häufigsten Therapieübungen abbilden. Die Übungen, die in der vorhergehenden Recherche am häufigsten erwähnt wurden, sind einfache Range-of-Motion der Langfinger (Strecken und Abbeugen) und Oppositionsübungen für den Daumen (Berühren der Langfinger nacheinander mit dem Daumen).

Unter Berücksichtigung dieser grundlegenden konzeptionellen Ideen werden in den nachfolgenden Abschnitten die einzelnen Schritte ausführlich erläutert, die zur Entwicklung des Prototyps führen. Hierzu wird zuerst die Hard- und Softwareauswahl beschrieben, sowie die Registrierung und die Verarbeitung des User Inputs.

4.4.1 Hard- und Software Auswahl

Für die Implementierung wurde Unity in Kombination mit der Programmiersprache C# als Software ausgewählt. Unity zeichnet sich durch eine intuitive Interaktion zwischen verschiedenen Komponenten im Spiel aus und bietet die Möglichkeit, vordefinierte Assets in die Szene zu importieren und zu integrieren, wodurch der Spieler mit ihnen interagieren kann. Für die Umsetzung der unterschiedlichen Spielszenarios wurde sowohl Unity 2D als auch Unity 3D verwendet. Die Software Unity ist auf einem Laptop mit den Spezifikationen aus Tabelle 4.3 installiert.

Typ	Spezifikation
CPU	Intel Core i7-6700HQ
GPU	NVIDIA GeForce GTX 960M
RAM	16 GB DDR4
Betriebssystem	Windows 10

Tabelle 4.3: Spezifikationen des Laptops, auf dem entwickelt und getestet wurde.

Bei der Auswahl des Sensors zur Registrierung der Bewegungen der Finger wurden mehrere Aspekte berücksichtigt. Das Gerät sollte mobil, kostengünstig, präzise und in Echtzeit messend sein. Des Weiteren muss eine schnelle und unkomplizierte Einrichtung möglich sein. Unterschiedliche Sensoren, die in Serious Games zur Rehabilitation Einsatz finden, wurden bereits in Abschnitt 2.6 genauer behandelt. Der Leap Motion Controller wurde schlussendlich für diese Diplomarbeit ausgewählt. Diese Entscheidung wurde

basierend auf mehreren Vorteilen gefällt. Der Leap Motion Controller ist durch seine kleine Größe sehr portabel und das Setup ist simpel. Er muss nur per USB mit dem Computer verbunden und auf dem Tisch platziert werden (Anforderung R11). Weiters bietet Leap Motion einige Assets für Unity an. Somit kann dieser schnell in das Spiel integriert werden. Außerdem ist dieser Sensor speziell zur Erfassung der Hände und Finger ausgelegt. Dies führt zu einer guten Genauigkeit bei der Messung (Anforderung R10), auch wenn hier noch Verbesserungspotenzial vorhanden ist. Allerdings kann hier mit der neuen Version des Leap Motion Controllers ausgeholfen werden, was aber mit einem erhöhten Preis einhergeht (Anforderung R12). Aus diesen Gründen wurde der Leap Motion Controller für diese Implementierung ausgewählt.

4.4.2 Erste Iteration des Prototyps

Nachdem die Soft- und Hardware Auswahl getroffen wurde, konnte mit der Programmierung gestartet werden. Hierzu wurde zuerst ein Hauptmenü erstellt von dem die einzelnen Spielszenarien gestartet werden können. Dieses wurde für die erste Iteration sehr simpel gestaltet und ist in Abbildung 4.9 zu sehen.

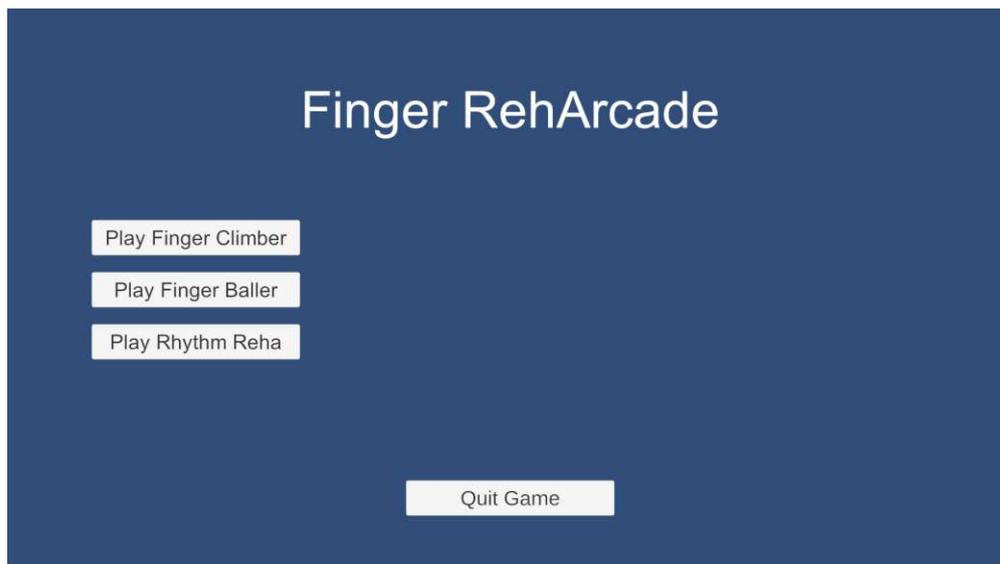


Abbildung 4.9: Hauptmenü des ersten Prototyps

Die erste Iteration bietet zwei Möglichkeiten zur Steuerung, welche im nächsten Abschnitt genauer erklärt werden. Diese werden in den Spielszenarien, welche im Anschluss beschrieben werden, als Input verwendet. Basierend auf den Requirements und den Eingabemöglichkeiten wurden Spielszenarios ausgewählt, die mit der definierten Steuerung funktionieren und die Anforderungen möglichst gut abdecken. Um die Patientinnen und Patienten bei Laune zu halten und damit die Rehabilitation mit dem Serious Game nicht monoton ist, müssen diese Spielszenarios abwechslungsreich und vielseitig sein. Daher fiel

die Entscheidung darauf, mehrere unterschiedliche Minispiele zu erstellen (R06). Diese sollen schnell erlernbar sein.

Die Minispiele basieren auf Grundideen aus anderen bekannten Videospielen. Es wurde ein Endless Runner Spiel, eines in dem Bälle gefangen werden müssen und ein Rhythmuspiel gewählt. Vor Beginn der Implementierung wurden Mockups erstellt. Diese dienen dazu, ein besseres Verständnis für das Design und die Umsetzung des Spiels bereits vor der Programmierung zu bekommen.

Verarbeitung des User Inputs

Die Fingerübungen, die in den vorhergehenden Recherchen am häufigsten auftreten, sind das einfache Abwinkeln und Strecken des verletzten Fingers und die sogenannte Oppositionsübung des Daumens. Hier wird dieser mit den anderen Fingern in Berührung gebracht. Die Oppositionsübung ist in Abbildung 4.10 dargestellt. Aus diesem Grund wurden Spielszenarien entwickelt, welche diese Übungen als Input verwenden können (R01).

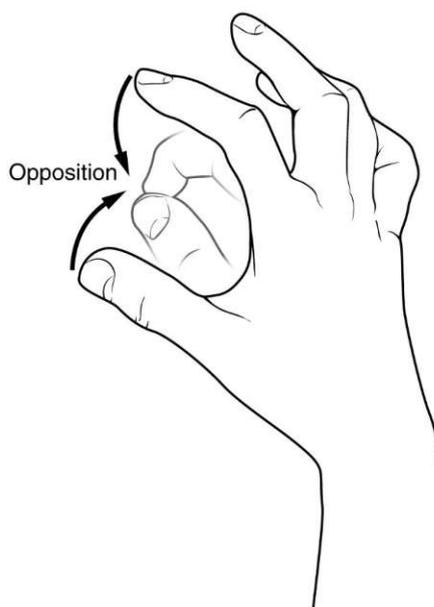


Abbildung 4.10: Opposition des Daumens; Der Daumen wird anschließend zu den Spitzen der anderen Fingern geführt [149].

Um den Leap Motion Sensor in Unity zu verwenden, muss der sogenannte Leap Motion Service Provider in die Spielszene eingefügt werden. Dieser dient als Interface zwischen dem Sensor und dem Spiel. Anschließend können vorgefertigte Handmodelle in der Szene angezeigt oder Berechnungen in Skripten basierend auf der Handposition durchgeführt werden. Für die Steuerung dieses Spiels wird Zweiteres gemacht. Basierend auf dem Singleton Entwurfsmuster wurde ein Skript für die Steuerung angelegt. Dies führt dazu,

dass nicht mehrere Instanzen des Steuerungsskripts erstellt werden, sondern immer dieselbe Instanz im gesamten Spiel verwendet wird. Hier ist sowohl die Steuerung per Abwinklung als auch die Steuerung per Opposition enthalten. Zusätzlich wird in diesem Skript abgespeichert, welche Hand, welcher Finger und welches Gelenk dieses Fingers betroffen ist. Allerdings gibt es in der ersten Iteration des Prototyps noch keine Möglichkeit zur Einstellung dieser Daten.

Das Abwinkeln und Strecken des betroffenen Gelenks wird auch als Range-of-Motion-Übung bezeichnet. Das Ziel dieser Übung ist es, die Beweglichkeit des Fingers zu erhalten und im besten Falle zu verbessern. Die Beweglichkeit kann mit dem maximalen und minimalen Winkel des Gelenks gemessen werden. Deswegen verwenden wir diesen als Input für das Spiel. Mithilfe des Service Providers können die Hände, die sich im aktuellen Frame befinden, identifiziert werden. Anschließend wird überprüft, ob die Hand von Interesse im Bild ist. Falls dies der Fall ist, betrachten wir den betroffenen Finger. Im Speziellen sind die zwei Knochen, die das Gelenk umgeben, wichtig für uns. Der Winkel zwischen diesen beiden entspricht dem Winkel des Gelenks. Um diesen zu berechnen, wurden die Orientierungen der Knochen herangezogen. Diese liefern einen 3-dimensionalen Vektor. C# bietet eine Funktion an, um den Winkel zwischen zwei Vektoren zu berechnen. Als Ergebnis wird hier immer der maximale Winkel zwischen den Vektoren zurückgegeben. Da die seitlichen Winkel zwischen diesen zwei Knochen 0 sein sollten, reicht und das. Und es wird keine Achse angegeben, entlang der der Winkel gemessen wird.

Das Ergebnis wird in Grad zurückgegeben. Um dieses zur Steuerung zu verwenden, muss es normalisiert werden. Hierfür brauchen wir die minimal $\alpha_{minimum}$ und maximal $\alpha_{maximum}$ mögliche Abwinklung des betroffenen Gelenks. Für den ersten Prototypen kann hierfür noch keine Kalibrierung durchgeführt werden. Für das Testen, wurde hier ein minimaler Winkel von 5° und ein maximaler Winkel von 85° verwendet. Um den normalisierten Wert x_{norm} aus dem gemessenen Winkel $\alpha_{measured}$ zu Berechnen wird folgende Formel angewendet:

$$x_{norm} = \frac{\alpha_{measured} - \alpha_{minimum}}{\alpha_{maximum} - \alpha_{minimum}} \quad (4.1)$$

Anschließend werden alle Ergebnisse, die größer 1 sind zu 1 und alle unter 0 zu 0 geändert. Der resultierende Wert kann zur Steuerung des Spiels entlang einer Achse verwendet werden.

Die Oppositionsübung kann sowohl als koordinative (R02) als auch als Beweglichkeitsübung dienen. Um eine Eingabe für das Spiel zu bekommen, messen wir, ob der Daumen in Kontakt mit einem der Langfinger steht. Von Leap Motion wird für Unity die Erkennung von Gesten bereitgestellt. Eine davon ist die sogenannte Pinch-Geste. Diese wird ausgelöst, wenn die Daumenspitze mit der Spitze des Zeigefingers in Berührung kommt. Leider gibt es keine vordefinierten Gesten für das Berühren des Daumens, und den anderen Fingern. Deswegen wurde der Code zur Erkennung dieser Berührungen selber erstellt. Er orientiert sich stark an der Pinch-Gestenerkennung von Leap Motion.

Wie bereits für die Range-of-Motion Steuerung wird ein Service Provider benötigt. Mithilfe dessen überprüfen wir wiederum, ob die Hand von Interesse im Frame vorhanden ist. Anschließend wird für jeden Langfinger der Abstand zwischen dessen Fingerspitze und der des Daumens berechnet. Ist dieser kleiner als der eingestellte Threshold, berühren sich die Finger. Es wird der Index des ersten Fingers, für den diese Bedingung erfüllt ist zurückgegeben. (Zeigefinger = 0, Mittelfinger = 1, Ringfinger = 2, kleiner Finger = 3) Diese Funktion wurde von allen Spielobjekten, die dadurch gesteuert wurden, einmal pro Frame aufgerufen. Dies führte beim Rhythmuspiel dazu, dass das Spiel nicht mehr flüssig lief. Der Grund dafür war, dass 4 Buttons vorhanden sind, die alle diese Funktion einmal pro Frame aufrufen. Um dies zu umgehen wurden Variablen in der FingerControls Klasse hinzugefügt, die abspeichern, ob ein Finger mit dem Daumen in Berührung ist. Somit muss die Überprüfung nur in der Updatefunktion der Fingercontrols aufgerufen werden und die Buttons können einfach abfragen, ob die Finger berührt werden. Für das Rhythmuspiel war allerdings nicht nur von Interesse, ob eine Berührung stattfindet, sondern ob die Berührung gerade gestartet hat. Deswegen wird neben den Variablen, ob die Finger in Berührung stehen, zusätzlich eine Variable abgespeichert die zeigt, ob sich diese im letzten Frame geändert hat. Somit konnte eine Funktion erstellt werden, die überprüft, ob eine Berührung gerade gestartet hat.

Endless Runner

Eine der ersten Ideen war es, ein Spiel ähnlich wie Flappy Bird [150] zu entwickeln. In Abbildung 4.11 ist ein Mockup dieser Idee zu sehen. Die Höhe der Spielfigur, die im Mockup ein Finger ist, könnte durch den aktuellen Winkel des Gelenks bestimmt werden. Je mehr der Finger gestreckt ist, desto weiter nach oben fliegt die Spielfigur. Das Ziel ist es, die Säulen nicht zu berühren. Dieses Spielkonzept, bei dem eine Spielfigur sich auf einer ewigen Bahn bewegt und Hindernissen ausweichen muss, wird oft als Endless-Runner bezeichnet. Neben der Flappy Birds Idee gab es hier noch einige andere, wie ein Autospiele, bei dem man durch andere Autos navigieren muss. Ein wichtiger Aspekt war, dass die Steuerung auch mit der Oppositionsübung möglich sein muss. Hierzu gab es zwei Ideen: Die Finger dienen als Richtungstasten und können somit den Spieler bewegen (Zeigefinger = stark links, Mittelfinger = links, Ringfinger = recht, kleiner Finger = stark rechts). Oder die Spielfigur bewegt sich auf 4 Bahnen und befindet sich immer auf der, die mit dem zuletzt berührten Finger korrespondiert. Zweiteres scheint intuitiver und leichter erlernbar zu sein. Aus diesem Grund wurde diese Methode verwendet.

Bezüglich des Spielszenarios wurde ein Kletterer, der eine Wand hochklettert ausgewählt, da einige Personen aus der Zielgruppe es für wichtig ansehen, dass die Spielszenarios passend zu ihrer Sportart sind. Außerdem sind die 4 Bahnen, die mit den 4 Langfingern korrespondieren, gut verständlich, wenn sich das Spiel vertikal bewegt, da die Hand mit der Handebene zum Tisch schauen sollte. Daher befindet sich der Zeigefinger links vor dem Bildschirm und der kleine Finger rechts bei Verwendung der rechten Hand. Abbildung 4.12 zeigt ein Mockup des Kletterspiels. Die Spielfigur bewegt sich zwischen den 4 Bahnen. Es fallen regelmäßig Steine herunter, bei der nur eine einzelne Bahn frei

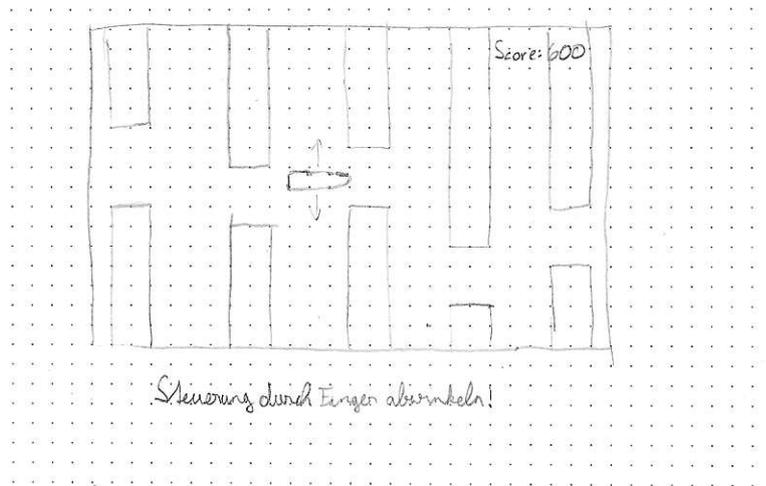


Abbildung 4.11: Mockup eines Spiels, das von Flappy Birds inspiriert ist. Die Spielfigur (Finger) könnte durch Streckung (oben) und Beugung (unten) des verletzten Fingers gesteuert werden.

ist, durch die die Spielfigur durch muss.

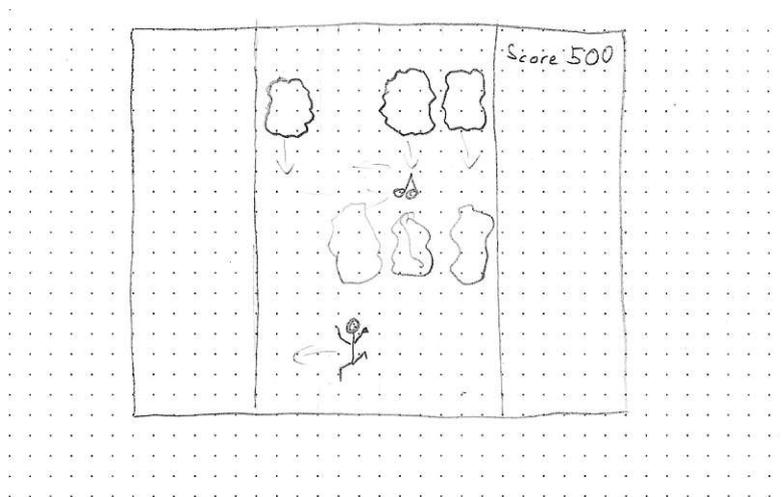


Abbildung 4.12: Mockup eines Endless Runner Spiels, mit einem Kletterer als Spielfigur

Weiters wurde eine Skizze eines Kletterers erstellt, die in Abbildung 4.13 dargestellt ist. Diese wurde eingescannt und diente als Grundlage für die in Gimp erstellte Spielfigur. Hierzu wurden alle Gliedmaßen auf eigenen Ebenen gezeichnet, um diese anschließend voneinander zu entfernen. Dies ist nötig, um in Unity die einzelnen Körperteile als Knochen für die Animation zu behandeln. Es wurde eine Kletteranimation erstellt, die immer durchgeführt wird, wenn das Spiel läuft. Um diese Figur wird ein Collider gegeben, damit Zusammenstöße mit den Hindernissen erkannt werden können.

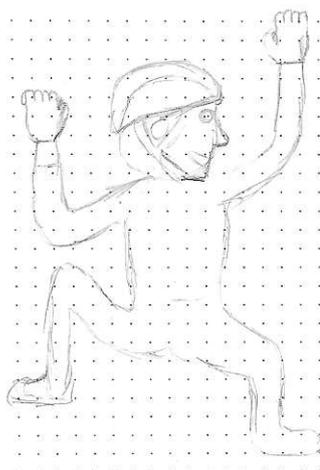


Abbildung 4.13: Skizze der Spielfigur des Kletterspiels

Die Spielfigur wird unten im Bild platziert und bleibt dort stationär, durch die Animation der Figur und des Hintergrunds wird nur der Anschein gegeben, dass diese in Bewegung sind. Stattdessen bewegen sich die Hindernisse nach unten. Diese Hindernisse wurden für den ersten Prototyp als Ellipsen dargestellt und werden durch ein Skript kontinuierlich nach unten bewegt. Ein weiteres Skript ist für das Erscheinen dieser Hindernisse zuständig. Hier kann die Geschwindigkeit und wie sich diese über die Zeit verändert, definiert werden. Dies soll in Zukunft dazu dienen, den Schwierigkeitsgrad einstellbar zu machen (R04). Das Skript lässt per Zufall immer eine der 4 Bahnen frei. Für die Wand, an der der Kletterer hinaufklettert, wurde eine Textur aus dem Unity Asset Store geladen. Da diese für die gesamte Wand nicht passend ausgesehen hat, wurde sie mehrmals eingefügt und durch ein Skript wird ein Scrolling-Effekt bewerkstelligt.

Sobald die Spielfigur mit einem Hindernis in Kontakt kommt, wird das Spiel gestoppt und ein Game Over Screen angezeigt. Dies ist nur vorläufig so. Es geht darum, das Spielkonzept zu veranschaulichen. In Zukunft könnte entweder mit mehreren Leben oder auf Zeit gespielt werden. Die Steuerung wurde so eingebaut, dass die Spielfigur sich beim Berühren eines Fingers direkt auf die korrespondierende Bahn bewegt und dort bleibt, bis ein anderer Finger berührt wird. Eine andere Option wäre es, dass der Daumen in Kontakt mit dem Finger bleiben muss, damit der Kletterer auf der Bahn bleibt und ansonsten direkt in der Mitte ist. Der erste Prototyp dieses Spielszenarios ist in Abbildung 4.14 zu sehen.

Basketball Spiel

Neben dem Endless Runner Spielkonzept wurde auch auf eines gestoßen, bei dem Objekte, die herunterfallen, eingefangen werden müssen. Um dieses Konzept auf unsere Anwendung umzumünzen, wurde dann an ein Basketballspiel gedacht. Die herunterfallenden Objekte können als Basketbälle dargestellt werden und der Behälter, mit dem eingefangen werden

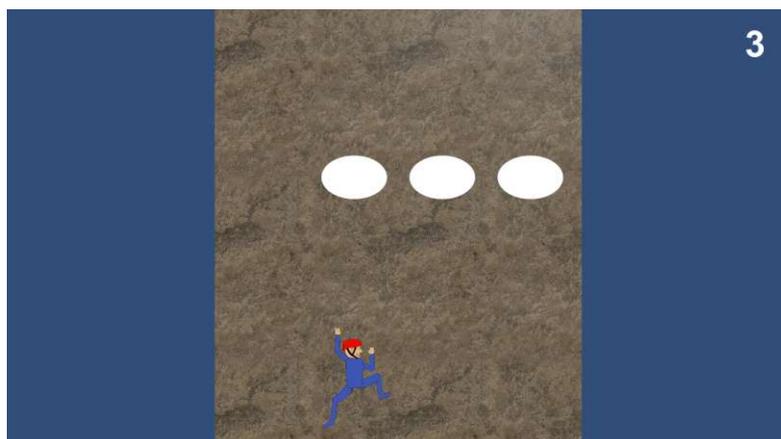


Abbildung 4.14: Erster Prototyp des Kletterspiels

muss, kann ein Basketballkorb darstellen. Dies erfüllt wiederum den Wunsch einiger Umfrageteilnehmer, dass das Spiel einen Bezug zu ihrer Sportart hat. Ein Mockup ist in Abbildung 4.15.

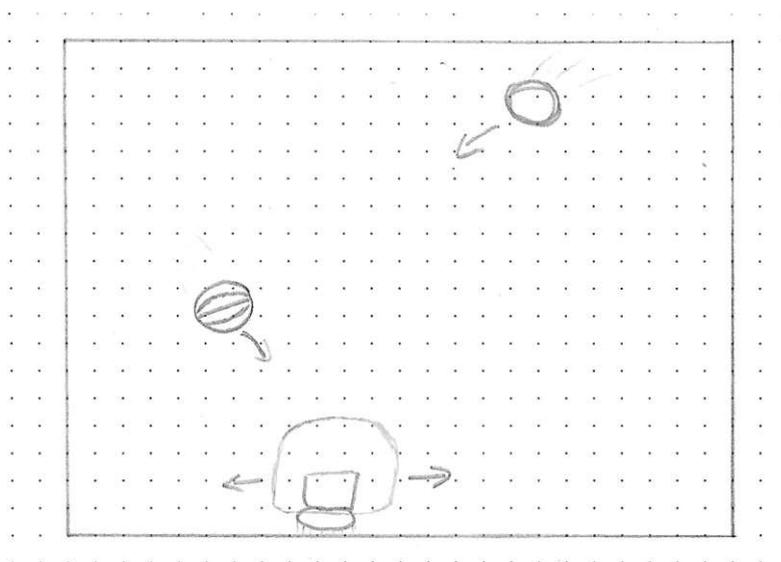


Abbildung 4.15: Mockup des Basketballsports

Da das Kletterspiel sich in diesem Prototyp auf die Steuerung per Oppositionsübung konzentriert, wurde für dieses Spielkonzept die Steuerung per Range-of-Motion-Übung fokussiert. Grundsätzlich ist es in beiden Spielen möglich die jeweils andere Steuerungsmöglichkeit zu implementieren, allerdings diente dieser Prototyp dazu, die unterschiedlichen Möglichkeiten darzustellen. Das Spielobjekt kann in diesem Spiel wiederum nur entlang einer Achse bewegt werden. Nichtsdestotrotz fiel die Wahl auf ein 3D Setting für die

Implementierung. Dadurch können die Bälle und der Korb natürlicher dargestellt werden. Außerdem konnten auf einer Webseite sowohl für den Ball als auch für den Korb Modelle gefunden werden, die frei verwendbar sind. Die Textur des Balles wurde in Gimp kopiert und zu Grün geändert um einen Bonusball darstellen zu können. Die Modelle sind in Abbildung 4.16 zu sehen.

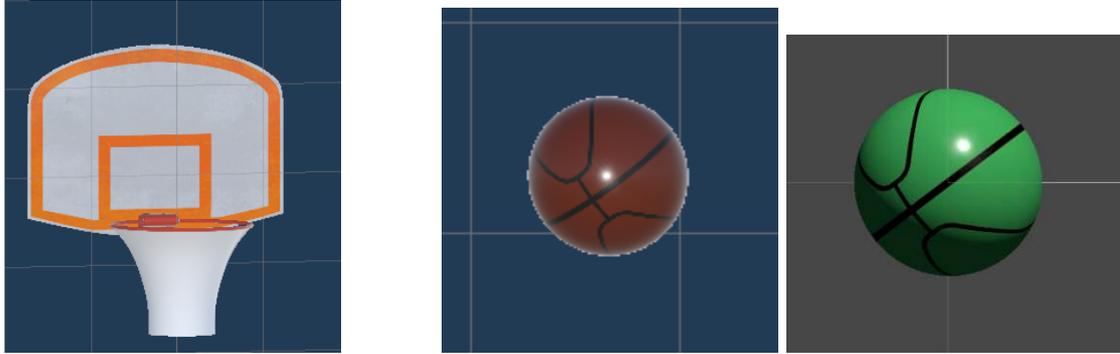


Abbildung 4.16: Modelle des Basketballkorbs und Balls

Das Netz musste allerdings vom Korb entfernt werden. Es hinderte die Bälle daran, durch den Korb zu fallen. Dies könnte zwar durch den Einsatz von Cloth Physics umgangen werden. Für den Prototypen wurde der Fokus allerdings auf die Funktionalität des Spiels gelegt. Zunächst wurde eine orthografische Kamera für das Spiel eingesetzt. Dadurch war der Ring des Korbs nur schwer erkennbar, was das Fangen der Bälle erschwerte, da nicht richtig eingeschätzt werden konnte, wo die Öffnung des Korbs ist. Aus diesem Grund wurde zu einer perspektivischen Kamera gewechselt.

Wie bereits erwähnt, wurde für diesen Spielmodus die Range-of-Motion Steuerung verwendet. Wenn das betroffene Gelenk vollkommen gestreckt ist, befindet sich der Korb ganz links, während eine vollständige Abwinklung den Korb ganz rechts auf dem Bildschirm platziert. Zu Beginn wurden dem Korb Collider hinzugefügt, die genau seiner Form entsprechen. Dies führte zum Problem, dass manche Bälle durch den Aufprall eine Geschwindigkeit in z-Richtung bekamen. Wenn die Bälle sich allerdings nicht an derselben Stelle auf der z-Achse wie der Korb befinden, können diese nicht mehr gefangen werden. Um dies zu umgehen wurde der Collider des Korbs entfernt und stattdessen zwei unsichtbare zylindrische Kollider am linken und rechten Ende des Korbs befestigt (Abbildung 4.17).

Die Bälle werden durch ein Skript gespawnt. Zu Beginn wurden sie einfach direkt über dem Sichtfeld ohne Geschwindigkeit erstellt. Die Rate, in der die Bälle erscheinen, kann über eine Variable eingestellt werden. Es wurde zusätzlich eine Funktion erstellt, die Bälle von der Seite hereinfliegen lässt. Die bietet eine zusätzliche Möglichkeit, die Schwierigkeit des Spiels zu erhöhen (R04). An den Bildschirmrändern wurde Wände platziert, die verhindern sollen, dass Bälle aus dem Bildschirm fliegen. Um die Art wie stark die Bälle abprallen zu bearbeiten, wurde ihnen ein Physics Material hinzugefügt. Eine weitere

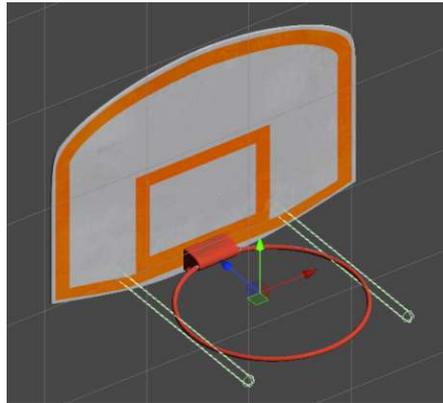


Abbildung 4.17: Basketballkorb mit zylindrischen Collidern (grün) am linken und rechten Rand des Rings

Möglichkeit die Schwierigkeit des Spiels anzupassen, ist die Korbgröße zu verändern (R04).

Für den ersten Prototypen kann durch eine Variable eine Anzahl an Leben eingestellt werden. Für jeden Ball, der nicht gefangen wurde, verliert der Spieler ein Leben. Punkte werden erreicht, indem Bälle gefangen werden, pro Ball gibt es einen Punkt. Wenn der Spieler einen Bonusball fängt, bekommt er ein Bonusleben. Das Spielsystem ist nur vorläufig. Eine andere Option wäre, das Spiel auf Zeit zu spielen. Diese Option wird im Test und Evaluationsabschnitt des ersten Prototyps besprochen.

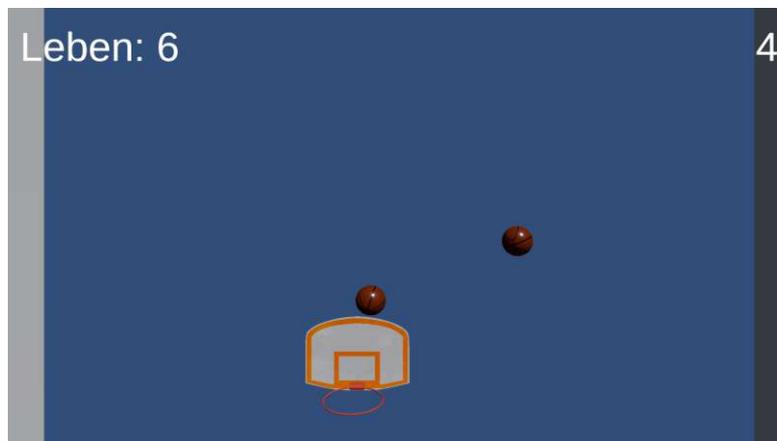


Abbildung 4.18: Prototyp des Basketballspiels

Rhythmus Spiel

Im Interview mit dem Physiotherapeuten stellte sich heraus, dass die Hirn-Hand-Verbindung in der Rehabilitation gestärkt werden muss. Dies kann durch koordinative

Übungen erreicht werden (R02). Die Oppositionsübung kann hierfür verwendet werden. Weiters wurde im Interview erwähnt, dass der Physiotherapeut sich ein Gitarrenspiel vorstellen könnte. Eines der bekanntesten Gitarrenvideospiele ist Guitar Hero. Hier muss der Spieler die richtigen Noten zum passenden Zeitpunkt treffen. Ähnlich zu Guitar Hero [151] gibt es auch weitere Rhythmusspiele. Ein sehr bekanntes ist Dance Dance Revolution [152], das oft in einer Arcade-Umgebung zu finden ist. Inspiriert von diesen Spielen wurde an der Idee eines Rhythmusspiels gearbeitet und ein Mockup (Abbildung 4.19) erstellt. Das Spiel kann durch das Berühren der Finger mit dem Daumen gesteuert werden. Im Mockup wird zum Beispiel Button 1 ausgelöst, wenn der Zeigefinger berührt wird. Die Buttons müssen ausgelöst werden, wenn die herunterfallenden Noten sich über den Buttons befinden. Die Noten sollten im Takt eines Liedes durch die Buttons hindurchgehen. Die anpassbaren Schwierigkeitsgrade können in solch einem Spiel gut mit unterschiedlichen Liedern erreicht werden. Wenn der Takt schneller ist, muss der Spieler schneller auf die Noten reagieren (R04).

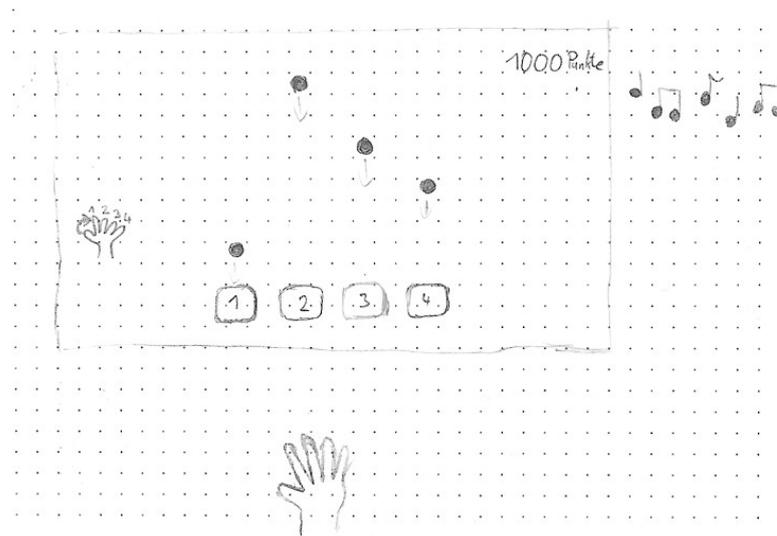


Abbildung 4.19: Mockup des Rhythmusspiels

Für das Rhythmuspiel wurde ein Tutorial auf Youtube gefunden. Der Kanal gamesplusjames [153] hat eine Videoserie, in der das Erstellen eines solchen Spiels ausführlich erklärt wird. Außerdem werden Assets für das Spiel zur Verfügung gestellt, die das Erstellen des Spiels erleichtern. Neben diesen Assets wurde zusätzlich ein Lied benötigt, welches für den ersten Prototyp verwendet wird. Hierzu fiel die Wahl auf "Small Miracle" von Romarecord 1973. Dieses ist auf Pixabay [154] frei zum Download erhältlich. Das Lied schafft eine ruhige Atmosphäre und ist mit 1:16 Minuten nicht zu lange.

Die Buttons am unteren Ende des Bildschirms wurden in 4 unterschiedlichen Farben eingefügt mit einem Effekt, wenn diese gedrückt sind. Dies zeigt dem User bereits bevor die Noten erscheinen, dass die Oppositionsübung eine Auswirkung auf das Spiel hat und dieses dadurch gesteuert werden kann. Anstatt den Punkten, die im Mockup zu sehen

sind, wurden Pfeile verwendet. Dies bewirkt, dass der User schon früher leicht erkennen kann welcher Button später ausgelöst werden muss.

Um die Geschwindigkeit der herunterfallenden Noten zu definieren, muss die Taktfrequenz des Liedes bekannt sein. Um dies für das ausgewählte Lied zu definieren, wurde ein online Beats-per-Minute Tool [155] verwendet. Nach Hochladen des Songs wurde die Taktfrequenz in Beats per Minute (BPM) zurückgegeben. In unserem Fall beträgt diese 108,5. Dieser Wert wird von einem Notenhalter Spielobjekt in seinem Skript verwendet, um alle Noten in einem passenden Tempo nach unten zu verschieben. Der BPM Wert in Beats pro Sekunde umgerechnet. Das Ergebnis liefert uns den Wert, um den die Noten pro Sekunde nach unten verschoben werden und bedeutet, dass der Takt den Rasterlinien, die in Unity angezeigt werden, entsprechen.

In einem ersten Versuch wurden alle Noten für den Song in der Szene platziert. Allerdings führt dies dazu, dass sehr viele Spielobjekte in der Szene vorhanden sind. Da die einzelnen Noten jeweils wiederum ein Skript haben um zu überprüfen, ob der richtige Button zum richtigen Zeitpunkt ausgelöst wurde, kann dies das Spiel verlangsamen. Aus diesem Grund wurde stattdessen ein Notenspawner erstellt. Diesem kann ein Array an Notenpatterns übergeben werden, die er nacheinander erstellt. Hierzu wurden Bewegungsabläufe verwendet, die häufig in der Rehabilitation eingesetzt werden. Ein Beispiel hierfür ist es, alle Langfinger nacheinander zu berühren. Zuerst den Zeigefinger, dann den Mittelfinger, danach den Ringfinger und zuletzt den kleinen Finger. Dieser Bewegungsablauf kann auch umgekehrt eingesetzt werden. Ein weiteres Pattern ist das berühren eines bestimmten Fingers abwechselnd mit allen anderen. Beispielsweise Zeigefinger - Ringfinger - Zeigefinger - Ringfinger - Zeigefinger - kleiner Finger - Zeigefinger - Ringfinger - Zeigefinger - Mittelfinger - Zeigefinger. Hier kann natürlich der Zeigefinger durch andere ersetzt werden.

Die Funktion die die neuen Noten erstellt befindet sich in der Update Funktion des Skripts. Dieses wird jedes Frame aufgerufen. Bei einer langsamen Framerate kann dies dazu führen, dass die Noten verspätet auftauchen und nicht mehr richtig im Takt sind. Um dies zu umgehen werden die Noten bei einem verspäteten Aufruf der Update Funktion entsprechend tiefer erstellt.

Wie bereits beschrieben, wird das Spiel durch die Oppositionsübung gesteuert. Wenn ein Button ausgelöst wird, während sich eine Note darin befindet, verschwindet diese und der Spieler sammelt Punkte. Für diesen Use-Case ist es wichtig, dass die Steuerung nicht nur erkennt, ob der Daumen einen anderen Finger berührt, sondern auch ob diese Berührung gerade initiiert wurde. Weiters wurde das Punktsystem verfeinert. Je näher die Note dem Zentrum des Buttons ist, wenn dieser ausgelöst wird, desto mehr Punkte bekommt der Spieler bzw. die Spielerin. Hier gibt es 3 Stufen: normaler Hit, guter Hit und perfekter Hit. Weiters wird ein Effekt ausgelöst, damit der User sieht, wie gut er die letzte Note getroffen hat. Wenn die Note verpasst wird, verschwindet diese ebenfalls und zeigt einen "Missän."

Ein oft verwendetes Spielprinzip sind Punktemultiplikatoren. Diese wurden auch hier

eingebaut. Wenn der User mehrere Noten hintereinander trifft, wird der Multiplikator erhöht. Sobald allerdings eine Note verpasst wird, springt der Multiplikator wieder auf 0.

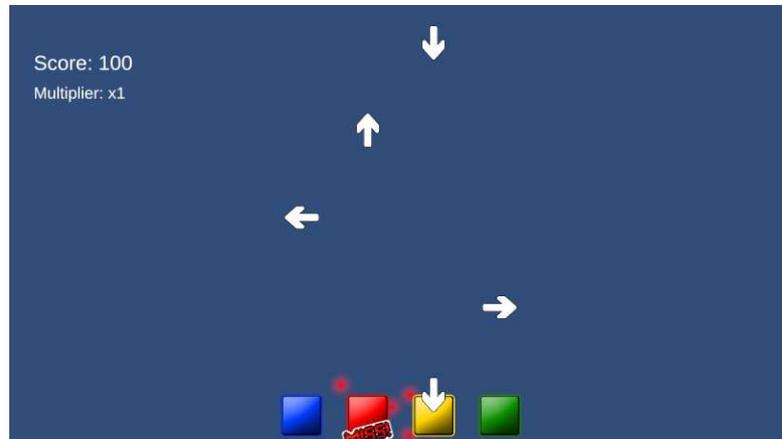


Abbildung 4.20: Prototyp des Rhythmusspiels

Zusammenfassung der Spielkonzepte und Steuerungen

In Tabelle 4.4 sind die Spielkonzepte, Übungen und Steuerungen der implementierten Spiele nochmals Übersichtsmäßig zusammengefasst.

Spielszenario	Spielkonzept	Übung	Steuerung
Finger Climber	Kletterer muss herunterfallenden Steinen ausweichen	Opposition Daumen	Der Kletterer befindet sich auf der Bahn dessen korrespondierender Finger mit dem Daumen als letztes berührt wurde
Finger Baller	Der Korb muss bewegt werden um möglichst viele Bälle einzufangen	Flexion und Extension des betroffenen Gelenks	Gestreckter Finger - Korb ganz links; Abgewinkelter Finger - Korb ganz rechts
Rythm Reha	Die Knöpfe müssen gedrückt werden, wenn sich die Note direkt darüber befindet. (Im Takt der Musik)	Opposition Daumen (Koordinativ)	Die Knöpfe werden ausgelöst wenn die korrespondierenden Finger mit dem Daumen berührt werden.

Tabelle 4.4: Zusammenfassung Spielkonzepte und Steuerung - erster Prototyp

Test und Evaluation des ersten Prototypen

Diese erste Iteration des Prototyps wurde dem Physiotherapeuten präsentiert, mit dem bereits das semi-strukturierte Interview durchgeführt wurde. Weiters konnte er die ein-

zelen Spiele ausprobieren und äußerte seine Meinung zu den implementierten Spielmodi, den verwendeten Übungen und weitere Verbesserungsmöglichkeiten.

Die grundsätzliche Reaktion auf die Spiele war positiv. Allerdings wurden manche Mängel angemerkt. Einer davon ist der Fakt, dass das Kletter- und Basketballspiel mit Leben gespielt wird. Es wird ein Game Over Screen angezeigt, wenn diese verloren sind. Dies kann sich negativ auf die Motivation des Users auswirken. Stattdessen sollen die Spiele auf Zeit gespielt werden. Dadurch können am Ende des Spiels die Erfolge hervorgehoben werden, anstatt anzuzeigen, dass man verloren hat.

Übliche Übungseinheiten starten ab einer Zeit von 1 Minute und können auch länger dauern. Der Physiotherapeut beschreibt, dass die Einstellmöglichkeit zwischen 1 und 2 Minuten ausreichen sollte. Falls die Spieler bzw. Spielerinnen länger Üben möchten, können Sie nach einer kurzen Pause das Spiel erneut starten.

Beim Basketballspiel hält er die Bälle, die gerade herunterfallen, hervor. Diese seien speziell zu Beginn wichtig, da sie um ein Vielfaches einfacher zu fangen sind, als die Bälle, die von der Seite hereinfliegen. Diese hätten aber auch einen Platz im Spiel, sollen aber bei einem erhöhten Schwierigkeitsgrad zum Einsatz kommen. Speziell die Bälle, die von einer Seite hereinfliegen und sich so schnell bewegen, dass sie sogar die Wand auf der anderen Seite berühren, seien zu schwierig. Diese Aussagen unterstreichen nochmals die Wichtigkeit der Einstellmöglichkeit des Schwierigkeitsgrades, was auch später im Gespräch nochmals explizit hervorgehoben wurde.

Wie bereits in Abschnitt 4.4.2 beschrieben, konnte das Basketballspiel des ersten Prototyps nur per Range-of-Motion Übung gesteuert werden. Dem Physiotherapeuten wurden die überlegten Möglichkeiten der Steuerung per Daumenopposition beschrieben. Diese sind dieselben, die beim Endless Runner Spiel (Abschnitt 4.4.2) beschrieben wurden. Zum einen die Finger als Richtungstasten zu verwenden (Zeigefinger = stark links, Mittelfinger = links, Ringfinger = recht, kleiner Finger = stark rechts) und zum anderen den Korb auf 4 Bahnen zu bewegen. Diese befindet sich immer auf der Bahn des Fingers, der zuletzt vom Daumen berührt wurde. Die erstere Option empfindet der Interviewte als zu komplex zu erlernen. Die zweite Option bewertet er als sehr gut. Allerdings wäre eine Verbesserung, wenn der Korb sich immer nur auf der entsprechenden Bahn befindet, solange der Finger in Kontakt mit dem Daumen ist. Falls diese Berührung gestoppt wird, könne der Korb wieder in die Mitte, wo keine Bälle gefangen werden können. Dies führt dazu, dass die User den Kontakt länger halten müssen und dadurch die Übung effektiver durchführen. Diese Anpassung der Steuerung kann auch für das Endless Runner Spiel umgesetzt werden. Weiters beschreibt er, dass er die Steuerung per Opposition für das Basketballspiel besser findet und die Range-of-Motion Übung für das Endless Runner eine bessere Steuerungsmöglichkeit sei.

Das Rhythmusspiel wurde sehr positiv bewertet. Bereits im semi-strukturierten Interview betonte der Physiotherapeut, dass koordinative Übungen sehr wichtig für die Rehabilitation sind. Der Finger müsse wieder in das Schema im Hirn eingebaut werden, was dadurch gemacht werden kann. Weiters findet er gut, dass zu Beginn des Rhythmusspiels einfache

Notenabfolgen vorkommen. Zu Beginn des Spiels wurden nämlich Sequenzen eingebaut, bei der der Daumen die Finger nacheinander berühren muss (Zeigefinger-Mittelfinger-Ringfinger-kleiner Finger). Erst später im Lied treten schwierigere Notenabfolgen auf. Dies erlaubt dem Spieler einen einfachen Einstieg in das Spiel. Die Möglichkeit unterschiedliche Lieder und Geschwindigkeiten der Noten zu verwenden wurden auch als vorteilhaft bewertet. Dadurch sei das Spiel abwechslungsreich und kann an den Fortschritt des Patienten bzw. der Patientin angepasst werden.

Die Idee Power-ups oder Bonusobjekte in die Spiele einzubauen erachtet der Physiotherapeut als nicht so wichtig. Die Spielkonzepte seien so schon interessant genug. Der Fokus solle mehr auf die Steuerung gelegt werden.

Neben den bestehenden Steuerungsmöglichkeiten schlägt der Interviewte eine weitere Übung vor, die eingebaut werden sollte. Das Führen des Daumens zur Handfläche und die Streckung des Daumens weg von der Handfläche. Grundsätzlich kann dies als Range-of-Motion Übung für den Daumen angesehen werden. Diese Übung sei wichtig, da der Daumen der am häufigsten verletzte Finger ist. Er kann sich vorstellen, dass die Steuerung durch diese Übung gleich wie die Range-of-Motion Übung der Langfinger funktionieren kann. Daher könnte diese Übung auch als Steuerung der bereits bestehenden Spiele eingebaut werden. Mit Ausnahme des Rhythmusspiels versteht sich.

Neben diesen Erkenntnissen wurde auch klar, dass eine Ablage für den Unterarm für das Spiel von Vorteil wäre. Diese könnte zum Beispiel einfach durch einen Stapel an Bücher umgesetzt werden. Zum einen hilft dies dem User, die Hand direkt über dem Leap Motion Sensor zu platzieren. Zum anderen kann er sich explizit auf die Finger konzentrieren und muss seine Muskeln im Oberarm nicht einsetzen.

Negativ anzumerken ist, dass bei den Tests die Belichtung der Testumgebung ausschlaggebend war. Eine schlechte Belichtung führte zu ungenauen Messungen des Leap Motion Sensors. Es wurden die Veränderungen der Gelenkwinkel nicht mehr richtig erkannt und auch bei der Oppositionsübung kam es zu Fehlern. Hier wurden zum Teil die Berührungen des Daumens mit den Anderen Fingern nicht erkannt, oder die Berührung eines falschen Fingers registriert. Daher wurde in zukünftigen Tests immer darauf geachtet, dass die Testumgebung ausreichend beleuchtet war.

4.4.3 Finale Iteration des Prototyps

Der nächste Iterationsschritt der in diesem Abschnitt beschrieben wird, dient dazu die Anwendung zu verfeinern und das Feedback des Physiotherapeuten einzubauen. Der Prototyp wird durch die Einstellungsmöglichkeit des verletzten Fingers und Gelenks (R03), die Kalibrierung des maximalen und minimalen Winkel des Fingers (R04), Spieleinstellungen wie Schwierigkeitsgrad, Spieldauer und Steuerungsart, und einer Spielbeschreibung vor Start des jeweiligen Spiels (R08) erweitert. Weiters werden die Spiele auf Zeit umgestellt und die Steuerungsmöglichkeiten der einzelnen Spielszenarien ergänzt und das Aussehen als auch der Spielablauf wird verbessert.

Zunächst wurden die Fingereinstellungen erstellt. Hierzu wurde in Unity ein Panel erstellt. Dieses beinhaltet Einstellungsmöglichkeiten für die Hand, dessen Finger verletzt ist (links, rechts), den betroffenen Finger (Daumen, Zeigefinger, Ringfinger, Mittelfinger, kleiner Finger) und das betroffene Gelenk (Grund-, Mittel- und Endgelenk für Langfinger; Sattel-, Grund- und Endgelenk für Daumen). Dieses Panel ist in Abbildung 4.21 zu sehen und bezieht sich auf Anforderung R03. Die Einstellungen werden in einer Klasse namens FingerSettings abgespeichert. Diese ist Bestandteil des FingerControllers in welchem die Steuerung berechnet wird. Der FingerController wurde als Singleton entworfen, damit im gesamten Spiel dieselbe Steuerungsklasse verwendet wird.



Abbildung 4.21: Fingereinstellungen

Während der Rehabilitation nach einer Fingerverletzung kann das betroffene Gelenk meist nicht vollkommen gestreckt bzw. abgewinkelt werden. Damit der User trotzdem die Spielfigur voll und ganz bewegen kann, muss der minimale und maximale Winkel des Gelenks erhoben werden, wie in Anforderung R04 beschrieben. Dies geschieht im Kalibrierungsfenster, welches in Abbildung 4.22 zu sehen ist. Um es zu öffnen, muss der User auf den "Kalibrieren" Button drücken. Während der Messung der Winkel des Fingers werden Sie stetig dem User angezeigt. Das Fenster gibt dem User Instruktionen. Falls er die Hand von Interesse nicht über den Sensor hält, wird er aufgefordert diese darüber zu halten. Anschließend kommt eine 5 Sekunden lange Anweisung, seine Finger auszustrecken und dann für 5 Sekunden abzuwinkeln. Damit das Fenster nicht zu abrupt geschlossen wird, wartet das Programm noch 3 Sekunden und zeigt an, dass die Kalibrierung erfolgreich durchgeführt wurde. Die neuen Winkel werden dann in den FingerSettings des FingerControllers abgespeichert.

Wenn bereits Einstellungen vorgenommen wurden, werden beim Öffnen des Panels die Dropdowns und der Radiobutton auf den entsprechenden Wert gesetzt und die Fingereinstellungen der letzten Kalibrierung im Script des Finger-Settings Panels abgespeichert. Dies dient dazu, dass Veränderungen erkannt werden. Falls welche vorliegen und der User keine Kalibrierung durchführt, wird er aufgefordert dies zu machen.



Abbildung 4.22: Fenster zur Kalibrierung des minimalen und maximalen Winkels der verletzten Gelenks

Damit der User ein Gefühl für die Handerkennung des Sensors bekommen kann und seine Hand bewusst bewegt, wird die durch den Leap Motion erkannte Hand in der Szene, vor den Panels eingeblendet. Dies bezieht sich auf Anforderung R07 und wird mit einer Vorlage von Leap Motion bewerkstelligt. Es wurden die "Ghost Hands" verwendet. Damit diese vor der UI dargestellt werden, musste eine zweite Kamera in die Szene eingefügt werden, die nur für die Hände zuständig ist. Hierzu wurde ein neuer Layer namens "Hands erstellt, auf dem sich nur die Hände befinden. Bei der neu erstellten Kamera wurde Clear Flags auf "Depth Only" gestellt und die Culling Mask auf den Layer Hands gesetzt. Dadurch wird nur das, was sich auf diesem Layer befindet, gefilmt. Weiters musste die Tiefe (Depth) der zweiten Kamera auf einen höheren Wert als den der Hauptkamera gesetzt werden. Somit werden die Hände vor allem Anderem dargestellt. Es muss beachtet werden, dass der Audio Listener der Zweitkamera entfernt werden sollte, da das Vorhanden sein zweier Audio Listeners zu Fehlern führen kann.

Wie bereits weiter oben beschrieben, wird der FingerController als Singleton erstellt. Zusätzlich erbt der FingerController aber auch von der Unity-Klasse MonoBehaviour. Dies führt zum Problem, dass dieser beim Laden einer neuen Spielszene gelöscht wird. Um dies zu umgehen, muss DontDestroyOnLoad(this.gameObject) in der Awake Funktion der Klasse aufgerufen werden. Allerdings trat hier ein weiteres Problem auf. In den Spielszenen der einzelnen Spielmodi, war noch in Unity ein FingerController Spielobjekt eingefügt. Dies führte zu Fehlern. Durch das Entfernen dieser Spielobjekte konnten die Probleme aber wiederum vermieden werden.

Neben dem verletzten Finger musste auch die Dauer des Spiels, die Übung mit der es gesteuert wird, und der Schwierigkeitsgrad einstellbar gemacht werden. Daher wird nach der Auswahl des Spiels ein Spieleinstellungs-Panel geöffnet, das genau dies ermöglicht (Abbildung 4.23). Dieses Fenster wird beim Rhythmusspiel nicht geöffnet, da hier nichts umgestellt werden kann. Die Einstellung des Schwierigkeitsgrads und der Spieldauer

erfolgt mittels Slider. Der Schwierigkeitsgrad kann in 9 unterschiedlichen Stufen eingestellt werden und reicht von Einfach bis Schwierig. Die Spieldauer kann auf 60 Sekunden, 90 Sekunden oder 120 Sekunden eingestellt werden. Somit entspricht die Dauer der Übung der empfohlenen Zeitangabe des Physiotherapeuten. Die Fingerübung, mit der gesteuert wird, kann durch ein Dropdown verändert werden. Hier gibt es Range-of-Motion, Opposition Tippen und Opposition Halten. Damit der User versteht, was hiermit gemeint ist, wird darunter eine kurze Beschreibung der ausgewählten Übung angezeigt. Die einstellbaren Werte werden in der Klasse GameSettings abgespeichert. Game Settings wurde als eine statische Klasse implementiert. Dadurch wird vermieden, dass mehrere unterschiedliche Einstellungen vorhanden sind und es kann von jeder Spielszene darauf zugegriffen werden. Neben der Schwierigkeitsstufe, der Spielzeit und der Steuerungsmodalität wird hier auch das ausgewählte Spiel abgespeichert. Hierfür wurde eine Enumeration erzeugt, die alle 3 Spielmodi enthält. Auch für die Steuerungsmodalität wurde eine Enumeration erzeugt, welche alle 3 möglichen Übungen enthält.

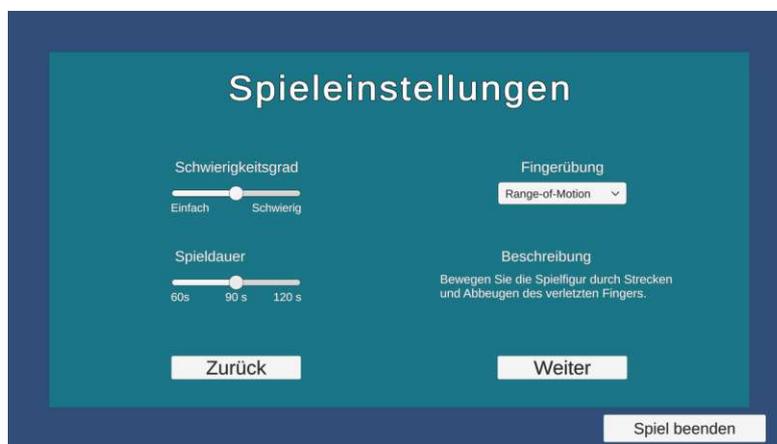


Abbildung 4.23: Spieleinstellungsfenster

Neben den Einstellungsmöglichkeiten mussten auch die Spielszenarien angepasst und verbessert werden. Unter anderem mussten das Kletterspiel und das Basketballspiel von Leben auf Zeit umgestellt werden. Da einige Funktionalitäten für beide Spiele sehr ähnlich sind, wurde eine abstrakte Klasse LogicScript erstellt, von der die Logik Klassen der zwei Spiele ihre Variablen und Funktionen erben. Diese dient dazu, dass Funktionen und Variablen, die sowohl im Logik Skript des Kletter- als auch des Ballspiels vorhanden sind, definiert werden können. Weiters kann in anderen Klassen, die in beiden Spielen dieselbe Funktion haben, hierauf verwiesen werden. Damit der User nicht plötzlich nach dem Laden der Spielszene gleich mitten im Spiel ist, wird ein Countdown von 3 auf 0 angezeigt. Anschließend beginnt das Spiel, die Spielobjekte werden gespawnt und die Animationen starten.

Im Kletterspiel erzielt der Spieler einen Punkt, wenn er an einer Steingruppe vorbei klettert, ohne eine der Steine zu berühren. Um dies im Spiel zu erkennen, wurde ein Collider namens Pointsdetector am oberen Ende der Steine platziert. Weiters wurde ein

boolean erstellt, der zeigt, ob der Spieler einen der Steine berührt hat. Wenn der Spieler den Pointsdetector verlässt und der boolean auf false ist, wird ein Punkt vergeben. Um die Punkte abzuspeichern wurde eine Score-Klasse erstellt. Neben den erzielten Punkten werden hier auch die möglichen Punkte abgespeichert. Dies erlaubt es uns am Ende des Spiels dem User anzuzeigen, wie viel Prozent der möglichen Punkte erzielt wurden.

Wenn die Spielzeit abgelaufen ist, wird das Spiel beendet und eine Ergebnisseite erscheint. Im Gegensatz zum alten Schriftzug "Game Over" lautet die Überschrift nun "Übung abgeschlossen". Dies wurde vom Physiotherapeuten vorgeschlagen, da es nicht so negativ behaftet ist. Die Ergebnisseite ist in Abbildung 4.24 zu sehen. Auf der Ergebnisseite werden die erreichten Punkte im Verhältnis zu den möglichen Punkten angezeigt. Weiters wurde in den Spielen eingebaut, dass der maximal und minimal erreichte Winkel des Spielers abgespeichert wird, wenn die Range-of-Motion Steuerung verwendet wird. Die Winkel werden nach dem Spiel angezeigt. Somit kann der User den Fortschritt seiner Genesung verfolgen. Je größer der Unterschied zwischen diesen Winkeln wird, desto besser ist die Range of Motion des Gelenks. Die Darstellung der Punktezahl und dieser Winkel erfüllen die Anforderung R05.



Abbildung 4.24: Übung abgeschlossen Bildschirm

Basierend auf dem eingestellten Schwierigkeitsgrad, verändert sich die Rate der herunterfallenden Steine und die Geschwindigkeit dieser. Bei höherer Schwierigkeitsstufe sind diese Werte höher als bei niedriger Schwierigkeit. Außerdem wurden alle 3 Steuerungsvarianten für das Kletterspiel implementiert. Es kann jetzt also mit per Range-of-Motion, Opposition Tippen und Opposition Halten gesteuert werden. Dem Spiel wurde noch ein Hintergrund hinzugefügt. Dieser stammt von der Webseite vecteezy.com [156]. Es soll die Atmosphäre des Spiels etwas entspannter machen. Eine weitere grafische Änderung wurde bei den Steinen vorgenommen. Hier wurden Modelle aus dem Free Boulder Pack des Unity Asset Store verwendet. Weiters wurde ein Soundeffekt hinzugefügt, der abgespielt wird, wenn der Spieler einen Stein einer Gruppe zum ersten Mal berührt. Der Sound wurde auf pixabay.com [154] gefunden. In Abbildung 4.25 ist das fertige Kletterspiel zu sehen.



Abbildung 4.25: Kletterspiel des finalen Prototypen

Auch das Basketballspiel wurde überarbeitet. Die Umstellung von einem Spielsystem mit Leben auf Zeit wurde hier ebenfalls durchgeführt. Jeder Ball, der durch den Korb fliegt, zählt als ein Punkt. Damit der grüne Ball weiterhin eine spezielle Funktion hat, bekommt der User 2 Punkte, wenn dieser durch den Korb fliegt. Am Ende des Spiels werden wiederum die erreichten und möglichen Punkte angezeigt und im Falle der Range-of-Motion Steuerung der maximal und minimale Grad der Abwinklung des betroffenen Gelenks.

Die drei Steuerungsmodalitäten wurden auch hier implementiert. Wenn eine der Oppositionsübungen ausgewählt wurde, können die Bälle nur von oben in einem von 4 "Bahnen" bzw. x-Positionen erscheinen. Der Korb kann durch die Oppositionsübung an eine der 4 x-Positionen bewegt werden. Wenn die Opposition Tippen Steuerung verwendet wird, befindet sich der Korb immer an dem Punkt, der mit dem zuletzt berührten Finger korrespondiert. Bei der Opposition Halten Übung hingegen muss der Kontakt zwischen Daumen und Finger aufrechterhalten bleiben. Ansonsten bewegt sich der Korb in die Mitte des Bildschirms, wo keine Bälle herunterfallen. Hier war auch zu beachten, dass die Steuerung für die linke Hand gespiegelt werden musste, da die Bewegung des Korbs spiegelverkehrt zu der Position des berührten Fingers war. Zu Beginn funktionierte die Oppositionssteuerung beim Basketballspiel bedeutend schlechter als beim Kletterspiel und dies, obwohl derselbe Code derselben Klasse verwendet wurde. Allerdings wurde der Berührungsthreshold trotz Kontakt des Daumens und eines Fingers nicht unterschritten. Um dies zu umgehen, wurde der Threshold von 0.03 auf 0.06 erhöht. Dies verbesserte zwar die Steuerung des Ballspiels, verschlechterte aber die Steuerung des Kletterspiels. Nach weiterer Recherche stellte sich heraus, dass ein Problem mit dem Leap Service Provider, der sich in der Szene befand, vorlag. Dieser wurde um 3 in alle Richtungen skaliert, damit die Hände in der Szene besser zu sehen waren. Allerdings hat dies auch zur Folge, dass die Abstände, die vom Leap Motion Controller gemessen werden, auch um diesen Faktor vergrößert werden. Und somit auch der gemessene Abstand zwischen Daumen und den Fingern. Das Problem kann vermieden werden, indem nicht der Leap

Service Provider, sondern die Ghost Hands, die sich darin befinden, um den Wert skaliert werden.

Eine höhere Schwierigkeitsstufe resultiert in einer höheren Spawn-Rate der Bälle. Bei der Range-of-Motion Steuerung erscheinen sie mehr von der Seite und der Korb wird mit wachsender Schwierigkeit kleiner. Dies führte vorerst zu einem Problem, da der Pivot des Basketballkorbobjekts sich über dem Objekt befand. Daher wurde durch eine Vergrößerung des Korbs der Ring nach unten verschoben. Um dies zu umgehen, wurde der Korb in ein neu erstelltes Spielobjekt eingefügt, dessen Pivot sich genau auf Höhe des Rings befindet. Um den Korb zu vergrößern, wird dieses Pivot Objekt vergrößert. Dadurch bleibt der Ring auf derselben Höhe. Die maximale Geschwindigkeit, mit der die Bälle von der Seite hereinfliegen, wurde angepasst. Dies war einer der Mängel, die vom Physiotherapeuten angesprochen wurde. Die Bälle, die so schnell waren, dass sie bis zur anderen Wand fliegen und davon abprallen, waren zu schwierig einzufangen. Dies kann nun nicht mehr auftreten.

Die erste Idee für den Hintergrund des Basketballspiels war eine Basketballhalle. Allerdings waren die Farben der gefundenen Bilder den Bällen zu ähnlich, was das Erkennen des Balls erschwerte. Daher wurde in photopia.com [157] ein Farbverlauf erstellt und als Hintergrund verwendet. Weiters wurde ein Sound hinzugefügt, der abgespielt wird, wenn ein Punkt erzielt wird. Dieser wurde auf der Webseite pixabay.com [154] gefunden. Das fertige Basketballspiel ist in Abbildung 4.26 zu sehen.



Abbildung 4.26: Basketballspiel des finalen Prototypen

Im Rhythmusspiel wurden die wenigsten Änderungen durchgeführt. Zum einen war dieses nach der ersten Iteration bereits das Fortgeschrittenste. Zum anderen erhielt es das beste Feedback und wenig Kritik. Etwas, das allerdings mehrmals angesprochen wurde, waren die Pfeile, die als Noten verwendet wurden. Sie haben in diesem Spiel keine Bedeutung, da keine Richtung mit Ihnen in Verbindung steht. Daher wurden Sie durch Kreise ersetzt, die denselben Farbverlauf wie die entsprechenden Knöpfe haben. Um die exakten Farben zu finden, wurde die Pipette in Unity verwendet und der hellste als auch dunkelste Teil

der Buttons ausgewählt. Diese Farben wurde in photopea.com verwendet, um die Noten zu erstellen. Das fertige Rhythmusspiel ist in Abbildung 4.27 zu sehen.

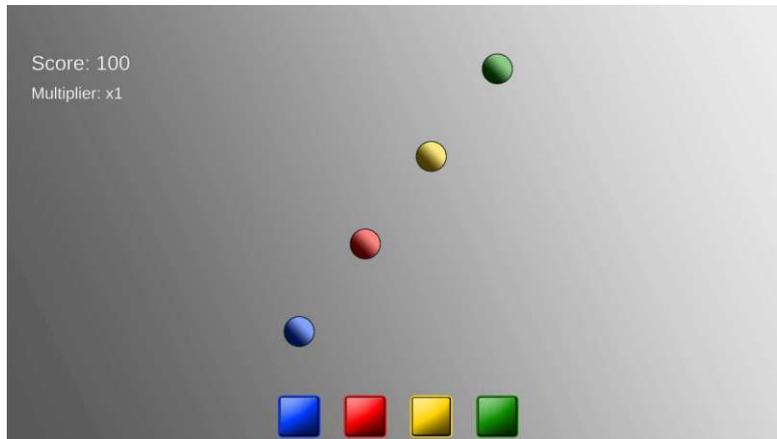


Abbildung 4.27: Rhythmusspiel des finalen Prototypen

Mit Abschluss der Spielmodi, konnten Screenshots gemacht werden und diese im Hauptmenü eingesetzt werden. Dies erlaubt es den Usern eine kleine Vorschau des Spiels bereits im Hauptmenü zu sehen. Das Hauptmenü des finalen Prototypen ist in Abbildung 4.28 dargestellt.



Abbildung 4.28: Hauptmenü des finalen Prototypen

Wie in Anforderung R08 angeführt, sollten die Übungen vor Beginn des Spiels erklärt werden. Hierzu wurde ein Fenster erstellt, das nach den Spieleinstellungen angezeigt wird. Der Inhalt der Spielerklärung ist von den Spieleinstellungen abhängig. Das ausgewählte Spiel, und die zu durchführende Übung, um mit dem Spiel zu interagieren, wird beschrieben. Um dies verständlicher zu gestalten, werden Bilder der Bewegungen angezeigt.

Implementierte Übungen

Im finalen Prototyp sind zwar nur 2 Übungsgrundlagen umgesetzt: Range-of-Motion und Opposition. Allerdings werden diese vielseitig eingesetzt. Zum einen kommt die Range-of-Motion Übung sowohl für die Langfinger als auch für den Daumen zum Einsatz. Es kann zusätzlich auch das Gelenk, das das Spiel steuert, ausgewählt werden. Die Oppositionsübung ist in 3 unterschiedlichen Spielarten im Spiel implementiert. Die erste ist die Opposition Tippen im Kletter- und Basketballspiel. Hier wird die Position an eine von 4 Positionen bewegt, wenn die Spitze eines Langfingers mit dem Daumen berührt wird. Durch eine Berührung des Fingers ganz links (bei linker Hand: kleiner Finger; bei rechter Hand: Zeigefinger), wird die Spielfigur nach ganz links bewegt und umgekehrt. Bei Beendigung des Kontakts der Finger bleibt die Figur trotzdem an derselben Stelle. Genau hier unterscheidet sich die Opposition Halten Steuerung. Die Spielfigur bleibt nur an der Stelle, die mit dem Finger korreliert, solange der Kontakt aufrecht gehalten wird. Sobald dieser beendet wird, springt die Figur in die Mitte, wo keine Punkte erzielt werden können. Die Steuerung des Rhythmusspiels zielt mehr auf den koordinativen Teil einer Übung ab. Hier muss die Spielerin bzw. der Spieler genau im richtigen Moment die Berührung zwischen Daumen und Finger initiieren, um Punkte zu erhalten. Je genauer das Timing stimmt, desto mehr Punkte werden vergeben. In Figure 4.29 sind nochmals die Oppositions- als auch die Range-of-Motion-Übungen sowohl für die Langfinger als auch den Daumen abgebildet.

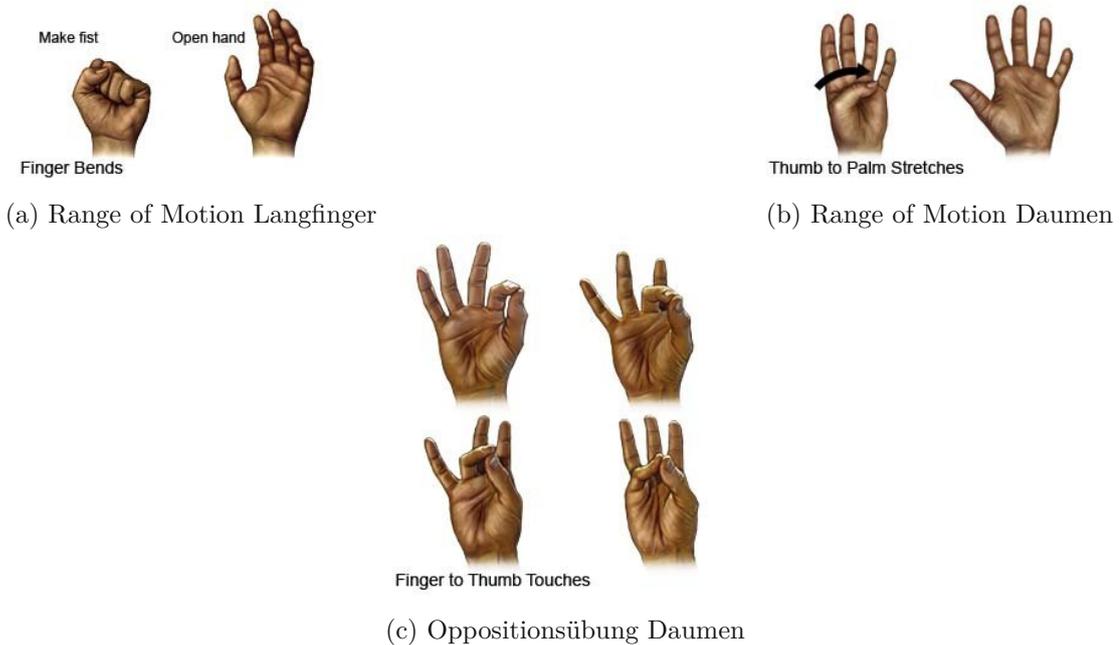


Abbildung 4.29: Range-of-Motion und Oppositionsübungen [158]

In den Tabellen 4.5 und 4.6 sind die Spielkonzepte, Übungen und Steuerungsarten der Spiele Finger Climber und Finger Baller zusammengefasst. Bei Rhythmusspiel gab es

von diesen Prinzipien keine Änderung und es kann daher die Auflistung in Tabelle 4.4 herangezogen werden.

Spielkonzept	Übung	Steuerung
Kletterer muss herunterfallenden Steinen ausweichen	Opposition Daumen (Tippen)	Der Kletterer befindet sich auf der Bahn dessen korrespondierender Finger mit dem Daumen als letztes berührt wurde
	Opposition Daumen (Halten)	Der Kletterer befindet sich auf der Bahn dessen korrespondierender Finger in diesem Moment mit dem Daumen in Berührung steht. Falls keiner berührt wird, befindet sich die Spielfigur in der Mitte
	Flexion und Extension des betroffenen Gelenks	Gestreckter Finger - Kletterer ganz links; Abgewinkelter Finger - Kletterer ganz rechts

Tabelle 4.5: Finger Climber - Zusammenfassung Spielkonzepte und Steuerung - finaler Prototyp

Spielkonzept	Übung	Steuerung
Der Korb muss bewegt werden um möglichst viele Bälle einzufangen	Opposition Daumen (Tippen)	Der Kletterer befindet sich auf der Bahn dessen korrespondierender Finger mit dem Daumen als letztes berührt wurde
	Opposition Daumen (Halten)	Der Kletterer befindet sich auf der Bahn dessen korrespondierender Finger in diesem Moment mit dem Daumen in Berührung steht. Falls keiner berührt wird, befindet sich die Spielfigur in der Mitte
	Flexion und Extension des betroffenen Gelenks	Gestreckter Finger - Kletterer ganz links; Abgewinkelter Finger - Kletterer ganz rechts

Tabelle 4.6: Finger Baller - Zusammenfassung Spielkonzepte und Steuerung - finaler Prototyp

4.5 Evaluierung

Mit der Fertigstellung des finalen Prototyps wurde die zweite Phase dieser Arbeit abgeschlossen und die dritte und letzte Phase begonnen, die Evaluation. Der Prototyp wurde Usern zum Testen bereitgestellt und anschließend mussten sie die System Usability Scale als auch der User Experience Questionnaire ausfüllen. Dies hilft uns, die zweite Forschungsfrage (FF2) zu beantworten. Zusätzlich wurden die User nach dem Test kurz nach ihrer Meinung zum Serious Game befragt. Auch dem Physiotherapeuten wurde das

Spiel zur Verfügung gestellt. Neben den Meinungen der User ist in diesem Kapitel auch eine abschließende Bewertung des Physiotherapeuten zu finden.

4.5.1 Usability Tests

Die Usability wurde mit potenziellen zukünftigen Usern getestet. Die Tests wurden mit Digital Natives durchgeführt. Es wurden computeraffine Personen aus meinem Bekanntenkreis ausgewählt, welche bereits eine Fingerverletzung hatten. Es ist also erkennbar, dass hier ein Convenience Sampling mit einem Bias durchgeführt wurde. Leider wurden keine Personen gefunden, die sich in der Rehabilitationsphase nach einer Fingerverletzung befinden. Die Auswahl fiel auf 7 Teilnehmer (4 M / 3 W) mit einem Durchschnittsalter von 27,5 Jahren.

Vor den Tests wurde den Teilnehmern das Serious Game kurz erklärt, da dies in der Praxis der Physiotherapeut bzw. die Physiotherapeutin machen würde. Anschließend bekamen die Testteilnehmer die Aufgabe, alle Spiele in allen möglichen Steuerungsarten mindestens einmal zu spielen. Dadurch sollen die Teilnehmer das gesamte Spektrum des Serious Games kennenlernen, um anschließend eine fundierte Meinung zur Usability zu haben. Während den Tests war auffällig, dass einige Testpersonen anfängliche Probleme mit der Oppositionsübung hatten. Dies lag daran, dass sie mit dem Daumen zwar ihre Finger berührten, allerdings nicht die Fingerspitzen. Eventuell sollte hier die Erklärung verfeinert werden.

Nach den Tests wurden die Probanden gebeten sowohl die System Usability Scale als auch das User Experience Questionnaire auszufüllen. Diese Fragebögen wurden bereits in Kapitel 2.5.1 und 2.5.2 behandelt. Es wurde die deutsche Übersetzung des SUS nach Gao et al. [124] verwendet, welche bereits in Abbildung 2.17 zu sehen war. Der Fragebogen wurde leicht abgeändert. Die erste Frage "Ich denke, dass ich dieses Produkt häufig verwenden möchte" könnte die Teilnehmer verwirren, da das Spiel auf Personen abzielt, die eine Fingerrehabilitation durchführen. Daher wurde die Frage zu "Ich denke, dass ich dieses Produkt häufig verwenden möchte, wenn ich eine Rehabilitation nach einer Fingerverletzung durchführe" geändert. In Abbildung 4.30 ist der angepasste Fragebogen zu sehen.

Die Antworten der einzelnen Teilnehmer und deren SUS-Scores sind in Tabelle 4.7 aufgelistet. Weiters wurde auch der Durchschnitt der SUS-Scores berechnet. Es ist erkennbar, dass das Serious Game mit einem durchschnittlichen SUS-Score von 84,64 sehr gut abschließt. Wir befinden uns also im "Acceptable"-Bereich (Abbildung 2.18) laut Bangor et al. [125]. Weiters können Bewertungen von 85 oder höher als exzellent bezeichnet werden. Dies zeugt davon, dass unser Ergebnis sehr gut ist.

Neben dem SUS füllten die Teilnehmer auch den User Experience Questionnaire aus. Hier wurde die deutsche Version verwendet, welche auf der Webseite ueq-online.com erhältlich ist. Es mussten keine Änderungen vorgenommen werden. Die Auswertung wurde mithilfe einer Excel-Datei des Data-Analysis-Tools von ueq-online.com durchgeführt. Die Ergebnisse der Analyse sind in Abbildung 4.31 dargestellt. Hier sind die Mittelwerte

System Usability Scale

Bitte kreuzen Sie die Antwort an, die Ihre sofortige Antwort auf jede Aussage widerspiegelt. Bitte denken Sie nicht zu lange über jede Aussage nach und stellen Sie sicher, dass Sie zu allen Aussagen eine Antwort geben.

	Stimme überhaupt nicht zu				Stimme voll und ganz zu
Ich denke, dass ich dieses Produkt häufig verwenden möchte, wenn ich eine Rehabilitation nach einer Fingerverletzung durchführe	1	2	3	4	5
Ich fand das Produkt unnötig komplex	1	2	3	4	5
Ich dachte, das Produkt war einfach zu bedienen	1	2	3	4	5
Ich denke, dass ich die Unterstützung einer technischen Person brauche, um dieses Produkt nutzen zu können	1	2	3	4	5
Ich fand, die verschiedenen Funktionen in diesem Produkt waren gut integriert	1	2	3	4	5
Ich dachte, dass dieses Produkt nicht konsistent genug war	1	2	3	4	5
Ich würde mir vorstellen, dass die meisten Leute sehr schnell lernen würden, dieses Produkt zu benutzen	1	2	3	4	5
Ich fand dieses Produkt sehr umständlich zu benutzen	1	2	3	4	5
Ich habe mich sehr selbstsicher gefühlt, dieses Produkt zu verwenden	1	2	3	4	5
Ich musste eine Menge Dinge lernen, bevor ich mit diesem Produkt loslegen konnte.	1	2	3	4	5

Abbildung 4.30: Angepasste System Usability Scale

und Varianzen der einzelnen Dimensionen des UEQ zu sehen. Grundsätzlich schneidet das Serious Game auch hier sehr gut ab. Alle Mittelwerte sind größer als 1,3. Während die Steuerbarkeit und die Effizienz die einzigen Dimensionen sind, die eine Bewertung unter 2 bekommen haben. Zwar wurden auch sie positiv bewertet, dennoch ist hier am meisten Raum zur Verbesserung vorhanden. Beispielsweise müssen die User oft durch mehrere Seiten navigieren, bis sie zum Spiel kommen, hier könnte man in Zukunft ein paar Quality of Life Verbesserungen machen.

Bei den Werten der einzelnen Items sind 4 Ausreißer erkennbar. Die Gegenüberstellung langsam/schnell hat mit 0,3 die niedrigste Bewertung bekommen, gefolgt von nicht erwartungskonform/erwartungskonform mit 0,4 und unberechenbar/voraussagbar als auch unpragmatisch/pragmatisch mit 0,9.

Nachdem die Probanden die Fragebögen ausgefüllt hatten, wurde mit allen noch ein Gespräch geführt, bei dem sie noch weitere Anmerkungen zum Serious Game anbringen

4. ERGEBNISSE

Aussage	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1	5	5	4	5	4	4	5
2	2	1	1	1	1	2	1
3	5	5	5	5	5	3	3
4	1	2	2	1	1	3	2
5	4	4	5	5	5	4	5
6	3	2	1	1	1	3	4
7	5	5	4	5	4	3	3
8	1	1	1	1	1	3	3
9	5	5	4	5	4	3	4
10	1	1	1	1	1	3	2
SUS-Score	90	92,5	90	100	92,5	57,5	70
Durchschnittsscore	84,64						

Tabelle 4.7: SUS Ergebnisse

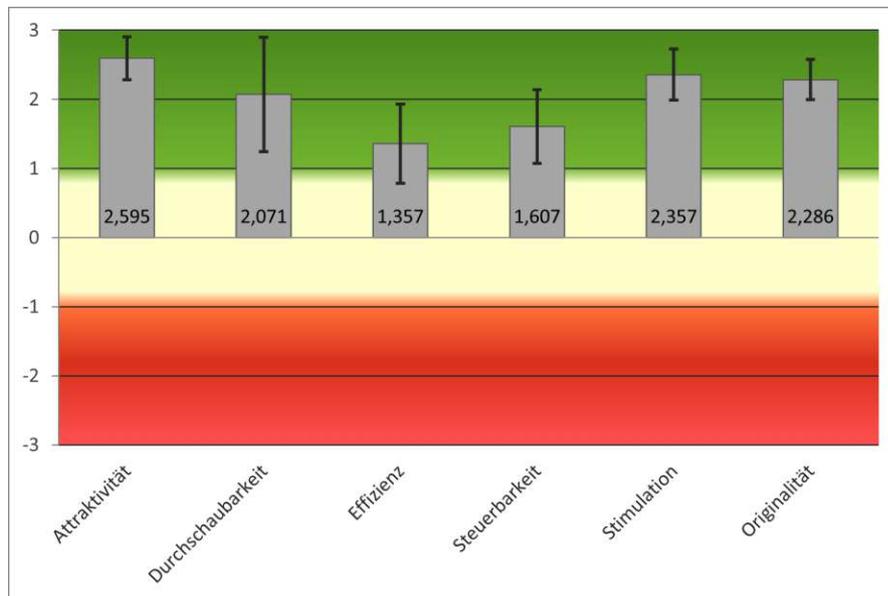


Abbildung 4.31: Diagramm des Mittelwerts und der Varianz der einzelnen Dimensionen des UEQ

konnten. Alle Testpersonen standen dem Spiel positiv gegenüber und könnten sich vorstellen es bei einer Fingerrehabilitation einzusetzen. Zwei Personen haben angemerkt, dass es von Vorteil wäre, wenn die einzelnen Gelenke der Finger bei der Auswahl bildlich dargestellt wären. Somit wäre klar, welches Gelenk genau gemeint ist. Weiters wurde erwähnt, dass sie beim Basketballspiel bei der Oppositionsübung auch gerne Bälle gehabt hätten, die von der Seite hereinfliegen, insbesondere wenn eine hohe Schwierigkeitsstufe ausgewählt ist. Die User wünschten sich außerdem noch Highscores. Es sollen die Er-

gebnisse der einzelnen Spiele speicherbar sein und ein Vergleich mit anderen Usern soll ermöglicht werden.

4.5.2 Anmerkungen des Physiotherapeuten

Dem Physiotherapeuten, der dieses gesamte Projekt mit seiner Expertise unterstützt hat, wurde das Serious Game ebenfalls vorgeführt und zur Verfügung gestellt. Anschließend wurde mit ihm ein Gespräch geführt in dem er seine finalen Anmerkungen noch äußerte.

Er sieht das Serious Game sehr positiv und kann sich gut vorstellen, dass es Personen in ihrer Rehabilitation unterstützen und motivieren, und somit zu besseren Erfolgen führen kann. Es darf allerdings nicht vergessen werden, dass eine therapeutische Begleitung unabdingbar ist. Auch er erwähnte, dass die Übungserfolge aufgezeichnet und gespeichert werden sollten. Somit könnten User ihren Fortschritt visuell dargestellt verfolgen. Dies kann sowohl über die erreichten Winkel als auch die Punktzahl geschehen. Insbesondere die Entwicklung der minimalen und maximalen Abwinklung wäre auch für den Physiotherapeuten von Interesse. Zur Range-of-Motion Steuerung des Kletterspiels sagt er, dass hier nie die volle Streckung des verletzten Gelenks erreicht werden muss, um die volle Punktzahl zu bekommen. Das sollte möglichst ausge bessert werden, damit die User die ganze mögliche Range-of-Motion ausnutzen. Weiters merkt der Physiotherapeut noch an, dass manche Personen im Anfangsstadium ihrer Rehabilitation eventuell noch nicht die gesamte Spanne der Oppositionsübungen durchführen können. Es ist möglich, dass mit ihrem Daumen noch nicht alle anderen Finger der Hand berührbar sind. Infolgedessen wäre es von Vorteil, wenn dies im Spiel eingestellt werden kann und sich die Übungen entsprechend verändern. Am anderen Ende der Rehabilitation hingegen wären zusätzliche Kraftübungen von Interesse. Hierzu würde es schon reichen, wenn die Range-of-Motion Übungen einfach mit einem Ball oder einer Knete in der Hand durchgeführt werden könnten.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Diskussion

Diese Arbeit hat sich mit dem Design, der Entwicklung und der Analyse eines prototypischen Serious Games, welches zu Rehabilitationszwecken nach Fingerverletzungen im Sport eingesetzt werden kann, beschäftigt. Dazu wurde in einem mehrphasigen Prozess unter Einbindung von Experten und der zukünftigen Zielgruppe, der theoretische Hintergrund erforscht, die Anforderungen definiert und über zwei Iterationen hinweg der finale Prototyp realisiert. Außerdem wurde dieser hinsichtlich der Usability evaluiert. Im Folgenden werden die erlangten Erkenntnisse diskutiert.

Fingerverletzungen treten im Sport häufig auf. Knapp 6% der Sportunfälle betreffen die Finger. Besonders betroffen sind Ballsportarten, bei denen die Finger direkten Kontakt mit dem Ball machen, und Klettern. Beim Sportklettern und Bouldern betreffen 30% aller Verletzungen und Überlastungssyndrome die Finger. Einige dieser Verletzungen haben eine Therapie zur Folge. Geringe Adhärenz führt zu einem schlechteren Therapieerfolg und kann in weiterer Folge zu einem erhöhtem Risiko einer Wiederverletzung führen. Weiters wird auf Profisportler oft Druck ausgeübt, um möglichst früh wieder zum Sport zurückzukehren. Dies kann ebenfalls zu Wieder- oder neuen Verletzungen führen. Diese Aussagen konnten mithilfe einer Umfrage in der Zielgruppe nochmals unterstrichen werden. Ein Großteil der Befragten hatte bereits eine Fingerverletzung und auch Wiederverletzungen treten regelmäßig auf.

Eine Möglichkeit, die Wirksamkeit einer Therapie zu unterstützen, sind Serious Games. Diese können die Adhärenz erhöhen und somit zu einer effizienteren Behandlung führen. Der Erfolg von Serious Games wurde bereits in einigen Studien bewiesen. Allerdings ist die Qualität des Spiels ausschlaggebend für den Erfolg. Um diese zu gewährleisten ist es äußerst wichtig Experten in die Entwicklung einzubinden. Speziell im medizinischen und therapeutischen Bereich ist dies essenziell. Daher wurde ein Interview mit einem Physiotherapeuten geführt, um weitere Einblicke in die Anforderungen zu erlangen. Dieser bestätigte, dass solche Spiele die Motivation und Adhärenz des Patienten erhöhen können. Allerdings muss beachtet werden, dass die Behandlung durch einen Physiotherapeuten

bzw. eine Physiotherapeutin unabdingbar ist. Die Umfrage in der Zielgruppe bestätigte außerdem, dass ein großes Interesse an Serious Games vorhanden ist. Sowohl die Umfrage als auch das Experteninterview zeigte allerdings, dass Serious Games zur Rehabilitation in der Praxis noch nicht verbreitet sind. Dies führt dazu, dass sich viele Personen noch nicht viel darunter vorstellen können und einzelne ihnen skeptisch gegenüberstehen.

Es gibt bereits einige Serious Games die sich mit Hand- bzw. Fingertherapie beschäftigen. Allerdings fokussiert sich der Großteil dieser auf die Rehabilitation von Hirnkrankheiten wie Alzheimer oder Parkinson, oder der Behandlung nach einem Schlaganfall. Der Fokus auf Sportverletzungen verändert die Zielgruppe und dadurch die Anforderungen drastisch. Weiters fokussiert sich keine der Serious Games auf einzelne Finger. Daher wurde im Rahmen dieser Diplomarbeit ein solches Spiel konzipiert implementiert, getestet und verbessert.

5.1 Forschungsfrage 1 (FF1)

"Was sind die Anforderungen an ein Serious Game zur Unterstützung einer Fingerverletzungstherapie nach Sportverletzungen?"

Die Literaturrecherche diente als erster Schritt, um ein Verständnis über das Gebiet zu erlangen. Zusätzlich wurden Erkenntnisse hinsichtlich der Anforderungen an das Serious Game gewonnen. Eine Umfrage in der Zielgruppe und ein Experteninterview bestätigten und erweiterten dieses Wissen. Basierend darauf konnten 12 Anforderungen an ein Serious Game zur Rehabilitation nach Fingerverletzungen im Sport definiert werden. Diese sind in Tabelle 4.2 zusammengefasst und die Erkenntnisse werden hier nochmals besprochen.

- Sowohl in der Literatur, der Umfrage und dem Experteninterview zeigte sich, dass Fingerverletzungen sehr vielseitig sein können. Die Anatomie der Finger ist sehr komplex und unterschiedlichste Strukturen können betroffen sein. Daher müssen die Übungen an die entsprechende Verletzung angepasst werden. Weiters beeinflusst das Stadium der Rehabilitation die Art und das Ausmaß der Übungen. Aus diesen Gründen muss das Serious Game an die Situation des Users angepasst werden können. Der verletzte Finger und das betroffene Gelenk müssen eingestellt werden können und auch der Schwierigkeitsgrad und die Range-of-Motion muss individuell einstellbar sein.
- Ein beträchtlicher Teil der Rehabilitationsübungen muss eigenständig vom Patienten oder der Patientin zu Hause durchgeführt werden. Dabei hat der Physiotherapeut keine Möglichkeit, die Ausführung der Übungen oder ob sie überhaupt durchgeführt werden, zu überwachen. Hier kann ein Serious Game Abhilfe schaffen. Es ermöglicht die Erklärung der Übungsabläufe und die Aufzeichnung der Durchführung. Dies setzt voraus, dass die benötigte Hardware einfach und schnell eingerichtet werden

kann. Darüber hinaus sollte die Hardware kostengünstig und in der Lage sein, den Winkel des verletzten Gelenks mit ausreichender Genauigkeit zu messen.

- Ein sehr interessanter Aspekt der Rehabilitation spielt sich im Hirn des Patienten ab. Im Gespräch mit dem Experten wurde betont, dass Patientinnen bzw. Patienten oft Angst haben, den verletzten Finger zu bewegen und ihn daher neigieren. Daher müssen sie von der Verletzung abgelenkt werden. Weiters zeigte die Literatur- und State-of-the-Art Recherche, dass ein qualitatives Serious Game zu Rehabilitationszwecken dazu führen kann, dass User nicht das Gefühl haben, Rehabilitationsübungen zu absolvieren. Stattdessen wird ein Spiel gespielt, welches Freude und Ehrgeiz in den Vordergrund stellt. Dies soll dazu führen, dass Patientinnen und Patienten von der Angst abgelenkt werden und den verletzten Finger in vollem Ausmaß verwenden.
- Die Range-of-Motion des verletzten Gelenks, stellte sich in der Literaturrecherche, der Umfrage und dem Experteninterview als guter Indikator für den Therapiefortschritt heraus. Daher sollte diese vom Serious Game gemessen werden, um dem Patienten bzw. der Patientin etwas Greifbares zu liefern, das seinen Fortschritt widerspiegelt.
- Der Rehabilitationsprozess nach einer Fingerverletzung kann lange dauern und monoton sein, was die Adhärenz der Patientin bzw. des Patienten verringern kann. Dies wurde sowohl in der Theorie als auch in der Praxis angemerkt. Daher ist es wichtig, dass das Serious Game möglichst abwechslungsreich ist. Es sollten mehrere Spielszenarios vorhanden sein, damit das Spiel nicht über die Zeit monoton und langweilig wird.
- Während des Experteninterviews stellte sich ein weiterer Aspekt, der sich im Hirn der Patientin bzw. des Patienten abspielt, heraus. Es wurde die Wichtigkeit des Zusammenspiels zwischen Hirn und Hand während des Rehabilitationsprozesses betont. Die Patientin bzw. der Patient muss die Übungen bewusst durchführen, um den Finger wieder im Körperschema des Hirns zu integrieren. Dies betont nochmals die Wichtigkeit der Spielanleitung. Weiters sollte die Hand des Users im Spiel dargestellt werden, um das Bewusstsein zu fördern. Außerdem sollten Übungen vorhanden sein, welche die Koordination des Users fordern.

5.2 Forschungsfrage 2 (FF2)

"Wie bewerten die Benutzer die Usability und User Experience des Prototyps basierend auf standardisierten Fragebögen?"

Das entwickelte Serious Game wurde in Hinblick auf die Usability getestet. Hierzu wurden 7 computeraffine Personen gebeten, die unterschiedlichen Spiele mit allen Steuerungsmöglichkeiten zu spielen. Die System Usability Scale (SUS) und der User Experience

Questionnaire (UEQ) wurde eingesetzt, um Aussagen über die Usability treffen zu können. Die Probanden wurden nach den Tests gebeten, diese Fragebögen auszufüllen.

Der SUS-Score der einzelnen Testteilnehmer wurde berechnet und ein Mittelwert bestimmt. Dieser beträgt 84,64. Somit befindet sich die Usability im "acceptable"-Bereich. Der Wert liegt genau an der Grenze von 85, ab welchem ein System als exzellent bezeichnet wird. Der SUS-Score zeigt also, dass das entwickelte Spiel benutzerfreundlich ist.

Für den UEQ wurde ebenfalls ein Mittelwert der Ergebnisse der Teilnehmer berechnet. Der UEQ kann mehr Einblick in unterschiedliche Aspekte der User-Experience geben. Die Dimensionen Attraktivität (2,6), Durchschaubarkeit (2,07), Stimulation (2,36) und Originalität (2,29) liegen alle über 2 und haben somit eine sehr gute Bewertung bekommen. Die Effizienz (1,35) und die Steuerbarkeit (1,61) wurden hingegen etwas niedriger bewertet, befinden sich aber trotzdem in einem guten Bereich. Dieses Ergebnis zeugt davon, dass die Effizienz und die Steuerbarkeit des Serious Games noch Luft nach oben hat.

5.3 Prototyp

In dieser Arbeit wurde ein Prototyp eines Serious Games zu Fingerrehabilitation namens "RehArcade" entwickelt. Es wurde versucht die definierten Anforderungen bestmöglich umzusetzen. Es wurden unterschiedliche Rehabilitationsübungen als Steuerungsmöglichkeit der Spiele umgesetzt, um Anforderung R01 zu erfüllen. Diese basieren auf Range-of-Motion Übungen aller Finger als auch der Oppositionsübung des Daumens. Speziell die Oppositionsübung konnte auf unterschiedliche Arten eingebaut werden. So kann zum einen nur ein Antippen der anderen Finger und zum anderen das Halten der Berührung gefragt sein. Weiters wird diese Übung im Rhythmusspiel als koordinative Übung eingesetzt um Anforderung R02 zu erfüllen. Hier werden Bewegungsabläufe der Oppositionsübung eingesetzt, welche in der Physiotherapie Anwendung finden. Diese müssen im Rhythmus des Lieds durchgeführt werden.

Um das Spiel individuell an die Verletzung des Users anzupassen, kann dieser zu Beginn sowohl den betroffenen Finger als auch das betroffene Gelenk auswählen. Hiermit wird Anforderung R03 erfüllt. Anschließend wird die aktuelle Range-of-Motion des Users gemessen, damit auch Spieler ohne eine volle Range-of-Motion das Spielobjekt in Völle bewegen können. Weiters ist in den Spielen ein anpassbarer Schwierigkeitsgrad vorhanden (R04). Dies fehlt aktuell beim Rhythmusspiel noch, soll aber in Zukunft durch unterschiedliche Lieder umgesetzt werden. Nach Abschluss eines Spiels wird der erreichte Punktestand und im Falle der Range-of-Motion Steuerung, die maximale Range-of-Motion angezeigt. Dies basiert auf Anforderung R05, erfüllt diese aber nur bedingt, da diese Werte aktuell noch nicht abgespeichert werden und daher der Fortschritt nicht richtig verfolgt werden kann. Wie bereits erwähnt wurden 3 unterschiedliche Spielszenarien umgesetzt (R06). In diesen wird jeweils ein Modell der Hand des Users angezeigt, um das Bewusstsein über die Bewegungen der Spieler zu stärken (R07). Basierend auf Anforderung R08 wird vor jedem Spiel eine Anleitung angezeigt. Grundsätzlich helfen Serious Games den Usern weniger an ihre Verletzung zu denken.

Allerdings konnte in dieser Arbeit nicht evaluiert werden, ob Anforderung R09 richtig umgesetzt wurde. Hierzu müssten Tests mit Personen, die aktuell eine Fingerverletzung haben durchgeführt, werden. Ähnlich ist es bei Anforderung R10. Die Genauigkeit der Winkelmessung des Leap Motion Controller wurde in dieser Arbeit nicht überprüft. Außerdem waren speziell bei schlechteren Lichtverhältnisse Probleme erkennbar. Die Winkel als auch die Berührungen der Oppositionsübung wurden nicht mehr immer richtig erkannt. Ein Vorteil des Leap Motion ist aber die Erfüllung des einfachen Setups welches in Anforderung R11 gefragt ist. Er kann einfach per USB an einen Computer angeschlossen und auf dem Tisch platziert werden. Weiters ist er einer der günstigeren Sensoren und sollte somit auch R12 zu einem zufriedenstellenden Ausmaß erfüllen.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

KAPITEL 6

Zukünftige Arbeit

Die Ergebnisse dieser Diplomarbeit zeigen das Potenzial von Serious Games im Bereich der Rehabilitation von Fingerverletzungen im Sport. Der entwickelte Prototyp wurde mit 7 Personen hinsichtlich der Usability getestet. Das Resultat fiel sehr positiv aus. Allerdings konnten verbesserungswürdige Bereiche und Mängel des Spiels identifiziert werden. Im User Experience Questionnaire erhielten die Dimensionen Effizienz und Steuerbarkeit zwar eine gute Bewertung, allerdings wurden sie am schlechtesten bewertet. Dies zeugt davon, dass hier Raum zur Verbesserung ist. Speziell im Bereich der Einstellungen und den Spielerklärungen kann hier angesetzt werden. Es sollten in Zukunft Quality of Life Verbesserungen vorgenommen werden. Zum Beispiel könnte man die Spielerklärung optional machen. Somit wäre es für User, die bereits mit dem Spiel vertraut sind, möglich, diese zu überspringen. Im Gespräch mit den Testpersonen stellte sich auch heraus, dass eine Anzeige der auswählbaren Gelenke von Vorteil wäre. Somit wäre es für den User klar, welches Gelenk sich an welcher Stelle befindet. Auch die Spielmodi können noch erweitert werden. Es sollten die bestehenden verfeinert und eventuell neue erstellt werden. Zum Ballspiel meinte einer der User, dass auch bei der Oppositionsübung Bälle von der Seite erscheinen sollen. Und das Rhythmuspiel kann durch weitere Songs ausgebaut werden, die unterschiedliche Schwierigkeitsstufen haben. Das Kletterspiel benötigt in der Range-of-Motion Steuerung zurzeit nicht die volle Range-of-Motion des Patienten bzw. der Patientin, um die gesamte Punktzahl zu erreichen. Dies sollte auch in Zukunft adressiert werden. Ein Punkt, der sowohl von den Usern als auch dem Physiotherapeuten angesprochen wurde, ist die Aufzeichnung der Erfolge. Es sollten Highscores gespeichert und der Fortschritt des Users angezeigt werden können. Dies kann mit einem Spielprofil in Zukunft umgesetzt werden. Speziell die Entwicklung der Range-of-Motion wäre sowohl für die Patientin bzw. den Patienten als auch die therapierende Person von Interesse. Das Spiel kann zurzeit nur in einer bestimmten Phase der Rehabilitation eingesetzt werden. Zum einen muss der User für die Oppositionsübung bereits alle Finger mit dem Daumen berühren können. Zum anderen können keine Übungen gegen Widerstände durchgeführt

werden. Das Spiel könnte also in Zukunft so erweitert werden, dass User kalibrieren können, welche Finger sie mit ihrem Daumen schon berühren können. Die Spiele müssten sich in diesem Fall dementsprechend an die Situation anpassen. Um Übungen gegen einen Widerstand mit den Fingern durchzuführen, reicht es bereits einen Ball oder Knete in die Hand zu nehmen und zusammenzudrücken. Grundsätzlich könnte man in diesem Fall trotzdem die Winkel der Gelenke messen und somit die Range-of-Motion Steuerung verwenden. Allerdings wurde dies mit dem Leap Motion Controller versucht und die Winkel waren sehr ungenau. Eventuell würde hier der Leap Motion Controller 2 Abhilfe schaffen. Es muss aber beachtet werden, dass die Kosten der Anschaffung höher sind. Das System wurde zwar nicht mit der neueren Version des Controllers getestet, sollte aber damit auch funktionieren. Weiters können auch Verbesserungen gemacht werden, die die Motivation der User verbessert. Dies könnte durch Achievements erreicht werden. Beispielsweise wäre es möglich, dass kosmetische Änderungen wie z.B. Kleidung für den Kletterer freigeschaltet wird, wenn die Übungen jeden Tag in einer Woche durchgeführt werden. Durch die Möglichkeit den eigenen Lieblingssong im Rhythmusspiel einzusetzen könnte ebenfalls die Motivation erhöht werden. Neben den User Tests, die durchgeführt wurden, sollten weitere Praxistests gemacht werden. Das System wurde bis jetzt noch nicht von einer Person getestet, die eine Physiotherapie eines Fingers durchführt. Weiters sollten Langzeittests über mehrere Wochen gemacht werden, um mehr Einblick in die Praxistauglichkeit des Systems zu erlangen.

Es ist erkennbar, dass eine Großzahl an Möglichkeiten zur Verbesserung des Systems vorhanden ist. Dies unterstreicht nochmals mehr das Potenzial des Prototyps und eines Serious Games zur Rehabilitation nach Fingerverletzungen im Sport.

Abbildungsverzeichnis

1.1	Methodischer Ablauf der Arbeit	5
2.1	Palmare Ansicht der Hand mit Beugesehnen und Ringbänder [16]	8
2.2	Palmare Platte und ein Kollateralband des PIP-Gelenks sowie die A2-,C1 und A3 Bänder [18]	9
2.3	Dorsale Ansicht der Hand mit Strecksehnen [19]	9
2.4	Mallet Finger [17]	11
2.5	Jersey Finger [33]	12
2.6	Ringbandeinriss während dem Klettern [35]	13
2.7	Bogensehneneffekt [36]	13
2.8	Ruptur der palmaren Platte mit einem kleinen Knochenfragment. a Die distalen, lateralen Ansätze sind intakt, und das PIP-Gelenk ist bei der Dehnung in Hyperextension stabil (KL Kollateralligament, FDS M. flexor digitorum superficialis). b Die Ruptur liegt zwischen den Kollateralbändern. Das Gelenk ist beim Dehnungstest in Hyperextension instabil, die Seitenstabilität ist dennoch gewährleistet (AKL akzessorisches Kollateralband, VP volare Platte (palmare Platte), KL Kollateralband) [18].	14
2.9	Boutonnière-Deformität durch die Verletzung des Mittelzügels der Strecksehne hervorgerufen [17].	15
2.10	Vollständiger Riss des ulnaren Kollateralbandes (UCL) [37].	16
2.11	Entscheidungsbasiertes Return-to-Practice Model von Creighton et al. [45]	20
2.12	Anwendungskontext von Serious Games [75]	26
2.13	Flow Theorie [77]	27
2.14	Wichtige Eigenschaften von Exergames nach Wiemeyer [91]	29
2.15	Non-functional Requirements [100]	31
2.16	Phasen des Requirements Engineering Prozesses. Entwurf basierend auf der Arbeit von Paetsch et al. [94]	32
2.17	Deutsche Übersetzung des System Usability Scale nach Gao et al. [124]	38
2.18	Bewertung des SUS Score nach Bangor et al. [125]	39
2.19	User Experience Questionnaire [122]	40
2.20	Leap Motion Controller [129]	42
2.21	Dynamometer zur Messung der individuellen Fingerkraft [136]	43
2.22	HandLog [137]	43
		109

3.1	StableHand VR. Bewegungsablauf um mit den Wolken zu interagieren: a) Handfläche nach oben um zu starten b) Kneifen c) Hand öffnen um die Interaktion abzuschließen [142]	46
3.2	StableHand VR. Bewegungsablauf Gemüse zu ernten a) vor dem Aufnehmen des Gemüse b) mit einem Finger kneifen um zu greifen c) aufhören zu Kneifen um loszulassen [142]	46
3.3	Sammeln von Objekten in Alnajjars Exergame [143]	47
3.4	Sortieren von Objekten in Alnajjars Exergame [143]	47
3.5	VR Serious Games von Alexandre et al. [140]	48
3.6	Das Spiel 2048 zur Handrehabilitation mit Gestensteuerung [144]	49
3.7	Rhythmusspiel von Shin et al. [136]	49
3.8	Spielmodi des Serious Games von Elnaggar und Reichardt [145]	50
3.9	Serious Game von Bortone et al. [146]	51
4.1	Boxplot des Alters der Teilnehmer der Umfrage. Minimum = 16; Unteres Quartil = 25, Median = 28; Oberes Quartil = 34; Maximum = 65	55
4.2	Fingerverletzungsrisiko der unterschiedlichen Sportarten. Skala von 1, kein Risiko, bis 7, hohes Risiko	56
4.3	Auswirkungen einer Fingerverletzungen auf die Ausübung der unterschiedlichen Sportarten. Skala von 1, keine Auswirkung, bis 7, hohe Auswirkung	57
4.4	Betroffene Finger der Fingerverletzungen	57
4.5	Boxplot der maximalen Dauer während der die Athleten ihren Sport nicht betreiben konnten	59
4.6	Boxplots der Dauer der Immobilisierung, Übungen ohne Widerstand, und Belastungsunfähigkeit	60
4.7	Antworten auf unterschiedliche Fragen zur Verwendung von Serious Games in der Prävention und Rehabilitation von Fingerverletzungen	61
4.8	Wichtigkeitsverteilung der Features laut den Umfrageteilnehmern	63
4.9	Hauptmenü des ersten Prototyps	73
4.10	Opposition des Daumens; Der Daumen wird anschließend zu den Spitzen der anderen Fingern geführt [149].	74
4.11	Mockup eines Spiels, das von Flappy Birds inspiriert ist. Die Spielfigur (Finger) könnte durch Streckung (oben) und Beugung (unten) des verletzten Fingers gesteuert werden.	77
4.12	Mockup eines Endless Runner Spiels, mit einem Kletterer als Spielfigur	77
4.13	Skizze der Spielfigur des Kletterspiels	78
4.14	Erster Prototyp des Kletterspiels	79
4.15	Mockup des Basketballspiels	79
4.16	Modelle des Basketballkorbs und Balls	80
4.17	Basketballkorb mit zylindrischen Collidern (grün) am linken und rechten Rand des Rings	81
4.18	Prototyp des Basketballspiels	81
4.19	Mockup des Rhythmusspiels	82

4.20 Prototyp des Rhythmusspiels	84
4.21 Fingereinstellungen	87
4.22 Fenster zur Kalibrierung des minimalen und maximalen Winkels der verletzten Gelenks	88
4.23 Spieleinstellungsfenster	89
4.24 Übung abgeschlossen Bildschirm	90
4.25 Kletterspiel des finalen Prototypen	91
4.26 Basketballspiel des finalen Prototypen	92
4.27 Rhythmusspiel des finalen Prototypen	93
4.28 Hauptmenü des finalen Prototypen	93
4.29 Range-of-Motion und Oppositionsübungen [158]	94
4.30 Angepasste System Usability Scale	97
4.31 Diagramm des Mittelwerts und der Varianz der einzelnen Dimensionen des UEQ	98



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabellenverzeichnis

2.1	Wiennese Flexor Tendon Rehabilitation Protocol[43]	18
3.1	Zusammenfassung der Systeme die in der State-of-the-Art Analyse untersucht wurden und Vergleich zum System das in dieser Diplomarbeit präsentiert wird ("RehArcade")	52
4.1	Übersicht über die Teilnehmer der Umfrage und die Sportarten die Sie regelmäßig ausüben. Die Teilnehmer konnten mehrere Sportarten auswählen. .	55
4.2	Zusammenfassung der Anforderungen an das Serious Game (Quellen: 1 - Literaturrecherche, 2 - Zielgruppenbefragung, 3 - Experteninterview) . . .	71
4.3	Spezifikationen des Laptops, auf dem entwickelt und getestet wurde. . . .	72
4.4	Zusammenfassung Spielkonzepte und Steuerung - erster Prototyp	84
4.5	Finger Climber - Zusammenfassung Spielkonzepte und Steuerung - finaler Prototyp	95
4.6	Finger Baller - Zusammenfassung Spielkonzepte und Steuerung - finaler Prototyp	95
4.7	SUS Ergebnisse	98



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Literaturverzeichnis

- [1] G. Chick, *Acute and Chronic Finger Injuries in Ball Sports*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [2] M. Majewski, “Epidemiologie der sportunfälle,” *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, vol. 58, no. 2, pp. 38–42, 2010.
- [3] K. Pieber, L. Angelmaier, R. Csapo, and M. Herceg, “Acute injuries and overuse syndromes in sport climbing and bouldering in austria: a descriptive epidemiological study,” *Wiener klinische Wochenschrift*, vol. 124, no. 11, pp. 357–362, 2012.
- [4] V. Schöffl, I. Schöffl, L. Frank, T. Küpper, M. Simon, and C. Lutter, “Tendon injuries in the hands in rock climbers: Epidemiology, anatomy, biomechanics and treatment-an update.,” *Muscles, Ligaments & Tendons Journal (MLTJ)*, vol. 10, no. 2, 2020.
- [5] D. Tolks and M. Fischer, “Serious games for health—ernstzunehmende didaktische konzepte in der medizinischen ausbildung? serious games for health—serious didactic concepts for medical education?,” 2013.
- [6] L. Michaud and J. Alvarez, “Serious games,” *Advergaming, edugaming, training... IDATE Consulting & Research*, 2008.
- [7] I. Doumas, G. Everard, S. Dehem, and T. Lejeune, “Serious games for upper limb rehabilitation after stroke: a meta-analysis,” *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, vol. 18, pp. 1–16, 2021.
- [8] S. Baltès and P. Ralph, “Sampling in software engineering research: A critical review and guidelines,” *Empirical Software Engineering*, vol. 27, no. 4, p. 94, 2022.
- [9] W. G. Cochran, *Sampling techniques*. John Wiley & Sons, 1977.
- [10] P. Mayring and T. Fenzl, *Qualitative inhaltsanalyse*. Springer, 2019.
- [11] T. Wilde and T. Hess, “Methodenspektrum der wirtschaftsinformatik: Überblick und portfoliobildung,” tech. rep., Arbeitsbericht, 2006.

- [12] J. Nielsen, “Why you only need to test with 5 users.” <https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/> [Accessed: (20.05.2024)].
- [13] B. Laugwitz, T. Held, and M. Schrepp, “Construction and evaluation of a user experience questionnaire,” in *HCI and Usability for Education and Work: 4th Symposium of the Workgroup Human-Computer Interaction and Usability Engineering of the Austrian Computer Society, USAB 2008, Graz, Austria, November 20-21, 2008. Proceedings 4*, pp. 63–76, Springer, 2008.
- [14] N. Hesse, P. Reidler, and R. Schmitt, “Sportverletzungen des daumens und der finger,” *Die Radiologie*, vol. 63, no. 4, pp. 284–292, 2023.
- [15] D. Gojowy, H.-H. Homann, and D. Schreier, “Flexor tendon injuries of the hand,” *Der Chirurg*, vol. 91, pp. 895–902, 2020.
- [16] “Schnellender finger / daumen - beugesehnnenscheidenenge (chronische a1-ringbandenge).” <https://www.alb-fils-kliniken.de/orthopaedisch-unfallchirurgisches-zentrum/schwerpunkte-und-krankheitsbilder/erkrankungen-und-verletzungen-der-hand-und-des-fusses-verbrennungen/der-schnellende-finger/> [Accessed: (12.09.2023)].
- [17] J. C. Leggit and C. J. Meko, “Acute finger injuries: part i. tendons and ligaments,” *American family physician*, vol. 73, no. 5, pp. 810–816, 2006.
- [18] S. Breier, A. P. Diday-Nolle, I. Saur, and A. R. Eigenheer, *Handrehabilitation: Für Ergotherapeuten und Physiotherapeuten Band 2: Verletzungen*. Springer-Verlag, 2013.
- [19] “Extensor tendon injuries.” <https://fifevirtualhandclinic.co.uk/extensor-tendon-injuries/> [Accessed: (28.09.2023)].
- [20] D. Ootes, K. T. Lambers, and D. C. Ring, “The epidemiology of upper extremity injuries presenting to the emergency department in the united states,” *Hand*, vol. 7, no. 1, pp. 18–22, 2012.
- [21] M. Voth, T. Lustenberger, J. Frank, and I. Marzi, “Pediatric finger and hand injuries: an epidemiological study,” *Pädiatrie & Pädologie*, vol. 53, pp. 19–27, 2018.
- [22] T. Bove, G. Rodas, C. Pedret, F. Esparza, and M. Casals, “Analysis of the injuries of a professional basketball team during 22 seasons attended by the same physiotherapist,” *Apunts Sports Medicine*, vol. 54, no. 204, pp. 139–147, 2019.
- [23] K. Greier, “Formen, häufigkeit und präventionsmöglichkeiten von ballspielverletzungen im schulsport. eine 3-jahres-analyse,” *Sport-Orthopädie-Sport-Traumatologie-Sports Orthopaedics and Traumatology*, vol. 28, no. 2, pp. 94–100, 2012.

- [24] T. A. McGuine, E. G. Post, K. M. Biese, S. Kliethermes, D. R. Bell, A. M. Watson, A. Brooks, and P. J. Lang, “Incidence and risk factors for injuries in girls’ high school volleyball: A study of 2072 players,” *Journal of athletic training*, vol. 58, no. 2, pp. 177–184, 2023.
- [25] O. Kilic, M. Maas, E. Verhagen, J. Zwerver, and V. Gouttebauge, “Incidence, aetiology and prevention of musculoskeletal injuries in volleyball: A systematic review of the literature,” *European journal of sport science*, vol. 17, no. 6, pp. 765–793, 2017.
- [26] A. Schweizer and K. Göhner Schweizer, “Sport climbing, bouldering and associated injuries in childhood and adolescence,” *Der Orthopäde*, vol. 48, pp. 998–1004, 2019.
- [27] G. Jones and M. I. Johnson, “A critical review of the incidence and risk factors for finger injuries in rock climbing,” *Current sports medicine reports*, vol. 15, no. 6, pp. 400–409, 2016.
- [28] J. C. Leggit and C. J. Meko, “Acute finger injuries: part ii. fractures, dislocations, and thumb injuries,” *American Family Physician*, vol. 73, no. 5, pp. 827–834, 2006.
- [29] D. M. Avery, C. M. Rodner, and C. M. Edgar, “Sports-related wrist and hand injuries: a review,” *Journal of orthopaedic surgery and research*, vol. 11, pp. 1–15, 2016.
- [30] A. Bachoura, A. J. Ferikes, and J. D. Lubahn, “A review of mallet finger and jersey finger injuries in the athlete,” *Current reviews in musculoskeletal medicine*, vol. 10, pp. 1–9, 2017.
- [31] J. Kovacic and J. Bergfeld, “Return to play issues in upper extremity injuries,” *Clinical Journal of Sport Medicine*, vol. 15, no. 6, pp. 448–452, 2005.
- [32] S. Yarar, J. Rueger, and C. Schlickewei, “Finger injuries in ball sports,” *Der Unfallchirurg*, vol. 118, pp. 496–506, 2015.
- [33] N. J. Crouser, S. R. Niedermeier, and H. M. Awan, “Jersey finger,” 2019. <https://musculoskeletalkey.com/jersey-finger/> [Accessed: (29.09.2023)].
- [34] V. Schöffl, M. Simon, and C. Lutter, “Finger and shoulder injuries in rock climbing,” *Der Orthopäde*, vol. 48, pp. 1005–1012, 2019.
- [35] “The dreaded finger pulley injury,” 2021. <https://gripped.com/indoor-climbing/the-dreaded-finger-pulley-injury/> [Accessed: (29.09.2023)].
- [36] K. Stock, M. Gabl, and R. Arora, *Sekundäre Rekonstruktion des digitalen A2-Ringbands*, pp. 169–175. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2020.

- [37] “Skiers thumb.” <https://richardsgilbertmd.com/hand/skiers-thumb/> [Accessed: (02.10.2023)].
- [38] A. R. Eigenheer, A. P. Diday-Nolle, D. U. S. Wintsch, and S. Breier, *Handrehabilitation: Für Ergotherapeuten und Physiotherapeuten, Band 1: Grundlagen, Erkrankungen*. Springer-Verlag, 2014.
- [39] R. Arora, M. Lutz, D. Fritz, R. Zimmermann, M. Gabl, and S. Pechlaner, “Dorso-lateral dislocation of the proximal interphalangeal joint: closed reduction and early active motion or static splinting; a retrospective study,” *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, vol. 124, pp. 486–488, 2004.
- [40] R. L. Neiduski and R. K. Powell, “Flexor tendon rehabilitation in the 21st century: A systematic review,” *Journal of Hand Therapy*, vol. 32, no. 2, pp. 165–174, 2019.
- [41] H. M. Starr, M. Snoddy, K. E. Hammond, and J. G. Seiler III, “Flexor tendon repair rehabilitation protocols: a systematic review,” *The Journal of hand surgery*, vol. 38, no. 9, pp. 1712–1717, 2013.
- [42] S. Quadlbauer, C. Pezzei, J. Jurkowitsch, P. Reb, T. Beer, and M. Leixnering, “Early passive movement in flexor tendon injuries of the hand,” *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, vol. 136, pp. 285–293, 2016.
- [43] M. Leixnering and W. Hintringer, “Current treatments for primary injuries of the flexor and extensor tendons,” *European Surgery*, vol. 35, no. 3, pp. 143–147, 2003.
- [44] I. Grubišić, H. Skala Kavanagh, and S. Grazio, “Novel approaches in hand rehabilitation,” *Periodicum biologorum*, vol. 117, no. 1, pp. 139–145, 2015.
- [45] D. W. Creighton, I. Shrier, R. Shultz, W. H. Meeuwisse, and G. O. Matheson, “Return-to-play in sport: a decision-based model,” *Clinical Journal of Sport Medicine*, vol. 20, no. 5, pp. 379–385, 2010.
- [46] M. Klingenberg, “Return to sport nach verletzungen der finger,” *Praxis Handreha*, vol. 2, no. 04, pp. 156–159, 2021.
- [47] D. T. Netscher, D. T. Pham, and K. G. Staines, “Finger injuries in ball sports,” *Hand Clinics*, vol. 33, no. 1, pp. 119–139, 2017.
- [48] H. Dhillon, S. Dhillon, and M. S. Dhillon, “Current concepts in sports injury rehabilitation,” *Indian journal of orthopaedics*, vol. 51, no. 5, pp. 529–536, 2017.
- [49] J. Orchard, T. M. Best, and G. M. Verrall, “Return to play following muscle strains,” *Clinical Journal of Sport Medicine*, vol. 15, no. 6, pp. 436–441, 2005.
- [50] M. D. Miller, R. A. Arciero, D. E. Cooper, D. L. Johnson, and T. M. Best, “Doc, when can he go back in the game?,” *Instructional course lectures*, vol. 58, pp. 437–443, 2009.

- [51] J. Bauman, "Returning to play: the mind does matter," *Clinical Journal of Sport Medicine*, vol. 15, no. 6, pp. 432–435, 2005.
- [52] A. M. Tucker, "Ethics and the professional team physician," *Clinics in sports medicine*, vol. 23, no. 2, pp. 227–241, 2004.
- [53] B. Krabak and D. J. Kennedy, "Functional rehabilitation of lumbar spine injuries in the athlete," *Sports medicine and arthroscopy review*, vol. 16, no. 1, pp. 47–54, 2008.
- [54] S. D. Hannah, "Psychosocial issues after a traumatic hand injury: facilitating adjustment," *Journal of hand therapy*, vol. 24, no. 2, pp. 95–103, 2011.
- [55] E. Ladds, N. Redgrave, M. Hotton, and M. Lamymann, "Systematic review: predicting adverse psychological outcomes after hand trauma," *Journal of hand therapy*, vol. 30, no. 4, pp. 407–419, 2017.
- [56] M. Rüegg-Hasler, "Ergotherapie in der handtherapie: psychische folgen traumatischer handverletzungen und behandlungsempfehlungen für die ergotherapie," 2018.
- [57] J. Kvist and K. G. Silbernagel, "Fear of movement and reinjury in sports medicine: relevance for rehabilitation and return to sport," *Physical Therapy*, vol. 102, no. 2, p. pzab272, 2022.
- [58] A. Ivarsson, U. Johnson, M. B. Andersen, U. Tranaeus, A. Stenling, and M. Lindwall, "Psychosocial factors and sport injuries: meta-analyses for prediction and prevention," *Sports medicine*, vol. 47, pp. 353–365, 2017.
- [59] F. Antwerpes, P. Jansen, F. Walter, D. Haas, and H. Mey, "Adhärenz." <https://flexikon.doccheck.com/de/Adh%C3%A4renz> [Accessed: (03.10.2023)].
- [60] Y. H. Roh, B. K. Lee, M. H. Park, J. H. Noh, H. S. Gong, and G. H. Baek, "Effects of health literacy on treatment outcome and satisfaction in patients with mallet finger injury," *Journal of Hand Therapy*, vol. 29, no. 4, pp. 459–464, 2016.
- [61] E. Pocecco, G. Ruedl, N. Stankovic, S. Sterkowicz, F. B. Del Vecchio, C. Gutiérrez-García, R. Rousseau, M. Wolf, M. Kopp, B. Miarka, *et al.*, "Injuries in judo: a systematic literature review including suggestions for prevention," *British journal of sports medicine*, vol. 47, no. 18, pp. 1139–1143, 2013.
- [62] L. Evans and L. Hardy, "Injury rehabilitation: a goal-setting intervention study," *Research quarterly for exercise and sport*, vol. 73, no. 3, pp. 310–319, 2002.
- [63] L. Blendl, *Welche Faktoren beeinflussen die Adhärenz zu ambulanten Herzsportgruppen?* PhD thesis, Universitäts- und Landesbibliothek Bonn, 2023.
- [64] C. Valle and M. Schmitt-Sody, "Digitalisierung in der rehabilitation," *Die Orthopädie*, pp. 1–6, 2023.

- [65] M. Eriksen, “What is digital rehabilitation?.” <https://www.jamk.fi/en/project/aire-platform/what-is-digital-rehabilitation> [Accessed: (09.10.2023)].
- [66] T. Meisen and H. Vieritz, “Rehabilitation 4.0: Chancen und herausforderungen der digitalen transformation in den rehabilitationswissenschaften,” *Digitale Transformation von Dienstleistungen im Gesundheitswesen V: Impulse für die Rehabilitation*, pp. 3–21, 2019.
- [67] C. C. Abt, *Serious games*. University press of America, 1987.
- [68] F. Laamarti, M. Eid, and A. E. Saddik, “An overview of serious games,” *International Journal of Computer Games Technology*, vol. 2014, pp. 11–11, 2014.
- [69] T. Susi, M. Johannesson, and P. Backlund, “Serious games: An overview,” 2007.
- [70] D. Djaouti, J. Alvarez, J.-P. Jessel, and O. Rampnoux, “Origins of serious games,” *Serious games and edutainment applications*, pp. 25–43, 2011.
- [71] “Serious game market outlook (2023 to 2033).” <https://www.futuremarketinsights.com/reports/serious-game-market> [Accessed: (09.10.2023)].
- [72] B. Sawyer and P. Smith, “Serious games taxonomy,” in *Slides from the serious games summit at the game developers conference*, vol. 5, San Francisco, USA, 2008.
- [73] D. R. Michael and S. L. Chen, *Serious games: Games that educate, train, and inform*. Muska & Lipman/Premier-Trade, 2005.
- [74] M. Zyda, “From visual simulation to virtual reality to games,” *Computer*, vol. 38, no. 9, pp. 25–32, 2005.
- [75] A. Bates, “Serious games and gamification.” <https://pressbooks.bccampus.ca/teachinginadigitalagev3m/chapter/8-7-emerging-technologies/> [Accessed: (07.09.2023)].
- [76] M. Csikszentmihalyi, *Das flow-Erlebnis: jenseits von Angst und Langeweile: im Tun aufgehen*. Klett-Cotta, 1987.
- [77] “Flow-erleben: Theorie von csikszentmihalyi.” <https://wpgs.de/fachtexte/flow-erleben/> [Accessed: (11.09.2023)].
- [78] E. M. Gregory, “Understanding video gaming’s engagement,” *Media Psychology Review* 1, 2008.
- [79] D. Tolks, C. Lampert, K. Dadaczynski, E. Maslon, P. Paulus, and M. Sailer, “Spielerische ansätze in prävention und gesundheitsförderung: Serious games und gamification,” *Bundesgesundheitsblatt–Gesundheitsforschung–Gesundheitsschutz*, vol. 63, no. 6, pp. 698–707, 2020.

- [80] D. Ralf, S. Göbel, W. Effelsberg, and J. Wiemers, “Serious games: Foundations, concepts and practice,” 2016.
- [81] “Medizinische rehabilitation.” <https://www.gesundheit.gv.at/gesundheitsleistungen/kur-reha/medizinische-rehabilitation.html> [Accessed: (12.09.2023)].
- [82] C. Gutenbrunner, J.-J. Glaesener, and C. Gutenbrunner, “Grundlagen der rehabilitation,” *Rehabilitation, Physikalische Medizin und Naturheilverfahren*, pp. 113–134, 2007.
- [83] J. Wiemeyer, “Gesundheit auf dem spiel?—serious games in prävention und rehabilitation,” *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, vol. 61, no. 11, pp. 252–257, 2010.
- [84] 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)*, pp. 1–7, IEEE, 2013.
- [85] Y. Caliskan, R. Entezari, M. Eßer, U. Ezold, D. Gelfart, H. Mariami, and L. Beutelspacher, “Spielend heilen: Ein systematisches review zum einsatz von gamification in therapie und rehabilitation,” *Information-Wissenschaft & Praxis*, vol. 69, no. 1, pp. 47–54, 2018.
- [86] J. Wiemeyer, “Spielerische förderung körperlicher aktivität von älteren,” *Präv Gesundheitsf*, vol. 13, no. 4, pp. 285–291, 2018.
- [87] P. Elena, S. Demetris, M. Christina, and P. Marios, “Differences between exergaming rehabilitation and conventional physiotherapy on quality of life in parkinson’s disease: a systematic review and meta-analysis,” *Frontiers in Neurology*, vol. 12, p. 683385, 2021.
- [88] Y. Z. Yazgan, E. Tarakci, D. Tarakci, A. R. Ozdinciler, and M. Kurtuncu, “Comparison of the effects of two different exergaming systems on balance, functionality, fatigue, and quality of life in people with multiple sclerosis: A randomized controlled trial,” *Multiple sclerosis and related disorders*, vol. 39, p. 101902, 2020.
- [89] M. Ma and H. Zheng, “Virtual reality and serious games in healthcare,” *Advanced computational intelligence paradigms in healthcare 6. Virtual reality in psychotherapy, rehabilitation, and assessment*, pp. 169–192, 2011.
- [90] J. Wiemeyer, *Serious Games für die Gesundheit*. Springer, 2016.
- [91] F. Trauzettel, “Evaluation präventiver und gesundheitsförderlicher aspekte von serious games im alter,” 2021.

- [92] F. P. Brooks Jr, *The mythical man-month: essays on software engineering*. Pearson Education, 1995.
- [93] A. Herrmann, *GRUNDLAGEN DER ANFORDERUNGSANALYSE: standardkonformes requirements engineering*. Springer, 2022.
- [94] F. Paetsch, A. Eberlein, and F. Maurer, “Requirements engineering and agile software development,” in *WET ICE 2003. Proceedings. Twelfth IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises, 2003.*, pp. 308–313, IEEE, 2003.
- [95] B. H. Cheng and J. M. Atlee, “Research directions in requirements engineering,” *Future of Software Engineering (FOSE’07)*, pp. 285–303, 2007.
- [96] “Ieee standard glossary of software engineering terminology,” *IEEE Std 610.12-1990*, p. 12, 1990.
- [97] M. Broy, E. Geisberger, J. Kazmeier, A. Rudorfer, and K. Beetz, “Ein requirements-engineering-referenzmodell,” *Informatik-Spektrum*, vol. 30, pp. 127–142, 2007.
- [98] L. Chung, B. A. Nixon, E. Yu, and J. Mylopoulos, *Non-functional requirements in software engineering*, vol. 5. Springer Science & Business Media, 2012.
- [99] S. Gupta and M. Wadhwa, “Requirement engineering: An overview,” *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 1, no. 2, pp. 155–160, 2013.
- [100] “What is non-functional requirements.” <https://robincese.blogspot.com/2012/04/what-is-non-functional-requirements.html> [Accessed: (15.01.2024)].
- [101] A. Aldave, J. M. Vara, D. Granada, and E. Marcos, “Leveraging creativity in requirements elicitation within agile software development: A systematic literature review,” *Journal of Systems and Software*, vol. 157, p. 110396, 2019.
- [102] J. O. Grady, *System requirements analysis*. Elsevier, 2010.
- [103] E. W. Duggan and C. S. Thachenkary, “Integrating nominal group technique and joint application development for improved systems requirements determination,” *Information & Management*, vol. 41, no. 4, pp. 399–411, 2004.
- [104] K. E. Wiegers and J. Beatty, *Software requirements*. Pearson Education, 2013.
- [105] M. dos Santos Soares and D. S. Cioquetta, “Analysis of techniques for documenting user requirements,” in *Computational Science and Its Applications–ICCSA 2012: 12th International Conference, Salvador de Bahia, Brazil, June 18-21, 2012, Proceedings, Part IV 12*, pp. 16–28, Springer, 2012.

- [106] H. A. Bilal, M. Ilyas, Q. Tariq, and M. Hummayun, “Requirements validation techniques: An empirical study,” *International Journal of Computer Applications*, vol. 148, no. 14, 2016.
- [107] M. N. A. Khan, M. Khalid, and S. ul Haq, “Review of requirements management issues in software development,” *International Journal of Modern Education and Computer Science*, vol. 5, no. 1, p. 21, 2013.
- [108] M. Richter, M. Flückiger, M. Richter, and M. Flückiger, *User-centred engineering*. Springer, 2014.
- [109] R. Edwards and J. Holland, *What is qualitative interviewing?* Bloomsbury Academic, 2013.
- [110] M. A. Grant, L. N. Rohr, and J. T. Grant, “How informants answer questions? implications for reflexivity,” *Field Methods*, vol. 24, no. 2, pp. 230–246, 2012.
- [111] H. L. Stuckey, “Three types of interviews: Qualitative research methods in social health,” *Journal of Social Health and Diabetes*, vol. 1, no. 02, pp. 056–059, 2013.
- [112] L. E. Wood, “Semi-structured interviewing for user-centered design,” *interactions*, vol. 4, no. 2, pp. 48–61, 1997.
- [113] D. Krüger, I. Parchmann, and H. Schecker, *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Springer, 2014.
- [114] M. Käpyaho and M. Kauppinen, “Agile requirements engineering with prototyping: A case study,” in *2015 IEEE 23rd International requirements engineering conference (RE)*, pp. 334–343, IEEE, 2015.
- [115] N. Bevana, J. Kirakowskib, and J. Maissela, “What is usability,” in *Proceedings of the 4th International Conference on HCI*, pp. 1–6, 1991.
- [116] M. Speicher, “What is usability? a characterization based on iso 9241-11 and iso/iec 25010,” *arXiv preprint arXiv:1502.06792*, 2015.
- [117] J. Nielsen, *Usability engineering*. Morgan Kaufmann, 1994.
- [118] “Attrakdiff.” <https://attrakdiff.de/> [Accessed: (06.04.2024)].
- [119] J. Brooke, “Sus: a “quick and dirty” usability,” *Usability evaluation in industry*, vol. 189, no. 3, pp. 189–194, 1996.
- [120] “Post-study system usability questionnaire (pssuq).” <https://uiuxtrend.com/pssuq-post-study-system-usability-questionnaire/> [Accessed: (06.04.2024)].

- [121] “Questionnaire for user interface satisfaction.” <https://digital.ahrq.gov/health-it-tools-and-resources/evaluation-resources/workflow-assessment-health-it-toolkit/all-workflow-tools/questionnaire> [Accessed: (06.04.2024)].
- [122] “Ueq user experience questionnaire.” <https://www.ueq-online.org/> [Accessed: (01.02.2024)].
- [123] R. Yanez-Gomez, D. Cascado-Caballero, and J.-L. Sevillano, “Academic methods for usability evaluation of serious games: a systematic review,” *Multimedia Tools and Applications*, vol. 76, pp. 5755–5784, 2017.
- [124] M. Gao, P. Kortum, and F. L. Oswald, “Multi-language toolkit for the system usability scale,” *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 36, no. 20, pp. 1883–1901, 2020.
- [125] A. Bangor, P. Kortum, and J. Miller, “Determining what individual sus scores mean: Adding an adjective rating scale,” *Journal of usability studies*, vol. 4, no. 3, pp. 114–123, 2009.
- [126] J. R. Lewis, “The system usability scale: past, present, and future,” *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 34, no. 7, pp. 577–590, 2018.
- [127] B. Laugwitz, M. Schrepp, and T. Held, “Konstruktion eines fragebogens zur messung der user experience von softwareprodukten,” *Mensch und Computer 2006: Mensch und Computer im Strukturwandel*, pp. 125–134, 2006.
- [128] M. Schrepp, A. Hinderks, and J. Thomaschewski, “Applying the user experience questionnaire (ueq) in different evaluation scenarios,” 2011.
- [129] “Leap motion controller.” <https://www.ultraleap.com/leap-motion-controller-overview/> [Accessed: (09.10.2023)].
- [130] E. Gamboa, A. Serrato, D. Toro, and M. Trujillo, “Advantages and limitations of leap motion for developing physical rehabilitation exergames (pregs),” in *Proceedings of the 5th Workshop on ICTs for Improving Patients Rehabilitation Research Techniques*, pp. 43–46, 2019.
- [131] “Leap motion controller 2.” <https://leap2.ultraleap.com/leap-motion-controller-2/> [Accessed: (09.10.2023)].
- [132] G. Postolache, F. Carry, F. Lourenço, D. Ferreira, R. Oliveira, P. S. Girão, and O. Postolache, “Serious games based on kinect and leap motion controller for upper limbs physical rehabilitation,” *Modern sensing technologies*, pp. 147–177, 2019.
- [133] H. Mousavi Hondori and M. Khademi, “A review on technical and clinical impact of microsoft kinect on physical therapy and rehabilitation,” *Journal of medical engineering*, vol. 2014, 2014.

- [134] R. Proffitt, M. Sevick, C.-Y. Chang, and B. Lange, “User-centered design of a controller-free game for hand rehabilitation,” *Games for health journal*, vol. 4, no. 4, pp. 259–264, 2015.
- [135] M. F. Pereira, C. Prahm, J. Kolbenschlager, E. Oliveira, and N. F. Rodrigues, “A virtual reality serious game for hand rehabilitation therapy,” in *2020 IEEE 8th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, pp. 1–7, IEEE, 2020.
- [136] S.-w. Shin, J. Choi, K.-y. Kwon, and S.-t. Chung, “Development of device and serious game contents for the multi-finger rehabilitation,” *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 9, no. 45, pp. 1–6, 2016.
- [137] T. Beven, T. Hoang, M. Carter, and B. Ploderer, “Handlog: a deformable tangible device for continuous input through finger flexion,” in *Proceedings of the 28th Australian Conference on Computer-Human Interaction*, pp. 595–604, 2016.
- [138] S. Mohamaddan and T. Komeda, “Wire-driven mechanism for finger rehabilitation device,” in *2010 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, pp. 1015–1018, IEEE, 2010.
- [139] Y. Shen, S.-K. Ong, and A. Y. Nee, “Hand rehabilitation based on augmented reality,” in *Proceedings of the 3rd International Convention on Rehabilitation Engineering & Assistive Technology*, pp. 1–4, 2009.
- [140] R. Alexandre, O. Postolache, and P. S. Girão, “Physical rehabilitation based on smart wearable and virtual reality serious game,” in *2019 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, pp. 1–6, IEEE, 2019.
- [141] M. Caeiro-Rodríguez, I. Otero-González, F. A. Mikic-Fonte, and M. Llamas-Nistal, “A systematic review of commercial smart gloves: Current status and applications,” *Sensors*, vol. 21, no. 8, p. 2667, 2021.
- [142] M. I. F. Pereira, “Stablehand vr: a virtual reality serious game for hand rehabilitation,” Master’s thesis, Universität Minho, 2021.
- [143] M. Alnajjar, A. Abutabikh, A. Issa, M. Debeljak, and I. Cikajlo, “Development of 3d exergame for upper limbs rehabilitation using leap motion controller and unity,” in *2020 International Conference on Assistive and Rehabilitation Technologies (iCareTech)*, pp. 24–29, IEEE, 2020.
- [144] A. C. M. Yeng, P. Y. Han, K. W. How, and O. S. Yin, “Hand gesture controlled game for hand rehabilitation,” in *International Conference on Computer, Information Technology and Intelligent Computing (CITIC 2022)*, pp. 205–215, Atlantis Press, 2022.

- [145] A. Elnaggar and D. Reichardt, “Digitizing the hand rehabilitation using serious games methodology with user-centered design approach,” in *2016 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*, pp. 13–22, IEEE, 2016.
- [146] I. Bortone, D. Leonardis, M. Solazzi, C. Procopio, A. Crecchi, L. Bonfiglio, and A. Frisoli, “Integration of serious games and wearable haptic interfaces for neuro rehabilitation of children with movement disorders: A feasibility study,” in *2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, pp. 1094–1099, IEEE, 2017.
- [147] L. C. de Oliveira, L. C. Mendes, R. A. de Lopes, J. A. Carneiro, A. Cardoso, E. A. Júnior, and A. de Oliveira Andrade, “A systematic review of serious games used for rehabilitation of individuals with parkinson’s disease,” *Research on Biomedical Engineering*, pp. 1–17, 2021.
- [148] “Questionstar.” <https://www.questionstar.de/> [Accessed: (06.04.2024)].
- [149] “Opposition (anatomie).” [https://de.wikipedia.org/wiki/Opposition_\(Anatomie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Opposition_(Anatomie)) [Accessed: (01.02.2024)].
- [150] “Flappy bird.” <https://flappybird.io/> [Accessed: (06.04.2024)].
- [151] “Guitar hero.” https://videospiele.fandom.com/wiki/Guitar_Hero [Accessed: (06.04.2024)].
- [152] “Dance dance revolution.” <https://www.ddrgame.com/> [Accessed: (06.04.2024)].
- [153] “Youtube - gamesplusjames.” <https://www.youtube.com/\spacefactor\@m{ }gamesplusjames> [Accessed: (01.02.2024)].
- [154] “Pixabay.” <https://pixabay.com/> [Accessed: (01.02.2024)].
- [155] “Beats per minute online.” <https://www.beatsperminuteonline.com/> [Accessed: (01.02.2024)].
- [156] T. Pavluik, “Beautiful blue mountain landscape silhouette with fog and sunrise and sunset in mountains background.” <https://www.vecteezy.com/vector-art/7162595-beautiful-blue-mountain-landscape-silhouette-with-fog-and-sun> [Accessed: (01.02.2024)].
- [157] I. Kuckir, “Photopea | online photo editor.” <https://www.photopea.com> [Accessed: (01.02.2024)].
- [158] “Active range of motion exercises.” <https://www.drugs.com/cg/active-range-of-motion-exercises.html> [Accessed: (01.02.2024)].

Appendix A - Umfragebogen



Umfrage zum Einsatz von Serious Games zur Fingerrehabilitation

Q1

Diplomarbeit: Analyse, Design und prototypische Entwicklung eines Serious Games für Rehabilitation und Prävention von Verletzungen der Finger

Stefan Meusburger

TU Wien

Dieser Fragebogen ist Teil meiner Diplomarbeit an der Technischen Universität Wien im Studiengang Medizinische Informatik. Die Zielgruppe dieser Umfrage sind Sportlerinnen und Sportler aus unterschiedlichen Sportarten. Es sollen Einblicke in die Auswirkungen von Fingerverletzungen und den motivierenden Aspekt während des Rehabilitationsprozesses gewonnen werden. Zudem wird Ihre persönliche Meinung zur Idee der Verwendung eines Serious Games als zusätzliches Rehabilitations- und Präventionsmittel erfragt.

Ihre Daten werden anonymisiert und nur mit Ihrer Zustimmung verwertet.

Die Bearbeitung des Fragebogens dauert ungefähr 10 Minuten. Danke, dass Sie sich dafür Zeit nehmen.

Q2

Persönliche Informationen

Q3

Name (nicht erforderlich)

Q4

Geschlecht*

- Männlich
- Weiblich
- Divers

Powered by QUESTIONSTAR

1 / 13



Umfrage zum Einsatz von Serious Games zur Fingerrehabilitation

Q5

Alter*

Q6

Welche dieser Sportarten üben Sie regelmäßig aus?

- Basketball
- Volleyball
- Skifahren/Skitouren
- Handball
- Klettern/Bouldern
- : _____

Q7

Fingerverletzungen

Die ersten Fragen betreffen Ihre persönliche Geschichte mit Fingerverletzungen. Sie sollen basierend auf Ihren Erfahrungswerten einen Überblick über die Gefahr und Häufigkeit von Fingerverletzungen in verschiedenen Sportarten geben.

Q8

Wie hoch schätzen Sie die Gefahr einer Fingerverletzung beim Basketball ein?*

	kein Risiko			hohes Risiko			
	1	2	3	4	5	6	7

Anzeigen Whole Question nur, wenn diese Bedingung erfüllt ist:

"Q5 Welche dieser Sportarten üben Sie r..." - "Basketball" ist ausgewählt



Umfrage zum Einsatz von Serious Games zur Fingerrehabilitation

Q9

Wie stark wirkt sich eine Fingerverletzung auf die Ausübung von Basketball aus?*

keine Auswirkung						hohe Auswirkung	
1	2	3	4	5	6	7	

Anzeigen Whole Question nur, wenn diese Bedingung erfüllt ist:

"Q5 Welche dieser Sportarten üben Sie r..." - "Basketball" ist ausgewählt

Q10

Wie hoch schätzen Sie die Gefahr einer Fingerverletzung beim Volleyball ein?*

kein Risiko						hohes Risiko	
1	2	3	4	5	6	7	

Anzeigen Whole Question nur, wenn diese Bedingung erfüllt ist:

"Q5 Welche dieser Sportarten üben Sie r..." - "Volleyball" ist ausgewählt

Q11

Wie stark wirkt sich eine Fingerverletzung auf die Ausübung von Volleyball aus?*

keine Auswirkung						hohe Auswirkung	
1	2	3	4	5	6	7	

Anzeigen Whole Question nur, wenn diese Bedingung erfüllt ist:

"Q5 Welche dieser Sportarten üben Sie r..." - "Volleyball" ist ausgewählt

Q12

Wie hoch schätzen Sie die Gefahr einer Fingerverletzung beim Skifahren/Skitouren ein?*



Umfrage zum Einsatz von Serious Games zur Fingerrehabilitation

	kein Risiko			hohes Risiko			
	1	2	3	4	5	6	7

Anzeigen Whole Question nur, wenn diese Bedingung erfüllt ist:

"Q5 Welche dieser Sportarten üben Sie r..." - "Skifahren/Skitouren" ist ausgewählt

Q13

Wie stark wirkt sich eine Fingerverletzung auf die Ausübung von Skifahren/Skitouren aus?*

	keine Auswirkung			hohe Auswirkung			
	1	2	3	4	5	6	7

Anzeigen Whole Question nur, wenn diese Bedingung erfüllt ist:

"Q5 Welche dieser Sportarten üben Sie r..." - "Skifahren/Skitouren" ist ausgewählt

Q14

Wie hoch schätzen Sie die Gefahr einer Fingerverletzung beim Handball ein?*

	kein Risiko			hohes Risiko			
	1	2	3	4	5	6	7

Anzeigen Whole Question nur, wenn diese Bedingung erfüllt ist:

"Q5 Welche dieser Sportarten üben Sie r..." - "Handball" ist ausgewählt

Q15

Wie stark wirkt sich eine Fingerverletzung auf die Ausübung von Handball aus?*



Umfrage zum Einsatz von Serious Games zur Fingerrehabilitation

keine Auswirkung							hohe Auswirkung	
1	2	3	4	5	6	7		
<input type="text"/>								

Anzeigen Whole Question nur, wenn diese Bedingung erfüllt ist:

"Q5 Welche dieser Sportarten üben Sie r..." - "Handball" ist ausgewählt

Q16

Wie hoch schätzen Sie die Gefahr einer Fingerverletzung beim Klettern/Bouldern ein?*

kein Risiko							hohes Risiko	
1	2	3	4	5	6	7		
<input type="text"/>								

Anzeigen Whole Question nur, wenn diese Bedingung erfüllt ist:

"Q5 Welche dieser Sportarten üben Sie r..." - "Klettern/Bouldern" ist ausgewählt

Q17

Wie stark wirkt sich eine Fingerverletzung auf die Ausübung von Klettern/Bouldern aus?*

keine Auswirkung							hohe Auswirkung	
1	2	3	4	5	6	7		
<input type="text"/>								

Anzeigen Whole Question nur, wenn diese Bedingung erfüllt ist:

"Q5 Welche dieser Sportarten üben Sie r..." - "Klettern/Bouldern" ist ausgewählt

Q18

Wie hoch schätzen Sie die Gefahr einer Fingerverletzung bei der Sportart, die Sie unter "Sonstiges" angegebenen haben, ein?*



Umfrage zum Einsatz von Serious Games zur Fingerrehabilitation

	kein Risiko			hohes Risiko			
	1	2	3	4	5	6	7

Anzeigen Whole Question nur, wenn diese Bedingung erfüllt ist:

"Q5 Welche dieser Sportarten üben Sie r..." - "" ist ausgewählt

Q19

Wie stark wirkt sich eine Fingerverletzung auf die Ausübung der Sportart, die Sie unter "Sonstiges" angegeben haben, aus?*

	keine Auswirkung			hohe Auswirkung			
	1	2	3	4	5	6	7

Anzeigen Whole Question nur, wenn diese Bedingung erfüllt ist:

"Q5 Welche dieser Sportarten üben Sie r..." - "" ist ausgewählt

Q20

Hatten Sie bereits eine Fingerverletzung?*

- Ja
- Nein

Q21

Welche Ihrer Finger waren bisher von Verletzungen betroffen?

- Daumen
- Zeigefinger
- Mittelfinger
- Ringfinger
- kleiner Finger

Anzeigen Whole Question nur, wenn diese Bedingung erfüllt ist:

Powered by QUESTIONSTAR



Umfrage zum Einsatz von Serious Games zur Fingerrehabilitation

"Q1 Hatten Sie bereits eine Fingerverle..." - "Ja" ist ausgewählt

Q22

Beschreiben Sie die Unfallhergänge:

Q23

Beschreiben Sie, wenn möglich, Ihre bisherigen Fingerverletzungen genauer: (Art der Verletzungen, involvierte Gelenke, betroffene anatomische Strukturen wie Sehnen, Bänder, Gelenkkapseln...)

Anzeigen Whole Question nur, wenn diese Bedingung erfüllt ist:

"Q1 Hatten Sie bereits eine Fingerverle..." - "Ja" ist ausgewählt

Q24

Was war die längste Zeitspanne, während der Sie wegen einer Fingerverletzung Ihren Sport nicht ausüben konnten?

Anzeigen Whole Question nur, wenn diese Bedingung erfüllt ist:

"Q1 Hatten Sie bereits eine Fingerverle..." - "Ja" ist ausgewählt

Q25

Haben Sie eine Physiotherapie zur Behandlung Ihrer Fingerverletzung durchgeführt?*

Ja

Powered by QUESTIONSTAR

7 / 13



Umfrage zum Einsatz von Serious Games zur Fingerrehabilitation

Nein

Anzeigen Whole Question nur, wenn diese Bedingung erfüllt ist:

"Q1 Hatten Sie bereits eine Fingerverle..." - "Ja" ist ausgewählt

Q26

Musste ein operativer Eingriff wegen einer Ihrer Fingerverletzungen vorgenommen werden?*

Ja

Nein

Anzeigen Whole Question nur, wenn diese Bedingung erfüllt ist:

"Q1 Hatten Sie bereits eine Fingerverle..." - "Ja" ist ausgewählt

Q27

Rehabilitation nach einer Fingerverletzung

Die nächste Gruppe von Fragen betrifft den Rehabilitationsprozess nach einer Fingerverletzung. Die Dauer der Rehabilitation und die dabei eingesetzten Übungen werden behandelt.

Q28

Wie lange musste Ihr Finger nach dem Unfall immobilisiert werden?

Q29

Wie lange durften nur Übungen ohne Widerstand durchgeführt werden?

Q30

Wie lange konnten Sie Ihren Finger nicht belasten?



Umfrage zum Einsatz von Serious Games zur Fingerrehabilitation

Q31

Welche Übungen wurden in der Rehabilitationsphase durchgeführt?

Q32

Welche Materialien wurden für die Übungen eingesetzt?

Q33

Welche Indikatoren waren ausschlaggebend für einen Fortschritt in der Rehabilitation?

Q34

Mussten Übungen zu Hause durchgeführt werden? Wenn ja, welche und wie oft?



Umfrage zum Einsatz von Serious Games zur Fingerrehabilitation

Q35

Wurden von Ihnen oder dem Therapiepersonal irgendwelche Maßnahmen ergriffen, um die Motivation und Konzentration während den Übungen zu erhöhen? Wenn ja, welche?

Q36

Hatten Sie eine Wiederverletzung wegen zu früher Belastung des verletzten Fingers?*

- Ja
- Nein

Q37

Serious Games

Das Endprodukt dieser Masterarbeit wird eine Videospieleanwendung sein, bei welcher der Benutzer das Spiel durch die Bewegung seiner Finger steuert. Im Speziellen soll die Bewegung des verletzten Fingers als Input herangenommen werden. Die Bewegungen werden durch einen Sensor namens Leap Motion Controller aufgenommen, der an einen PC angeschlossen und auf einem Tisch platziert werden kann. Das Ziel ist es, einfache Übungen nachzubilden und in ein Videospiel zu integrieren. Dies soll die Motivation der Spieler erhöhen, die Übungen durchzuführen, und der Physiotherapeut_in ermöglichen, den Fortschritt der Patient_in zu verfolgen.

Die Fragen in diesem Abschnitt beziehen sich auf Ihre Meinung zur Verwendung eines solchen Videospieles für Rehabilitationszwecke.

Q38

Powered by QUESTIONSTAR

10 / 13



Umfrage zum Einsatz von Serious Games zur Fingerrehabilitation

Denken Sie, dass es möglich wäre, übliche Rehabilitationsübungen der Finger in einem Serious Game nachzubilden?*

- Ja
- Nein
- Weiß nicht

Q39

Wenn ja, welche Übungen?

Anzeigen Whole Question nur, wenn diese Bedingung erfüllt ist:

"Q2 Denken Sie, dass es möglich wäre, ..." - "Ja" ist ausgewählt

Q40

Glauben Sie, dass die Verwendung von Videospiele Ihre Motivation gegenüber den Übungen erhöhen würde?*

- Ja
- Nein
- Weiß nicht

Q41

Wie könnte man Ihrer Meinung nach den Fortschritt der Rehabilitation in solch einem Spiel darstellen?



Umfrage zum Einsatz von Serious Games zur Fingerrehabilitation

Q42

Glauben Sie, dass Videospiele auch für Präventionsübungen von Fingerverletzungen eingesetzt werden können?*

- Ja
- Nein
- Weiß nicht

Q43

Wie wichtig ist Ihnen, dass folgende Features im Videospiel implementiert werden?*

	Unwichtig	Eher unwichtig	Neutral	Wichtig	Sehr wichtig
Verfolgbarer Fortschritt	<input type="radio"/>				
Einstellbarer Schwierigkeitsgrad	<input type="radio"/>				
Nachbildung mehrerer unterschiedlicher Übungen	<input type="radio"/>				
Abwechslungsreiche Spielsituationen (Levels)	<input type="radio"/>				
Spielsituationen passend zu Ihrer Sportart	<input type="radio"/>				
Multiplayer	<input type="radio"/>				
Vertraute Spielkonzepte	<input type="radio"/>				

Q44

Was sind weitere Features, die Sie gerne im Videospiel sehen würden?



Umfrage zum Einsatz von Serious Games zur Fingerrehabilitation

Q45

Würden Sie in Betracht ziehen, die Anwendung zu verwenden, wenn sie fertiggestellt ist?*

- Ja
- Nein

Q46

Haben Sie weitere Anmerkungen oder Kommentare?

Q47

Stimmen Sie zu, dass Ihre Antworten für eine statistische Auswertung zu Bildungszwecken verwendet werden?*

- Ja
- Nein

Appendix B - Interviewleitfaden

Erste Kategorie: Persönliche Verletzungshistorie und Sport

Bei welchen Sportarten sehen Sie die größte Gefahr, dass Fingerverletzungen zugezogen werden?

Was sind häufige Fingerverletzungen, die im Sport zugezogen werden?

Zweite Kategorie: Rehabilitationsprozess (Übungen, Zeit, Psychologie)

Wie lange ist die Rehabilitationszeit nach den genannten Fingerverletzungen?

Wie läuft die Rehabilitation und Physiotherapie nach einer Fingerverletzung üblicherweise ab?

Wie lange muss der Finger immobilisiert werden?

Wie lange dürfen keine Übungen mit Widerstand durchgeführt werden?

Wie lange darf der Finger nicht belastet werden?

Welche Übungen werden in der Fingerrehabilitation eingesetzt?

Welche Materialien werden für die Übungen eingesetzt?

Was sind Indikatoren für den Fortschritt der Fingerrehabilitation?

Müssen Übungen auch oft zu Hause vom Patienten selbst durchgeführt werden?

Welche?

Wie bewerten Sie die Motivation Ihrer Patienten die Übungen durchzuführen?

Wie bewerten Sie die Konzentration Ihrer Patienten bei der Ausführung der Übungen?

Werden Maßnahmen ergriffen, um die Motivation des Patienten zu steigern?

Welche?

Wie oft treten Wiederverletzungen der Finger auf, wegen zu früher Wiederbetätigung einer Sportart?

Dritte Kategorie: Serious Games zur Fingerrehabilitation

Denken Sie, dass es möglich wäre, übliche Rehabilitationsübungen der Finger in einem Serious Game nachzubilden?

Welche Übungen?

Glauben Sie, dass die Verwendung von Videospiele die Motivation der Patienten gegenüber den Übungen steigern kann?

Glauben Sie, dass die Verwendung von Videospiele die Konzentration der Patienten gegenüber den Übungen steigern kann?

Kann eine erhöhte Konzentration den Effekt einer Übung steigern?

Glauben Sie, dass ein Videospiel die Gesamtzeit, die mit den Übungen verbracht wird, erhöhen würde?

Glauben Sie, die Patienten würden mehr Zeit mit den Übungen verbringen, wenn sie zu Hause in Form eines Videospieles durchgeführt werden könnten.

Glauben Sie die Punktestände, die im Spiel erzielt werden, wären ein gutes Feedback für Sie, um den Rehabilitationsfortschritt Ihrer Patienten einzusehen?

Wären die gemessenen Winkel der Gelenke eine besseres Feedback?

Glauben Sie das Videospiel könnte den Gemütszustand des Patienten während der Rehabilitation beeinflussen.

Glauben Sie Videospiele können auch für Präventionsübungen von Fingerverletzungen eingesetzt werden?

Wie wichtig ist Ihnen, dass folgende Features im Videospiel implementiert werden?

- Verfolgbarer Fortschritt
- einstellbarer Schwierigkeitsgrad
- Nachbildung mehrerer Übungen
- abwechslungsreiche Spielsituationen
- Spielsituationen passend zu Ihrer Sportart
- Möglichkeit der Multiplayer-Modalität
- Vertraute Spielkonzepte

Was sind weitere Features, die Sie gerne im Videospiel sehen würden?

Haben Sie weitere Anforderungen an das Videospiel?