

Hochschule der Medien Stuttgart
Fakultät Electronic Media
Bachelorarbeit im Studiengang Audiovisuelle Medien (B.
Eng)

Untersuchung von Feedback und dynamischer Schwierigkeitsanpassung für Schlaganfallpatienten

vorgelegt von Amelie Kassner Matrikel-Nr. 33102
 Elisa Zeller Matrikel-Nr. 33263

Zur Erlangung des akademischen Grades eines Bachelor of Engineering

Stuttgart, den 18.08.2020

Prüfer Amelie Kassner

Erstprüfer: Prof. Dr. Jens-Uwe Hahn

Zweitprüferin: Sandra Metzl, M. Eng.

Prüfer Elisa Zeller

Erstprüfer: Prof. Dipl.-Ing. Uwe Schulz

Zweitprüferin: Sandra Metzl, M. Eng.

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Hiermit versichere ich, Amelie Kassner, ehrenwörtlich, dass ich folgende Teile der Bachelorarbeit mit dem Titel: „Untersuchung von Feedback und dynamischer Schwierigkeitsanpassung für Schlaganfallpatienten“ selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe:

- 2.2.2 Bewegungseinschränkungen nach einem Schlaganfall
- 3.1 Schlaganfalltherapie
 - 3.1.1 Herkömmliche Therapieansätze
 - 3.1.2 Digitale Therapieansätze
- 3.2 Motivation
 - 3.2.2 Flow
- 3.3 Dynamische Schwierigkeitsanpassung
 - 3.3.1 Dynamische oder statische Schwierigkeitsanpassung
 - 3.3.2 Dynamische Schwierigkeitsanpassung in Spielen allgemein
 - 3.3.3 Dynamische Schwierigkeitsanpassung in Rehabilitationsanwendungen
- 4.4 Geplante Schwierigkeitsanpassung
 - 4.5.2 Evaluierungsmethoden für die Schwierigkeitsanpassung
- 5.1 Verwendete Technologie
 - 5.1.1 VR-Brille
 - 5.1.2 Controller
 - 5.1.3 Unreal Engine
 - 5.2.1 Projektaufbau
 - 5.2.4 Implementierung der Schwierigkeitsanpassung
- 6.1.2 Pilotstudie zur Schwierigkeitsanpassung
- 6.2 Durchführung der Nutzertests
- 6.3 Auswertung der Nutzertests
 - 6.3.2 Auswertung der Schwierigkeitsanpassung
- 7.1.2 Bewertung der Schwierigkeitsanpassung
- 7.2 Ausblick
 - 7.2.2 Ausblick bezüglich der Schwierigkeitsanpassung

Folgende Kapitel wurden gemeinsam bearbeitet:

- Kurzfassung
- Abstract
- 1. Einleitung
- 5.2.2 Grundlagen der Anwendung

Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen wurden, sind in jedem Fall unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Die Arbeit ist noch nicht veröffentlicht oder in anderer Form als Prüfungsleistung vorgelegt worden.

Ich habe die Bedeutung der ehrenwörtlichen Versicherung und die prüfungsrechtlichen Folgen (§26 Abs. 2 Bachelor-SPO (6 Semester), § 24 Abs. 2 Bachelor-SPO (7 Semester), § 23 Abs. 2 Master-SPO (3 Semester) bzw. § 19 Abs. 2 Master-SPO (4 Semester und berufsbegleitend) der HdM) einer unrichtigen oder unvollständigen ehrenwörtlichen Versicherung zur Kenntnis genommen.

Hiermit versichere ich, Elisa Zeller, ehrenwörtlich, dass ich folgende Teile der Bachelorarbeit mit dem Titel: „Untersuchung von Feedback und dynamischer Schwierigkeitsanpassung für Schlaganfallpatienten“ selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe:

- 2. Theoretische Grundlagen
- 2.1 Immersive Virtual Reality
- 2.2 Schlaganfall
- 2.2.1 Fallzahlen
- 2.2.3 Visuelle Einschränkungen nach einem Schlaganfall
- 2.3 Einschränkungen bei älteren Menschen
- 2.3.1 Visuelle Einschränkungen
- 3. Stand der Forschung
- 3.2.1 Gamification und Nutzertypen
- 3.4 Visuelles Feedback
- 3.4.1 Visuelles Feedback in Anwendungen für Ältere
- 3.4.2 Visuelles Feedback in Anwendungen zur Rehabilitation
- 4. Konzeption
- 4.1 Anforderungen an die Anwendung
- 4.2 Ablauf der Anwendung
- 4.3 Geplantes Feedback
- 4.5 Evaluierungsmethoden
- 4.5.1 Evaluierungsmethoden für das Feedback
- 5. Umsetzung
- 5.2 Implementierung des Prototyps
- 5.2.3 Implementierung des Feedbacks
- 6. Evaluation
- 6.1 Pilotstudien
- 6.1.1 Pilotstudie zum Feedback
- 6.3.1 Auswertung des Feedbacks
- 7. Fazit
- 7.1 Bewertung der Ergebnisse

- 7.1.1 Bewertung der Ergebnisse des Feedbacks
- 7.2.1 Ausblick bezüglich des Feedbacks

Folgende Kapitel wurden gemeinsam bearbeitet:

- Kurzfassung
- Abstract
- 1. Einleitung
- 5.2.2 Grundlagen der Anwendung

Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen wurden, sind in jedem Fall unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Die Arbeit ist noch nicht veröffentlicht oder in anderer Form als Prüfungsleistung vorgelegt worden.

Ich habe die Bedeutung der ehrenwörtlichen Versicherung und die prüfungsrechtlichen Folgen (§26 Abs. 2 Bachelor-SPO (6 Semester), § 24 Abs. 2 Bachelor-SPO (7 Semester), § 23 Abs. 2 Master-SPO (3 Semester) bzw. § 19 Abs. 2 Master-SPO (4 Semester und berufsbegleitend) der HdM) einer unrichtigen oder unvollständigen ehrenwörtlichen Versicherung zur Kenntnis genommen.

KURZFASSUNG

Schlaganfälle sind einer der häufigsten Gründe für Behinderungen im Erwachsenenalter. Die Motivation der Patienten und die richtige Ausführung von Übungen sind dabei mitentscheidend für den Rehabilitationserfolg.

In dieser Arbeit wird untersucht, wie sich Schwierigkeitsanpassung und Feedback auf den Anwender auswirken. Dabei wird statische Anpassung mit dynamischer Anpassung und abstraktes Feedback mit bildlichem Feedback verglichen. Dies wird prototypisch in einer Anwendung in Virtual Reality umgesetzt.

Ein Nutzertest mit zehn gesunden Teilnehmern wurde durchgeführt und mithilfe von Fragebögen und einer Datenmessung evaluiert.

Es erwies sich, dass im Schnitt die dynamische Schwierigkeitsanpassung besser angenommen wurde. Außerdem hat das bildliche Feedback besser abgeschnitten, als das abstrakte. Für Schlaganfallpatienten kann das Ergebnis allerdings nur bedingt übertragen werden, da mit ihnen aufgrund des neuartigen Coronavirus SARS-CoV-2 nicht getestet werden konnte.

ABSTRACT

Strokes are one of the most common causes of disability in adulthood. Crucial factors for a successful rehabilitation are the motivation of patients and correct exercise execution.

This thesis investigates how difficulty adjustment and feedback affect the user. Specifically, static and dynamic adaptation as well as abstract and illustrative feedback are compared. This is prototypically implemented in an application in Virtual Reality.

A user test with ten healthy participants was conducted and evaluated by means of questionnaires and data measurement.

It turned out that on average the dynamic difficulty adjustment was better accepted. Furthermore, the illustrative feedback performed better than the abstract feedback. Unfortunately, these results may only be transferable to actual patients on a limited scale, since the SARS-CoV-2 outbreak prevented testing with them.

INHALTSVERZEICHNIS

Ehrenwörtliche Erklärung	II
Kurzfassung	VI
Abstract	VI
Inhaltsverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	IX
Diagrammverzeichnis	X
Abkürzungsverzeichnis	XI
1 Einleitung	1
2 Theoretische Grundlagen	2
2.1 Immersive Virtual Reality.....	2
2.2 Schlaganfall	3
2.2.1 Fallzahlen	4
2.2.2 Bewegungseinschränkungen nach einem Schlaganfall.....	5
2.2.3 Visuelle Einschränkungen nach einem Schlaganfall	7
2.3 Einschränkungen bei älteren Menschen.....	8
2.3.1 Visuelle Einschränkungen	8
3 Stand der Forschung	10
3.1 Schlaganfalltherapie.....	10
3.1.1 Herkömmliche Therapieansätze	11
3.1.2 Digitale Therapieansätze.....	13
3.2 Motivation.....	14
3.2.1 Gamification und Nutzertypen.....	14
3.2.2 Flow	17
3.3 Dynamische Schwierigkeitsanpassung	18
3.3.1 Dynamische oder statische Schwierigkeitsanpassung	19
3.3.2 Dynamische Schwierigkeitsanpassung in Spielen allgemein	20
3.3.3 Dynamische Schwierigkeitsanpassung in Rehabilitationsanwendungen	23
3.4 Visuelles Feedback	25
3.4.1 Visuelles Feedback in Anwendungen für Ältere.....	27
3.4.2 Visuelles Feedback in Anwendungen zur Rehabilitation	29
4 Konzeption	32
4.1 Anforderungen an die Anwendung	32
4.2 Ablauf der Anwendung.....	33
4.3 Geplantes Feedback	34
4.4 Geplante Schwierigkeitsanpassung.....	38
4.5 Evaluierungsmethoden.....	39
4.5.1 Evaluierungsmethoden für das Feedback.....	40
4.5.2 Evaluierungsmethoden für die Schwierigkeitsanpassung.....	41
5 Umsetzung	44

5.1	Verwendete Technologie.....	44
5.1.1	VR-Brille	44
5.1.2	Controller.....	45
5.1.3	Unreal Engine.....	46
5.2	Implementierung des Prototyps.....	46
5.2.1	Projektaufbau	46
5.2.2	Grundlagen der Anwendung	49
5.2.3	Implementierung des Feedbacks	54
5.2.4	Implementierung der Schwierigkeitsanpassung.....	57
6	Evaluation.....	65
6.1	Pilotstudien	65
6.1.1	Pilotstudie zum Feedback	65
6.1.2	Pilotstudie zur Schwierigkeitsanpassung	69
6.2	Durchführung der Nutzertests	69
6.3	Auswertung der Nutzertest.....	72
6.3.1	Auswertung des visuellen Feedbacks.....	72
6.3.2	Auswertung der Schwierigkeitsanpassung	81
7	Fazit.....	95
7.1	Bewertung der Ergebnisse	95
7.1.1	Bewertung der Ergebnisse des Feedbacks	95
7.1.2	Bewertung der Ergebnisse der Schwierigkeitsanpassung.....	96
7.2	Ausblick	97
7.2.1	Ausblick bezüglich des Feedbacks	97
7.2.2	Ausblick bezüglich der Schwierigkeitsanpassung.....	99
	Literaturverzeichnis	101
	Anhang.....	110

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1 – Flow Channel.....	17
Abbildung 2 – Unterschiedliche Flow-Zonen je nach Spieler	18
Abbildung 3 – (FB) Szene des konzeptionierten Spiels für den Test des Feedbacks...35	
Abbildung 4 – (FB) Feedback mithilfe des Pfeils in der Anwendung	36
Abbildung 5 – (FB) Grün werdender Pfeil, wenn die Mitte erreicht wird	37
Abbildung 6 –(FB) Feedback mithilfe der Hand	37
Abbildung 7 – Systemanforderungen	45
Abbildung 8 - Handdarstellung in der Anwendung.....	47
Abbildung 9 - Laden der unterschiedlichen Maps	48
Abbildung 10 - Tastenbelegungen.....	49
Abbildung 11 - Grundfunktion des SphereSpawners	53
Abbildung 12 – (FB) Flowchart wann der Pfeil erscheint.....	55
Abbildung 13 – (FB) Funktionalität des Handfeedbacks	55
Abbildung 14 – (FB) Flowchart für die Berührung des Mittelpunktes, links für den Pfeil, rechts für die Hand.....	56
Abbildung 15 – (S) Umkehrung der Steuerung	58
Abbildung 16 – (S) Ablauf der dynamischen Schwierigkeitsanpassung	60
Abbildung 17 – Die Funktion "AddData"	61
Abbildung 18 - (S) Spielfeld mit gestartetem Tutorial-Level	62
Abbildung 19 – (S) Ein in Excel geöffneter, exportierter Datensatz.....	64
Abbildung 20 – (S) Vergleich von erstem und zweitem Durchgang mit Schwierigkeitsanpassung	90
Abbildung 21 – (S) Vergleich von statischer und dynamischer Anpassung.....	91

DIAGRAMMVERZEICHNIS

Diagramm 1 – (FB) Motivation die Aufgabe zu erfüllen laut dem Fragebogen	74
Diagramm 2 – (FB) Zeit, die bis zum Erreichen des ersten pinken Würfels nötig war ..	78
Diagramm 3 – (FB) Zeit zum ersten Würfel im Schnitt pro Durchgang.....	79
Diagramm 4 – (FB) Punkteverteilung mit den beiden Feedbackarten	80
Diagramm 5 – (FB) Punkte im Schnitt pro Feedback und Durchgang.....	81
Diagramm 6 – (S) Empfundenes Maß der Herausforderung.....	83
Diagramm 7 – (S) Empfindung über das Leichtfallen der Anwendung	85
Diagramm 8 – (S) Fortschrittsgefühl in der Anwendung	86
Diagramm 9 – (S) Empfundene Schwierigkeitsänderung.....	88
Diagramm 10 – (S) Bedürfnis, die Schwierigkeit selbst zu steuern	89
Diagramm 11 – (S) Im Durchschnitt maximal erreichtes Level	92
Diagramm 12 – (S) Im Durchschnitt insgesamt erreichte Punktzahl	92
Diagramm 13 – (S) Durchschnittliche Geschwindigkeit pro Level je Teilnehmer.....	93
Diagramm 14 – (S) Fehlerdurchschnitt nach Anpassungstyp	94

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

(Diagramme) FB	Feedback
(Diagramme) S	Schwierigkeitsanpassung
HMD	Head-Mounted Display
VR	Virtual Reality
WHO	World Health Organization
DDA	Dynamic Difficulty Adjustment
MDA	Mechanics, Dynamics, and Aesthetics
MDP	Markov decision process
EMG	Elektromyographie
CSV	Comma-separated values
CA	Cognitive absorption
EEG	Elektroenzephalografie

1 EINLEITUNG

Unsere Gesellschaft wird immer älter. Damit nehmen mit dem Alter häufiger auftretende Krankheiten zu. So auch das Vorkommen von Schlaganfällen.

Nach einem Schlaganfall kann es unter anderem zu einer Einschränkung der oberen Extremitäten kommen. Der anschließende Rehabilitationsprozess ist oftmals langwierig und anstrengend. Um Fortschritte zu erzielen, sind pro Tag mehrere Wiederholungen nötig, was zu Langeweile, Frustration und Demotivation führen kann. Um dem entgegenzuwirken, wird zunehmend auf digitale Therapieansätze mit spielerischen Elementen zurückgegriffen. Zudem entstehen durch eine Rehabilitation hohe Kosten, vor allem aufgrund von Personal. Digitale Anwendungen, die auch für den Heimgebrauch verwendet werden können, ermöglichen es, die Kosten zu senken und dabei dennoch den Rehabilitationsfortschritt weiter voranzutreiben. Für die Motivation der Patienten in einer Anwendung spielen mehrere Faktoren eine Rolle, unter anderem der Schwierigkeitsgrad in der Anwendung und das Feedback, das darin gegeben wird.

Hierzu wird in dieser Arbeit untersucht, ob ein Unterschied zwischen dynamischer und statischer Schwierigkeitsanpassung wahrgenommen wird, ob bei der dynamischen Schwierigkeitsanpassung mehr Fortschritt erzielt wird und ob dies zu einer erhöhten Motivation bei den Spielenden führt. Außerdem wird mithilfe von visuellem Feedback eine Bewegungskorrektur vorgenommen. Es wird untersucht, ob ein abstrakter oder ein bildlicher Designansatz besser funktioniert.

Dazu wurde zunächst eine Literaturrecherche nach dem Schneeballprinzip durchgeführt. Zusätzlich sind weitere Quellen durch freie Suche herangezogen worden. Es erfolgte eine prototypische Umsetzung in Virtual Reality anhand der aus der Recherche gewonnenen Erkenntnisse. Der Prototyp ist für gesunde Probanden konzipiert, da es aufgrund des Coronavirus-Ausbruchs nicht möglich war, mit Schlaganfallpatienten zu testen. Ein Nutzertest unter Verwendung von Fragebögen und Datenmessungen diente zur Evaluation der Fragestellungen und fand aus den oben genannten Gründen mit gesunden Probanden statt. Ein Test mit Schlaganfallpatienten steht noch aus.

Die Arbeit gliedert sich in folgende Teile:

Zuerst wird der Begriff „Immersive Virtualität“ erläutert und ein Überblick zu Schlaganfällen sowie Einschränkungen bei älteren Menschen gegeben. Anschließend wird der Stand der Forschung zu Schlaganfalltherapien, motivierenden Faktoren, dynamischer Schwierigkeitsanpassung und visuellem Feedback dargelegt. Danach werden die Konzeption und die Umsetzung des hier entwickelten Prototyps beschrieben. Es folgt die Evaluation der Ergebnisse und ein Fazit mit Ausblick.

2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN

In diesem Kapitel geht es um die Klärung der Grundlagen und Begriffe, die für die Arbeit relevant sind. Es wird zunächst eine Definition von Virtual Reality und ihren Formen gegeben. Danach wird der Begriff Schlaganfall näher erläutert und es werden einige Fallzahlen genannt, um die Problematik darzulegen. Abschließend folgen Informationen über die Einschränkungen, die sowohl Schlaganfallpatienten als auch ältere Menschen im Allgemeinen betreffen und für die Entwicklung dieses Prototyps eventuell wichtig zu beachten sind.

2.1 IMMERSIVE VIRTUAL REALITY

„Virtual Reality“, also „virtuelle Realität“, kurz VR, wird in der Literatur vielfältig definiert (Alqahtani et al., 2017; Steuer, 1992). Brill (2009) gibt eine Definition von Brockhaus an, bei der Virtual Reality beschrieben wird als „eine mittels Computer simulierte Wirklichkeit oder künstliche Welt, in die Personen mithilfe technischer Geräte sowie umfangreicher Software versetzt und interaktiv eingebunden werden“ (S. 6). Oft wird für Virtual Reality auch der Begriff „virtual environment“, also virtuelle Umgebung, synonym verwendet.

Häufig wird Virtual Reality über die dafür nötige Technik definiert. Steuer (1992) widerspricht dieser Herangehensweise aus verschiedenen Gründen. So könne eine solche beispielsweise keine Prozesse oder Effekte beim Gebrauch von Virtual Reality deutlich machen oder Nutzern ein Gefühl für das Erlebnis vermitteln, indem sie es mit ihren Erfahrungen vergleichen und so verstehen können. Daher geht er bei der Definition mehr vom Erleben der virtuellen Realität aus.

So besteht letztlich das Ziel von Virtual Reality darin, dass der Nutzer das Gefühl hat, wirklich in der computergenerierten Umgebung zu sein. Diesen Effekt nennt man Immersion. Um einen hohen Grad von Immersion zu erreichen, ist es wichtig, dass eine große Interaktivität mit der Umgebung in Echtzeit möglich ist (Brill, 2009).

In der Entwicklung für diese Anwendung wird ein VR-Headset, auch Head-Mounted Display, kurz HMD genannt, mit Controllern verwendet. Dieses wird genauer unter dem Kapitel 5.1 beschrieben.

Je nach Auslegung des Begriffs können auch Systeme ohne eine VR-Brille oder sogar wenig immersive Systeme als VR-Systeme bezeichnet werden. Alqahtani et al. (2017) beschreiben drei verschiedene Arten von VR-Systemen. Zum einen Immersionssysteme, auch voll-immersive Systeme genannt. Beispiele sind hierfür die oben genannten HMDs mit Datenhandschuhen oder Ähnlichem, oder das CAVE-System. Bei diesem Typ von VR wird der Nutzer von äußeren Wahrnehmungen abgeschnitten und hat das Gefühl, vollständig Teil der virtuellen Welt zu sein. Dies wird durch die in der virtuellen Umgebung visuellen und

auditiven Wahrnehmungen erreicht. Die zweite Art von System ist nicht immersiv und wird auch als Desktop-VR bezeichnet. Hierbei wird lediglich ein Display als eine Art Fenster in die virtuelle Umgebung genutzt, ohne weitere Geräte wie ein HMD. Zuletzt gibt es noch halb immersive Systeme oder Hybridsysteme. Dabei wird, wie bei der Desktop VR, ein normaler Bildschirm zur Darstellung genutzt. Allerdings werden noch zusätzliche Geräte, wie je nach Auslegung des Begriffs können auch Systeme ohne eine VR-Brille oder sogar wenig immersive Systeme als VR-Systeme bezeichnet werden. Alqahtani et al. (2017) beschreiben drei verschiedene Arten von VR-Systemen. Zum einen Immersionssysteme, auch voll-immersive Systeme genannt. Beispiele sind hierfür die oben genannten HMDs mit Datenhandschuhen oder Ähnlichem, oder das CAVE-System. Bei diesem Typ von VR wird der Nutzer von äußeren Wahrnehmungen abgeschnitten und hat das Gefühl, vollständig Teil der virtuellen Welt zu sein. Dies wird durch die in der virtuellen Umgebung visuellen und auditiven Wahrnehmungen erreicht. Die zweite Art von System ist nicht immersiv und wird auch als Desktop VR bezeichnet. Hierbei wird lediglich ein Display als eine Art Fenster in die virtuelle Umgebung genutzt, ohne weitere Geräte wie ein HMD. Zuletzt gibt es noch halb immersive Systeme oder Hybridsysteme. Dabei wird, wie bei der Desktop VR, ein normaler Bildschirm zur Darstellung genutzt. Allerdings werden noch zusätzliche Geräte, wie Datenhandschuhe benötigt, um zum Beispiel die Hände des Nutzers in Echtzeit darzustellen. So besteht diese Variante von Virtual Reality aus virtuellen und realen Elementen.

Wie bereits erwähnt, wird für die hier entwickelte Anwendung ein voll-immersives System mit einem VR-Headset genutzt. In der Literatur zu bereits existierenden Anwendungen im Zusammenhang mit VR werden jedoch auch andere Typen von Systemen genutzt, wie einige der genannten im Kapitel 3.4. Daher sind alle drei im Zusammenhang mit dieser Arbeit relevant.

2.2 SCHLAGANFALL

„Der Begriff Schlaganfall ist traditionell definiert als – in der Regel – akut auftretendes fokalneurologisches Defizit mit zerebrovaskulärer Ursache“ (Lichy & Hacke, 2010, S. 1003). In der Definition der World Health Organisation (WHO) wird zusätzlich darauf verwiesen, dass die Störung der zerebralen Funktion mindestens 24 Stunden andauern oder zum Tod führen muss und dass sie auch global auftreten kann (Hatano, 1976). Sacco et al. (2013) sind allerdings der Meinung, dass diese Definition überholt ist, vor allem, da bleibende Schädigungen schon sehr viel früher als nach 24 Stunden auftreten können. Sie schlagen für die Arten von Schlaganfall ebenfalls unterschiedliche Definitionen vor. Allerdings liegt den meisten Studien die Definition der WHO zugrunde (Aho et al., 1980; Kolominsky-Rabas et al., 2015; Palm et al., 2010), daher ist diese immer noch relevant für die Angabe der folgenden Fallzahlen.

Schlaganfall wird weiterhin unterschieden in ischämischen Schlaganfall, bei dem Gehirnareale nicht richtig durchblutet werden und hämorrhagischen Schlaganfall, bei dem es zu Blutungen im Gehirn kommt (Lichy & Hacke, 2010).

2.2.1 Fallzahlen

Schlaganfall ist die dritthäufigste Todesursache nach Herzkrankheiten und Krebs, sowohl in den USA (Thom et al., 2006), als auch in Deutschland (Kolominsky-Rabas & Heuschmann, 2002). Außerdem ist er die Hauptursache für langzeitige Behinderungen. Ma et al. (2014) beziehen sich dabei auf Zahlen aus den USA.

Die Zahl der Schlaganfälle stieg über die Jahre an. So trat im Jahr 2006 bei 500.000 Menschen in den USA erstmalig ein Schlaganfall auf (Thom et al.), während es in dem statistischen Update der American Heart Association von 2020 bereits 610.000 pro Jahr sind (Virani et al., 2020). Für Deutschland finden sich Inzidenzraten von 1,74 (Kolominsky-Rabas et al., 1998), 1,82 (Kolominsky-Rabas & Heuschmann, 2002) und 2,16 pro tausend Einwohner (Palm et al., 2010). Dabei ist der ischämische Schlaganfall mit 87% am häufigsten (Virani et al., 2020).

Die Zahl der von Schlaganfall Betroffenen steigt mit dem Alter (Palm et al., 2010; Thom et al., 2006). So ereignen sich über 50% der Schlaganfälle nach dem 75. Lebensjahr (Kolominsky-Rabas et al., 1998; Kolominsky-Rabas & Heuschmann, 2002). Das Durchschnittsalter für einen Schlaganfall liegt bei 76,3 Jahren für Frauen und etwa 70,6 Jahren bei Männern (Kolominsky-Rabas et al., 2006). Ob Frauen oder Männer häufiger betroffen sind, ist je nach Studie unterschiedlich. Bei Kolominsky-Rabas et al. (2015) sind Frauen mit 55% häufiger betroffen als Männer. Bei Palm et al. (2010) werden mit 51,1% mehr Männer angeführt. Thom et al. (2006) geben an, dass Frauen mehr Schlaganfälle erleiden, allerdings auch länger leben. So sind die Inzidenzraten pro tausend Einwohner bei Kolominsky-Rabas et al. (1998) 1,47 für Männer und 2,01 für Frauen. Nach einer Standardisierung des Alters nach der europäischen Bevölkerung sind es 1,48 bei Männern und 1,25 bei Frauen.

In der Folge eines Schlaganfalls können 39% ihren Alltag nicht mehr voll selbstständig bestreiten. 32% sind vollkommen auf andere Personen angewiesen. Nach einem Jahr reduziert sich die Zahl der völlig abhängigen Menschen auf 9%. Zwei Drittel behalten nach dieser Zeit immer noch neurologische Defizite zurück (Aho et al., 1980). Dabei beeinflusst das Alter den Genesungsprozess. Die Wahrscheinlichkeit, wieder völlige Unabhängigkeit zu erlangen, reduzierte sich mit steigendem Alter, während die Zahl der völlig von anderen Abhängigen wuchs (Hatano, 1976).

Da die Zahl der Schlaganfallpatienten zunimmt, steigen auch die Kosten, die mit der Behandlung und Pflege einhergehen. So verursachen die nach einem Jahr noch Lebenden bis dahin 18.517 € an Kosten, wovon mit 37% der größte Anteil für Rehabilitation ausgegeben

wurde. In nachfolgenden Jahren werden 5.479 € an direkten Kosten pro Überlebendem gerechnet (Kolominsky-Rabas et al., 2006). Zahlen aus den USA schätzen die durchschnittlichen direkten Kosten pro Patient auf 7.902 \$ und international belaufen sich die Kosten insgesamt auf 104.200.000 \$ (Virani et al., 2020).

2.2.2 Bewegungseinschränkungen nach einem Schlaganfall

Um eventuell nicht ausführbare Bewegungen und Schwierigkeiten bei der Ausführung einer Bewegung in die Anwendung mit einzubeziehen, werden im folgenden Kapitel die Bewegungseinschränkungen nach einem Schlaganfall untersucht.

In den USA ist Schlaganfall einer der führenden Gründe für langfristige Behinderung (Virani et al., 2020). Ein Schlaganfall hat in den meisten Fällen mehrere Beeinträchtigungen zur Folge, in einer Studie hatten von 1259 Patienten 31.1% drei bis fünf und 50.6% sechs bis zehn Beeinträchtigungen. Zu der häufigsten Beeinträchtigung zählt eine Schwäche der oberen Extremität mit 77,4% (Lawrence et al., 2001). Eine Studie der WHO mit 8754 untersuchten Fällen kam zu dem Ergebnis, dass bei mehr als zwei Drittel der beobachteten Patienten eine Hemiplegie in der akuten Phase auftrat (Aho et al., 1980). Aus den Daten geht allerdings nicht klar hervor, ob Hemiparesen hier mit eingeschlossen werden, da abgesehen von einem Satz („after one year, hemiplegia or hemiparesis was still present in 1744 patients (46%)“) immer nur von Hemiplegie die Rede ist. Hemiparese steht für eine leichte oder unvollständige Lähmung, während mit Hemiplegie eine vollständige Lähmung bezeichnet wird. Beides betrifft nur eine Körperhälfte. Bei Parker et al. (1986) wurden 187 Patienten begleitet, davon hatte etwa die Hälfte kurz nach dem Schlaganfall mäßige bis schwere Lähmungserscheinungen. Nach drei Monaten hatte von den Überlebenden Patienten 58% noch mäßige bis leichte Schwäche und 16% nach wie vor schwere Lähmungserscheinungen. Etwa 40% hatten eine beeinträchtigte Armfunktion.

Die Funktionsstörung der Hand ist die häufigste Beeinträchtigung nach einem Schlaganfall und Schwäche einer der Hauptgründe für motorische Defizite der Hand (Kamper et al., 2006). Zusätzlich kann es zusammen mit einer plötzlichen und längeren Ruhigstellung der Gelenke zu Lähmung, Schwäche oder Spastizität der Muskeln kommen. Möglicherweise ist der Bewegungsumfang der Schulter eingeschränkt und es treten dort Schmerzen auf. Wird einer Spastizität längere Zeit nicht entgegengewirkt, besteht die Gefahr einer Verkürzung von Muskeln, Sehnen und Bändern, welche wiederum die Bewegung weiter einschränkt und sogar dauerhaft sein kann (Trombly, 1995). Bei einer Studie von Sommerfeld et al. (2004) mit 95 Patienten trat Spastizität lediglich bei 19% auf, kann jedoch eine große Beeinträchtigung darstellen. Schulterprobleme treten auch eher selten auf (Parker et al., 1986).

Anhand des Schweregrads der Armparese in den ersten Monaten kann eine Prognose zu der Genesung der Armfunktion aufgestellt werden (Krakauer, 2005). Idealerweise geschieht dies in den ersten vier Wochen (Kwakkel et al., 2003). Eine Verbesserung der auf den Alltag bezogenen Fähigkeiten, für die die oberen Extremitäten benötigt werden, findet insbesondere in den ersten zwei Monaten nach einem Schlaganfall statt. Bei einer schweren Armparese dauert dies meist länger (Nakayama et al., 1994).

Laut Andrews und Bohannon (2000) kann ein Schlaganfall zudem den Gang, das Stehen und Treppensteigen beeinflussen. Sie empfehlen außerdem, die Begriffe schwächere und stärkere Seite zu verwenden. Außerdem sollte Schwäche auch auf der stärkeren und nicht nur der schwächeren Seite behandelt werden, wenn sie dort auftreten sollte. Hsu et al. (2003) stellten zudem fest, dass eine Schwäche der Hüftbeuger und Knieextensoren die Ganggeschwindigkeit beeinflussen und die Spastizität des Sprunggelenks die Gangasymmetrie.

Bewegungsstörungen treten selten auf, in einer Studie mit 2.500 Schlaganfallpatienten haben nur 1% akute oder später auftretende Bewegungsstörungen entwickelt. Normalerweise bilden diese sich nach gewisser Zeit von selbst zurück (Ghika-Schmid et al., 1997).

Alarcón et al. (2004) haben die Fälle von 56 Patienten mit Bewegungsstörungen nach einem Schlaganfall auf Basis einer Datenbank mit 1500 Schlaganfallpatienten untersucht, und haben vier verschiedene Bewegungsstörungen festgestellt: Chorea (unwillkürliche Bewegungen), Dystonie (unwillkürliche Kontraktionen), Tremor (Muskelzittern) und Parkinsonismus (Parkinson-Ärtige Symptome). Das Durchschnittsalter der betrachteten Patienten betrug 63,3 Jahre. Sie sind zu dem Schluss gekommen, dass Chorea die am häufigsten auftretende Bewegungsstörung ist, und vor allem bei älteren Patienten auftritt. Während Chorea nach durchschnittlich 4,3 Tagen vergleichsweise schnell auftrat, lag bei Parkinsonismus mit ca. 117,5 Tagen ein längeres Zeitintervall zwischen Diagnose des Schlaganfalls und Auftreten der Bewegungsstörung.

Handley et al. (2009) haben darüber hinaus aus einer Datenbank mit 2942 Artikeln 156 relevante Fälle herangezogen. Ihre Recherche hat ergeben, dass ergänzend zu den von Alarcón et al. genannten Bewegungsstörungen Chorea mit und ohne Hemiballismus (unwillkürliche schleudernde Bewegungen), segmentaler oder fokaler Myoklonus (unwillkürliche Zuckungen), Athetose (unkontrollierte, wurmartige Bewegungen), Pseudoathetose und Asterixis (grob-schlägiges Zittern der Hände) auftreten können. Auch sie kommen zu dem Schluss, dass Bewegungsstörungen bei Schlaganfallpatienten selten auftreten. Unterschieden wird zwischen hyperkinetisch (mehr Bewegungsaktivität), hypokinetisch (weniger Bewegungsaktivität) und dem Zeitpunkt des Auftretens (akut oder als Spätfolge).

2.2.3 Visuelle Einschränkungen nach einem Schlaganfall

Dieses Kapitel geht auf visuelle und weitere Einschränkungen ein, welche die Wahrnehmung von visuellem Feedback beeinträchtigen können.

Nach einem Schlaganfall kann es zu zahlreichen visuellen Einschränkungen kommen. Nach Hepworth et al. (2016) ist eine visuelle Einschränkung ein Defizit in der visuellen Funktion. Darunter fallen Anomalien in der Bewegungsfähigkeit des Auges, dem peripheren Sehen, dem zentralen Sehvermögen und verschiedene Wahrnehmungsschwierigkeiten. Rowe et al. (2009) teilen die Einschränkungen ähnlich ein.

Anhand von 64 Studien mit insgesamt 26.321 Teilnehmern untersuchten Hepworth et al. (2016) die Häufigkeit der auftretenden visuellen Einschränkungen nach einem Schlaganfall. Dabei schwanken die Zahlen sehr stark. Die Autoren begründen das mit der unterschiedlichen Methodik, den Zeitpunkten der Untersuchungen von Patienten und anderen Faktoren in den herangezogenen Studien.

Etwa 65% der Schlaganfallpatienten weisen visuelle Einschränkungen auf, wobei meist mehrere Defekte gleichzeitig festgestellt wurden. Bei Rowe et al. (2009) wurden 54,8% mit zwei oder mehr visuellen Einschränkungen diagnostiziert. Am häufigsten vertreten sind dabei Bewegungsschwierigkeiten der Augen, Gesichtsfeldverlust und visueller Neglect.

Die Häufigkeit von Bewegungsschwierigkeiten liegt bei durchschnittlich 33%. Dazu zählen beispielsweise Schielen mit 38%, Blicklähmung mit 26% oder Nystagmus mit 11%. Der Begriff Nystagmus beschreibt rhythmische, unkontrollierte Augenbewegungen (Pollock et al., 2011a). Das Vorkommen eines Gesichtsfeldverlust liegt zwischen 5,5% und 57%. Meist tritt er als Hemianopsie auf. Das bezeichnet den Verlust der Hälfte des Gesichtsfelds auf beiden Augen. Hierbei ist dieselbe Seite auf beiden Augen betroffen, demnach die innere Hälfte des einen Auges und die äußere Hälfte des anderen. Das führt zur halbseitigen Einschränkung des Sehfelds. Das Ausmaß der Einschränkung kann aber auch variieren und muss nicht immer die Hälfte des Gesichtsfelds einnehmen (Pollock et al., 2011b).

Ein visueller Neglect, also eine Störung, bei der die eine Hälfte der Umgebung trotz funktionsfähigem Sehapparat nicht wahrgenommen wird (Bowen et al., 2013), ist mit 32% vertreten. Einige Betroffene haben weitere Wahrnehmungsstörungen. So sind bei Rowe et al. (2009) 20,5% von Wahrnehmungsstörungen betroffen, 14% mit visuellem Neglect. Ansonsten werden beispielsweise Halluzinationen mit 2,5% genannt. Oder auch Objektagnosie mit 2,2%, bei der das Erkennen von Objekten gestört ist (Goldenberg, 2012).

Außerdem sind bei 53% der von Schlaganfall Betroffenen auch die Sehschärfe und bei 62% die Kontrastsensitivität reduziert.

Die zuvor genannten Einschränkungen können auch zu Schwierigkeiten beim Lesen führen. Doch auch Andere können dafür verantwortlich sein. In der Studie von Lawrence et al. (2001)

wurde bei 23% der Untersuchten Dysphasie diagnostiziert. Dabei handelt es sich um eine Sprachverarbeitungsstörung, bei der das Sprachzentrum nicht direkt betroffen ist, im Gegensatz zu einer Aphasie, bei der das Sprachzentrum selbst verletzt wird (Heidler, 2007). Beides kann infolge eines Schlaganfalls auftreten.

2.3 EINSCHRÄNKUNGEN BEI ÄLTEREN MENSCHEN

Vor allem ältere Menschen sind von Schlaganfall betroffen. Häufig haben solche bereits körperliche Einschränkungen, die es mit einzubeziehen gilt. Diese werden im Folgenden kurz dargelegt.

2.3.1 Visuelle Einschränkungen

Über die Hälfte der Schlaganfallpatienten sind über 75 Jahre alt (Kolominsky-Rabas & Heuschmann, 2002). Menschen in diesem Alter haben häufig bereits visuelle Einschränkungen, unabhängig von ihrem Schlaganfall. Diese werden im Folgenden kurz dargelegt.

Die Häufigkeit von visuellen Einschränkungen steigt mit dem Alter. Wurden bei Menschen zwischen 75 und 79 Jahren noch 6,2% mit einer visuellen Einschränkung diagnostiziert, so sind es im Alter zwischen 80 und 84 11,9%, zwischen 85 und 89 bereits 23,4% und bei der Altersgruppe 90 und älter sind es sogar 36,9%. Dabei sind Frauen mit 14,4% insgesamt häufiger betroffen als Männer mit 9,1% (Evans et al., 2002).

Für die Einschränkungen werden vor allem fünf Auslöser angeführt (Pollock et al., 2012; Reidy et al., 1998).

Grauer Star wird mit 30% als häufigste Ursache genannt. Dabei trübt sich die Linse im Auge ein, wodurch die Sehschärfe und Kontrastsehen reduziert werden (Pollock et al., 2012). Dadurch kommt es auch zu Verlusten der Farbwahrnehmung im blauen Bereich, reduzierter Nachtsicht und einer erhöhten Empfindlichkeit gegenüber grellem Licht (Klein, 1991). Fehlsichtigkeit, wie Kurz- oder Weitsichtigkeit, tritt bei 9% der Untersuchten auf, wodurch die Sehschärfe auf bestimmten Distanzen reduziert wird (Pollock et al., 2012).

Ein weiterer Grund für visuelle Einschränkungen kann eine Makuladegeneration sein. Dabei bildet sich die Netzhaut um den Punkt des schärfsten Sehens im Auge zurück. Infolgedessen bildet sich ein blinder Fleck im zentralen Gesichtsfeld und die Sicht wird stark vermindert. Das kann auch zur Erblindung führen (Klein, 1991; Pollock et al., 2012). Makuladegeneration ist mit 8% Häufigkeit vertreten (Reidy et al., 1998).

Ein Glaukom, auch Grüner Star genannt, wird in 3% der Fälle diagnostiziert. Bei weiteren 7% der Untersuchten besteht lediglich ein Verdacht auf Glaukom. Diese Krankheit bezeichnet Schädigungen am Sehnerv, häufig durch hohen Augeninnendruck verursacht. Dadurch

verengt sich das Sichtfeld von außen nach innen bis hin zur vollständigen Erblindung (Pollock et al., 2012). Außerdem wird die Kontrastsensitivität vermindert (Klein, 1991).

Zudem kann es noch zu Schädigungen der Netzhaut durch Diabetes kommen. Die Krankheit verursacht Verletzungen der Blutgefäße im Auge, wodurch die Netzhaut nicht mehr ausreichend mit Blut versorgt werden kann. Das kann sowohl das Zentrale, als auch das periphere Sehen beeinträchtigen (Pollock et al., 2012). Folgen können verschwommene Sicht, Verlust der Fähigkeit gelb und blau zu unterscheiden, verringerte Kontrastsensitivität und Erblinden sein (Klein, 1991). Zusätzlich erhöht eine Diabetes Erkrankung das Risiko für Grünen und Grauen Star (Klein, 1991; Pollock et al., 2012).

Zusammengefasst sind viele Menschen mit 75 Jahren und älter also mit verschlechterter Sehschärfe, verringerter Kontrastwahrnehmung, verengtem Gesichtsfeld und Veränderungen im Farbsehen konfrontiert.

3 STAND DER FORSCHUNG

Zur Rehabilitation von Fähigkeiten, die durch einen Schlaganfall eingeschränkt wurden, gibt es verschiedene Ansätze. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit Therapien zur Rehabilitation, sowohl herkömmlichen als auch solchen durch digitale Anwendungen. Es folgt ein Unterkapitel zu Motivation, das aufzeigt, warum sie für Rehabilitation wichtig ist. In den Unterpunkten dynamische Schwierigkeitsanpassung und visuelles Feedback wird anschließend zunächst die Begrifflichkeit erklärt, die Relevanz in digitalen Anwendungen zur Rehabilitation gezeigt und die Anwendung in bereits durchgeführten Forschungen dargelegt.

3.1 SCHLAGANFALLTHERAPIE

Nach Peszczyński et al. (1972) sollte die Rehabilitation bei Schlaganfällen folgendes zum Ziel haben:

1. Sekundäre Komplikationen (beispielsweise Infektionen oder Muskelschwäche) verhindern oder minimieren und auf ein angemessenes, gefordertes Leistungsniveau achten
2. Sinnes- und Wahrnehmungsverluste kompensieren
3. Soziale Teilhabe unterstützen und anregen
4. Einen hohen Motivationsgrad für die Rehabilitation aufrechterhalten und dafür ein auf die individuellen Probleme abgestimmten Rehabilitationsplan entwerfen
5. Teilweise oder vollständig verlorene Funktionen ersetzen
6. Ein unabhängiges Leben zuhause ermöglichen oder die bestmögliche Verbesserung anstreben, damit in Zukunft so wenig Unterstützung und Aufsicht wie möglich nötig ist
7. Wenn möglich, eine Berufliche Rehabilitation erreichen

Belege weisen darauf hin, dass die Therapieergebnisse besser sind, wenn früh mit der Rehabilitation begonnen wird (Heiss & Teasel, 2006; Teasel et al., 2005). Jedoch ist die Überzeugung, dass sich die Therapie in den späten chronischen Phasen eines Schlaganfalls nicht mehr lohnt, inzwischen überholt. Eine Meta-Analyse zeigt, dass auch nach über einem Jahr Veränderungen der Neuroplastizität auftreten. Neuroplastizität oder neuronale Plastizität bedeutet, dass sich neuronale Verbindungen im Nervensystem verändern können, beispielsweise durch Training und Lernen. Diese neuroplastischen Veränderungen führen zu erhöhten motorischen Funktionen der oberen Extremitäten, wenn eine bewegungsbasierte Schlaganfalltherapie durchgeführt wird (Richards et al., 2008). Rijntjes et al. (2009) konnten zeigen, dass selbst nach zwei Jahren noch eine Verbesserung der Armfunktion möglich ist.

Eine Mehrzahl an Studien spricht für einen Zusammenhang zwischen der Intensität der Therapie und besseren Ergebnissen (Coote & Stokes, 2001; Kwakkel et al., 1997; Teasell et al., 2005). Allerdings müsste die Frequenz des Übens möglicherweise deutlich erhöht werden (Lang et al., 2009). Laut Wit et al. (2005) verbringen Patienten in der stationären Rehabilitation mehr als 72% ihrer Zeit ohne therapeutische Aktivität. Eine Studie von Bütetisch et al. (1995) zeigt zudem, dass repetitive Bewegungen wichtig für die Motorrehabilitation sind.

Bei der Kontextsensitivität der Schlaganfalltherapie (*task specific training*) wird darauf geachtet, die zu übenden Aufgaben in einen Zusammenhang mit dem alltäglichen Leben zu bringen (Hubbard et al., 2009).

3.1.1 Herkömmliche Therapieansätze

Eine systematische Übersicht identifiziert sensomotorisches Training, motorisches Lerntraining mit bildlicher Vorstellung, elektrische Stimulation mit und ohne Biofeedback und das Einbeziehen des Patienten in neuartige, sich wiederholende Aufgaben als wirksam, um motorische Beeinträchtigungen nach einem Schlaganfall zu reduzieren (Barreca et al., 2003). Bei den im folgenden beschriebenen Therapieansätzen wird vor allem auf die Therapie einer Armparese abgezielt.

Der Ansatz der *Constraint Induced Movement Therapy* (CIMT) basiert auf dem Zwang, den beeinträchtigten Arm benutzen zu müssen. Dabei wird der nicht oder weniger beeinträchtigte Arm mit einer Schlinge oder Schiene eingeschränkt, während der beeinträchtigte Arm trainiert wird. Ohne die Therapie kann es zu „Learned Nonuse“ kommen. Die Einschränkung der betroffenen Extremität wird als negative Erfahrung wahrgenommen, weshalb verstärkt die funktionierende Extremität benutzt wird (van der Lee et al., 1999). Die Therapie selbst erstreckt sich in der Regel über zwei Wochen und zeigt bei Patienten, deren Schlaganfall drei bis neun Monate zurücklag, eine Verbesserung der Armfunktion für mindestens ein Jahr (Wolf et al., 2006). Der Arm kann auch im alltäglichen Leben wieder besser verwendet werden (Miltner et al., 1999).

Früher bestand die Befürchtung, Krafttraining würde Spastizität fördern. Aufgrund dessen wurde es aus dem Rehabilitationsprogramm ausgenommen. Inzwischen konnte diese Behauptung widerlegt werden (Pak & Patten, 2008). Weitere Studien zeigen, dass Krafttraining eine sinnvolle Therapiemaßnahme sein kann (Ada et al., 2006; Bourbonnais et al., 1997; Miller & Light, 1997).

Ein Armfähigkeitstraining ist insbesondere für Patienten mit einer leichten Armparese geeignet. Dabei werden Geschicklichkeit und Geschwindigkeit der Hand- und Fingerbewegung trainiert. Das Ziel ist eine verbesserte motorische Leistungsfähigkeit im Alltag (Platz, 2004).

Das „Repetitives bilaterales Armtraining mit rhythmischen akustischen Hinweisen“ (BATRAC) von Whittall et al. (2000) soll ebenfalls zu einer Verbesserung der motorischen Funktionen führen. Dabei wird der gesunde Arm nicht wie bei CIMT eingeschränkt. Übungen werden an einem speziellen Armtrainer in einem vom Patienten bestimmten Takt ausgeführt, den ein Metronom vorgibt. Die Ergebnisse der Studie waren vielversprechend, müssen aber weiter untersucht werden.

Bei dem mentalen Training stellt der Patient sich die Bewegung lediglich vor, ohne sie tatsächlich auszuführen. Dabei reagieren dieselben Hirnareale wie bei der ausgeführten Bewegung (Mulder, 2007). Page et al. (2007) kommen dabei zu dem Schluss, dass eine Therapie, die mentales Training beinhaltet, effektiver ist. In Zusammenhang der Sportpsychologie konnte allerdings auch gezeigt werden, dass mentales Training allein physisches Training nicht ersetzen kann (Feltz & Landers, 1983). Es kann jedoch als Ergänzung zu einer Physiotherapie nach einem Schlaganfall genutzt werden (Crosbie et al., 2004).

Biofeedback zählt zu den auf Feedback gestützten Therapien. Dabei werden Körperfunktionen mit Geräten oder Sensoren gemessen und über auditives oder visuelles Feedback zurückgegeben. Dazu gehört EMG-Feedback, welches insbesondere bei starken Beeinträchtigungen eingesetzt werden kann. Die Patienten bekommen Rückmeldung über ihre Muskelaktivität und lernen so, diese bewusst zu kontrollieren (Crow et al., 1989). Eine Studie von Cauraugh et al. (2000) konnte zeigen, dass EMG-Elektrostimulation zu einer Verbesserung beim Greifen von kleinen Objekten führte und vorteilhaft bei der Rehabilitation der Handfunktion ist.

Bei der Spiegeltherapie, auch Spiegeltraining genannt, wird ein Spiegel als Hilfsmittel verwendet. Dieser wird vor dem Patienten so aufgestellt, dass die gesunde Hand vor dem Spiegel liegt und doppelt gesehen wird, während die zweite Hand hinter dem Spiegel liegt und vom Patienten nicht einsehbar ist. Bewegt der Patient nun den gesunden Arm oder die gesunde Hand, entsteht der Eindruck, dass sich die eingeschränkte Hand mitbewegt (Altschuler et al., 1999; Ezendam et al., 2009). Die Spiegeltherapie wird zusätzlich zu einem normalen Rehabilitationsprogramm als effektiv angesehen (Yavuzer et al., 2008).

Eine weitere Art der Therapie ist das durch Roboter unterstützte Training. Die Bewegungen des Patienten werden von einem Roboterarm verfolgt und gegebenenfalls unterstützt. Dabei wird visuelles, auditives und taktiles Feedback gegeben. Die Funktion von Schulter und Ellenbogen wird hierdurch verbessert (Volpe et al., 2000), auch über längere Zeit hinweg (Ferraro et al., 2003).

3.1.2 Digitale Therapieansätze

Witmer und Singer (1998) beschreiben den Begriff *Presence* (im Folgenden mit Gegenwertsgefühl bezeichnet) mit „[...] the subjective experience of being in one place or environment, even when one is physically situated in another.“ Auf eine virtuelle Umgebung übertragen ist damit das Gefühl gemeint, mehr in dieser als in der realen Welt präsent zu sein. In ihren Experimenten kommen sie zu dem Schluss, dass eine höhere Motivation und Immersion zu einem besseren Abschneiden in einer Aufgabe führen. Viele der Faktoren, die Lernen positiv beeinflussen, spielen auch bei Gegenwertsgefühl eine Rolle, weshalb ein Zusammenhang naheliegend ist. Sie stellen die Vermutung auf, dass immersive Umgebungen eine bessere Lernumgebung bieten als normale Computer-basierte Lernumgebungen.

Eine SWOT-Analyse (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threads) konnte zeigen, dass Virtual Reality das nötige Potential für Rehabilitation und Therapie bietet. Sie bietet unter anderem ein Feedback in Echtzeit, eine sichere Test- und Übungsumgebung und spielerische Faktoren, die die Motivation fördern. Als Schwäche werden vor allem das Interface und das Display angesehen, was sich hinsichtlich der aktuellen Entwicklungen aber ausgleichen lässt. Gefährliche Risiken für VR-Rehabilitation konnten keine festgestellt werden, so wird sie in Zukunft voraussichtlich weiterwachsen und eingesetzt werden. Für die Forschung und Entwicklung sollten mehrere kleine Studien durchgeführt werden, um die Nutzbarkeit einer entwickelten Anwendung insbesondere bei der Zielgruppe zu garantieren (Rizzo & Kim, 2005). VR-Rehabilitation ist in anderen Bereichen wie die Behandlung von Phobien und Schmerzen erfolgreich eingesetzt worden. Es kann haptisches und auditives Feedback gegeben werden, außerdem sinken die Kosten für in Frage kommende Systeme. Ein Vergleich mehrerer VR-Systeme zeigt, dass Ziele wie aktives Lernen, eine ansprechende Umgebung, flexible Behandlungsprotokolle, Motivation der Patienten und Leistungsmessung leicht erreicht werden können. Zuletzt ist es möglich, in der virtuellen Umgebung erlernte Fähigkeiten auch auf die reale Welt zu übertragen (Weiss et al., 2006).

Während aufwendige VR-Systeme (Beispielsweise mit Motion Capturing) mit höheren Kosten verbunden sind und teilweise Spezialisten für Aufbau und Betrieb benötigen, sind kommerziell erhältliche Spielekonsolen eine erschwingliche Alternative und benötigen in der Regel kein Expertenwissen. Ebenfalls möglich sind Videoaufnahmen in Kombination mit einer Bildverarbeitungssoftware, oder Datenhandschuhe, um Handbewegungen zu verfolgen. Wenn Spiele verwendet werden, sollten diese speziell auf die Schlaganfallrehabilitation abgestimmt sein. Sie sind potenziell effektiver als Spiele, die für die Allgemeinheit gestaltet und für Unterhaltungszwecke genutzt werden. Spiele generell bieten die Möglichkeit einer virtuellen Lernumgebung, Verfolgung des Fortschritts durch Feedback und die Entwicklung von Fähigkeiten. Dadurch sind sie für Rehabilitation gut geeignet. In den Rehabilitationsspielen

„Rabbit Chase“ und „Arrow Attack“ werden Handbewegungen mittels Farberkennung verfolgt. Beide Spiele unterstützen Benutzerprofile, die den Fortschritt auch über mehrere Sitzungen festhalten. Das gespeicherte Fertigungslevel ist für die Schwierigkeit des Spiels verantwortlich (Burke, Mcneill et al., 2009).

Alimanova et al. (2017) listen unter anderem die Leap Motion, das Myo Armband, die Microsoft Kinect, die Nintendo Wii und Playstation Move als potentiell verwendbare VR-Technologien auf. Umgesetzt wurde beispielsweise ein EyeToy-Spiel als Therapie für die oberen Extremitäten (Yavuzer, Senel et al., 2008) und ein Rehabilitation Gaming System, das Videoerkennung und Datenhandschuhe nutzt um die Handbewegungen in eine virtuelle Welt zu übertragen (Cameirao et al., 2008). Bei dem HAMRR Mixed-Reality Rehabilitationssystem sollen Übungen auch zuhause weiter ausgeführt werden können. Dabei werden Daten des Therapeuten genutzt, um das System adaptiv zu gestalten (Y. Chen et al., 2011).

Holden (2005) kommt zu dem Ergebnis, dass Personen mit Beeinträchtigungen zu motorischem Lernen in virtuellen Umgebungen fähig sind, in VR erlernte Bewegungen meistens auf ähnliche, im Alltag verwendete Bewegungen übertragbar sind und die Übungen in VR sogar einen Vorteil im Gegenteil zu denen in der realen Welt haben.

3.2 MOTIVATION

In der Rehabilitation ist es wichtig, Patienten für die nötigen Übungen zu motivieren. Maclean et al. (2000) untersuchten wie Motivation genau definiert ist. Dazu haben sie fünfzig Studien herangezogen, die Motivation in der Rehabilitation untersuchen. Die Motivation der Patienten wird also als wichtiger Faktor für die Rehabilitation erachtet. Für das motorische Lernen generell spielt sie ebenfalls eine wichtige Rolle (Dobkin, 2009). In den folgenden Kapiteln werden Gamification, Nutzertypen und Flow beschrieben, die in engem Zusammenhang mit der Motivation stehen.

3.2.1 Gamification und Nutzertypen

Gamification, deutsch auch Gamifizierung oder Spielifizierung, beschreibt ein Konzept, das in spielfremdem Kontext die Motivation erhöhen und eine Verhaltensänderung bei den Anwendern bewirken soll, indem spieltypische Elemente und Vorgänge eingesetzt werden. Spieltypische Elemente sind dabei zum Beispiel Regeln, Ziele, Punkte oder Belohnungen und spieltypische Vorgänge die Lösung von Aufgaben (Bendel, 2019).

Für den Designprozess einer Anwendung zu Gamification kann es hierbei sinnvoll sein, über die verschiedenen Nutzer- oder Spielertypen nachzudenken, die das System verwenden werden, damit möglichst viele von ihnen angesprochen werden (Marczewski, 2015).

Um Spielertypen zu beschreiben gibt es verschiedene Konzepte. Das am meisten zitierte stammt von Bartle (1996). Er teilt seine Spielertypen in vier Kategorien ein: Achiever, Explorer, Socialiser und Killer und entwickelt sie anhand von Beobachtungen der Spieler eines Multi User Dungeons, also eines Spiels mit mehreren Spielern.

Marczewski (2015) bemängelt, dass sich aufgrund der gewählten Art des Spiels die Spielertypen von Bartle schlecht oder gar nicht auf gamifizierte Systeme übertragen lassen und definiert deshalb „Marczewski's Gamification User Types Hexad“. Sie werden eingeteilt in vier intrinsisch, vier extrinsisch und vier zerstörerisch motivierte Typen.

Die intrinsisch motivierten Nutzertypen sind Philanthropist, Achiever, Socialiser und Free Spirit. Philanthropists zeichnen sich dadurch aus, dass sie gern etwas für andere oder einen höheren Zweck tun, ohne etwas im Gegenzug zu fordern. Achiever konzentrieren sich mehr darauf, sämtliche gebotenen Herausforderungen zu meistern. Sie sammeln Wissen an und bemühen sich um neue Fähigkeiten. Sozialer Kontakt ist für Socialiser am attraktivsten. Im Vordergrund steht für sie die Interaktion mit anderen. Dem Free Spirit ist seine Autonomie wichtig. Systeme, in denen es möglich ist viel zu entdecken und seiner Kreativität freien Lauf zu lassen, sind gut für diesen Typ geeignet.

Die extrinsisch motivierten Subtypen werden unter dem Überbegriff Player zusammengefasst. Im Allgemeinen werden sie durch äußere Belohnungen motiviert. Punkte, Abzeichen und Ähnliches stellen einen Anreiz für sie dar. Zu den Playern gehört der Self-Seeker, der Consumer, der Networker und der Exploiter. Self-Seeker sind dem intrinsischen Philanthropist ähnlich. Jedoch verlangen sie etwas im Gegenzug für ihre Hilfe. Consumer passen ihr Verhalten dem Ziel an, so viele Belohnungen wie möglich anzuhäufen. Networker suchen ebenso wie Socialiser den Kontakt zu anderen, allerdings mit dem Ziel, nützliche Kontakte zu knüpfen, die ihnen zu Einfluss oder Belohnungen verhelfen können. Und Exploiter testen die Grenzen des Systems, suchen nach Schlupflöchern, um so auf neuen Wegen und schneller an Belohnungen zu gelangen.

Zuletzt folgt der durch Störung und Veränderung motivierte Nutzertyp, der Disruptor. Dabei kann das Motiv zur Veränderung sowohl positiv als auch negativ sein. Die Einteilung der Subtypen erfolgt anhand dieser Unterscheidung. Griefer und Destroyer haben vorrangig negative Bestrebungen. Erstere möchten anderen Nutzern im System zusetzen, während Zweitere mehr daran interessiert sind, das System selbst zu stören und die Erfahrung darin auch für andere zu ruinieren. Entweder, weil sie etwas gegen das System haben oder einfach, weil sie Spaß daran haben, etwas zu beschädigen. Beide Typen sind schlecht für ein gamifiziertes System. Sie können allerdings in ihr positives Pendant gewandelt werden. Dem Griefer steht der Influencer gegenüber. Sie möchten das System verändern, indem sie Einfluss auf andere Nutzer nehmen. Werden sie gehört, werden sie große Befürworter des Systems. Improver, dem Destroyer gegenüber, testen das System wie ein Exploiter auf der Suche nach

Schlupflöchern und Fehlern, allerdings nicht mit dem Ziel diese auszunutzen. Ein Improver möchte etwas verbessern und Probleme lösen. Jedoch können Influencer und Improver ebenso in ihr Gegenteil abgleiten, wenn sie nicht ernst genommen werden. Diese letzte Gruppe des Disruptors nimmt nur einen kleinen Teil der Nutzergruppen ein.

Die meisten Anwender sind anfangs sehr belohnungsorientiert. Es kann von Vorteil sein zu versuchen, ihre extrinsische in eine intrinsische Motivation zu wandeln. Denn intrinsische Motivation trägt dazu bei, dass anspruchsvollere Fähigkeiten entwickelt werden und höherer Genuss erreicht wird (Charles et al., 2020). Natürlich ist nicht jeder Anwender klar einem Nutzertypen zuzuordnen. Wie bereits beschrieben können sie sich im Lauf der Zeit wandeln oder auch von Anfang an mehreren Typen zugeordnet sein. Daher kann es sich lohnen, in Rehabilitationsanwendungen mehrere verschiedene Spiele zu entwickeln, die verschiedene Nutzertypen im Besonderen ansprechen. Denn es ist ohnehin schwer, die gesamte Bandbreite von Einschränkungen, die nach einem Schlaganfall auftreten können, optimal in einer einzigen Anwendung zu berücksichtigen (Charles et al., 2020).

Inwiefern sich die Nutzertypen mit dem Alter oder durch andere Faktoren wie körperliche oder geistige Einschränkungen verändern, ist noch wenig erforscht.

Altmeyer und Lessel (2017) untersuchten in einer kleinen Studie mit nur 18 Teilnehmern die Nutzertypen von Menschen von 75 bis 93 Jahren. Dazu nutzen sie das Modell von Marczewski. Alle Probanden geben an, der soziale Kontakt sei für sie beim Spiel am wichtigsten. Spielen bietet die Möglichkeit, neue Kontakte zu knüpfen, Konversationen zu beginnen und gemeinsam Zeit zu verbringen. Obwohl einige von ihnen gern gewinnen, steht das nicht im Vordergrund. Zudem ist ihnen wichtig, dass alle Beteiligten Spaß am Spiel haben. Und sie arbeiten lieber in Teams als jeder für sich. Aus der Studie ergibt sich, dass 83,3% der Teilnehmer dem Nutzertyp Philanthropist zugeordnet werden. Je 5,6% sind Socialiser, Player oder Achiever. Free Spirits sind nicht vertreten. Über den Disruptor wird keine Aussage getroffen. Zum Vergleich wurde eine jüngere Kontrollgruppe untersucht. Hier waren 29,41% Philanthropist, 20,59% Free Spirit, 17%, 56% Player, 17,65% Achiever und 14,71% Socialiser. Die Gründe für diese sehr unterschiedliche Verteilung ist Teil der Diskussion, ob diese Verteilung typisch für die Generation ist oder sie sich mit dem Alter verändert. Laut Aussagen der Probanden jedoch waren sie in jüngeren Jahren ehrgeiziger und weniger auf sozialen Kontakt bedacht. Aufgrund der geringen Teilnehmerzahl sind die Ergebnisse dieser Studie nur bedingt allgemein auf ältere Menschen übertragbar.

Für Schlaganfallpatienten finden sich viele Anwendungen, die vor allem für den Nutzertyp Achiever ausgelegt sind. Und nach einer weiteren Vermutung von Charles et al. (2020) ist der Typ Free Spirit für Schlaganfallpatienten weniger relevant, da eine behinderte Person eventuell weniger den Wunsch oder das Bedürfnis nach Autonomie hat. Allerdings finden sich auch Schlaganfallpatienten betreffend wenige Informationen zur Verteilung der Nutzertypen.

3.2.2 Flow

Laut Csikszentmihalyi (2017, S. 15–21) kann Glück nicht direkt erreicht werden, es ist jedoch möglich, eine „optimale Erfahrung“ zu erleben. Diese wird von ihm als *flow* beschrieben.

Er fasst die Voraussetzungen und die Erfahrung selbst in acht Punkten zusammen (S. 101 – 139):

1. Es gibt eine den eigenen Fähigkeiten entsprechende Herausforderung und man hat das Gefühl, dieser Herausforderung gewachsen zu sein
2. Die zu bewältigende Aufgabe und ihre Ziele sind klar definiert, es gibt feste Regeln und unmittelbare, deutliche Rückmeldung
3. Die Konzentration richtet sich gänzlich auf die zu bewältigende Aufgabe
4. Es kommt zu einem Verlust des Selbstgefühls während der Aufgabe; Nach Beendigung kehrt das Selbst-Bewusstsein zurück, man hat neue Fähigkeiten gelernt und wird sich seiner Leistungen bewusst
5. Es erfolgt keine Selbstreflexion während der Aufgabe, ablenkende Gedanken wie eventuelle Schwierigkeiten oder Gefahren werden ausgeblendet
6. Man hat das Gefühl, die nötigen Fähigkeiten zur Bewältigung der Aufgabe zu besitzen und somit die Kontrolle darüber zu haben
7. Es kommt zu einem Verlust des Zeitgefühls
8. Die Aufgabe selbst ist das Ziel, nicht das Erfüllen der Aufgabe

Wichtig dabei ist die Balance zwischen dem Grad der Herausforderung und den eigenen Fähigkeiten. Ist die Herausforderung zu schwer, führt das erst zu Vorsicht, dann zu Ängstlichkeit; ist sie zu leicht, kommt es vorerst zu Entspannung, dann aber zu Langeweile (Nakamura & Csikszentmihalyi, 2014). Aus dieser Balance ergibt sich der sogenannte *flow channel* (Abbildung 1).

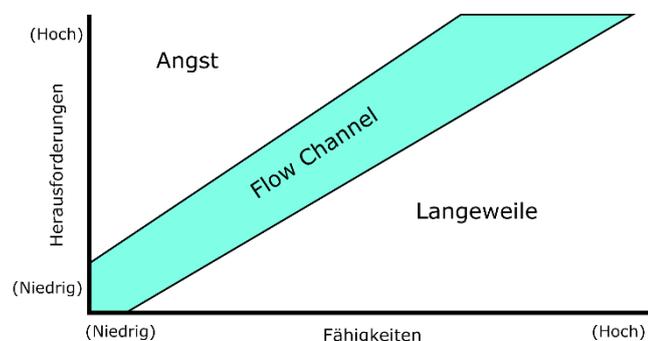


Abbildung 1 – Flow Channel

Angelehnt an Csikszentmihalyi (1997, S. 74)

Videospiele setzen das Konzept von Flow um, indem sie Feedback liefern und klare Ziele vorgeben, die durch das Beherrschen von Fertigkeiten im Spiel erreicht werden können. Auch hier gilt, um den Zustand des ‚im Flow-Sein‘ aufrecht zu erhalten, müssen die Fähigkeiten des Spielers und die Herausforderung des Spiels ausbalanciert sein.

Ein zu leichtes oder zu schweres Spiel kann demotivierend sein und ein Verlassen des Spiels zur Folge haben. Ziel ist es, den Spieler in der Flow-Zone zu halten, diese ist jedoch von Spieler zu Spieler unterschiedlich (Abbildung 2). Aus diesem Grund müssen Erfahrungen bzw. Anwendungen Möglichkeiten bieten, sich an verschiedene Spieler oder Nutzer anzupassen (J. Chen, 2007).

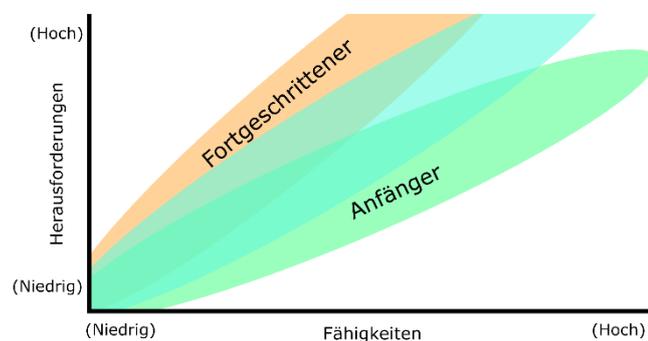


Abbildung 2 – Unterschiedliche Flow-Zonen je nach Spieler

Angelehnt an J. Chen (2007)

Cowley et al. (2008) stellen die Hypothese auf, dass Videospiele aufgrund leichter Einstiegsbedingungen die Möglichkeit bieten, leichter Flow zu erleben. Sie untermauern dies damit, dass Spiele eine feste Umgebung haben und Handlungsmöglichkeiten bieten. Diese sind zu Beginn einfach, nehmen aber mit fortschreitender Vertrautheit und wachsenden Fähigkeiten an Komplexität zu. Durch seine eigenen Handlungen erfährt der Spieler ein Gefühl der Kontrolle. Ebenfalls positiv wirkt sich aus, dass kaum Ausrüstung benötigt wird und die virtuelle Welt nahezu keine Risiken oder Gefahren birgt.

Aus diesen Erkenntnissen lässt sich schließen, dass eine adaptive Schwierigkeitsanpassung Flow unterstützt, indem der Anwender weder unter- noch überfordert wird. Außerdem ist ein spielerisches Umfeld als leichter Flow-Einstieg sinnvoll.

3.3 DYNAMISCHE SCHWIERIGKEITSANPASSUNG

Unter *game balancing* (im Folgenden Spielbalancing) versteht man das Anpassen eines Spiels auf die richtige Schwierigkeitsstufe (Pagulayan et al., 2003).

Der Begriff dynamische Schwierigkeitsanpassung wird vor allem im Spiele-Kontext verwendet. DDA steht für *Dynamic Difficulty Adjustment* (im Folgenden Dynamische Schwierigkeitsanpassung) und beschreibt Techniken, mit denen sich ein Spiel automatisch an

die Fähigkeiten des Spielers anpasst. Dieses Konzept ist schon viel untersucht worden (Hunicke, 2005; Jennings-Teats et al., 2010; Spronck et al., 2004). Aber auch in anderen Bereichen wie Serious Games und Gamification kann dynamische Schwierigkeitsanpassung verwendet werden, um eine breitere Audienz anzusprechen (Szegletes et al., 2014) oder ein personalisiertes Erlebnis zu bieten (Gouaich et al., 2012). Unter Serious Games versteht man Spiele, die zwar einen ernsthaften Hintergrund haben, aber mithilfe von spielerischen Elementen Spaß am Lernen vermitteln sollen.

3.3.1 Dynamische oder statische Schwierigkeitsanpassung

Laut Pagulayan et al. (2003) gibt es mehrere Möglichkeiten, die Schwierigkeit eines Spiels anzupassen. Eine davon ist es, den Spieler aus vorgegebenen Schwierigkeitsstufen (meistens einfach, mittel und schwer) wählen zu lassen. Auch wenn die Lösung simpel erscheint, kann schlecht eingeschätzt werden, was vom Spieler als einfach oder als schwer empfunden wird. Alternativen dazu sind die Selbstregulation des Spielers durch mehr Auswahlmöglichkeiten zu Beginn, beispielsweise Fähigkeiten, Gegner und Umgebung, oder Anweisungen zu Beginn des Spiels. Ebenfalls möglich ist eine Anpassung anhand der Spielerfertigkeiten, die nur dann eingreift, wenn der Spieler Probleme hat, oder die Regulierung des gegnerischen Schwierigkeitsgrads. Letzteres wird *rubber banding* genannt und vor allem in Rennspielen genutzt.

Spieler haben unterschiedliches Können, lernen unterschiedlich schnell und unterscheiden sich in ihren Spielstilen. Mit einer vordefinierten Schwierigkeitskurve, wie sie oft von Spieleentwicklern benutzt wird, kann darauf nicht eingegangen werden (Xue et al., 2017). Stattdessen wäre es möglich, dass der Spieler selbst entscheidet, wie schwierig das Spiel ist. Hier besteht das Problem darin, dass zu viele Wahlmöglichkeiten den Spieler überfordern könnten und eventuell technisch nicht umsetzbar sind. Außerdem kann das Spielerlebnis beeinträchtigt werden, wenn der Spieler zu oft zu Entscheidungen aufgefordert wird (J. Chen, 2007).

Koster (2013) zählt auf, was zu Langeweile in Spielen führen kann. Unter anderem:

- dass das Spiel zu trivial ist
- dass der Spieler kein Interesse daran hat, in die Tiefe zu gehen
- dass keine Muster erkannt werden können und das Spiel somit zu schwer ist
- dass sich das Muster zu langsam ändert, die Schwierigkeit zu langsam steigt und das Spiel als zu einfach abgestempelt wird
- dass sich das Muster zu schnell ändert und die Schwierigkeit zu schnell steigt
- dass die Muster vollständig verstanden und das Spiel gemeistert wurde

Er beschreibt ebenfalls, dass ein Spiel nicht auf die Bedürfnisse aller Spieler eingehen kann, da jeder unterschiedliche Fähigkeiten besitzt und unterschiedlich schnell lernt. Somit ist eine Schwierigkeitskurve in Spielen mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht passend für alle Spieler. Koster merkt an, dass Spieler dazu neigen, auf einer niedrigen Schwierigkeitsstufe zu bleiben. Grund dafür ist das Bedürfnis, etwas Neues daraus zu lernen und optimal vorbereitet zu sein. In der Rehabilitation wird sowohl manuelle Adaption als auch dynamische Adaption gar keiner Adaption vorgezogen. Allgemein hat die manuelle Anpassung den Nachteil, dass Patienten mit Hirnverletzungen möglicherweise nicht in der Lage sind, einen angemessenen Schwierigkeitsgrad abzuschätzen und das Spiel dementsprechend einzustellen. Eine kleine Studie konnte zeigen, dass 4 von 5 Personen mit Armbbeeinträchtigung durch neurologische Verletzung die dynamische Adaption bevorzugt haben, während sich bei 32 Personen ohne Beeinträchtigungen keine Präferenz gezeigt hat. Dabei ging es insbesondere um den kompetitiven Aspekt, wenn beispielsweise der betroffene Patient und ein Familienangehöriger gemeinsam spielen. Bei einem Pong-Spiel muss der Ball mit Balken Hin und Her gespielt werden, dabei können die Größe der Balken und die Geschwindigkeit des Balls angepasst werden. Für kompetitive Anwendungen könnte es sinnvoll sein, eine Kombination aus dynamischer und manueller Anpassung zu verwenden. So wäre es möglich, die automatische Anpassung durch eine eigene Auswahl zu überschreiben (Gorsic et al., 2017).

3.3.2 Dynamische Schwierigkeitsanpassung in Spielen allgemein

Dynamische Schwierigkeitsanpassung kann genutzt werden, um das Spiel an die Fähigkeiten des Spielers anzupassen. Sie sorgt dafür, dass ein Spiel ausbalanciert ist, und sollte im Idealfall nicht bemerkbar sein (Hunicke, 2005). Um ein Spiel dynamisch anzupassen, sollten mehrere Aspekte beachtet werden. Unter anderem, wie der aktuelle Spielstand ermittelt werden kann, zukünftige Spielstände vorhergesagt werden können und wie es möglich ist, die Schwierigkeit der Level auf ein angemessenes Maß zu regeln (Xue et al., 2017).

Das *MDA framework* versucht, ein Spiel in drei Designaspekte zu unterteilen (Mechanik, Dynamik und Ästhetik). Mechaniken sind dabei die speziellen Komponenten des Spiels in Form von Daten und Algorithmen. Dynamik ist das vom Spieler und anderen Dynamiken beeinflusste Laufzeitverhalten der Mechanik, und Ästhetik ist die gewünschte emotionale Reaktion des Spielers auf die Interaktion mit dem System (Hunicke et al., 2004).

Nach Hunicke (2005) sollte die Mechanik von der Anpassung beeinflusst werden, was sich wiederum auf die Dynamik auswirkt, die Ästhetik des Spiels aber nicht beeinflusst. Eine Mechanik kann beispielsweise das Auftauchen von Waffen, Munition und Power-Ups sein, eine Dynamik zum Beispiel die wachsende Herausforderung mit jedem Level. Ein Ansatz ist, mithilfe eines Algorithmus den aktuellen Spielstatus und damit die Fähigkeiten des Spielers zu evaluieren und dann anhand von Anpassungsregeln das Spiel entsprechend abzustimmen.

Möglich ist zum Beispiel eine Anpassung, die Wohlbefinden oder Unwohlsein des Spielers als Ziel hat, eine Mischung von beidem ist nicht ausgeschlossen. In Hunicke's Studie wird die Vermutung aufgestellt, dass bereits grobe Anpassungsalgorithmen zu besserer Leistung führen. Das entwickelte Hamlet-System berechnet in einem Testspiel die Todeswahrscheinlichkeit des Spielers und fügt Leben hinzu, wenn ein Grenzwert überschritten wird. Hier ist das Ziel Wohlbefinden, der Spieler soll sich sicher fühlen, indem seine Lebenspunkte auf einem durchschnittlichen Wert gehalten werden.

Ein anderes Beispiel für dynamische Schwierigkeitsanpassung ist ein 2D-Plattform-Spiel, das, statt einzelne Werte oder das Level-Design anzupassen, Levelsegmente mithilfe von Machine Learning dynamisch erstellt und sich so an die Fähigkeiten des Spielers anpasst. Hier ist die Zeit, die der Spieler stillsteht oder sich rückwärts bewegt, die gebrauchte Zeit für das Level, die gesammelten Münzen und sterben oder Level erfolgreich beenden ausschlaggebend für die Anpassung. (Jennings-Teats et al., 2010).

Yu und Trawick (2011) generieren ebenfalls prozedurale, personalisierte Level. Sie gehen in zwei Schritten vor, im ersten werden die Spieler in Spielstile kategorisiert, im zweiten werden anhand dessen ein Frustrations-Modell und ein Langeweile-Modell erstellt. Der Spielstil wird anhand von Aktivitäten des Spielers im Spiel ermittelt, ein Algorithmus berechnet anschließend die wahrscheinliche Zugehörigkeit zu bereits bestehenden Stilen. Ein Fragebogen wird hinzugezogen und mit einberechnet. Bei der Berechnung der Modelle wird ein Ranking-Algorithmus verwendet, der die Bewertungen aus den Fragebögen miteinander vergleicht. In einer Pilotstudie wurden die Probanden erst zu ihrem Spielstil befragt, anschließend sollten drei bis fünf zufällig generierte Level gespielt und nach Frustration und Langeweile in einer Rangliste angeordnet werden. Die eigentliche Studie zeigt, dass durch eine Kombination der beiden Modelle Level erzeugt werden können, die weniger frustrierend oder langweilig sind (Yu & Trawick, 2011).

Während die bisher vorgestellten Ansätze mehr darauf hinarbeiten, zeitnah zu Erfolgen zu führen, wollen Xue et al. (2017) einen Effekt über das gesamte Spiel hinweg erzielen. In ihrem Fortschrittsmodell gehen sie davon aus, dass ein Spieler entweder das Level schafft und zum nächsten Level aufsteigt, das Level verliert und es wiederholt oder, im schlechtesten Fall, das Spiel komplett verlässt. Ihr Ziel ist es, die Gewinnrate und damit das Aufsteigen zum nächsten Level auf einem optimalen Wert zu halten, und den Spieler dazu zu bringen so viele Runden wie möglich zu spielen. Basis dafür ist ein probabilistisches (die Wahrscheinlichkeit berücksichtigendes) Diagramm und dynamische Programmierung, die die Gewinnrate berechnet. Die Anpassung soll dabei das Spiel leichter oder schwerer machen und vom Spieler nicht bemerkt werden, weshalb eine Veränderung des Ziels nicht passend wäre. Match-3-Spiele setzen das um, indem das Spielfeld mithilfe von *random seeds* (im Folgenden: Startwert) initialisiert wird. Die Verwendung desselben Startwerts sorgt für reproduzierbare

Zufallszahlen und damit reproduzierbare Verteilung der Spielsteine. Anhand von Spielerdaten ist eine Zuordnung von Startwerten zu Schwierigkeiten möglich, somit kann der Startwert für die Anpassung genutzt werden, ohne das Ziel des Levels zu verändern.

Liu et al. (2009) verfolgen den Ansatz, dass nicht nur die Performance des Spielers, sondern auch dessen emotionaler Zustand eine Rolle bei der Schwierigkeitsanpassung spielen sollte. In ihrer experimentellen Studie vergleichen sie leistungsorientierte dynamische Schwierigkeitsanpassung mit affektbasierter dynamischer Schwierigkeitsanpassung. Für die affektbasierte Anpassung bestimmen sie die Unruhe des Spielers mittels kardiovaskulärer Aktivität, Hautleitfähigkeit und EMG-Aktivität, anschließend erfolgt eine Unterteilung in niedrige, mittlere oder hohe Unruhe. Basierend auf Daten von vorherigen Untersuchungen sind den Leveln drei Schwierigkeitsgrade zugeordnet. Je nach Anpassungs-Modell wurde anhand der Leistung oder der Unruhe die Schwierigkeit erhöht oder gesenkt. Sie stellen die Vermutung auf, dass sich affektbasierte Anpassung positiv auf das Spielerlebnis auswirkt und demonstrieren mit ihrer Studie, dass aus den physischen Reaktionen auf den Zustand des Spielers geschlossen werden kann und eine dynamische Anpassung in Echtzeit anhand dessen möglich ist.

Eine weitere Studie misst die Begeisterung des Spielers mit einem EEG-Headset. Auch hier werden physische Signale statt heuristischen Indikatoren genutzt, um die Anpassung auszulösen. Die Schwierigkeit wird angepasst, wenn die Begeisterung des Spielers steigt oder fällt. In einem Test mit einem Multiplayer Third-Person-Shooter wird heuristische mit EEG-ausgelöster dynamischer Schwierigkeitsanpassung verglichen. Ersteres verwendet die Zeit als Auslöser, zweiteres einen in einer Lerneinheit bestimmten Begeisterungsschwellwert des Spielers. Auch wenn mit der Studie gezeigt werden konnte, dass EEG-ausgelöste dynamische Schwierigkeitsanpassung mehr Begeisterung bei einem Spieler auslösen kann, sind heuristische Ansätze besser umzusetzen, wenn keine Messmöglichkeiten vorhanden sind. Außerdem wurde die dynamische Schwierigkeitsanpassung generell keiner Schwierigkeitsanpassung vorgezogen (Stein et al., 2018).

Charles et al. (2005) weisen darauf hin, dass dynamische Schwierigkeitsanpassung in Spielen auch Nachteile haben kann. Zum einen unterscheidet sich die Spielerfahrung von Spieler zu Spieler, was einen Vergleich untereinander erschwert. Diese Möglichkeit ist durch Cheats, Anleitungen und modifizierte Spiele aber auch ohne adaptive Anpassung gegeben. Zum anderen werden Nutzerprofile nicht immer nur von einer einzelnen Person verwendet, was eine individuelle Anpassung erschwert. Zuletzt wird zusätzliche Entwicklungszeit benötigt und das Spiel muss intensiver getestet werden, um Bugs zu verhindern, die das Spiel unspielbar machen würden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Schwierigkeit sowohl über aus dem Spiel gewonnene Informationen als auch über physische Signale geregelt werden kann. Die

Informationen betreffen dabei den aktuellen Spielstatus und das Verhalten des Spielenden, die physischen Signale dessen Zustand. Eine Evaluation, ob angepasst werden soll, kann beispielsweise mit einfachen Algorithmen oder Machine Learning erfolgen. Es können einzelne Variablen, Spielerzustände, Gegner oder die gesamte Spielumgebung beeinflusst werden, das grundlegende Spiel sollte dabei jedoch erhalten bleiben.

3.3.3 Dynamische Schwierigkeitsanpassung in Rehabilitationsanwendungen

Ähnlich wie bei Spielen wird die dynamische Schwierigkeitsanpassung in der Rehabilitation dazu verwendet, die Anwendung oder das Spiel auf die individuellen Bedürfnisse des Patienten anzupassen. Grund dafür ist, dass jeder Patient unterschiedliche Beeinträchtigungen hat und sich unterschiedlich schnell erholt (Gouaïch et al., 2012). Im Folgenden werden verschiedene Ansätze für die Anpassung und zu beachtende Kriterien vorgestellt.

Spiele für Schlaganfallpatienten sollten so konzipiert werden, dass der Fokus mehr auf Erfolg und der Belohnung von Anstrengung als Misserfolg liegt. Eventuell mangelnde Videospieelerfahrung, eingeschränkte Bewegungsmöglichkeiten und Gewöhnungsbedarf mit der verwendeten Hardware sprechen für einen langsamen Einstieg, der zum Weiterspielen motiviert. Aus anfänglichen Tests zu dem physischen und kognitiven Zustand des Patienten kann auf ein anfängliches Schwierigkeitslevel geschlossen werden, eine direkte Übertragung auf Spielparameter ist jedoch schwer umzusetzen. Deshalb sollte der Anfangszustand so gewählt werden, dass sich der Benutzer an das System gewöhnen kann und Versagen nahezu ausgeschlossen ist. Je länger das Spiel gespielt wird, desto mehr Erfahrung sammelt der Spielende. Um die Motivation aufrecht zu erhalten ist es dann notwendig, die Schwierigkeit dementsprechend zu erhöhen. Normalerweise ist ein Therapeut dafür verantwortlich, Anpassungen vorzunehmen und ermittelte physische und kognitive Fähigkeiten zu berücksichtigen. Für eine dynamische Anpassung muss die Leistung des Benutzers während des Spielens gemessen werden. Ausschlaggebend für die Schwierigkeit sind Geschwindigkeit, geforderte Reaktionszeit, Pausenzeiten zwischen einzelnen Einheiten, zu erreichende Punkte und die Größe von Spielelementen. Für eine leichte Schwierigkeit sollte eine lange Reaktionszeit toleriert werden. Zusätzlich geeignet sind große, nah beieinanderliegende und sich langsam bewegende Elemente, die erreicht werden müssen (Burke, Mcneill et al., 2009). Ávila-Sansores et al. (2013) haben einen Algorithmus entwickelt, der die Leistung des Patienten und das Feedback des Therapeuten zur Anpassung heranzieht. Sie messen die Kontrolle und die Geschwindigkeit in der Anwendung. Die Kontrolle basiert darauf, wie exakt eine Bewegung ist und ob sie von dem vorhergesehenen, geraden Pfad abweicht. Die Geschwindigkeit berechnet sich aus der Ausführungsgeschwindigkeit und der

zurückzulegenden Distanz. Beides wird einem Markov-Entscheidungsprozess (MDP) zugeführt, dieser passt die Schwierigkeit anhand dessen an. Eine gute Performance führt zu einer erhöhten Schwierigkeit und umgekehrt. Mit einem Reinforced Learning-Algorithmus wird die anfängliche Anpassungsregel dynamisch angepasst, dabei wird die vom Therapeuten bestimmte Belohnung für Handlungen mit einbezogen.

Ein anderer Algorithmus ist von der Natur inspiriert und den Pheromonen von Ameisen nachempfunden. In einem ersten Schritt wird der Patient gebeten, bestimmte Bereiche auf dem Spielfeld zu berühren. Während der Bewegung „sitzt“ eine virtuelle Ameise auf der Hand des Patienten und hinterlässt Duftstoffe, welche sich nach festgelegten Regeln verbreiten und verflüchtigen. Werden Bereiche mehrmals besucht, ergibt sich dort eine höhere Duftstoffkonzentration. Sie werden damit als leicht erreichbar eingestuft. Eine Interaktionsmatrix wird aus der Fähigkeitsmatrix, die auf den Bewegungsmöglichkeiten des Patienten basiert, und einem Motivationsmodul gebildet. Sie bildet das Spielfeld als Zeilen und Spalten mit einzelnen Zellen ab. Das Motivationsmodul gibt eine Empfehlung zur Erhöhung oder Verringerung der Schwierigkeit ab. Wird das Ziel mehrmals hintereinander nicht erreicht, verringert sich die Schwierigkeit und die Ziele werden in sehr wahrscheinlich erreichbare Bereiche gelegt, um Frustration zu vermeiden. Wird hingegen mehrfach hintereinander ein Erfolg erzielt, erhöht sich die Schwierigkeit und die Ziele können auch in weiter entfernten Bereichen auftauchen, um Langeweile zu verhindern. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, das Schwierigkeitslevel beizubehalten. So soll es möglich sein, mehr und längere Therapiesitzungen durchzuführen. Die Anwendung soll sowohl in den ersten Monaten der Rehabilitation als auch später zuhause möglich sein (Gouaïch et al., 2012).

Damit Spiele für die Rehabilitation zuhause geeignet sind, muss sichergestellt sein, dass Patienten die passenden Bewegungen korrekt ausführen und das Spiel motivierend genug ist, um auch langfristig angewendet zu werden. Um das Spiel herausfordernd und unterhaltsam zu gestalten, sollte die Schwierigkeit auch hier dynamisch angepasst werden. Idealerweise werden die Schwierigkeitswerte zusammen mit einem Therapeuten festgelegt, um auf individuelle Patientenziele einzugehen und bestehende Beeinträchtigungen sowie unterschiedlich schnelle Verbesserung mit einzubeziehen (Alankus et al., 2010).

Auch in der Rehabilitation kann es sinnvoll sein, physische Signale mit einzubeziehen. Barzilay und Wolf (2013) erfassen die Bewegung mithilfe von *Motion Capturing* (3D-Bewegungserfassungssystem) und messen mit elektromyografischen Sensoren (EMG) die Muskelaktivierung. Ein *artificial neural network* (künstliches neuronales Netz) erzeugt, sobald es mit einer vorhergehenden Übung trainiert wurde, anhand der bisher erbrachten Leistung eine neue Übung und bezieht die EMG-Signale mit ein. So kann der Therapeut die gewünschte motorische Leistung angeben, statt selbst eine Übung dazu zu entwerfen.

3.4 VISUELLES FEEDBACK

Feedback spielt in digitalen Anwendungen zur Rehabilitation eine große Rolle (Burke et al., 2010).

Es wird zwischen intrinsischem und extrinsischem Feedback unterschieden. Als intrinsisch wird das Feedback bezeichnet, welches sinnliche Nervenreizungen betrifft. Darunter fällt beispielsweise die visuelle Information, wo sich die Hand befindet oder ob ein Gegenstand, nach dem gegriffen wurde, auch erreicht wird. Von extrinsischem Feedback wird gesprochen, wenn das Feedback von außen kommt, zum Beispiel in Form von Korrekturen durch eine Person oder einer digitalen Anwendung. Es sind also Informationen, die zusätzlich zum intrinsischen Feedback gegeben werden. Letzteres ist beim Erlernen von Bewegungen ohnehin immer präsent (Sigrist et al., 2013). Daher ist im Zusammenhang mit der Entwicklung einer Anwendung vor allem das extrinsische Feedback von Bedeutung.

Eine weitere Abgrenzung ist zwischen Feedback und Feedforward zu ziehen. Feedback gibt Informationen über den Zustand der Bewegung während oder nach der Ausführung. Im Gegensatz dazu informiert Feedforward über die Bewegung vor ihrer Ausführung (Sodhi et al., 2012). Dabei geht es also mehr darum im Vorhinein anzuzeigen, wie eine Bewegung ausgeführt werden muss. In dieser Arbeit soll es primär um Feedback gehen, allerdings hat beides gemeinsame Berührungspunkte, so auch in der Literatur, und ist manchmal schwer voneinander zu trennen.

Die Darstellung von visuellem Feedback ist sehr vielfältig möglich. Es kann durch abstrakte Visualisierungen wie Linien, Pfeile, oder Ähnlichem gegeben werden. So zum Beispiel bei Sodhi et al. (2012). Mithilfe von Projektionen von Pfeilen oder Farbflächen wird der Anwender zu einer bestimmten Bewegung angeleitet. Alternativ kann Feedback durch eher bildliche und natürliche Darstellungen gegeben werden. Beispielsweise durch virtuelle Spiegel, Avatare oder Ähnliches. Oder anhand von Animationen, deren Vorteil es ist, dass sie auf das Wesentliche reduziert werden können. Außerdem sollten gängige Metaphern berücksichtigt werden, wie zum Beispiel rote Farbe für falsches Verhalten. Bei der Wahl des Designs kommt es außerdem auf die Komplexität der Aufgabe an. Für einfachere Aufgaben sind abstrakte Darstellungen ausreichend. Es besteht jedoch die Gefahr, dass sie auf Dauer langweilig werden und bei komplizierteren Bewegungsausführungen im Raum nicht genügen. Hierfür sind natürliche Darstellungen eher von Vorteil, auch wenn es nur wenig Studien gibt, die mehrere Ansätze miteinander vergleichen (Sigrist et al., 2013).

In erster Linie gibt Feedback Aufschluss über die Leistung. Während der motorischen Rehabilitation kann eine falsche Bewegungsausführung die Effektivität der Therapie verschlechtern oder sogar dem Patienten schaden (A. D. Gama et al., 2012). Anwendungen zur Rehabilitation zielen jedoch oftmals darauf ab, auch zuhause, außerhalb einer

medizinischen Einrichtung die Rehabilitation fortzuführen (Hoda et al., 2015; Kohler et al., 2010; Tobler-Ammann et al., 2017). So ist keine therapeutische Betreuung dabei, die falsche Bewegungen korrigieren kann. Das muss demnach vom System übernommen werden.

In der Studie von Lamoth et al. (2012) wurde die Aufgabe mithilfe von Feedback von den Probanden sehr viel genauer ausgeführt, als ohne. Dies bestätigen auch Forschungen von A. D. Gama et al. (2012). Dem etwas entgegen stehen Erkenntnisse von Popović et al. (2014). Sie verglichen die Effektivität von Übungen absolviert mit Feedback durch ein Videospiel und ohne Feedback unter den Aspekten Motivation, Ausdauer beim Ausführen der Übungen und Verbesserung der motorischen Funktionen der Patienten. Bei der Gruppe mit Feedback waren zwar sowohl Durchhaltevermögen als auch Motivation höher. Zudem verbesserten sie sich stärker unter den Gesichtspunkten Geschwindigkeit und Gleichmäßigkeit beim Ausführen der Übungen. Allerdings verbesserte sich die Präzision der ausgeführten Bewegungen nur bei einem Teil der Teilnehmer, bei einem Viertel verschlechterten sie sich leicht. Begründet wird dies damit, dass in dem Spiel versucht wurde, so schnell wie möglich zu agieren, um viele Punkte zu erzielen, statt auf die Präzision zu achten. Um dem entgegen zu wirken, könnte auf das Vorgehen von Burke, McNeill et al. (2009) zurückgegriffen werden und nicht nur das Erreichen des Ziels mit Punkten belohnt werden, sondern auch die präzise Ausführung und die Bemühung an sich.

Dieser Ansatz von Feedback verfolgt noch ein weiteres Ziel: die Motivation des Patienten zu erhöhen. Denn wie unter dem Kapitel 3.2 bereits dargelegt, ist Motivation in der Rehabilitation ein wichtiger Bestandteil. Feedback bietet das Potential dazu, durch die oben genannten Möglichkeiten. Zu motivieren wird von Burke, McNeill et al. (2009) als besonders wichtig erachtet. Die Korrektur von Fehlern hingegen raten sie eher vorsichtig und in positiver Weise zu handhaben, um den Patienten motiviert zu halten.

Für die Motivation des Anwenders spielt auch ihr Nutzertyp eine Rolle (siehe Kapitel 3.2.1). Je nachdem, welchem Nutzertyp jemand zugeordnet wird, sind andere Rückmeldungen motivierend. Für Player ist beispielsweise positives Feedback in Form von Punkten eher motivierend, während für einen Socialiser der Vergleich mit anderen ein Anreiz sein kann.

Zudem ist Feedback von der Umgebung von Vorteil. Beispielsweise um zu zeigen, ob und mit welchen Gegenständen interagiert werden kann. Das ist besonders im Umgang mit Anwendungen in VR relevant. Denn je besser das Feedback ist, das der Spieler von der Umgebung bekommt, desto mehr fühlt er sich in die virtuelle Umgebung eingebunden (Ip, 2008). Auch Lamoth et al. (2012) zeigen auf, dass visuelles Feedback eine Aufgabe spannender und motivierender macht. Sie verglichen eine ausgeführte Balanceübung mit und ohne Feedback.

Feedback im Allgemeinen erfüllt also verschiedene Aufgaben. Es hat die Aufgabe zu motivieren und falsches Verhalten zu korrigieren. Darüber hinaus hilft es, den Anwender in die virtuelle Umgebung zu integrieren und ihm Hinweise auf Interaktionsmöglichkeiten zu geben. Und letztlich soll es in einer Anwendung zur Rehabilitation dazu beitragen, dass der Patient Fortschritte erzielt.

Zudem spielt das Timing des Feedbacks eine Rolle. Je nach Komplexität der Bewegung und ob sie wieder abrufbar sein muss, ist der Zeitpunkt, zu dem das Feedback gegeben wird, mit entscheidend für die Verbesserung einer trainierten Fähigkeit. Kontinuierlich während der Aufgabe gegebenes Feedback erhöht die Präzision der Ausführung mehr als Feedback, das erst nach Ausführung der Aufgabe gegeben wird. Allerdings nur, solange das Feedback konstant gegeben wird. In der erneuten Ausführung ohne Feedback schneiden Probanden, die zuvor kontinuierlich Feedback bekommen haben, schlechter ab, als solche, die erst nach einem oder sogar mehreren Durchgängen welches erhalten haben (Winstein et al., 1996). Dies gilt vor allem für einfache Bewegungen. Bei komplexen Abläufen kann durchgängiges Feedback durchaus hilfreich sein, genauso wie solches nach Ausführung der Aufgabe. Je komplexer die Bewegung, desto mehr profitiert der Anwender davon. Wenn der Anwender darüber hinaus selbst bestimmen kann, wann er Feedback möchte oder braucht, kann das zusätzlich die Motivation erhöhen (Sigrist et al., 2013).

3.4.1 Visuelles Feedback in Anwendungen für Ältere

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit dem visuellen Feedback in Anwendungen, die speziell für ältere Menschen entwickelt wurden und worauf bei dessen Einsatz zu achten ist.

Sehr positives Feedback kann einen großen Effekt auf Performance und Bewegungslernen haben. Probanden müssen in zwei Experimenten bei Wulf et al. (2012) so lange wie möglich balancieren. Im ersten Fall wurde ihnen danach gesagt, sie lagen mit ihrer Balancezeit 20% über dem Durchschnitt. Bei dem zweiten Experiment bekamen die Probanden die Information, dass Gleichaltrige für gewöhnlich sehr gut in dieser Aufgabe sind. Bei beiden Experimenten waren die Probanden, die Feedback erhielten, besser als die Kontrollgruppe bezüglich der Effektivität im Lernen und in der Ausführung der Aufgabe. Das Durchschnittsalter der Teilnehmer lag bei 71,1 für das erste Experiment beziehungsweise 63,6 Jahren beim zweiten.

Brox et al. (2011) untersuchten verschiedene kommerzielle Exergames. Das sind Spiele, die zu körperlicher Betätigung anregen, unter dem Gesichtspunkt, dass speziell ältere Menschen diese nutzen und sich fit halten. Dabei empfehlen sie, keine genauen Daten wie die Schrittzahl, Lungenkapazität oder ähnliches anzugeben, da diese unter Umständen nicht verstanden werden. Lieber soll auf bildliche Darstellungen als Feedback zurückgegriffen werden. Als Beispiele werden Anwendungen genannt, bei denen Fische größer und gesünder werden, je

mehr gelaufen wird oder ein Garten, in dem immer mehr Blumen blühen und Schmetterlinge fliegen. Die Autoren setzen, nach den Erkenntnissen zu Rehabilitationsanwendungen von Burke, McNeill et al. (2009), auf viel positives Feedback und darauf, Untätigkeit nicht zu bestrafen. Außerdem wird Feedback am besten immer sofort gegeben, sobald etwas erreicht wurde.

Auf motivierendes Feedback, als sofortige Reaktion auf etwas, setzen auch Carvalho und Ishitani (2012). Ihre Studie beschäftigt sich mit mobilen Serious Games für ältere Menschen. Außerdem finden visuelle Einschränkungen der Zielgruppe besondere Beachtung. Aufgrund von bereits zuvor genannten Erkrankungen bei älteren Menschen kann es zu verschiedenen Einschränkungen kommen (siehe Kapitel 2.3.1). Sie vermindern die Sehschärfe, das Kontrastsehen, die Farbsensitivität und erhöhen die Lichtsensitivität. Im Game Design muss daher darauf geachtet werden, dass Einstellungen zu Kontrasten, Schriftgrößen und ähnlichem möglich sind (Ijsselsteijn et al., 2007). Das hat auch für das visuelle Feedback Relevanz, je nachdem, wie Feedback gegeben werden soll. So verwenden Carvalho und Ishitani (2012) hohe Farbkontraste, große Schrift und bieten die Möglichkeit, Dinge zu vergrößern. Außerdem werden kleine Elemente vermieden und es wird auf Dinge verzichtet, die viel Aufmerksamkeit benötigen, um die älteren Spieler nicht zu überfordern.

Die bereits zuvor erwähnte Studie von Lamoth et al. (2012) untersuchte die Auswirkungen von Feedback anhand einer Anwendung zum Balancetraining. Die Probanden müssen auf einem Wobble Board verschiedene Aufgaben absolvieren und dabei das Board so sanft wie möglich bewegen. Für die Tests wurden zwei Gruppen eingeteilt, einmal gesunde Senioren zwischen 61 und 77 Jahren und eine Gruppe von Menschen zwischen 19 und 26 Jahren. Für beide Gruppen gab es eine Übung ohne Feedback, eine mit Feedback und eine mit einer spielerischen Komponente mit Feedback. Das Feedback besteht aus einem Pfad, der auf dem Bildschirm gezeichnet wird und die Bewegungen des Boards anzeigt. Bei der Aufgabe mit Spielkomponente bestand die Aufgabe darin, Ballons von einer Seite auf die andere zu transportieren, wobei der Ballon zusätzlich als Feedback dient. Kennzeichnend ist, dass mit Feedback die Aufgaben sehr viel präziser ausgeführt wurden. Der Task ohne Feedback war immer am schlechtesten und wurde von den Testpersonen auch als am schwersten und langweiligsten empfunden. Auf die Präzision der Ausführung hatte der Einsatz eines spielerischen Elements keine weiteren Auswirkungen im Vergleich zu der Aufgabe mit reinem Feedback. Allerdings empfanden die Probanden diesen am herausforderndsten und spannendsten, wobei die Gruppe der Senioren beide Aufgaben mit Feedback als physisch und mental anstrengender empfand.

Um eine geeignete Interaktion mit der Umgebung zu gestalten, ist der Ansatz von „vertrautem Design“ sinnvoll (Zhang et al., 2016). Mithilfe von vertrautem Design soll älteren Menschen der Umgang mit der Technologie erleichtert werden, indem die Interaktion mit der Umgebung

und die Umgebung selbst möglichst den Erfahrungswerten aus der echten Welt entsprechen. Aufgeteilt wird das Design dabei in drei Bereiche: „Repräsentation“, bei der die vorhandenen Gegenstände so gut es geht der realen Welt entsprechen, „Manipulation“, bei der es um möglichst realistische Interaktion mit Objekten geht und „bedeutungsvolles Design“, wo die gewählte Umgebung Erinnerung und Emotionen weckt. Wobei bei letzterem auch Repräsentation und Manipulation eine Rolle spielen. Dabei ist besonders der Punkt Manipulation für das Feedback relevant. In dem von Zhang et al. (2016) entwickelten virtuellen Escape Room wird beispielsweise ein virtueller Lappen genutzt, um Schmutz von einem virtuellen Tisch zu entfernen, indem wie im echten Leben darübergewischt wird.

Bei der Entwicklung für visuelles Feedback in Anwendungen für ältere Menschen sind demnach mehrere Punkte zu berücksichtigen. Es ist vorteilhaft, auf mögliche visuelle Einschränkungen Rücksicht zu nehmen. Zudem dürfen die Anwender nicht mit zu viel Information überfordert werden, da dies von ihnen als anstrengend empfunden wird. Für die Art des Feedbacks empfiehlt es sich, nicht zu viele Zahlenwerte oder Statistiken zu verwenden, sondern lieber bildliche Darstellungen. Des Weiteren ist es von Vorteil, wenn die Interaktion mit der Umgebung an die Realität angelehnt ist. Zudem muss Feedback sofort gegeben werden. Also in dem Moment, in dem eine Leistung erbracht oder fehlerhaftes Verhalten erfolgt. Die Korrektur von Fehlern ist dabei auf möglichst positive Weise vorzunehmen. Vor allem aber soll Feedback jedoch zur Motivation beitragen.

3.4.2 Visuelles Feedback in Anwendungen zur Rehabilitation

Im Folgenden wird visuelles Feedback in bereits existierenden Studien zur Rehabilitation dargelegt.

Wie bereits beschrieben, ist Feedback wichtig für das Voranschreiten einer Rehabilitation und eine zentrale Komponente, die zur Motivation beiträgt, weshalb man alle Bemühungen belohnen und auf Fehler in positiver Art reagieren soll (Burke, McNeill et al., 2009). Allerdings muss auch deutlich gemacht werden, wenn etwas zu einem Fehler führt und warum. Burke, McNeill et al. (2009) nutzen dafür farbliche Kennzeichnungen sowie Nachrichten. Mit einer Farbänderung des Zieles zu Rot und einem „Miss“ werden nicht erreichte Ziele deutlich gemacht und mit grüner Farbänderung und der Nachricht „Hit“ ein Erfolg hervorgehoben. Als zusätzliches motivierendes Feedback werden bei Erfolgen noch Partikeleffekte und die wachsende Punktzahl gezeigt. Sowohl die Verständlichkeit als auch der motivierende Aspekt erwiesen sich bei Patiententests als effektiv. Auch bei anderen Anwendungen wird die Punktzahl angezeigt (A. D. Gama et al., 2012) oder sogar zusätzlich eine Darstellung mit den eigenen Leistungen der letzten Versuche und eine Bestenliste mit Vergleich zu anderen Patienten eingeblendet (Popović et al., 2014).

Sowohl A. D. Gama et al. (2012) als auch Popović et al. (2014) verwenden Zielpunkte, die es zu erreichen gilt. Bei letzteren ist lediglich der vom Patienten genommene Pfad zum Ziel als weiteres Feedback eingezeichnet. Ähnlich auch bei Kohler et al. (2010), bei dem die ausgeführte Übung eine Kurve auf dem Bildschirm zeichnet und diese zum Vergleich über die ideale Kurve gelegt wird. A. D. Gama et al. (2012) geben zusätzlich Feedback, indem eine Beschreibung des Fehlers eingeblendet wird und die entsprechende Stelle am Körper markiert wird. Um richtiges Verhalten zu belohnen, wird nach jeder fünften korrekt abgeschlossenen Übung eine Gratulationsnachricht angezeigt. Außerdem weist eine farblich gekennzeichnete Fortschrittsanzeige darauf hin, wie viel von der Bewegung bereits geschafft wurde.

Mit Farbkodierungen wird auch sonst häufig gearbeitet. Entweder um anzuzeigen, wann mit einem Gegenstand interagiert (Grimm et al., 2016) oder wann ein Ziel angesteuert werden kann, mit der Information, ob es rechtzeitig erreicht wird oder nicht (Subramanian et al., 2007).

In einigen Anwendungen werden auch natürlichere Visualisierungen eingesetzt, wie zum Beispiel ein Avatar, eine grafische Darstellung einer Person (Wüest et al., 2014). Bei Shin et al. (2014) reagiert ein solcher nicht nur auf die Bewegungen des Spielers, sondern gibt die Bewegung selbst vor (Shin et al., 2014).

Einen etwas anderen Ansatz nutzen Y. Chen et al. (2007). Ein Bild wird in Partikel aufgelöst. Je näher die Hand dem angestrebten Ziel kommt, desto mehr sammeln sich die Partikel wieder zu dem ursprünglichen Bild. Weicht die Handbewegung des Patienten ab, verteilen sich die Partikel wieder in diese Richtung. So kann die Bewegung korrigiert werden. In der nachfolgenden Nutzerstudie erwies sich diese Form des Feedbacks als intuitiv und effektiv darin, Richtung und Leistung des Anwenders anzuzeigen. (Y. Chen et al., 2007)

In den meisten der oben genannten Studien wird das Feedback während der Ausführung der Aufgaben gegeben. Bei Shin et al. (2014) wird zusätzlich ein Video von jeder Sitzung aufgezeichnet und dem Patienten am Ende vorgespielt. Ansonsten wird nach den Übungen noch die Punktzahl im Vergleich mit anderen Sitzungen oder Patienten dargestellt (Popović et al., 2014). In Anwendungen zur Rehabilitation wird also, ähnlich wie bei Anwendungen für ältere Menschen, sehr auf die Motivation geachtet, indem fehlerhaftes Verhalten nicht bestraft wird und alle Bemühungen belohnt werden. So sollen sich diese Bemühungen auch in den erreichten Punkten widerspiegeln, indem beispielsweise die Reichweite der Bewegung oder ihre Geschwindigkeit bepunktet werden und nicht nur das jeweilige Spielziel, wie etwa das Einsammeln von Gegenständen oder das Treffen eines Zieles (Burke, McNeill et al., 2009). Dadurch ist nicht nur die Bewältigung der Aufgabe allein verantwortlich für den Erfolg in Form von Punkten, sondern auch die zu trainierenden Eigenschaften. Eine Bewegung mit größerer Reichweite oder schneller auszuführen, gewinnt so direkt Bedeutung im Spiel. Das trägt zu einem bedeutungsvollen Spiel bei („meaningful play“), laut Burke et al. (2010) eine besonders wichtige Komponente in der Entwicklung einer Anwendung zur Rehabilitation.

Häufig wird mit Farben als Feedback gearbeitet, besonders bei der Anzeige von richtig und falsch. Sowohl abstrakte als auch natürliche Designs von Feedback werden genutzt. Meist wird das Feedback während der Ausführung der Aufgaben gegeben. Gelegentlich auch im Nachhinein, häufig in Form von vergleichenden Darstellungen der zuvor erzielten Punktzahlen. Im Allgemeinen wird in Anwendungen zur Rehabilitation sehr viel Wert auf die Motivation der Patienten gelegt. Wird Feedback zur Korrektur genutzt, wird dieses oft nur nebensächlich beschrieben und es werden kaum verschiedene Ansätze dazu verglichen. Oftmals wird eine korrekte Bewegung auch nicht gefordert. Die Patienten führen die Bewegungen aus, wie sie es können.

Jedoch ist wie in 3.4 Visuelles Feedback eine korrekte Bewegungsausführung unter Umständen essenziell für den Therapieerfolg. Besonders, wenn die Anwendung für den Heimgebrauch entwickelt wird.

4 KONZEPTION

Für die Untersuchung von dynamischer Schwierigkeitsanpassung und visuellem Feedback muss zunächst eine zu absolvierende Aufgabe feststehen, anhand derer die Parameter angepasst beziehungsweise Feedback gegeben werden kann.

Im Folgenden werden die Anforderungen für die Aufgabe, die dynamische Schwierigkeitsanpassung und das Feedback erläutert. Anschließend wird die Konzeption der Aufgabe und ihr Ablauf dargelegt. Danach folgt die Konzeption zur Schwierigkeitsanpassung und dem Feedback.

4.1 ANFORDERUNGEN AN DIE ANWENDUNG

Im Rahmen dieser Arbeit sollen Erkenntnisse zum Forschungsprojekt Rehality des Instituts für Games in Partnerschaft mit dem Hertie-Institut für klinische Hirnforschung an der Universität Tübingen und der Vplus GmbH Würzburg gewonnen werden. Das Ziel des Projekts ist es, mithilfe von Computerspielen in Virtual Reality die Rehabilitation des Bewegungsapparates von Schlaganfallpatienten schneller und nachhaltiger zu machen. In der Anwendung soll der Patient sehen, wie sich sein gelähmtes Körperteil bewegt, sobald der Versuch gedanklich stattfindet. Dazu sollen Hirn- und Muskelsignale in Echtzeit analysiert und anhand von diesen die Bewegung realisiert werden. Dies optimiert den Heilungsprozess durch Netzwerkreorganisation im Gehirn (*Institut Für Games, 2020*).

Außerdem entstand diese Arbeit zu Zeiten des neuen Coronavirus. Durch die damit einhergehenden Einschränkungen und den Gefahren für die Patienten ist es nicht möglich, den entwickelten Prototypen mit Schlaganfallpatienten zu testen. Daher wird die Anwendung vom Schwierigkeitsgrad an das Können gesunder Menschen angepasst. Die Überlegungen zum Feedback und dynamischer Schwierigkeitsanpassung bleiben davon unberührt und sollen den Anforderungen für Schlaganfallpatienten gerecht werden.

Ursprünglich waren sehr einfache Bewegungen geplant, wie die Hand beispielsweise nur nach oben und unten oder nach links und rechts zu bewegen. Für einen Schlaganfallpatienten kann dies bereits, je nach Stärke seiner Armparese, eine große Herausforderung darstellen. Für einen gesunden Menschen ist eine solche Bewegung hingegen kein Problem, daher erfolgte eine Neuüberlegung der Handbewegung. So wurde eine Aufgabe entwickelt, die sowohl für gesunde Menschen herausfordernd sein soll, als auch für Schlaganfallpatienten angepasst werden kann.

Anhand dieser konkreten Aufgabe werden dynamische Schwierigkeitsanpassung und eine konstant zunehmende Schwierigkeit gegeneinander verglichen. Daraus soll geschlossen werden, was motivierender für den Spieler ist. An derselben Aufgabe wird abstraktes mit

bildlichem Feedback gegenübergestellt, um festzustellen, was zu einer Bewegungskorrektur besser geeignet ist.

4.2 ABLAUF DER ANWENDUNG

In der Diskussion mit den Betreuern der Arbeit wurden verschiedene Ansätze für eine mögliche Aufgabe besprochen. Im Gespräch waren verschiedene Versionen eines Spiels, bei dem der Anwender mit der Handbewegung einem bestimmten Pfad folgen muss. Beispielsweise, indem er verschiedene Punkte erreichen, eine Art Zauberspruch ausführen oder sich entlang eines „heißen Drahtes“ bewegen muss. Es fanden auch Überlegungen statt, was die jeweilige Ausführung der Aufgabe erschweren kann. Indem zum Beispiel Rechtshänder die linke Hand nutzen sollen und umgekehrt. Oder eine unnatürliche Handhaltung gefordert wird oder die Zeit, in der die Aufgabe zu absolvieren ist, begrenzt wird. Dies wurde jedoch wieder verworfen.

Eine an das Spiel „Beat Saber“ (Beat Games, 2018) angelehnte Anwendung war ebenfalls im Gespräch, bei dem Würfel im richtigen Moment in eine bestimmte Richtung wegschlagen werden müssen. Dieses Prinzip arbeitet jedoch mehr mit vorheriger Anzeige, wie die Bewegung ausgeführt werden muss, also Feedforward. Und weniger mit einer Bewegungskorrektur im Nachhinein durch Feedback. Dasselbe gilt für ein Spiel, bei dem es herabfallende Gegenstände wie Obst zu fangen gilt. Auch bei Aufgaben wie eine Gabel im richtigen Moment aus einem Toaster zu manövrieren oder Tiere auf Gleisen vor einem Zug zu retten, geben wenig Raum für eine Bewegungskorrektur.

Die Entscheidung fiel schließlich zu Gunsten der folgenden Basisaufgabe aus. Die eigentliche Aufgabe des Anwenders ist es, mithilfe einer Steuerung ein Objekt durch eine Reihe von Würfeln zu bewegen, um Punkte zu erzielen. Diese Aufgabe bietet den Vorteil, dass sie nach wie vor einfache Bewegungen nutzt und damit auf Schlaganfallpatienten übertragen, aber durch verschiedene Parameter für gesunde Menschen erschwert werden kann. Außerdem sorgt die geteilte Aufmerksamkeit zwischen der Steuerung und dem Objekt, das weiter weg gesteuert wird, für eine zusätzliche Herausforderung.

Die Steuerung besteht aus vier Kugeln, eine oben, eine rechts, eine unten, eine links. Durch Berührung der jeweiligen Kugel wird das Objekt in die entsprechende Richtung gesteuert. Das Objekt ist ein gelb gefärbter Würfel. Es erscheinen nun mehrere kleinere Würfel, die so verteilt sind, dass sie zum jeweils nächsten horizontal oder vertikal verschoben sind. Diese gilt es in einer bestimmten Reihenfolge mit dem Würfel abzufahren. Der aktive Würfel, der als Nächstes erreicht werden muss, ist von pinker Farbe, die übrigen sind in einem hellen Grau gefärbt. Pro erreichtem Würfel gibt es einen Punkt. Durch die Würfel im Hintergrund und die Kugeln zur Steuerung im Vordergrund wird beides durch die jeweilige Form klar voneinander abgetrennt.

Die Umgebung ist sehr einfach gehalten und besteht aus einem Himmel, einer Wand und einer Bodenfläche. Wand und Bodenfläche sind in einem dunklen Grauton gehalten, um den Kontrast zu den agierenden Objekten zu erhöhen und diese abzuheben. Außerdem soll die dadurch eher dunkle Umgebung verhindern, dass für grelles Licht empfindliche Menschen geblendet werden. Eine zu helle Umgebung würde auch zu einer hohen Displayhelligkeit führen.

Diese Art der Aufgabe kann auf die Bedürfnisse von Schlaganfallpatienten abgestimmt werden. Wenn diese zur Ausführung der jeweiligen Aufgabe ihren Arm nicht weit genug bewegen können, wie bei Burke, Mcneill et al. (2009) beschrieben, sind sie entsprechend anpassbar. Bei der hier konzipierten Anwendung wäre es möglich, den Abstand zwischen den Steuerkugeln zu verringern, wenn mit Schlaganfallpatienten getestet werden würde.

Die Aufgabe ist aber auch für gesunde Probanden herausfordernd. Sie bietet die Möglichkeit, durch verschiedene Parameter die Schwierigkeit zu verändern. Und anhand von zusätzlichen Regeln an der Steuerung kann Feedback zu einer Bewegung gegeben werden. So kann beides mit gesunden Personen getestet werden.

Zudem kann die Position der Steuerung kalibriert werden. Das macht es möglich, sie sowohl im Sitzen als auch im Stehen gut zu erreichen. Sollte die Anwendung mit Patienten getestet werden, sind diese unter Umständen nicht in der Lage die Aufgabe im Stehen durchzuführen und benötigen Unterstützung (Burke, Mcneill et al., 2009). Außerdem kann die Steuerung an Armlänge und Position optimal angepasst werden. All dies wird in den folgenden Punkten genauer erläutert.

4.3 GEPLANTES FEEDBACK

In der Literatur zur Entwicklung oder Untersuchung von Rehabilitationsanwendungen liegt das Hauptaugenmerk meist auf der Motivation der Patienten. Dementsprechend wird sehr viel darauf eingegangen, wie durch Feedback motiviert werden kann. Die Korrektur von Bewegungen wird weniger behandelt und es werden kaum verschiedene Ansätze miteinander verglichen. Laut Sigrist et al. (2013) gibt es zudem selten Vergleiche von abstrakten gegenüber bildlichen Designs.

Ein solcher Vergleich wird hier angestrebt, da die korrekte Ausführung von Bewegungen wichtig für den Rehabilitationsprozess ist (siehe Kapitel 3.4).

Um eine möglichst schnelle Korrektur zu erreichen und falsche Bewegungsausführung zu vermeiden, wird das Feedback daher während der Ausführung der Aufgabe gegeben. Immer zu dem Zeitpunkt, an dem auch etwas falsch gemacht wurde.

Das Feedback wird unter den folgenden Gesichtspunkten betrachtet: Primär wie verständlich und gut es darin ist, falsche Bewegungen in einer Rehabilitationsanwendung für

Schlaganfallpatienten zu korrigieren. Ob und inwiefern das jeweilige Feedback motiviert wird, wird mit festgehalten, die Hauptbetrachtung betrifft jedoch die Bewegungskorrektur. Zudem werden zur Korrektur einer Bewegung zwei verschiedene Darstellungen von Feedback miteinander verglichen. Die eine ist abstrakt, die andere arbeitet bildlich.

Zur Untersuchung der Problemstellung wird ein Fragebogen erstellt und es werden zudem Daten aus der Anwendung gesammelt.

Um anhand der Basisaufgabe eine Bewegungskorrektur vornehmen zu können, wird die Steuerung um eine weitere Komponente erweitert. Der Spieler muss, um den Würfel zu bewegen, immer über den Mittelpunkt der Steuerpunkte gehen, um eine neue Richtung anzusteuern. So ergeben sich nur Bewegungen an zwei Achsen, der horizontalen und der vertikalen. Wird ein Steuerpunkt berührt, ohne dass die Bewegung über die Mitte stattfindet, soll Feedback dazu gegeben werden.

Die Steuerkugeln sind weiß, damit sie sich gut vom dunklen Hintergrund abheben. Am Mittelpunkt der Steuerung findet sich eine etwas kleinere Sphäre, die leicht durchsichtig ist.

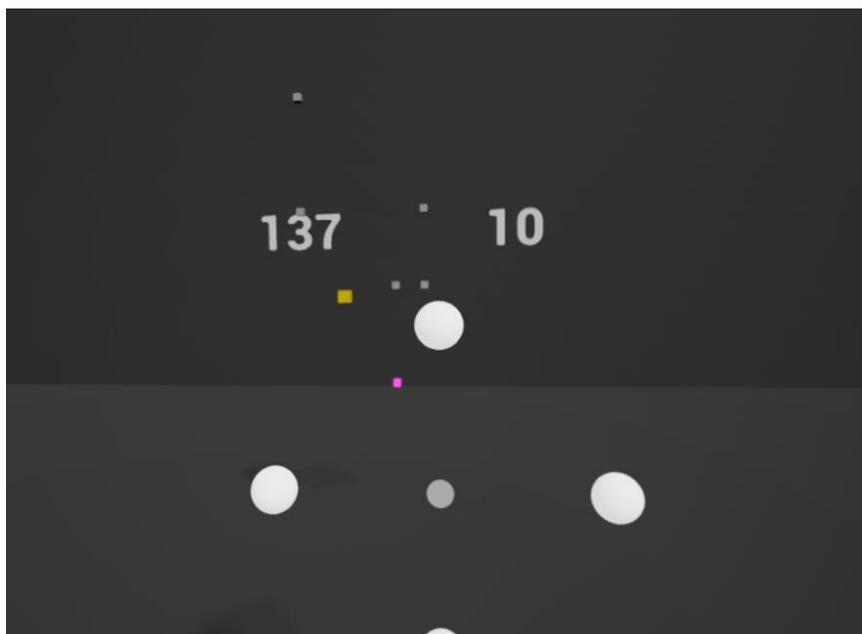


Abbildung 3 – (FB) Szene des konzeptionierten Spiels für den Test des Feedbacks

Das abstrakte Feedback soll durch einen roten Pfeil dargestellt werden, da ein Pfeil zur Angabe einer bestimmten Richtung leicht interpretiert werden kann. Dieser erscheint, wenn ein Steuerpunkt berührt wird, ohne dass zuvor die Mitte des Steuerkreuzes getroffen wurde. Er zeigt von dem entsprechenden Steuerpunkt zur Mitte hin, um zu zeigen in welcher Richtung die Korrektur stattfinden muss. Besonders bei der Arbeit mit dem Pfeil erwies sich die Anzeige des Mittelpunktes als sinnvoll. In der ersten Pilotstudie wurde erkannt, dass ohne Anzeige eines Mittelpunktes, an dem die Bewegung enden soll, sonst die gegenüberliegende

Steuerungskugel, als Endpunkt interpretiert wird. Die Erkenntnisse dazu sind genauer unter Kapitel 6.1.1 beschrieben.

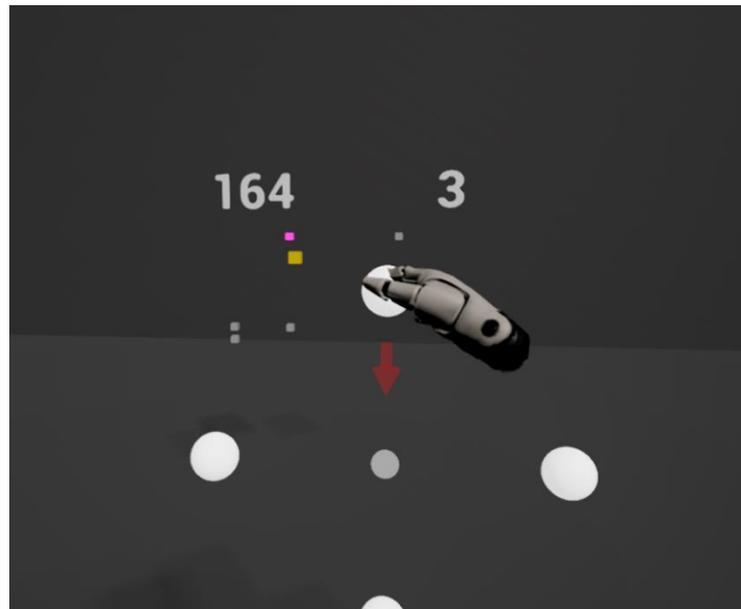


Abbildung 4 – (FB) Feedback mithilfe des Pfeils in der Anwendung

Die rote Farbe des Pfeils soll als zusätzlicher Hinweis dienen, dass etwas falsch gemacht wurde. Wird statt dem Mittelpunkt nun ein anderer Steuerpunkt angetippt, verschwindet der Pfeil und erscheint wieder zwischen dem zuletzt berührten Punkt und dem Mittelpunkt. Wird die Mitte schließlich erreicht, wird der Pfeil kurz grün, zum Zeichen, dass die Bewegung nun richtig ausgeführt wurde und verschwindet. So kann nun ein Steuerpunkt genutzt werden, um den gelben Würfel in die betreffende Richtung zu bewegen. Soll nun die Bewegungsrichtung des Würfels geändert werden, muss der Spieler sich wieder über den Mittelpunkt zu dem korrespondierenden Steuerpunkt bewegen.

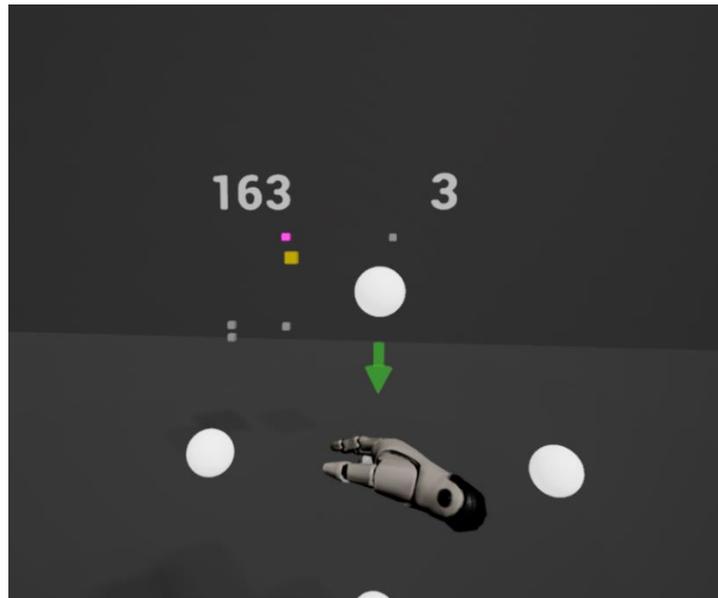


Abbildung 5 – (FB) Grün werdender Pfeil, wenn die Mitte erreicht wird

Bei der Verwendung von bildlichem Feedback handelt es sich um dieselbe Aufgabe, nur dass das Feedback anders dargestellt wird. In diesem Fall erscheint bei Berührung eines Steuerpunktes ohne vorherigen Kontakt mit dem Mittelpunkt eine Hand, die sich zur Mitte hinbewegt. Erreicht die Hand die Mitte, wird sie an ihren anfänglichen Steuerpunkt zurückgesetzt und bewegt sich von dort wiederholt in die Mitte, bis entweder ein anderer Steuerpunkt oder die Mitte berührt wird. Im ersten Fall erscheint die Hand an diesem Punkt und bewegt sich von dort zur Mitte. Im zweiten Fall verschwindet die Hand und die Steuerpunkte reagieren wieder, sodass der Würfel sich bewegen lässt.

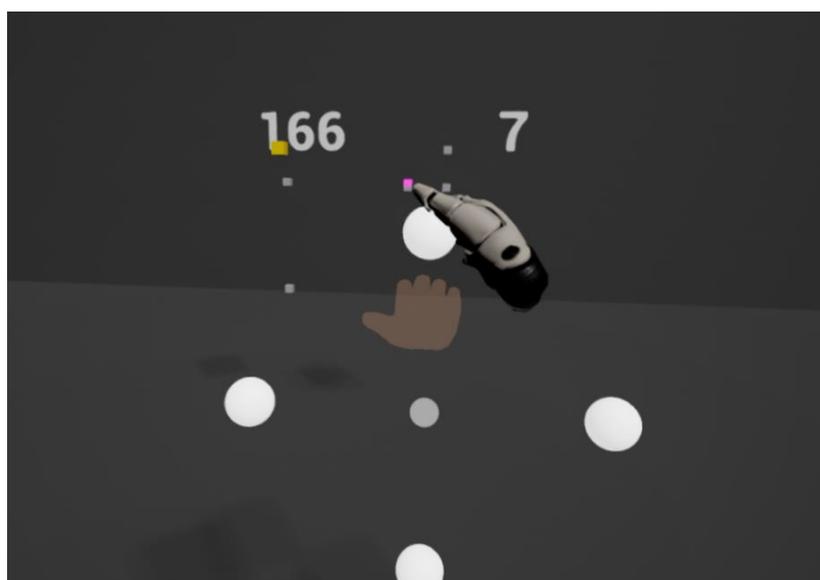


Abbildung 6 –(FB) Feedback mithilfe der Hand

Beide Objekte, die das Feedback darstellen, sind leicht durchsichtig, um sie als Feedback und nicht als wirkliches Objekt zu kennzeichnen mit dem direkt interagiert werden kann.

4.4 GEPLANTE SCHWIERIGKEITSANPASSUNG

Angelehnt an die Herangehensweisen in Kapitel 3.3 soll bei der dynamischen Anpassung der aktuelle Spielstand ermittelt und die Schwierigkeit geregelt werden. Für die Ermittlung sollen die aktuellen Daten des Spielers genutzt werden und mit bereits gesammelten Daten verglichen werden, um eine Vorhersage über das zukünftige Abschneiden zu treffen und die Schwierigkeit dementsprechend anzupassen (vgl. Xue et al. (2017)). Hierfür bietet sich die Genauigkeit an, welche beispielsweise anhand der falsch oder korrekt durchgeführten Würfel gemessen werden könnte. Die Geschwindigkeit, wie schnell das Level beendet wurde, ist ein gutes Indiz für die Schwierigkeit des Levels und schwankt eventuell weniger stark wie die Genauigkeit. Aus diesem Grund wird der Geschwindigkeitsansatz implementiert, eine Kombination mit der Genauigkeit wäre in Zukunft denkbar.

Des Weiteren sollte die Anpassung vom Spieler möglichst nicht bemerkt werden. Dieser Ansatz ist in diesem Fall nur teilweise sinnvoll, da durchaus sichtbare Änderungen die Level unterscheidbarer gestalten und Abwechslung bieten sollen. Sie soll durch verschiedene Farben der Steuerungskugeln leicht erkennbar sein und bezweckt eine Herausforderung des Spielers. Ein weiterer möglicher, sichtbarer Faktor wäre beispielsweise eine Sichtbeeinträchtigung (Nebel o.Ä.). Je nach Stärke der Änderung können der Abstand der Steuerungskugeln oder der Würfel, deren Größe, die Geschwindigkeit des gesteuerten Würfels, die Anzahl der erzeugten Würfel und die Verteilung der Würfel eine sichtbare oder unsichtbare Änderung sein.

Um die Schwierigkeit verschiedener Seeds (Startwerte) auszuprobieren wären ausführliche Tests notwendig, weshalb in dieser Anwendung darauf verzichtet wird. Stattdessen soll ein Einführungs-Level Aufschluss über die Fähigkeiten des Spielers geben, um eine passende Schwierigkeit zu Beginn zu gewährleisten. Es wird davon ausgegangen, dass Spieler, die zu Beginn schlecht abschneiden, erst einmal eine flachere Schwierigkeitskurve benötigen und umgekehrt. Sollten sie schlagartig besser werden, wird die Schwierigkeit auch höher. Als sichtbare Änderung wurde der Richtungswechsel der Steuerung und als (eventuell) unsichtbare Änderung die Geschwindigkeit und die Anzahl der erzeugten Würfel gewählt. Als Evaluierung der Daten soll eine verkettete Abfrage genutzt werden. Das Ziel der Anpassungsregel ist dabei eine Mischung aus Unwohlsein und Wohlsein: Der Spieler soll das Gefühl haben, trotz Erschwernissen wie des Richtungswechsels eine hohe Punktzahl erzielen zu können und damit Fortschritt zu machen (vgl. Hunicke (2005)).

Die Punktzahl kann dazu genutzt werden, den Fortschritt zu verfolgen (vgl. Burke, Mcneill et al. (2009)). Zur Auswertung sollen die Daten in einem auslesbaren Dateiformat wie CSV (*Comma-separated values*) außerhalb der verwendeten Game-Engine gespeichert werden können. Zusätzlich zu der Punktzahl könnten Daten wie die benötigte Zeit für das Level, die

Levelzahl, die Anzahl der Würfel, die Anpassungsart und die Fehlerzahl interessant sein und sollten deshalb in Variablen gespeichert werden.

Für die statische Anpassung wird eine lineare Schwierigkeitskurve umgesetzt, je weiter die Anwendung fortschreitet, desto schwieriger wird es. Dabei werden dieselben Anpassungen genutzt wie bei der dynamischen Anwendung.

Alles soll so aufgebaut sein, dass die komplette Anwendung mit wenigen Anpassungen auch für Schlaganfallpatienten nutzbar ist. Dabei sollte mehr auf Wohlfühlen als Unwohlsein abgezielt werden, der Spieler soll sich motiviert und unterstützt fühlen. Eine Lösung dafür wären beispielsweise Power-Ups, die kurzzeitig den Steuerungswürfel etwas schneller machen oder seine Größe verändern, damit mehr Würfel erreicht werden können. Solche Anpassungen müssten zuvor getestet werden, um die Wirksamkeit zu überprüfen. Burke, Mcneill et al. (2009) listen die Geschwindigkeit, Reaktionszeit, Pausenzeit, zu erreichende Punkte und die Größe der Spielelemente als ausschlaggebend für die Schwierigkeit auf. Diese Punkte sollen bei der Implementierung beachtet werden. So soll es möglich sein, die Geschwindigkeit des Steuerungswürfels über eine Variable zu setzen, einen Timer hinzuschalten oder auszublenden, die Zeiten zwischen den Leveln flexibel anzupassen, die Objekte der einzelnen Elemente (Steuerung, erzeugte Würfel, Steuerungswürfel) austauschbar und deren Größe anpassbar zu machen.

4.5 EVALUIERUNGSMETHODEN

Zur Evaluierung der Ergebnisse werden mehrere Verfahren genutzt. Hauptsächlich erfolgt eine Befragung der Tester durch zwei Fragebögen, einer für das Feedback, einer für die Untersuchung der Schwierigkeit.

Zusätzlich werden Datenmessungen vorgenommen und nebensächlich die Methodik des Lauten Denkens genutzt. Die Methodik des Lauten Denkens oder auch Think Aloud genannt, kann zu verschiedenen Zeitpunkten stattfinden (van Someren et al., 1994). In diesem Fall sollen die Tester während der Verwendung der Anwendung ihre Gedanken laut zum Ausdruck bringen. Daraus ergibt sich der Vorteil, dass es beim Tester nicht zu Interpretationen oder Erklärungen kommt, die von Annahmen oder anderem beeinflusst werden. Stattdessen wird nur den momentanen Gedanken Ausdruck verliehen. Durch die Methode werden Daten über den Denkprozess während dem Test der Anwendung gesammelt (van Someren et al., 1994). Die jeweiligen Methoden sind im Folgenden genauer für beide Anwendungen beschrieben, die Fragebögen im Anhang beigelegt.

4.5.1 Evaluierungsmethoden für das Feedback

Der Hauptteil des Fragebogens zur Untersuchung des Feedbacks verwendet den INTUI Fragebogen von Ullrich und Diefenbach (2010) in leicht angepasster Form. Dieser gibt Auskunft darüber, wie intuitiv ein Produkt zu gebrauchen ist und untersucht diesbezüglich vier Komponenten: ein hoher Wert an Mühelosigkeit (*Effortlessness*) gibt an, dass das Produkt mühelos und mit wenig Aufmerksamkeit zu verwenden ist. Die zweite ist Bauchgefühl (*Gut Feeling*). Ein hoher Wert bei Items in dieser Kategorie zeigt an, dass die Interaktion nicht vom Verstand, sondern eher durch Gefühle geleitet wird. Items bezeichnen dabei Gruppen von Frage-Antwort-Einheiten, die einem Merkmalsbereich zugeordnet werden (Kallus, 2016). Beim Magischen Erleben (*Magical Experience*) verzeichnen hohe Werte ein besonders faszinierendes Erlebnis mit dem Produkt. Verbalisierungsfähigkeit (*Verbalizability*) hingegen beschreibt, wie gut die einzelnen Bedienschritte beschreibbar sind. Neben diesen vier Komponenten gibt es noch ein globales Urteil, das direkt danach fragt, wie intuitiv das Produkt empfunden wurde.

Der Fragebogen verwendet zur Untersuchung dieser Komponenten insgesamt 16 Items, die aus einer Skala mit sieben Punkten bestehen. An den Enden stehen jeweils gegenteilige Aussagen. Bei einigen Gegensatzpaaren steht die Aussage für eine höhere Intuitivität links mit dem Wert eins, bei anderen steht sie rechts mit dem Wert sieben. Von den 16 Items werden im Rahmen dieser Untersuchung aber nicht alle genutzt.

Der Fragebogen ist nun wie folgt aufgebaut.

Er beginnt mit der Information, wofür die Befragung erfolgt, welche Daten festgehalten und wofür sie genutzt werden. Anschließend sind zunächst demografische Daten wie Alter, Geschlecht und derzeitige Beschäftigung auszufüllen. Außerdem soll ausgefüllt werden, ob die Person Rechts- oder Linkshänder ist. Es folgt eine Frage, wie viel Erfahrung mit VR-Anwendungen die Testperson bereits hat. Damit wird festgestellt, ob eventuelle Vorerfahrungen mit VR das Ergebnis beeinflussen.

Im nächsten Teil wird die Person befragt, ob sie visuelle Einschränkungen hat, wenn ja, welche und ob diese während des Tests durch eine Korrektur wie eine Brille oder ähnliches ausgeglichen wird. Außerdem wird nach möglichen Beschwerden während oder nach dem Test gefragt. Hierdurch soll deutlich werden, ob etwas in der Anwendung auf diese Weise schlechter erkannt wird oder ob andere Schwierigkeiten zu einem schlechteren Ergebnis führen.

Im Anschluss beginnt der spezifische Teil zum Feedback. Der Tester soll aussagen, ob er überhaupt Feedback bemerkt hat und welche Elemente er als solches erkannt hat, um zu erfahren, was überhaupt als Feedback wahrgenommen wird. Da bei den Probanden abwechselnd zuerst der Pfeil und die Hand getestet wird, folgt die Frage, mit welchem

Feedback begonnen wurde. So wird ersichtlich, ob eine bessere Leistung nicht durch das Feedback erreicht wurde, sondern einfach durch die bereits im ersten Durchlauf verstandene Funktionalität oder die Übung.

Der Hauptteil zum Feedback ist getrennt in zwei Einheiten. Die erste befragt zur Steuerung mithilfe des Pfeils als Feedback und die zweite, analog dazu, zum Feedback durch die Hand. Der Abschnitt beginnt jeweils damit, wie motivierend die Testperson die Aufgabe an sich, unter Verwendung des entsprechenden Feedbacks, fand. Im Anschluss folgt der angepasste INTUI Fragebogen. Items, die nach dem Magischen Erleben der Steuerung fragen, wurden weggelassen, da es bei der Untersuchung primär um das Verständnis, beziehungsweise um die Intuitivität des Feedbacks im Zusammenhang mit der Steuerung geht. Und weniger wie faszinierend das Erlebnis mit der Steuerung war. Außerdem fehlt bei den Items zur Verbalisierungsfähigkeit dasjenige mit dem Aussagenpaar „...fällt es mir schwer, die einzelnen Bedienschritte zu beschreiben/ ...ist es für mich kein Problem, die einzelnen Bedienschritte zu beschreiben“, da die Steuerung sehr einfach ist und kaum Bedienschritte beinhaltet. Zusätzlich wurden einige Items um die Möglichkeit erweitert, zu beschreiben, warum die Probanden etwas so empfinden, wie sie es angeben.

So wird im Rahmen des Fragebogens eine gemischte Methodik angewandt, sowohl quantitativ als auch qualitativ.

Zum Abschluss der beiden Einheiten werden die Testpersonen noch danach gefragt, ob sie das Feedback störend finden, weshalb und ob sie etwas verbessern würden oder anmerken möchten.

Bei der Durchführung der Tests sind die Probanden außerdem dazu angehalten, während des Gebrauchs der Anwendung ihre Gedanken laut mitzuteilen, die mitnotiert werden.

An Daten aus der Anwendung wird die jeweilige erreichte Punktzahl nach jedem Durchlauf zum Vergleich erfasst. Dies soll darüber Aufschluss geben, ob die Probanden sich immer durch Übung im zweiten Durchgang verbessern oder die Verbesserung mit dem Feedback in Zusammenhang steht. Außerdem wird die Zeit gemessen, vom Start der Anwendung, bis der erste Punkt erfolgreich erzielt werden kann, um einzuschätzen, wie lange es in etwa dauert, bis die Probanden die Steuerung soweit verstehen, dass sie sie gezielt nutzen können.

4.5.2 Evaluierungsmethoden für die Schwierigkeitsanpassung

Der für Schwierigkeitsanpassung verwendete Fragebogen basiert auf einem Fragebogen von Jennett et al. (2008). Dieser ist auf Immersion ausgelegt und basiert auf den Prinzipien von Flow, kognitive Absorption (engl. *cognitive absorption*, CA) und einem Gefühl des Gegenwärtig seins (*Presence*). Er ist in sechs Kategorien unterteilt:

- Grundlegende Aufmerksamkeit (engl. basic attention)
- zeitliche Dissoziation (engl. temporal dissociation)
- Hineinversetzen (transportation)
- Herausforderung (challenge)
- emotionale Beteiligung (engl. motional involvement)
- Freude (engl. enjoyment).

Verwendet wird eine 5-Punkte-Likert-Skala, bei der nach der Empfindung gefragt wird (überhaupt nicht/sehr sogar, überhaupt nicht/sehr viel, definitiv nicht/definitiv ja, etc.).

Da Immersion nicht das Hauptziel war, wurde der Fragebogen wie folgt abgewandelt:

- Aus der Kategorie „Zeitliche Dissoziation“ wurde lediglich die erste Frage „Inwieweit haben Sie das Zeitgefühl verloren?“ verwendet. Die anderen Fragen der Kategorie zielen sehr stark darauf ab, wie stark der Spieler in die Spielwelt eintaucht. Da es sich um einen Prototyp und kein fertig entwickeltes Spiel handelt, wurde darauf weniger Wert gelegt.
- Die Kategorie „Hineinversetzen“ wurde aus dem oben genannten Grund ebenfalls komplett weggelassen. Es fand weder eine Fortbewegung statt, noch war das „Erleben“ des Spiels Ziel der Arbeit.
- Die Kategorie „Emotionale Beteiligung“ wurde nicht verwendet. Da das Spiel keine Handlung hat, die emotional mitreißend sein könnte und es kein „Gewinnen“ an sich gibt, wurden diese Fragen als unpassend erachtet.
- Aus der Kategorie „Freude“ wurde die Frage „Inwieweit haben Ihnen die Grafiken und die Bildsprache gefallen?“ ausgelassen. Der Prototyp wurde absichtlich simpel gehalten, was die Darstellung betrifft, damit es nicht von den eigentlichen Themen (Feedback und Schwierigkeit) ablenkt und keinen oder kaum Einfluss auf die Bewertung in den Fragebögen hat.

Ergänzend kamen zu Beginn Fragen zu den demografischen Daten (Alter, Geschlecht und Tätigkeit) sowie eventuelle körperliche Beeinträchtigungen, die das Ergebnis beeinflussen könnten, hinzu. Die Erfahrung mit Computerspielen und VR-Anwendungen werden abgefragt, um herauszufinden ob beispielsweise eine geringe Erfahrung mit (anfangs) geringen Fähigkeiten zusammenhängt. „Ich verstehe schnell, wie Spiele funktionieren“ und „Ich bevorzuge schwierige Spiele“ sollen später zur Überprüfung verwendet werden, ob ein Zusammenhang mit der steigenden Schwierigkeit besteht, ob Personen die schwere Spiele bevorzugen auch tatsächlich eine steilere Schwierigkeitskurve bekommen und ob sie mit der Schwierigkeit zufrieden sind. Anschließend wird der Fragebogen in die Abschnitte „1. Durchgang“ und „2. Durchgang“ unterteilt, die jeweils passend zu dem ersten und zweiten

gespielten Durchgang sind. Zuerst wird festgehalten, welcher Durchgang gerade gespielt wurde (A/B). Die Teilnehmer sehen den Buchstaben in der Anwendung und bekommen ihn zusätzlich gesagt, es ist jedoch weder bekannt was der Unterschied zwischen den Anwendungen ist, noch dass A für statisch und B für dynamisch steht.

Anschließend kommen die Fragen aus dem abgewandelten Immersions-Fragebogen. Zusätzlich wird abgefragt, wie gut mit der Steuerung zurechtgekommen wurde, inwieweit verständlich war was getan werden muss und ob sich die Schwierigkeit dem Gefühl nach verändert hat. Zu allen Fragen sind optionale Kommentarfelder hinzugefügt worden, die eine Begründung ermöglichen.

Nach Beendigung der Anwendung und Beantwortung beider Durchgänge wird ein Vergleich gezogen, in dem abgefragt wird welcher Durchgang schwieriger war, welcher mehr Spaß gemacht hat, ob ein Unterschied bemerkt wurde und wenn ja, welcher. Die ersten zwei Fragen können mit „Der erste Durchgang“, „Der zweiter Durchgang“ und „weder noch“ beantwortet werden, die dritte mit „Ja“ oder „Nein“. Zuletzt wird gefragt, ob die Schwierigkeit gerne selbst gesteuert worden wäre und ob es Beschwerden nach dem Spielen gab. Ein Feld für sonstige Anmerkungen bietet die Möglichkeit, eventuell nicht abgedeckte Fälle zu kommentieren.

Die Teilnehmer spielen als erstes den einen Durchgang, füllen den Fragebogen bis zu dem Abschnitt „2. Durchgang“ aus, spielen dann diesen und beantworten anschließend alle verbleibenden Fragen.

Über die Mischung von Fragen und Kommentarfeldern werden sowohl qualitative als auch quantitative Daten gesammelt. Wie von Jennett et al. (2008) und Slater (1999) beschrieben hängen Fragebögen von der subjektiven Meinung der Teilnehmer ab, weshalb IJsselsteijn et al. (2000) vorschlagen, objektive Messungen mit einzubeziehen. Deshalb werden im Spiel Daten erhoben, die zu der Auswertung der Fragebögen hinzugezogen werden können.

5 UMSETZUNG

Dieses Kapitel behandelt die Umsetzung des konzipierten Prototyps mit der entsprechenden Hard- und Software. Der erste Punkt beschreibt die verwendete Technologie. Im Anschluss wird die Implementierung des Projekts beschrieben, unterteilt in den allgemeinen Projektaufbau, die Implementierung der Basisaufgabe, sowie die Schwierigkeitsanpassung und das Feedback.

5.1 VERWENDETE TECHNOLOGIE

Zur Anzeige und Steuerung der Anwendung wurde eine VR-Brille mit Controllern verwendet, die Umsetzung fand in einer Game-Engine statt. Was verwendet wurde und aus welchem Grund wird in den folgenden Kapiteln beschrieben.

5.1.1 VR-Brille

Virtual-Reality-Brillen (VR-Brillen) werden teilweise auch Head-Mounted Displays (HMD) oder Virtual-Reality Headsets genannt (VR-Headset). Im Folgenden wird der Begriff VR-Headset verwendet, um den Begriff von normalen Brillen abzugrenzen.

Mittlerweile sind mehrere VR-Headsets im Handel erhältlich. Viel genutzte VR-Headsets sind beispielsweise die HTC Vive, die Oculus Rift S, die Valve Index und die Oculus Rift (ein Vorgängermodell der Oculus Rift S) (*Steam-Hard- & Softwareumfrage*, 2020). Sie unterscheiden sich unter anderem in der Display-Auflösung, der Bildwiederholungsrate, der Positionserkennungs-Art und vor allem dem Preis.

Bei der Positionserkennung wird zwischen Inside-Out-Tracking und Outside-In-Tracking unterschieden. Outside-In bedeutet, dass externe Kameras oder Sensoren die Position des VR-Headsets bestimmen, während bei Inside-Out die Sensoren oder Kameras an dem VR-Headset genutzt werden um die eigene Position in Relation zu der Umgebung zu berechnen (Ribo et al., 2001).

Für dieses Projekt wurde die HTC Vive verwendet, da keine besonderen Anforderungen an das Headset gestellt wurden und zwei davon von der Hochschule der Medien zur Verfügung gestellt werden konnte. Deren Dual AMOLED-Display hat eine Bildwiederholrate von 90 Hz und ein Sichtfeld von 110°. Es löst mit 1080 x 1200 Pixel pro Auge auf (Gesamt 2160 x 1200 Pixel). Die Vive wird mit einem HDMI- und USB-Anschluss an den PC angeschlossen. Sie kann mittels verstellbarer Riemen und verstellbarem Linsenabstand an die Bedürfnisse des Trägers angepasst werden, außerdem ist es in der Regel möglich, eine Brille darunter zu tragen (*VIVE™ Deutschland | VIVE Hardware Kaufen*, 2020).

Das Outside-In-Tracking (Positionsermittlung des VR-Headsets) erfolgt über zwei Basisstationen, die einen Bereich von ca. 15 m² abdecken (etwa 3,5 m x 3,5 m). Diese sollten idealerweise gegenüber voneinander und höher als zwei Meter angebracht werden, beispielsweise auf einem Stativ oder an der Wand oder Decke montiert. Die Basisstationen haben ein Sichtfeld von etwa 120°, daher ist ein Neigungswinkel von 30-45° zu empfehlen. Der maximale Abstand zwischen den beiden Stationen sollte 5m betragen. Helles Licht und zu viele reflektierende Oberflächen sollten in der Umgebung vermieden werden, da sie zu Problemen führen können.

Zur Einrichtung wird die kostenlose Software SteamVR benötigt. Dabei kann zwischen raumfüllendem VR und stehend oder sitzend gewählt werden. Für raumfüllend werden mindestens 2 x 1,5 m Platz benötigt. Da die hier entwickelte Anwendung keine Fortbewegung beinhaltet, ist stehend oder sitzend völlig ausreichend. In der folgenden Tabelle sind die minimalen und empfohlenen Systemanforderungen aufgelistet, die für die Entwicklung und Nutzertests verwendeten Computer haben diesen Anforderungen entsprochen.

Komponente	Empfohlene Systemanforderungen	Minimum Systemanforderungen
Prozessor	Intel Core i5-4590/AMD FX 8350 oder besser	Intel Core i5-4590/AMD FX 8350 oder besser
GPU	NVIDIA GeForce GTX 1060, AMD Radeon RX 480 oder besser	NVIDIA GeForce GTX 970, AMD Radeon R9 290 oder besser
Arbeitsspeicher	4 GB RAM oder mehr	4 GB RAM oder mehr
Videoausgang	HDMI 1.4, DisplayPort 1.2 oder neuer	HDMI 1.4, DisplayPort 1.2 oder neuer
USB Anschluss	1x USB 2,0 oder höher	1x USB 2,0 oder höher
Betriebssystem	Windows 7 SP1, Windows 8.1 oder später, Windows 10	Windows 7 SP1, Windows 8.1 oder später, Windows 10

Abbildung 7 – Systemanforderungen

(Wie Sind Die Systemanforderungen?, 2020)

5.1.2 Controller

Passend zu der HTC Vive wurden die Vive Controller verwendet, ebenfalls aus dem Grund der Verfügbarkeit. Deren Positionen werden, wie das VR-Headset, über die Basisstationen ermittelt. Sie verfügen über einen ringförmigen Trackingbereich am oberen Ende des Controllers, in dem Verfolgungssensoren verbaut sind. Außerdem vorhanden sind auf der Vorderseite eine Menü-Taste, ein Trackpad und eine System-Taste sowie ein Trigger auf Zeigefingerhöhe an der Rückseite. Je nach Controller ist auf der rechten oder linken Seite auf Höhe von Mittel-, Ring- und kleinem Finger eine Griff-taste angebracht.

Die Controller können zur Lokalisierung der Handposition sowie deren Rotation verwendet werden, geben jedoch keinen Aufschluss über Ausgleichsbewegungen des kompletten Arms oder der Schulter, wie sie bei Schlaganfallpatienten eventuell vorkommen können. Eine

genauere Bestimmung der Fingerpositionen oder der Griffkraft bieten die Valve Index-Controller, die ebenfalls mit der HTC Vive kompatibel sind. Da die Nutzertests nur mit gesunden Personen stattfanden, war eine Positions- und Rotationserkennung ausreichend.

5.1.3 Unreal Engine

Für die Entwicklung von Spielen kommen mehrere Game Engines in Frage, beispielsweise Unity, Godot oder CryEngine. Die Wahl für dieses Projekt fiel auf die Unreal Engine von Epic Games. Sie eignet sich für Spiele, Architektur- und Automobilvisualisierung, Simulations- und Trainingsanwendungen und kann sogar in Film und Fernsehproduktionen einbezogen werden. Unterstützt werden viele gängige Dateitypen wie fbx und alembic, so könnten eigene 3D-Modelle aus Anwendungen wie Maya oder Blender importiert werden. Weitere benötigte Modelle, Effekte, Umgebungen oder Erweiterungen könnten von dem Unreal Marketplace gekauft werden. Dies war für das Projekt jedoch nicht notwendig, da die Umgebung und Anwendung relativ simpel gehalten wurde und die Gestaltung keinen hohen Stellenwert hatte. Einfache Formen wie Würfel, Kugeln oder Zylinder sind standardmäßig in dem Editor enthalten. Einzelne Szenen können in Level unterteilt werden, platzierbare Lichter ermöglichen das Beleuchten der Szenen und mit Materialien und dem Materialeeditor können Objekten Farben oder Texturen zugewiesen werden.

Das bereits vorhandene VR-Basisprojekt hat es ermöglicht, schnell in die Detailarbeit zu gehen ohne sich um grundlegende Funktionen wie die korrekte Position des Headsets in der Szene kümmern zu müssen. Einer der großen Vorteile von Unreal sind Blueprints. Dabei handelt es sich um ein sogenanntes Visual Scripting-System, bei dem Knotenpunkte miteinander verbunden und kombiniert werden können, um die Spiellogik zu „programmieren“. Des Weiteren kann C++ verwendet werden, um die Funktionalität von Blueprints zu erweitern.

Bereits vorhandene Erfahrung und die Umsetzung des Projekts „Rehality“ in der Unreal Engine haben diese Wahl unterstützt. Verwendet wurde die Version 4.24.3, da diese auch in dem Projekt Rehality verwendet wurde und sich als relativ stabil erwiesen hat..

5.2 IMPLEMENTIERUNG DES PROTOTYPS

Die folgenden Punkte beschreiben die Implementierung des Prototyps in der Unreal Engine.

5.2.1 Projektaufbau

Als Grundlage wurde das Virtual Reality Basisprojekt mit dem sogenannten Starter Content von Unreal verwendet. Das Projekt umfasst standardmäßig Würfel zur Maßstabsbestimmung,

ein paar Audiodateien, vorgefertigte Blueprints mit Effekten wie Explosionen oder Rauch, Beispielkarten (sogenannte „Maps“), Materialien mit Texturen und einfache geometrische Formen. Außerdem enthalten sind animierte Hände, die auf das Durchdrücken des Triggers am Controller reagieren (Abbildung 8) und ein MotionControllerPawn, der die Position der Controller und des VR-Headsets auf die virtuelle Szene überträgt und für eine korrekte Darstellung sorgt. Theoretisch wäre damit sogar die Fortbewegung durch Teleportation möglich gewesen, was aber nicht benötigt wurde.

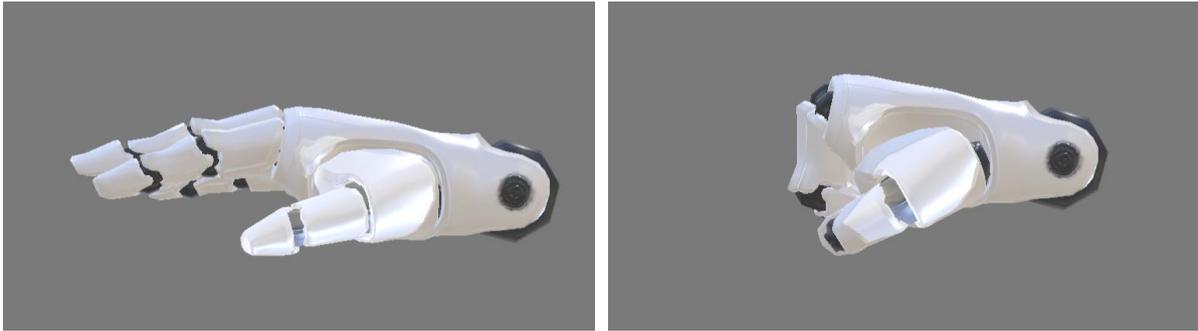


Abbildung 8 - Handdarstellung in der Anwendung

Linkes Bild: Normalzustand der Hand

Rechtes Bild: Hand bei durchgedrücktem Trigger

Das eigentliche Projekt ist in einem eigenen Ordner organisiert, der in Blueprints, Maps, Materials und Models unterteilt ist. Unter Blueprints liegt größtenteils die Spielelogik und was dafür benötigt wird, beispielsweise der zu steuernde Würfel, die Steuerung und der Blueprint, die die Würfel erscheinen lässt und verteilt.

Die Anwendungen sind auf vier verschiedene Maps verteilt, „Main_Map“, „Task_dyn“, „Task_FB_01“ und „Task_FB_02“. Unter Map ist ein einzelnes, großes Level zu verstehen, quasi eine Szene. Der Einfachheit halber wird weiterhin der Begriff Map verwendet. Eine fünfte Map, „Task“, wurde lediglich zu Testzwecken verwendet und wird in der eigentlichen Anwendung nicht mehr geladen.

In der Main_Map liegen die Beleuchtung mitsamt Himmel, der Boden, der Hintergrund und der MotionControllerPawn. Die anderen drei Maps beinhalten lediglich einen Platzhalter, der später genutzt wird um erzeugte Objekte an die jeweilige Map zu binden. Um zwischen den einzelnen Maps hin- und herwechseln zu können, sind diese als *Streaming System* aufgebaut. Das bedeutet, dass eine Map (*Persistent Level*, in diesem Fall Main_Map) immer geladen ist und andere bei Bedarf hinzugeladen werden können (*Streamed Level*, in diesem Fall Task_dyn, Task_FB_01 und Task_FB_02). Die Logik hierfür ist in dem Level Blueprint der Main_Map hinterlegt. Mit 0 werden alle Maps außer der Main_Map entladen. 1, 2 und 3 sind den Streamed Levels zugeordnet. Beim Drücken einer dieser Tasten wird erst eine Variable

geprüft, die das aktuelle (Streamed) Level enthält. Ist diese leer, wird direkt das neue Level geladen und die Variable auf das soeben geladene Level gesetzt, falls nicht, wird davor noch das alte Level entladen. Mit der Taste 0 können alle Level entladen werden (Abbildung 9). So ist sichergestellt, dass immer nur die Main_Map und eine der anderen Maps beziehungsweise Anwendungen aktiv ist.

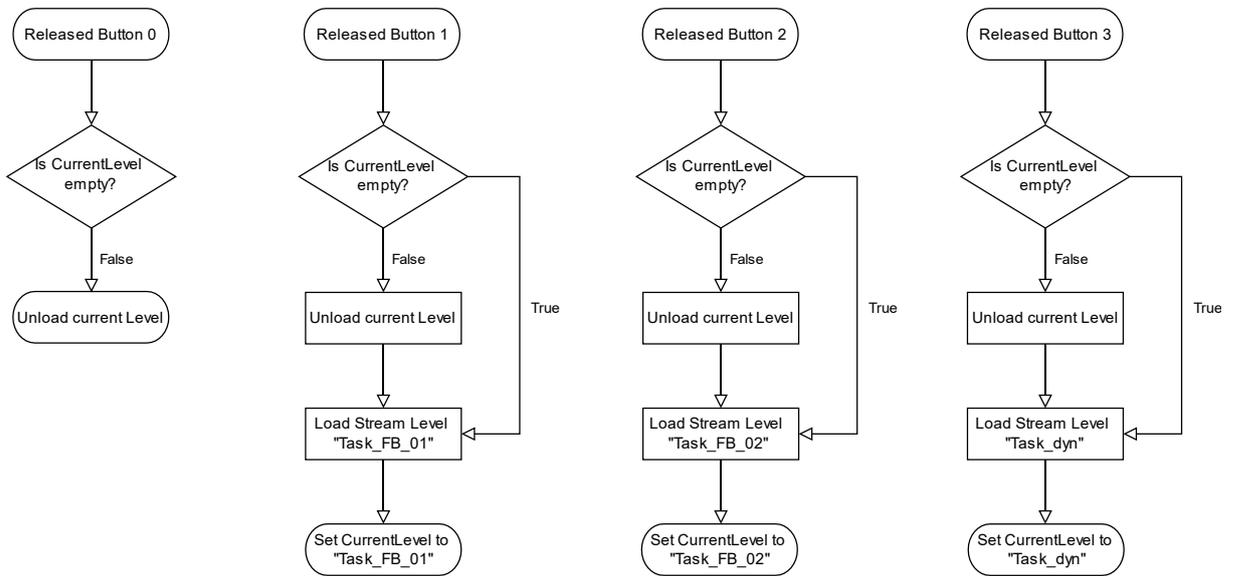


Abbildung 9 - Laden der unterschiedlichen Maps

Während Task_FB_01 das Feedback mit den Pfeilen und Task_FB_02 das Feedback mit der Hand beinhaltet, beinhaltet Task_dyn sowohl die statische als auch die dynamische Anpassung. Sobald die Map geladen ist, kann mit „s“ und „d“ zwischen den Anpassungsmöglichkeiten gewechselt werden. Weitere Details hierzu in Kapitel 5.2.4. Eine Übersicht der Verwendbaren Tasten und deren Funktionen zeigt Abbildung 10.

Taste	Funktion	Bedingung
0	Entlädt alle Maps	
1	Lädt die Map „Task_FB_01“	
2	Lädt die Map „Task_FB_02“	
3	Lädt die Map „Task_dyn“	
Z	Startet die Anwendung	Map „Task_FB_01“ oder „Task_FB_02“ muss geladen sein
E	Exportiert die Daten	Map „Task_FB_01“, „Task_FB_02“ oder „Task_dyn“ muss geladen sein
T	Startet das Tutoriallevel	Map „Task_dyn“ muss geladen sein
S	Startet die statische Anwendung	Map „Task_dyn“ muss geladen sein
D	Startet die dynamische Anwendung	Map „Task_dyn“ muss geladen sein

Abbildung 10 - Tastenbelegungen

5.2.2 Grundlagen der Anwendung

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie die eigentliche Basisaufgabe in der Unreal Engine umgesetzt wurde und wie die einzelnen Blueprints funktionieren.

Teilweise kommt in den Namen der Blueprints oder Funktionen das Wort „Sphere“ vor. Diese Namen sind aus einer früheren Version, in der noch Kugeln verwendet wurden, diese wurden in neueren Versionen durch Würfel ersetzt. Um Konflikte zu vermeiden wurden die alten Namen dennoch beibehalten, deshalb ist trotz des Namens immer von erzeugten Würfeln die Rede.

Vor Starten des Levels ist es möglich, den rechten Controller an die Position zu halten, an der sich die Steuerung befinden soll. Hierzu wird innerhalb des Map-Blueprints des entsprechenden Levels mit drücken der Taste C die Weltposition des Hand Meshes ermittelt und die Steuerung mit der Funktion „Set Actor Location“ an diese Position gesetzt.

Die Grundfunktionalität der Aufgabe teilt sich dabei in die Steuerung in einem Blueprint und den einzusammelnden Würfeln unterteilt in weiteren. Die Steuerung für die Aufgabe ist wie folgt aufgebaut.

Innerhalb des Blueprints liegen vier Kugeln mit einem Abstand zum Mittelpunkt von 20 Einheiten. Jede steht für die entsprechende Richtung, in die sie später den Würfel steuern soll. Nun wird für jede dieser Kugeln ein sogenanntes „On Component Begin Overlap“-Event erstellt. Dieses wird ausgelöst, wenn etwas in der Szene die jeweilige Kugel überlappt. Im nächsten Schritt wird geprüft, ob der überlappende Gegenstand der Hand entspricht. Dafür

wird jedoch nicht das Handmodell verglichen, sondern eine *Collision Capsule*. Also eine Kapsel, die so an der Hand platziert ist, dass ihre Fläche möglichst viel von der Hand abdeckt. Stimmt das überlappende Objekt mit der Kapsel an der Hand überein, wird eine Variable auf „true“ gesetzt, was den Ausgang „true“ der Branchnode aktiviert. Hier wird dann zunächst die Vektorvariable „Direction“ gesetzt, die angibt, in welche Richtung sich der gelbe Würfel später bewegen soll. Anschließend wird die Booleanvariable „Is Overlapping“ auf den Wert „true“ geändert. Dies passiert für jede Kugel gleich. Nur die Direction unterscheidet sich. Der Würfel bewegt sich auf der YZ-Ebene. Daher wird für die obere Kugel bei der Direction ein Z-Wert von eins gesetzt, die anderen beiden bleiben null. Für die untere Kugel bedeutet dies einen Z-Wert von minus eins, die rechte wird auf einen Y-Wert von eins gesetzt und die linke auf einen von minus eins.

Nun wird noch pro Kugel ein „On Component End Overlap“ erstellt, welches ausgelöst wird, sobald die Überlappung mit einem Objekt endet. Hier wird für alle Kugeln die Richtung wieder (0/0/0) und „Is Overlapping“ auf „false“ gesetzt.

Zur Bewegung des gelben Würfels in der Szene wird der Event-Tick genutzt. Dieses Event wird jeden berechneten Frame aufgerufen. Der gelbe Würfel wird dabei im Nachhinein als Objekt aus der Szene eingefügt und existiert im Blueprint nur als beliebige Actorvariable. Wenn nun die Variable „Is Overlapping“ auf „true“ steht, wird die neue Würfelposition für diesen Frame in einer Vektorvariablen festgehalten. Ist dabei ihr Z-Wert größer oder gleich null, wird die Position des Würfels mit der Funktion „Set Actor Location“ normal auf die neue Position gesetzt. Ist der Z-Wert kleiner als null, werden nur X- und Y-Wert neu gesetzt. Dies verhindert, dass der Würfel unter dem Boden verschwinden kann.

Die neue Position wird nun wie folgt berechnet. Die Richtung aus der Variablen „Direction“ wird normalisiert und mit dem Produkt aus der Geschwindigkeit mit den World Delta Seconds multipliziert. Dieser Vektor wird dann zu der momentanen Weltposition addiert und der Positionsvariablen übergeben.

Für die Erzeugung der abzufahrenden Würfel sind die Blueprints „SphereSpawner“ und „SpawnedSphere“ zuständig. Der SphereSpawner erzeugt die angegebene Anzahl von Würfeln und verteilt diese, setzt den jeweils nächsten Würfel aktiv, zählt die falsch berührten Würfel und zerstört alle Würfel, wenn der letzte erreicht wurde. Außerdem wird hier die Zeit gemessen, die für die Beendigung des jeweiligen Levels gebraucht wird. Die SphawnedSphere(s) sind die Würfel, die von dem SphereSpawner erzeugt werden. Sie überprüfen, ob sie vom angegebenen Steuerungswürfel berührt werden, wechseln die Farbe je nach Zustand und lösen bei korrektem Durchfahren die Aktivierung des nächsten Würfels aus.

Im SphereSpawner werden zunächst so viele Würfel erzeugt wie in einer Variable festgelegt. Dieser Wert kann von außen gesetzt und verändert werden, wie beispielsweise in Kapitel 5.2.4 beschrieben. Eine weitere Variable bestimmt die Größe der Würfel, standardmäßig beläuft sich dieser Wert auf 3 Zentimeter. Jeder Würfel erhält eine Referenz auf den erzeugenden SphereSpawner und den Steuerungswürfel, auf den reagiert werden soll. Anschließend wird er einem SpawnedSphere-Array hinzugefügt und dem SphereSpawner untergeordnet. Als Position werden für die x- und y-Werte zwei Variablen übergeben, die standardmäßig einen Wert von null haben. Somit wird die erste Kugel immer an der Position (0/0/0) relativ zum SphereSpawner erzeugt. Um später die Ausmaße des Spielfelds bestimmen zu können, wird in den Funktionen „CheckForX“ und „CheckForY“ überprüft ob der aktuelle Positionswert (sowohl x als auch y) größer oder kleiner als der hinterlegte Minimal- und Maximalwert ist. Falls ja, wird dieser überschrieben. Jeweils im Wechsel wird für die nächste Position entweder der x- oder y-Wert neu berechnet. Dazu wird zu der vorherigen Position ein zufälliger Wert in einem festgelegten Radius hinzugerechnet. Der Wert kann sowohl positiv als auch negativ sein, um eine Verschiebung in beide Richtungen möglich zu machen. Solange der letzte Würfel noch nicht erzeugt wurde, wird die Distanz zwischen dem zuletzt erzeugten Würfel und dem nächsten Würfel, der erzeugt wird, berechnet und aufsummiert. Die neu berechneten Werte ersetzen anschließend die Werte, die zur Positionierung des nächsten Würfels verwendet werden. Ist der letzte Würfel erzeugt, wird das Spielfeld anhand der ermittelten minimalen und maximalen Werte mittig zum SphereSpawner ausgerichtet und mit der Funktion „MakeSphereActive“ die aktiv zu setzende Kugel übergeben. Die Funktion ändert das Material zu einer definierten Farbe und erhöht die Leuchtkraft für eine bessere Sichtbarkeit etwas. Ein Timer startet, der erst mit Erreichen der letzten Kugel stoppt und so die Gesamtzeit des Levels ermittelt und speichert. Wird das Event „ChangeGoal“ aufgerufen, wird zunächst überprüft, ob die letzte Kugel durchfahren wurde. Ist dies der Fall, wird der Timer angehalten und die Zeit gespeichert. Anschließend wird überprüft, ob das Spiel überhaupt noch läuft. Wenn ja, werden alle Würfel mit der Funktion „DeleteSpheres“ gelöscht und nach einer einstellbaren Verzögerung das Event „Respawn“ gerufen, welches dann abgefangen werden kann. Die Funktion geht dabei durch das Array der erzeugten Würfel, zerstört diese und leert das Array. Details zu „Respawn“ finden sich ebenfalls in Kapitel 5.2.4. Wurde der letzte Würfel noch nicht erreicht, erhöht sich der Index des zu verwendenden Würfels, welcher anschließend mit der Funktion „MakeSphereActive“ aktiviert wird. Zuletzt wird ein Timer gestartet, der die seit dem Start des Levels verstrichene Zeit misst (Abbildung 11). Die Funktion „MakeSphereInactive“ bewirkt das Gegenteil von „MakeSphereActive“. Sie wird nur von außen her aufgerufen. Das Event „HitWrongSphere“ wird von den einzelnen Würfeln angesprochen, es erhöht lediglich den Fehlerzähler um eins.

Für Testzwecke wurden zusätzlich Zylinder zwischen den Würfeln erzeugt. Da die Strecke so leichter einsehbar war und es die Schwierigkeit gesenkt hätte, wurde in der Endversion darauf verzichtet.

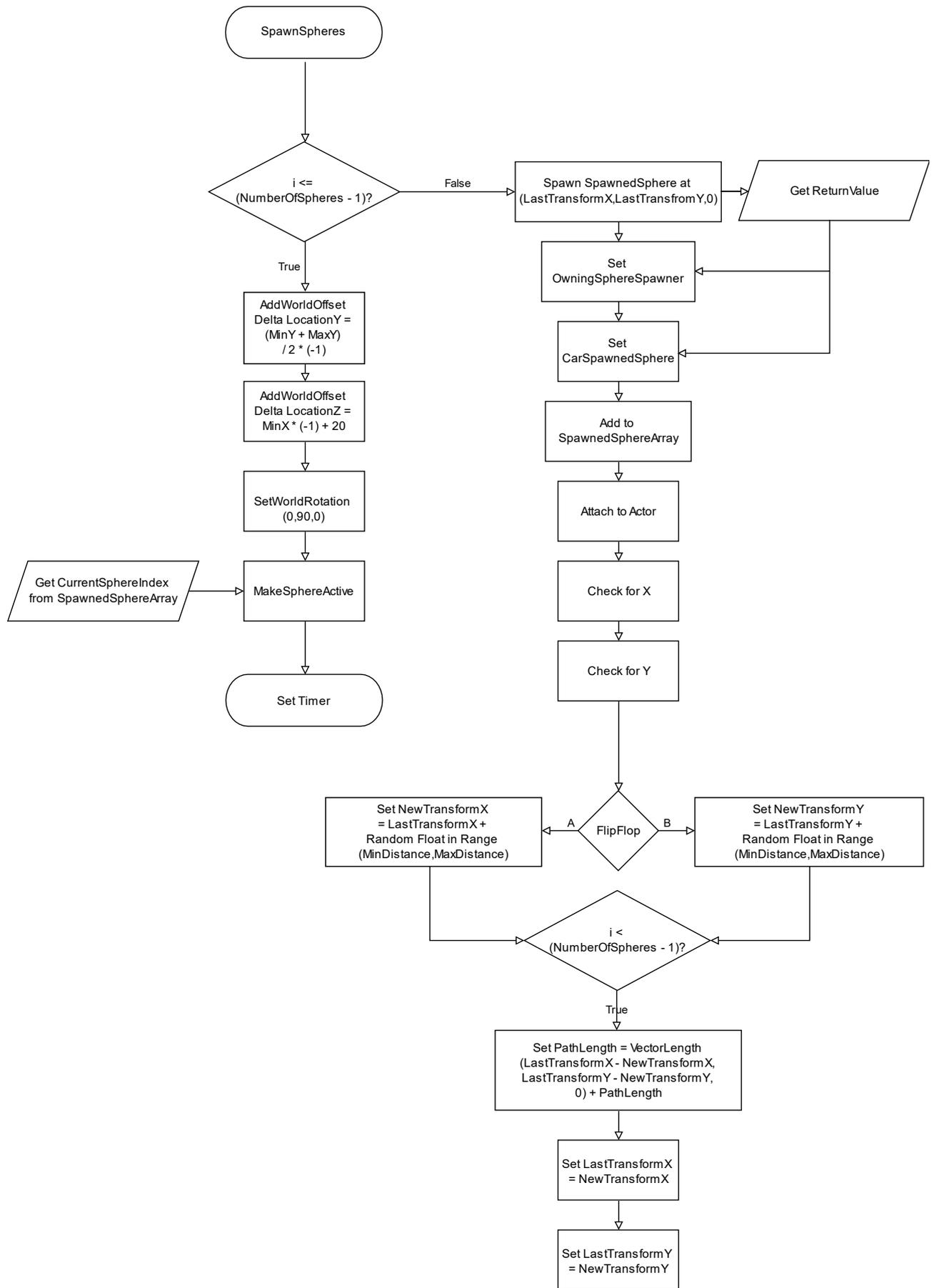


Abbildung 11 - Grundfunktion des SphereSpawners

Die SpawnedSpheres (die Würfel) überprüfen, ob der angegebene Steuerungswürfel mit ihnen überlappt. Tritt der Fall ein und der jeweilige Würfel ist aktiv, wird sie inaktiv gesetzt und das Event „ChangeGoal“ des SphereSpawners aufgerufen. Ist er inaktiv, wird er kurzzeitig rot und ruft das Event „HitWrongSphere“ auf.

Der SpawnHelper ist ein leeres, nicht sichtbares Objekt, das auf allen Maps platziert wurde. Er wird den erzeugten Objekten als Owner übergeben und funktioniert als Anker, damit alle Objekte auf derselben Map wie der Owner spawnen und bei einem Wechsel zwischen den Anwendungen mit der Map entladen werden. Standardmäßig werden neue Objekte im persistenten Level erzeugt und bleiben so auch bei Entladen der Streamed Level bestehen.

Allgemein sind einstellbare Werte in Variablen gespeichert und es werden Blueprints gegenseitig referenziert, um eine leichte Anpassung zu ermöglichen. So kann der Steuerungswürfel durch jedes Beliebige 3D-Modell ersetzt werden, da er in einem weiteren Blueprint („Car“) ausgelagert ist. Die Funktionalität von SphereSpawner und SpawnedSphere bleibt dabei unberührt. Selbiges gilt für das Aussehen der SpawnedSphere(s). Im SphereSpawner können beispielsweise Minimal- und Maximalabstand zwischen den erzeugten Würfeln und die Größe der Würfel geändert werden. Im SphereSpawner können die Farben für aktiv und inaktiv angepasst werden. Theoretisch wäre es auch möglich, mehrere SphereSpawner mit unterschiedlichen Steuerungswürfeln zu erzeugen, da diese pro Instanz übergeben werden.

5.2.3 Implementierung des Feedbacks

Für das Feedback müssen an der Steuerung noch Anpassungen vorgenommen werden.

Für beide Feedbackarten werden in der Mitte zwei weitere Kugeln hinzugefügt. Eine davon ist leicht transparent. Die andere ist nicht sichtbar und wird für die Erkennung einer Überlappung mit der Hand genutzt. Da die beiden unabhängig voneinander sind, können die sichtbare Größe und die der Kollisionskugel getrennt voneinander angepasst werden. Mit der Größe kann die Aufmerksamkeit, die der Mittelpunkt auf sich zieht, beeinflusst werden, während die Kollisionserkennung gröber oder präziser eingestellt werden kann. Bei einer kleinen sichtbaren Kugel ist daher immer noch eine gute Kollisionserkennung möglich.

Außerdem zeigt von jeder Kugel ein roter Pfeil in die Mitte. Beim Laden des Blueprints werden über „Event Begin Play“ zunächst alle Pfeile unsichtbar gemacht und für jeden wird eine dynamische Materialinstanz erzeugt, die in einer Variablen gespeichert wird. Außerdem gibt es eine weitere Variable namens „Middle Touched“. Sie wird auf „true“ gesetzt, wenn die mittlere Kugel berührt wurde und wieder auf „false“, sobald der Kontakt zu einer der Steuerkugeln beendet wird.

Ist der Wert von „Middle Touched“ „false“, wenn eine der Steuerkugeln berührt wird, wird der zu ihr gehörige Pfeil sichtbar gesetzt. Ist sie „true“, funktioniert sie normal wie in Kapitel 5.2.2 beschrieben. Ist nun ein Pfeil sichtbar und die Mitte wird berührt, wird neben der Variablen die Farbe der Pfeile auf grün geändert. Nach einer Sekunde Verzögerung wird die Sichtbarkeit der Pfeile wieder auf „false“ gesetzt und die Farbe wieder auf Rot geändert.

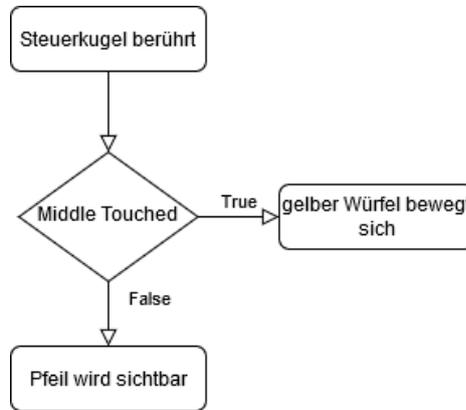


Abbildung 12 – (FB) Flowchart wann der Pfeil erscheint

Für das Feedback mit der Hand ist die Funktionalität überwiegend gleich. Jedoch gibt es hier nur eine Hand, die zunächst an der Position der mittleren Kugel liegt. Nach jeder Berührung einer Kugel wird diese in einer Variablen namens „Last Touched“ gespeichert. Diese beinhaltet dann immer das Mesh der zuletzt berührten Kugel. Außerdem wird ihre relative Position in der Variablen „StartposHand“ festgehalten und die Hand auch immer jeweils auf diese Position gesetzt. Zusätzlich wird die „Hand Direction“ als Vektor hinterlegt. Die Bewegung der Hand findet entlang der X- (rechts und links) und Z-Achse (oben und unten) statt.

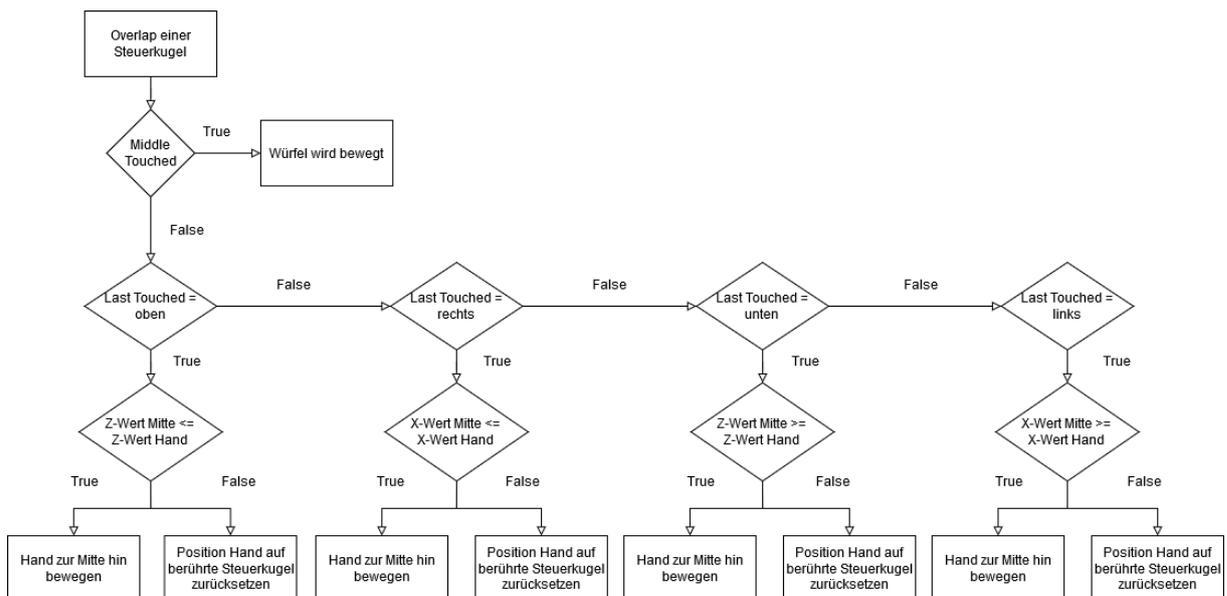


Abbildung 13 – (FB) Funktionalität des Handfeedbacks

Ist nun „Middle Touched“ auf „false“ gesetzt, wird die Hand an ihrer derzeitigen Position auf sichtbar geschaltet. Dann wird nacheinander abgeprüft, welche Steuerkugel „Last Touched“

beinhaltet. Befindet sich die Hand noch nicht am Mittelpunkt oder darüber hinaus, wird mit jedem Frame eine neue Position berechnet, sodass eine Bewegung zur Mitte hin stattfindet. Dafür wird der zur Mitte zeigende „Hand Direction“-Vektor mit der Geschwindigkeit multipliziert und anschließend zur momentanen Position der Hand addiert. Erreicht die Hand den Mittelpunkt, wird sie wieder an ihre Startposition zurückgesetzt und startet von neuem den Weg zur Mitte.

Wurde die Mitte erneut berührt, wird die Hand wieder unsichtbar.

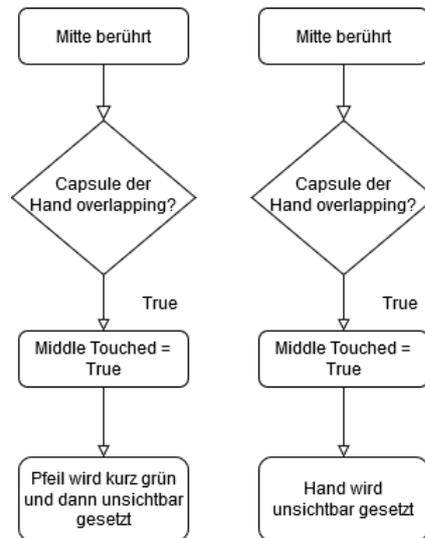


Abbildung 14– (FB) Flowchart für die Berührung des Mittelpunktes, links für den Pfeil, rechts für die Hand

Wie bereits unter Kapitel 5.2.1 Projektaufbau beschrieben, liegen beide Feedbackarten in ihrer eigenen Map. Diese funktionieren gleich, erzeugen aber unterschiedliche Steuerungen in der Szene. Gemeinsam mit der Steuerung werden der gelbe Würfel, ein Text Render Actor, der die Punktzahl anzeigt, und ein neuer SphereSpawner erzeugt. Die Funktionalität des SphereSpawners ist unter Kapitel 5.2.2 Grundlagen der Anwendung beschrieben. Mit der Taste C kann die Steuerung an den Platz der Hand gesetzt werden und mit Drücken der Taste Z beginnt das Level.

Sobald dies geschehen ist, werden zwei Timer gestartet. Der erste startet die Zeit, die über eine Anzeige sichtbar ist und mit jedem Tick aktualisiert wird. So ist ersichtlich, wie viel Zeit noch zum Spielen verbleibt.

Ist die Zeit abgelaufen, wird wie unter Kapitel 5.2.4 Implementierung der Schwierigkeitsanpassung genauer beschrieben eine Explosion abgespielt und der gelbe Würfel unsichtbar gemacht. Zudem werden in diesem Zug die gesammelten Daten automatisch exportiert. Dies ist im Notfall auch über die Taste E möglich. Für eine genauere Beschreibung des Exports, siehe 5.2.4 Implementierung der Schwierigkeitsanpassung. Die Daten, die gespeichert werden, sind die erreichte Punktzahl und die Zeit, bis der erste pinke Würfel erreicht wurde. Dafür ist der zweite Timer verantwortlich.

Er läuft kontinuierlich ab. Nachdem der erste Punkt erreicht wird, wird er einmalig pausiert, die bis dahin vergangene Zeit in einer Variablen gespeichert und später dem Array der zu exportierenden Daten hinzugefügt.

Nach jedem eingesammelten Würfel wird ein Punkt zur derzeitigen Punktzahl addiert und der angezeigte Text aktualisiert. Das Event wird dabei aus dem SphereSpawner aufgerufen.

Sind alle pinken Würfel eingesammelt worden, wird aus dem SphereSpawner das Event „Destroy“ aktiviert. Es berechnet eine neue Komplexität, durch die die Anzahl an Würfeln verändert wird. Im Falle der Anwendungen zum Feedback erhöht sie sich jeweils um 1,25. Danach wird ein neuer SphereSpawner erzeugt.

5.2.4 Implementierung der Schwierigkeitsanpassung

Zu Beginn werden die einzelnen Funktionen und Events beschrieben, die teilweise auch in der Feedback-Anwendung verwendet werden. Diese sind im Map-Blueprint des Streamed Level „Task_dyn“ hinterlegt. Anschließend wird beispielhaft ein kompletter Durchlauf erklärt.

Eine der wichtigsten Funktionen ist „SpawnNewSphereSpawner“. Die Funktion dient dazu, eine Instanz des Blueprints SphereSpawner zu erzeugen, welche wiederum für die Erzeugung der Würfel zuständig ist. Eine genauere Erklärung zu diesem Blueprint ist im Kapitel 5.2.2 zu finden. Bei Funktionsaufruf müssen die Parameter des Owners, die neue Würfelanzahl und der Steuerungswürfel, auf den die Würfel reagieren sollen, mit angegeben werden. Diese Werte werden an den soeben erzeugten SphereSpawner weitergegeben, anschließend werden die zu durchfahrenden Würfel erzeugt und die interne Levelvariable eins hochgezählt. Mit der Funktion „ResetLevel“ wird sichergestellt, dass bei einem Wechsel zwischen der dynamischen oder statischen Anwendung und dem Tutorial-Level alle Variablen auf demselben Stand sind. Dabei wird die Anzahl der zu erzeugenden Würfel auf einen Standardwert von fünf und die Punkte- und Zeitanzeige sowie die Level-Variable auf null gesetzt. Die Steuerung wird in ihre Anfangsposition ohne Richtungswechsel gebracht, eine Variable hält fest, dass die nächste Invertierung die Erste ist. Sollten aus einem vorherigen Durchgang noch Würfel vorhanden sein, werden diese gelöscht. Der Steuerungswürfel wird an seine ursprüngliche Position gesetzt und sichtbar geschaltet.

„InvertController“ ist eine Funktion, die für die Richtungsänderung der Steuerung sorgt. Ihr wird eine Zahl zwischen eins und acht übergeben werden. Als erstes wird die Variable zur ersten Invertierung auf „false“ gesetzt. Anschließend wird anhand der übergebenen Zahl bestimmt, welcher Richtungswechsel angewendet wird. Die Steuerung kann auf acht verschiedene Arten invertiert werden (Abbildung 15). Die Kugeln haben vier verschiedene Farben zur besseren Unterscheidung. Gelb steht für eine Bewegung des Würfels nach oben, Rot für eine Bewegung

nach rechts, blau für eine Bewegung nach unten und grün für eine Bewegung nach links. Es gibt den Normalzustand (1), eine Umkehrung von rechts und links (2), oben und unten (3), komplett (4), eine Rotation um 90° nach rechts (5), nach links um 90° (6), eine Rotation um 90° nach rechts mit Umkehrung oben – unten (7) und eine Rotation nach links um 90° mit Umkehrung oben – unten (8). Somit führt beispielsweise bei der Variante 2 ein Anfassen der rechten Kugel (grün) dazu, dass der gelbe Würfel sich in Richtung links bewegt, während es bei Anfassen der oberen (gelben) Kugel nach wie vor zu einer Bewegung nach oben kommt.

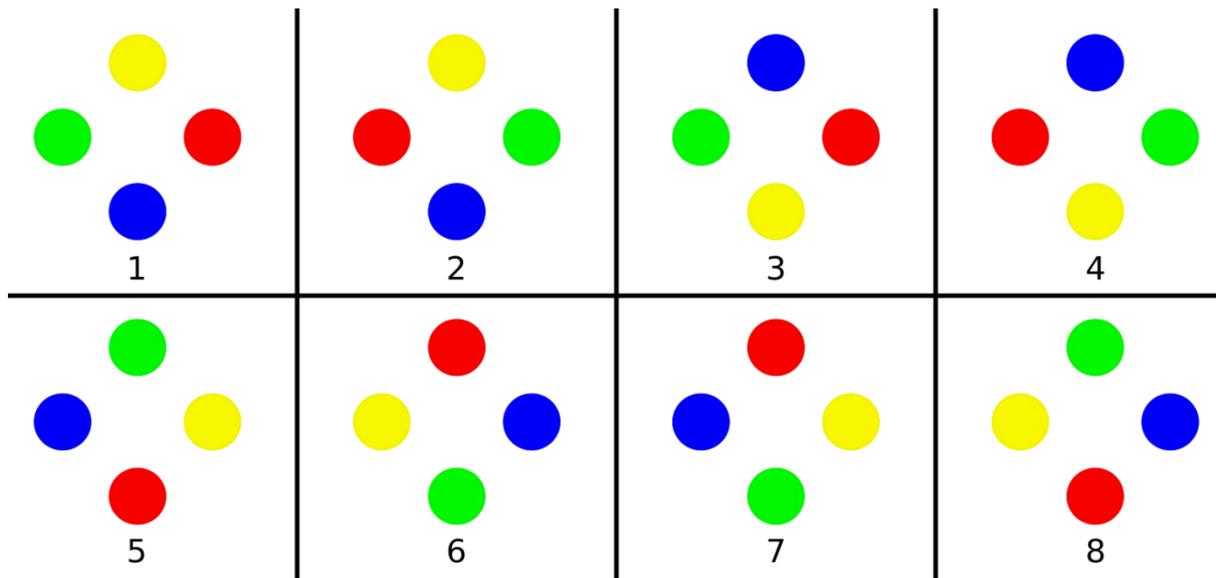


Abbildung 15 – (S) Umkehrung der Steuerung

Für die Anpassung sind die Funktionen „StaticAdaption“ und „DynamicAdaption“ zuständig. Beide berechnen die neue Anzahl zu erzeugender Würfel und geben diese zurück. In der statischen Anpassung wird überprüft, ob das aktuelle Level fünf oder ein Vielfaches davon ist. Sollte dem so sein, wird die Funktion „Invert Controller“ mit einer Variable aufgerufen, die die zu verwendende Invertierung als Zahl angibt. Nach dem Richtungswechsel wird die Variable um eins erhöht. Übersteigt sie dabei die Sieben, wird sie wieder auf eins (den Standardwert) zurückgesetzt. Nach erfolgter Umkehrung oder falls das Level kein Vielfaches von fünf ist, wird abgefragt, ob das Level ein Vielfaches von acht ist. Wenn dies zutrifft, wird die Funktion „AddCarSpeed“ aufgerufen, die die aktuelle Geschwindigkeit des Steuerungswürfels nimmt und sie um zehn erhöht. Zuletzt wird die Anzahl der zu erzeugenden Würfel um eins erhöht. Kurz zusammengefasst kommt jedes Level ein Würfel dazu, alle fünf Level ändert die Steuerung ihre Richtung und alle acht Level wird die Geschwindigkeit erhöht.

In der dynamischen Anpassung wird zunächst die Funktion „AddSpeedValues“ aufgerufen. Diese teilt die gesamte Pfadlänge der gerade aktiven Würfel durch die Zeit, die bis zum Erreichen des letzten Würfels gebraucht wurde und fügt sie dem Speed-Array hinzu. Die aus

dem Tutorial berechnete Durchschnittsgeschwindigkeit wird verwendet, um Schwellwerte für den Übergang zu einem leichteren oder schwereren Level zu setzen. Bei einer überdurchschnittlichen Geschwindigkeit (hier ≥ 20 cm/s), wird der Schwellwert für leichtere Level auf fünf und für schwerere Level auf eins gesetzt. Für eine langsamere Durchschnittsgeschwindigkeit (hier < 10 cm/s) belaufen sich die Schwellwerte umgekehrt auf eins für leichtere Level und fünf für schwerere Level. Bei gleichbleibender Durchschnittsgeschwindigkeit (hier < 20 cm/s und ≥ 10 cm/s) werden beide Werte auf drei gesetzt. Im nächsten Schritt wird die Durchschnittsgeschwindigkeit aus dem aktuellen Durchschnitt herangezogen. Es wird verglichen, ob sie kleiner als die allgemeine Durchschnittsgeschwindigkeit minus des Schwellwerts zum leichten Level oder größer als die allgemeine Durchschnittsgeschwindigkeit plus des Schwellwerts zum schweren Level ist. Im ersten Fall war die Person langsamer, ein „Slow Count“ wird hochgezählt. Ist dieser zwei oder ein Vielfaches davon, wird die Geschwindigkeit des Steuerungswürfels um fünf erhöht. Wenn er fünf oder ein Vielfaches davon ist, wird die Richtungsumkehrung der Steuerungskugeln wieder aufgehoben. Im zweiten Fall war die Person schneller, hier wird ein „Fast Count“ hochgezählt. Ist dieser zwei oder ein Vielfaches davon, wird ein Richtungswechsel vorgenommen. Wie in der statischen Anwendung wird die Variable, die die Richtungswechsel zählt, erhöht. Sollte sie sieben übersteigen, wird sie auf eins zurückgesetzt. Wenn keiner der zwei Fälle eintritt, war die Person gleich schnell. Sowohl bei gleich schnell als auch bei schneller wird die Anzahl der zu erscheinenden Würfels um eins erhöht, bei langsamerer geschwindigkeit bleibt sie gleich. So kann es durchaus passieren, mehrmals hintereinander dieselbe Würfelanzahl in den Leveln zu haben. Zuletzt wird die Funktion „CalculateMeanSpeed“ aufgerufen, die im Folgenden erklärt wird. Eine Übersicht zu dem Ablauf der dynamischen Anpassung zeigt Abbildung 16

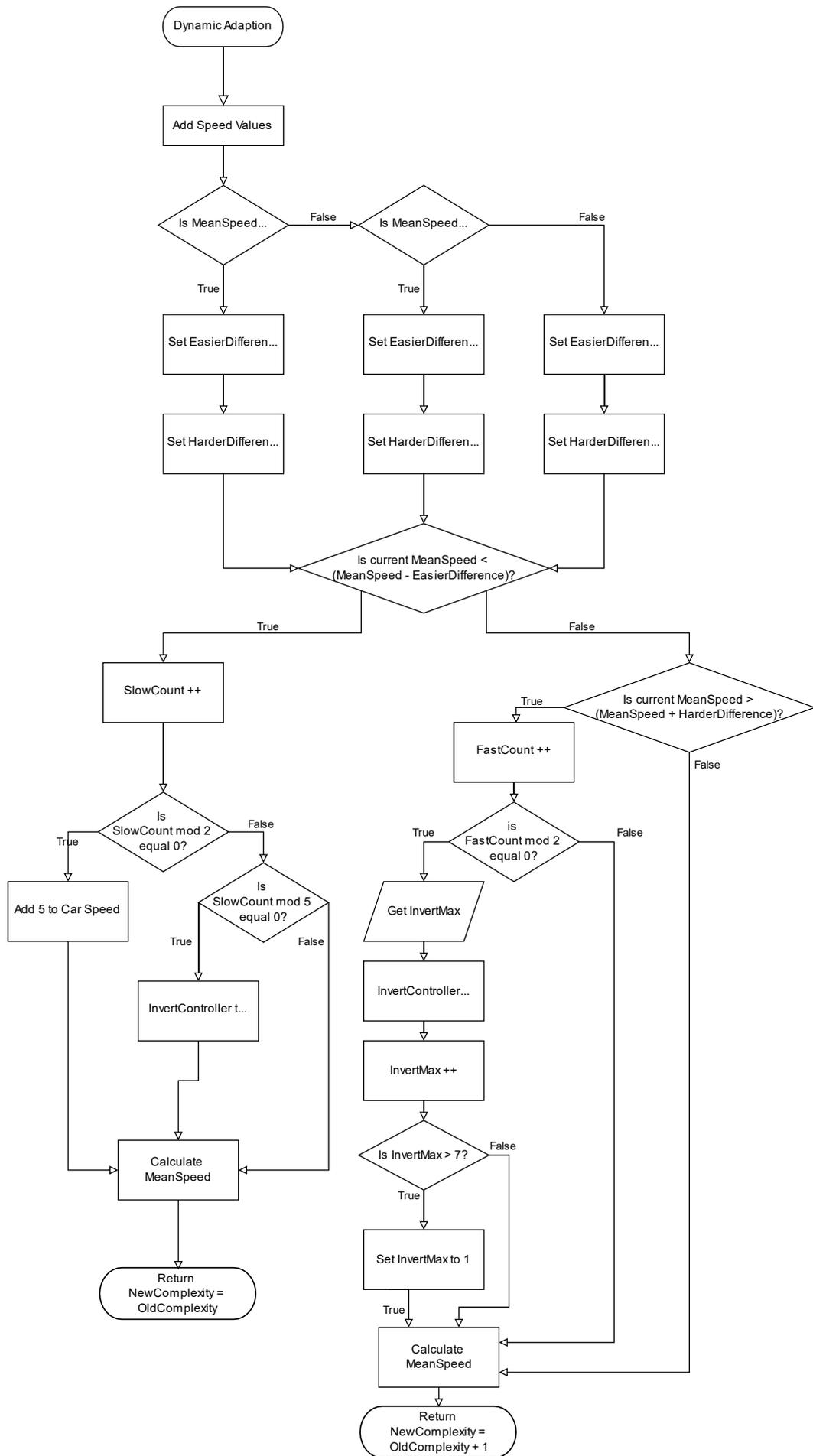


Abbildung 16 – (S) Ablauf der dynamischen Schwierigkeitsanpassung

„CalculateMeanSpeed“ ist eine Funktion, die für die Berechnung der allgemeinen Durchschnittsgeschwindigkeit zuständig ist. Dabei werden alle im Speed-Array enthaltenen Werte aufsummiert und durch die Anzahl der Werte geteilt.

Zuletzt verkettet die Funktion „AddData“ sämtliche zu exportierenden Daten wie Level, Kugelanzahl, Pfadlänge, benötigte Zeit, die aktuelle Durchschnittsgeschwindigkeit, die Anzahl der Fehler, die Punktzahl und ob das Level dynamisch oder statisch war. Dabei wird „;“ als Trennzeichen für eine korrekte Darstellung als CSV verwendet. Der zusammenhängende String wird dem ExportData-Array hinzugefügt (Abbildung 17).

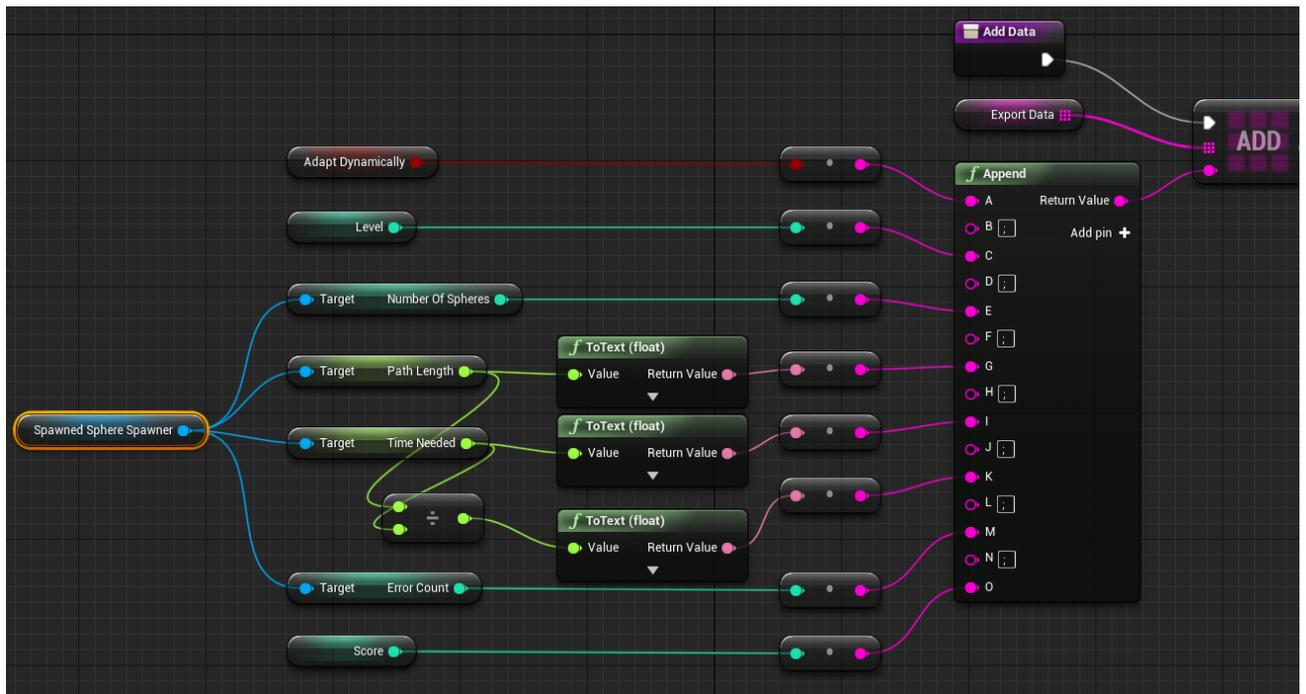


Abbildung 17 – Die Funktion "AddData"

Eine Funktion „IncreaseControllerDistance“ wurde zwar implementiert und als zusätzlicher Schwierigkeitsfaktor ausprobiert, letztendlich aber nicht verwendet, da zu viele angepasste Parameter eine Auswertung zusätzlich erschwert hätten. Dabei wanderten die Steuerungskugeln bei jedem Aufrufen um fünf Zentimeter nach außen, wodurch sich die mit der Hand beziehungsweise dem Controller zurückzulegende Strecke vergrößert hat.

Mit Aufrufen der Map werden zu Beginn der gelbe Steuerwürfel, die Basissteuerung, die Zeit- und Punkteanzeige und der Durchgangs-Titel an festgelegten Positionen erzeugt und jeweils in Variablen für die spätere Verwendung gespeichert. Dem Steuerungswürfel wird eine Standardgeschwindigkeit zugewiesen, die Punkte- und Zeitanzeige wird auf null gesetzt. Mit den Tasten „T“, „D“, und „S“ kann zwischen dem Tutorial-Level, dem dynamischen Durchgang und dem statischen Durchgang gewechselt werden.

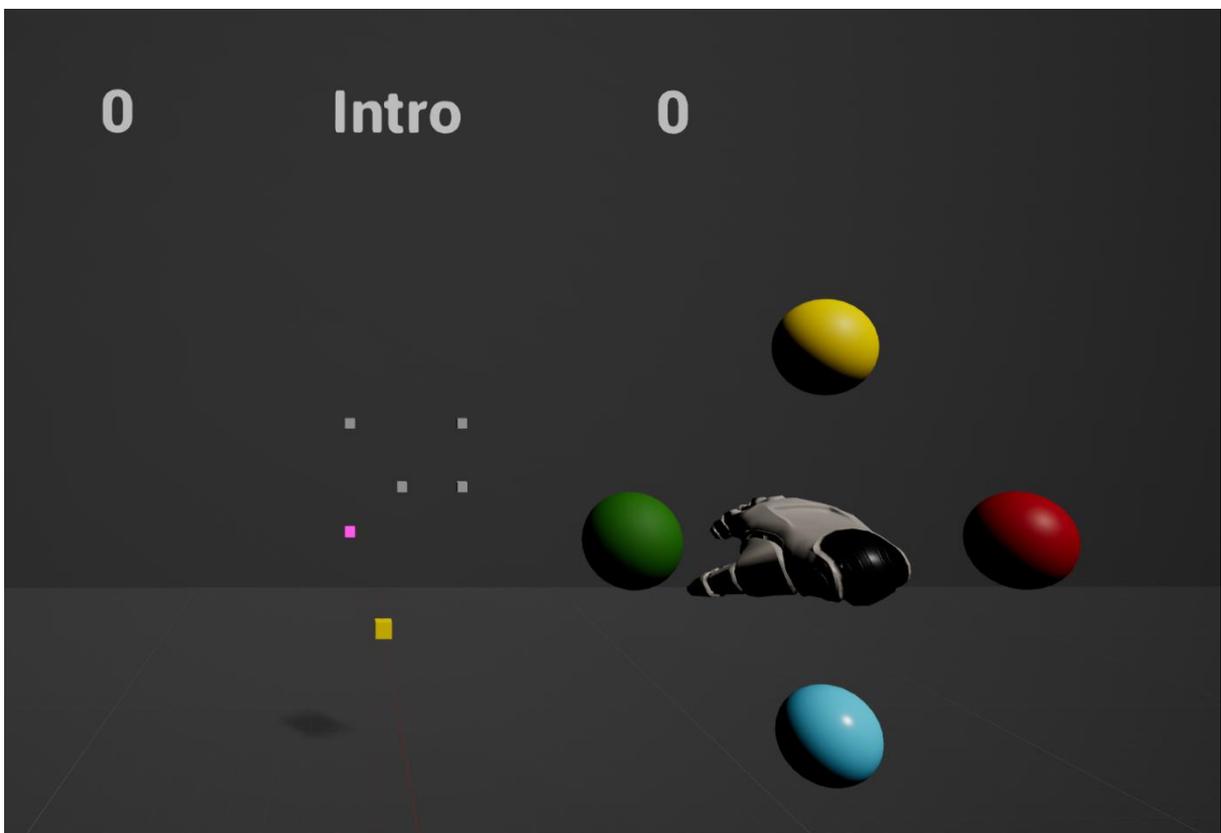


Abbildung 18 - (S) Spielfeld mit gestartetem Tutorial-Level

Um einen Eindruck der Fähigkeiten des Spielenden zu bekommen und diesen an die Steuerung zu gewöhnen, wird mit dem Drücken von T das Tutorial-Level gestartet (Abbildung 18). Die Funktion „ResetLevel“ setzt zur Sicherheit alle Werte auf ihren Anfangszustand, eine Variable TutorialLevel merkt sich, dass das aktuelle Level die Einführung ist. Die Funktion „SpawnSphereSpawner“ bereitet das Spielfeld vor und es kann mit dem Spielen begonnen werden. Das Event „Respawn“ wird jedes Mal ausgelöst, wenn der letzte Würfel des aktuellen Levels erreicht wird. Da TutorialLevel auf „true“ gesetzt ist, werden lediglich die

Geschwindigkeitswerte mit der Funktion „AddSpeedValues“ gespeichert. Anschließend wird der aktuelle SphereSpawner mit seinen Würfeln zerstört und ein neuer erzeugt. Im Tutorial-Level bleibt die Anzahl der Würfel mit fünf konstant. Nach dem fünften Level wird kein neuer SphereSpawner mehr erzeugt, stattdessen berechnet die Funktion „CalculateMeanSpeed“ eine allgemeine Durchschnittsgeschwindigkeit als Referenzwert für die dynamische Anwendung.

Anschließend kann entweder der dynamische Durchgang mit „D“ oder der statische Durchgang mit „S“ gestartet werden. Theoretisch ist dies auch jederzeit möglich, die Reihenfolge oder wie oft welcher Durchgang gestartet wird ist egal. Bei beiden Durchgängen wird zuerst die Variable TutorialLevel auf „false“ gesetzt und alles mit „ResetLevel“ zurückgesetzt.

Wird der statische Durchgang gestartet, speichert eine Variable, dass nicht dynamisch angepasst werden soll. Ein neuer SphereSpawner wird erzeugt, ändert sich der Durchgangstitel zu „Anwendung A“ und ein Timer von 240 Sekunden wird gestartet. Über die Zeitanzeige kann die verbleibende Zeit eingesehen werden, die mit jedem Tick aktualisiert wird. Wie im Tutorial-Level kann direkt gespielt werden. Mit jedem korrekt durchfahrenen Würfel erhöht sich nun die Punkteanzeige um eins. Ebenfalls gleich ist, dass bei Erreichen des letzten Würfels das Event „Reset“ aufgerufen wird. Der Unterschied ist, dass statt der Funktion „AddSpeedValues“ erst die Funktion „AddData“ und anschließend „StaticAdaption“ aufgerufen wird. Nach eventuell erfolgten Änderungen zerstört sich der alte SphereSpawner und ein neuer wird mit der zurückgegebenen, neuen Würfelanzahl erzeugt.

Der dynamische Durchgang funktioniert im Grunde genommen genau gleich, der Unterschied besteht darin, dass die Variable nun speichert, dass dynamisch angepasst werden soll und dementsprechend nicht „StaticAdaption“, sondern „DynamicAdaption“ aufgerufen wird.

Ist die Zeit des Timers abgelaufen (sowohl im statischen als auch im dynamischen Durchgang), wird der als nächstes zu erreichende Würfel inaktiv gesetzt und der Steuerungswürfel explodiert. Da er lediglich unsichtbar ist, könnte er zwar noch bewegt werden, hat aber keinen Effekt mehr.

Nach jedem Durchgang können mit „E“ die von „AddData“ gespeicherten Daten in eine CSV-Datei exportiert werden. Dazu wird ein in C++ geschriebenes Blueprint Interface „SaveArrayText“ genutzt, das einen Dateipfad als Verzeichnis, einen Dateinamen und zu exportierende Daten aus einem Array entgegennimmt. Die Dateien werden dabei in dem Format [Filename]001.csv gespeichert. Sollte die Datei bereits existieren und Überschreiben nicht erlaubt sein, wird die Nummer um eins erhöht ([Filename]002.csv, [Filename]003.csv, etc.). So können die Daten beispielsweise in Microsoft Excel eingesehen und ausgewertet werden (Abbildung 19).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Dynamic	Level	Number of Spheres	Path Length	Time Needed	cm/s	Error Count	Score
2	false	1	2	4,22	6,19	0,68	1	2
3	false	2	3	47,45	7,09	6,69	1	5
4	false	3	4	82,01	12,39	6,62	0	9
5	true	1	2	12,29	4,87	2,52	0	2
6	true	2	2	25,53	1,75	14,56	0	4
7	true	3	3	46,73	8,44	5,53	2	7
8	true	4	3	61,26	4,43	13,81	1	10
9	true	5	4	83,36	6,67	12,5	3	14

Abbildung 19 – (S) Ein in Excel geöffneter, exportierter Datensatz

Allgemein ist die Anwendung auch hier so aufgebaut, dass Variablen schnell geändert werden können. Dazu zählen beispielsweise die Positionen der erzeugten Objekte, die Länge der einzelnen Durchgänge und der Dateiname, mit dem exportiert werden soll.

6 EVALUATION

Im Folgenden werden die Durchführung der Studie und ihre Ergebnisse dargelegt. Zunächst erfolgt die Beschreibung der Pilotstudien, die mit ihren Erkenntnissen zur Verbesserung des Prototyps beigetragen haben. Sie flossen vor den Nutzertests in die Anwendung ein. Anschließend wird die Durchführung der eigentlichen Nutzertests dargestellt. Zuletzt sind die Darlegung der Ergebnisse und ihre Auswertung jeweils für das Feedback und die Schwierigkeitsanpassung beschrieben.

6.1 PILOTSTUDIEN

Während der Konzeption und Umsetzung wurde mit einigen Testern ein Pilottest umgesetzt, um mögliche Schwächen der Anwendung, des Feedbacks und der Schwierigkeitsanpassung zu erfassen und den Prototypen zu verbessern. Die Durchführung und Ergebnisse daraus sind unter den folgenden Punkten zusammengefasst.

6.1.1 Pilotstudie zum Feedback

Während der Entwicklung des Feedbacks wurden drei Pilottests durchgeführt. Die Erkenntnisse daraus sind in die Anwendung eingeflossen.

Der hier verwendete Fragebogen ist nicht mithilfe des INTUI erstellt, sondern anders aufgebaut. Er wurde bei der eigentlichen Studie durch die endgültige Version mit dem INTUI ersetzt, da letzterer eine bessere Alternative darstellt. Der Fragebogen für den Pilottest fragt direkt danach wie gut zu erkennen, verständlich, hilfreich, motivierend und störend das Feedback selbst war. Dies wird jeweils zum Pfeil und zur Hand abgefragt unter Verwendung von semantischen Differentialen mit einer Skala von fünf Stufen. Unter jeder Aussage befindet sich zusätzlich ein Textfeld zur Beschreibung, warum der Tester etwas so empfindet. Unter dem Punkt wie verständlich das Feedback war, wird außerdem gefragt, wie es verstanden wurde. Im Anschluss gibt es einen Teil zum direkten Vergleich von Pfeil und Hand, um festzustellen, welches Feedback als besser verständlich und motivierender wahrgenommen wurde, mit einer Begründung. Zudem fand nach den Pilottests ein Gespräch mit den Testern über das Feedback statt, um zusätzliche Details zu erfahren.

Die erste Testperson, weiblich, 18 Jahre alt, hatte zuvor keinerlei Kenntnis zur Funktion der Anwendung und bekam auch keine genauen Instruktionen. Sie bekam den Auftrag, einfach auszuprobieren, was zu tun ist.

In diesem Test wurde der Mittelpunkt der Steuerung nicht mit einer Kugel markiert und der Pfeil wechselte nicht die Farbe. Er blieb rot bis die Mitte berührt wurde, dann verschwand er.

Zuerst wurde die Aufgabe mit dem Pfeil als Feedback ausprobiert. Die Funktionalität an sich, dass der Würfel durch die Steuerpunkte bewegt werden kann, um die jeweiligen pinken Würfel einzusammeln, war schnell klar. Nur wie die Steuerung funktioniert, konnte von der Testerin nicht festgestellt werden, sodass die Aufgabe nicht zu schaffen war. Dies hat mehrere Gründe: Die Testerin berührte einen der Steuerpunkte. Als Reaktion auf den auftauchenden Pfeil zog sie die Hand zurück und berührte als nächstes den gegenüberliegenden Steuerpunkt. Der Pfeil wurde also so interpretiert, dass der Steuerpunkt, auf den er zeigt anvisiert werden muss und nicht wie angestrebt, der angegebenen Richtung folgt und dabei über den Mittelpunkt geht.

Als weitere Schwierigkeit verschwand der Würfel oftmals unbemerkt unter das Bodenniveau, wenn beim Berühren des unteren Steuerpunktes doch zufällig zuvor die Mitte gestreift wurde. So konnte auch bei richtigem Verhalten keine Änderung in der Anwendung festgestellt werden, da der Würfel unter dem Boden nicht mehr zu sehen war. Die Testerin äußerte mehrmals die Vermutung, dass etwas an der Anwendung kaputt sei und sie schlicht nicht funktioniere.

Als zweites wurde die Aufgabe mit der Hand getestet. Auch hierbei wurde nicht verstanden, was die Hand genau anzeigen soll, jedoch zog die Testperson ihre Hand nicht mehr zurück, sondern folgte instinktiv der Handbewegung, sodass die Aufgabe wesentlich besser funktionierte. Es konnte ein Level abgeschlossen werden.

Danach wurde nochmals die Aufgabe mit dem Pfeil als Feedback aufgerufen. Dabei fiel die Testerin in ihr vorheriges Verhalten zurück und zog nach jeder Berührung eines Steuerpunktes die Hand wieder zurück zu sich, bevor sie einen anderen Punkt berührte, sodass der Mittelpunkt so gut wie nie erreicht wurde und der Würfel sich nicht bewegte.

Aus der Auswertung der Beobachtungen, des Fragebogens und dem Gespräch nach dem Testen gehen folgende Erkenntnisse bei der ersten Probandin hervor:

Zum einen wurde in diesem Fall bei keiner der beiden Feedbackarten bewusst erkannt, was zu tun ist. Bei Verwendung der Hand funktioniert die Erfüllung der Aufgabe besser, vermutlich aufgrund der dynamischen Bewegung, der die Tester folgen können. Damit war die Erfüllung der Aufgabe auch motivierender, als mit dem Pfeil. Zudem muss der Würfel entweder höher gesetzt, der Boden unsichtbar oder kleiner werden oder dafür gesorgt werden, dass der Würfel nicht mehr durch den Boden dringen und verschwinden kann.

Dass sich der Würfel manchmal bewegen lässt und manchmal nicht, wird nicht mit einem falschen Verwenden der Steuerung in Zusammenhang gesetzt, sondern als Fehler in der Anwendung interpretiert. Der Pfeil hat das Problem, dass er durch seine rote Farbe nur ein falsches Verhalten anzeigt. Das Verschwinden des Pfeils genügt als Feedback nicht, dass nun etwas richtig gemacht wird. Zudem wird durch den Pfeil nicht das Ziel der Korrektur kenntlich gemacht, sondern nur eine Richtung angezeigt.

Dementsprechend wurden folgende Änderungen an der Anwendung vorgenommen:

Der Würfel lässt sich nicht mehr unter das Bodenniveau steuern. Er bleibt einfach auf Bodenniveau stehen, wenn der Anwender weiterhin nach unten steuert.

Bei der Steuerung mithilfe des Pfeils wird nach Erreichen der Mitte der Pfeil noch eine Sekunde stehen gelassen und färbt sich grün, zur Anzeige, dass das Ziel erreicht und etwas richtig gemacht wurde.

Der zweite Test wurde mit einem männlichen Tester von 23 Jahren durchgeführt, der ebenfalls kein Wissen über die Anwendung hatte. Wie beim ersten Test sollte er ohne genauen Auftrag ausprobieren, was zu tun ist.

Zum Zeitpunkt dieses Tests wurde der Pfeil bereits grün, wenn die Mitte erreicht wurde.

Erneut wurde die Aufgabe mit dem Pfeil als Feedback zuerst getestet. Dieser konnte trotz der grünen Farbe nicht richtig interpretiert werden. Dieser Proband ging sehr viel analytischer vor und probierte viel aus, um bewusst herauszufinden, wie die Steuerung funktioniert. Beim Pfeil konnte dies nicht festgestellt werden. Bei der Hand dauerte es schließlich etwa sieben Minuten, bis das Prinzip soweit verstanden wurde, dass der gelbe Würfel sich bewegte. Allerdings unter der Annahme, es müsse über die Bewegung der Hand und durch Streichbewegungen gesteuert werden und nicht durch einfaches Berühren der Steuerkugeln. Zudem war nach wie vor nicht klar, dass die Funktionalität mit dem Berühren des Mittelpunktes zusammenhängt, auch wenn der Tester in der Lage war den Würfel zu bewegen

Die Kugeln wurden von diesem Tester auch nicht als Möglichkeit zur Steuerung wahrgenommen. Stattdessen nahm er an, der Bereich zwischen den Kugeln diene dazu. Es wurde außerdem versucht, den Trigger oder andere Knöpfe der Controller zu Hilfe zu nehmen.

Nachdem die Aufgabe mit der Hand nun zu bewältigen war, wurde noch einmal auf die Aufgabe mit dem Pfeil als Feedback zurück gegangen. Im Gegensatz zur ersten Testerin erkannte der Tester die gleiche Funktionalität, sodass nun auch unter Verwendung des Pfeils Punkte erzielt werden konnten.

Unter Berücksichtigung der Beobachtungen und der Erkenntnisse aus dem Gespräch und dem Fragebogen ergibt sich folgendes:

Es ist von Vorteil den Probanden zu erklären, dass sie keinerlei Knöpfe am Controller zu verwenden brauchen, sondern die Steuerung allein durch Berührung der Kugeln funktioniert. Wie auch bei der Studie so durchgeführt.

Außerdem sollte die Steuerung besser im Sichtfeld des jeweiligen Anwenders platziert werden können, damit besonders anfangs viel Hin- und Herschauen zwischen den Würfeln und der Steuerung nicht nötig ist. Zum Zeitpunkt des Tests war noch keine Versetzung der Steuerung möglich, diese wurde danach hinzugefügt.

Und auch dieser Tester empfand die Ausführung der Aufgabe mit der Hand als Feedback motivierender.

Zur Verbesserung des Feedbacks durch den Pfeil wurde nun noch die etwas kleinere, blassere Kugel in der Mitte der Steuerung hinzugefügt, um zu verhindern, dass als Ziel des Pfeils die gegenüberliegende Steuerkugel interpretiert wird. Zur besseren Vergleichbarkeit wird der Mittelpunkt auch in der Aufgabe mit der Hand ergänzt.

Zunächst sollte der Mittelpunkt immer nur gemeinsam mit dem Feedback erscheinen. Jedoch lenkt dies zu viel Aufmerksamkeit auf den Mittelpunkt selbst. Besser ist es, ihn die ganze Zeit sichtbar zu lassen.

Der letzte Pilottest wurde noch einmal mit der Testerin aus dem ersten Pilottest durchgeführt. So sollte festgestellt werden, ob das Feedback noch oft genug erscheint, wenn der Proband volle Kenntnis über die Funktion der Steuerung hat. Grund für diese Überlegung ist es, eine bessere Vergleichbarkeit zu erreichen indem beim zweiten Durchgang nicht eine andere Ausgangssituation herrscht, wenn die Funktion der Steuerung bereits im ersten Durchlauf verstanden wurde.

Bei diesem Test wurde jedoch schnell ersichtlich, dass dies nicht der Fall ist. Weiß der Tester über die Funktionalität Bescheid, erscheint kaum mehr Feedback und der Unterschied von Pfeil und Hand spielt keine Rolle mehr. Sobald etwas an der Steuerung sichtbar wird, ist eindeutig, was zu tun ist, ob dies nun ein Pfeil, eine Hand oder etwas anderes sei, da beide Steuerungen gleich funktionieren und die Korrektur durch das Feedback relativ einfach ist. So die Aussage der Testerin.

Eine Möglichkeit dafür zu sorgen, dass das Feedback wieder öfter erscheint, kann der Radius der mittleren Kugel verkleinert werden. Auf diese Weise ist die Mitte schwerer zu treffen. Jedoch hat das den entscheidenden Nachteil, dass die Anwendung sehr schwer zu bedienen wird. Das mindert die Motivation und frustriert zunehmend. Außerdem korrigiert dies weniger die Bewegung, sondern wird mehr zu einem Suchspiel nach dem Mittelpunkt der Steuerung.

Eine zweite Möglichkeit ist es, den gelben Würfel schneller zu machen. So muss öfter nachkorrigiert werden, allerdings mit ähnlichen negativen Effekten. Daher wurde bei der eigentlichen Studie darauf verzichtet den Testern die genaue Funktionalität der Steuerung zu erklären. Sie bekamen die Anweisung, den Trick bei der Steuerung durch das Feedback selbst herauszufinden. Um dennoch festzustellen, ob grundsätzlich der zweite Durchgang besser funktioniert, aufgrund dessen, dass beim ersten Mal bereits die Steuerung verstanden wurde, sind bei der Studie Pfeil und Hand immer im Wechsel zuerst getestet worden.

6.1.2 Pilotstudie zur Schwierigkeitsanpassung

Im Vorfeld zu den eigentlichen Nutzertests wurden lediglich zwei kleine Pilottests durchgeführt, um eventuelle Fehler und Unklarheiten herauszufinden und anzupassen. Die erste Testperson war weiblich und 21 Jahre alt, die zweite ebenfalls weiblich und 18 Jahre alt. Der größte Unterschied dabei war, dass die Umkehrung der Steuerung zufällig war. Den verschiedenen Umkehrungsmöglichkeiten sind Nummern von Eins bis Sieben zugeordnet (Acht ist die Steuerung im Normalzustand, siehe auch Kapitel 5.2.4). Wenn ein bestimmtes Level erreicht wurde beziehungsweise in der dynamischen Anpassung zusätzlich eine bestimmte Kondition zutraf, wurde eine zufällige Zahl zwischen Eins und Sieben generiert und die entsprechende Umkehrung angewendet. Der erste Pilottest ergab, dass die starke Richtungsänderung zu Beginn eine sehr starke Einschränkung darstellte und das Spielerlebnis negativ beeinflusste. In einer ersten Anpassung wurde die Richtungsumkehrung so angepasst, dass bei den ersten zwei Umkehrungen nur Zahlen von Eins bis Drei und bei den darauffolgenden Umkehrungen Zahlen von Vier bis Acht auftraten. Der Umkehrungszähler wurde zwischen den Anwendungen zurückgesetzt, so traten auch im zweiten Durchlauf erst zwei Mal die leichteren Umkehrungen und erst dann die schwereren auf. Die Modifizierung wurde im zweiten Pilottest angewandt. Das Problem bestand darin, dass einmal derselbe Richtungswechsel auftrat wie im vorherigen Durchgang und danach zwei verschiedene. Dies führte zu Verwirrung. Aufgrund dessen wurde die Entscheidung getroffen, die Umkehrung immer in fester Reihenfolge zu machen, um zu garantieren, dass die leichten zu Beginn kommen. Personen, die es in höhere Level schaffen und damit eine gewisse Fähigkeit beweisen, bekommen zusätzlich die schwereren Richtungswechsel. Dieser stellt eine zusätzliche Herausforderung dar. Ein Zurücksetzen zwischen den Durchgängen wird nicht mehr durchgeführt, um zu verhindern, dass zweimal hintereinander nur die leichte Invertierung kommt, was wiederum zu Langeweile führen könnte.

Ein Fehler in der Positionierung hatte im zweiten Test dazu geführt, dass sich die Schrift mit der Punkteanzeige überlappt hat, das wurde im Anschluss behoben.

Am Fragebogen wurde außerdem eine zusätzliche Option „Weder noch“ zu den Fragen „Welchen Durchgang haben Sie als schwieriger empfunden“ und „Welcher Durchgang hat Ihnen mehr Spaß gemacht“ hinzugefügt.

6.2 DURCHFÜHRUNG DER NUTZERTESTS

Aufgrund des Coronavirus SARS-CoV-2 konnten die Tests nicht, wie ursprünglich geplant, mit Schlaganfallpatienten durchgeführt werden. Geltende, strenge Hygienevorschriften und eine eventuelle Zugehörigkeit der Patienten zur Risikogruppe haben solche Tests nicht vertretbar gemacht. Zu einer Risikogruppe gehört, wer älter als 50-60 Jahre ist, eine oder mehrere

Grunderkrankungen hat und ein unterdrücktes oder geschwächtes Immunsystem hat (*RKI - Coronavirus SARS-CoV-2 - Informationen Und Hilfestellungen Für Personen Mit Einem Höheren Risiko Für Einen Schweren COVID-19-Krankheitsverlauf*, 2020). In Absprache mit den Betreuern wurde die Anwendung so umgestaltet, dass sie auf Personen ohne Beeinträchtigung ausgelegt ist. Mehr dazu im Kapitel 4.1 Anforderungen und 4.2 Ablauf der Anwendung.

Durchgeführt wurden die Tests an drei aufeinanderfolgenden Tagen unter der Woche an der Hochschule der Medien. Interessenten konnten sich in eine Doodle-Umfrage eintragen, jeder Tag war dabei in acht Zeitslots je eine Stunde unterteilt. Der Link zu der Umfrage wurde über den Mailverteiler der Hochschule mit einem kurzen Begleittext an alle Studierenden versendet. Von 13 eingetragenen Teilnehmern sind acht Personen erschienen, weitere zwei Personen konnten spontan hinzugewonnen werden. Alle zehn Teilnehmer waren Studenten und zwischen 22 und 28 Jahre alt, drei davon männlich, sieben weiblich.

Das Durchspielen der Anwendung mit anschließendem Ausfüllen der Fragebögen hat etwa 45 Minuten benötigt, die Restlichen 15 Minuten wurden als Puffer mit eingeplant. Auf dem Anwendungs-PC lief Unreal mit der Anwendung, die VR-Brille war daran angeschlossen. Die Basisstationen wurden daneben einander gegenüber an der Decke befestigt. In der Mitte stand ein Drehstuhl, auf den sich die Teilnehmer während der Anwendung setzen konnten. Es wurde auf einen Sicherheitsabstand von mindestens 1,5 Metern zwischen der Bedienenden des Anwendungs-PCs und des gerade spielenden Teilnehmers geachtet. An einem zweiten PC waren die Fragebögen in unterschiedlichen Browser-Tabs geöffnet. Der PC befand sich möglichst weit weg von dem Anwendungs-PC, um ebenfalls den Sicherheitsabstand zu gewährleisten. So war es bei Überschneidungen möglich, dass eine Person den Fragebogen ausfüllte, während die nächste Person bereits mit der Anwendung beginnen konnte.

Als zusätzliche Hygienemaßnahmen wurden VR-Cover verwendet und nach jedem Teilnehmer ausgetauscht. Brille mitsamt Linsen, Controller, Stift zum Ausfüllen der Zettel und Maus mit Tastatur des Fragebogen-PCs wurden nach jedem Durchgang desinfiziert und die Cover frühestens nach einem Tag wiederverwendet.

Um eventuelle Infektionen vorzubeugen und im Falle einer Infektion die Infektionskette nachvollziehen zu können, mussten sich alle Teilnehmer bei Betreten des Raumes in eine Liste eintragen. Dabei wurde der Raum, die Aufenthaltsdauer und die Hochschulmailadresse beziehungsweise die Telefonnummer festgehalten. Außerdem musste eine Erklärung unterschrieben werden, dass keine Symptome vorliegen und kein wesentlicher Kontakt zu infizierten Personen bestand. Beides war eine Vorgabe der Hochschule und Voraussetzung für die Durchführung der Tests. Die dadurch erhobenen Daten stehen in keiner Verbindung zu den Tests und wurden nicht verwendet. Im Anschluss konnten die Teilnehmer an dem PC mit den Fragebögen die Datenschutzerklärung einsehen, in der erklärt wurde, welche Daten zu

welchem Zweck erhoben werden, wer Zugriff auf die Daten hat, wie die Daten gespeichert werden und wann sie gelöscht werden. Es wurde darauf hingewiesen, dass die Teilnahme freiwillig ist und der Test jederzeit abgebrochen werden kann. Nach Bestätigung der Datenschutzerklärung konnten die Teilnehmer auf dem Stuhl platznehmen, VR-Brille und Controller sollten sie davor selbst zu sich holen, um ein erneutes Desinfizieren zu verhindern. Da der Abstand gewahrt wurde, stand es den Teilnehmern frei, ob sie ihre Maske für die Zeit der Anwendung aufbehalten oder abziehen möchten.

Im ersten Durchlauf haben die Teilnehmer das Feedback getestet. Ihnen wurde mitgeteilt, dass sie den gelben Würfel mit der Steuerung bewegen können und dass es das Ziel ist, damit so viele pinke Würfel wie möglich einzusammeln. Zusätzlich erhielten sie die Information, dass eine Benutzung der Knöpfe nicht nötig ist und alleine die Bewegung des Controllers ausreicht. Genaue Details zur Funktion der Steuerung wurden jedoch nicht mitgeteilt, lediglich dass es einen Trick dabei gibt. Gedanken und Anmerkungen sollten gerne laut geäußert werden. Das Feedback von Hand und Pfeil ist nacheinander getestet worden, dabei wurde abgewechselt, welches von beidem zuerst kam. Sobald die Teilnehmer sich in der Umgebung zurechtgefunden hatten, wurde gegebenenfalls die Steuerung nachkalibriert und anschließend eine Zeitmessung gestartet. Jeder Teil umfasste eine Länge von 200 Sekunden. Nach Beendigung beider Varianten wurde der Fragebogen zum Feedback ausgefüllt.

Der zweite Durchlauf zu Schwierigkeitsanpassung war in drei Teile aufgeteilt, eine Einführung, die dynamische Schwierigkeitsanpassung und die statische Schwierigkeitsanpassung. Die Teilnehmer bekamen erklärt, dass Anwendung und Ziel gleichgeblieben sind, sie nun aber nicht mehr über die Mitte gehen müssen und kein Feedback mehr erscheint. In dem ersten Einführungsteil wurden fünf Kugeln erzeugt, die es abzufahren galt. Bei Erreichen der letzten Kugel erschienen weitere fünf Kugeln, dieser Vorgang wurde insgesamt fünf Mal wiederholt (5 Level je 5 Kugeln). So konnten die Teilnehmer sich an die „freiere“ Steuerung gewöhnen, es wurden keine Punkte angezeigt und es gab keine zeitliche Begrenzung. Die Einführung dient zu einer anfänglichen Ermittlung der Fähigkeiten des Spielers. Darauf basiert die anfängliche Anpassung in dem dynamischen Durchgang. Falls nötig konnte hier ebenfalls die Steuerung so kalibriert werden, dass alle vier Kugeln gut erreichbar waren. Anschließend wurde als zweiter Teil entweder die statische oder dynamische Schwierigkeitsanpassung geladen. Auch hier fand nach jedem Teilnehmer ein Wechsel in der Reihenfolge, welche der Anpassungen zuerst kam, statt. Beide Anpassungsteile hatten eine Länge von 240 Sekunden. Nach Ablauf der ersten 240 Sekunden wurden die Teilnehmer dazu aufgefordert, den ersten Fragebogenabschnitt bis zu „2. Durchlauf“ auszufüllen. Zuletzt kam der dritte Teil, gefolgt von dem Ausfüllen des restlichen Fragebogens. Wurde im zweiten Teil die dynamische Anpassung getestet, basierte der dritte Teil auf der statischen Anpassung, und umgekehrt.

Die Tests sind weitestgehend problemlos verlaufen, es kam lediglich zu kleinen Zwischenfällen. Bei einem Teilnehmer ist die VR-Brille gegen Ende des Durchgangs kurz ausgefallen. Grund dafür war, dass sich das Stromkabel der VR-Brille etwas gelockert hatte und die Stromversorgung nicht mehr konstant war. Das Problem konnte schnell behoben werden. Außerdem sind bei einem Test die Basisstationen für kurze Zeit ausgefallen, hier wurden SteamVR und anschließend die Anwendung neu gestartet. Daten von dem abgebrochenen Versuch wurden nicht mit einbezogen, der Durchlauf danach konnte komplett durchgeführt werden. Obwohl eine Basisstation zwischendurch noch einmal ausgesetzt hat, konnte die andere Basisstation die Positionserkennung aufrechterhalten. Nach gewisser Zeit schaltete sich die zweite Basisstation wieder dazu, ein weiterer Neustart war nicht nötig.

6.3 AUSWERTUNG DER NUTZERTEST

Im folgenden Kapitel wird auf die Ergebnisse des Nutzertests eingegangen. Dabei werden die Ergebnisse aus den Fragebögen, den Spieldaten und den Notizen zum Lauten Denken beziehungsweise Beobachtungen mit einbezogen.

6.3.1 Auswertung des visuellen Feedbacks

In diesem Kapitel erfolgt die Auswertung der Ergebnisse der Nutzertests. Zunächst wird auf die Resultate des Fragebogens eingegangen, anschließend auf die der Datenmessung. Dabei wird zuerst auf die Gesamtwerte eingegangen, danach werden erster und zweiter Durchgang noch einmal getrennt betrachtet. Begrifflichkeiten wie „Tester“, „Probanden“, „Teilnehmer“ und andere sind hierbei geschlechtsneutral zu verstehen. Es wird sprachlich nicht zwischen den männlichen und weiblichen Testern unterschieden. Die Durchschnittswerte sind als arithmetisches Mittel berechnet.

Alle zehn Probanden sind Rechtshänder. Fünf von ihnen haben visuelle Einschränkungen, wovon vier kurzsichtig sind und einer weitsichtig ist. Vier von ihnen haben mit entsprechendem Ausgleich wie einer Brille oder Kontaktlinsen getestet, einer ohne. Keiner von ihnen hatte Schwierigkeiten etwas zu erkennen. Drei gaben an, nach dem Spielen Beschwerden zu haben. Zwei hatten Kopfschmerzen, gaben aber an, dass dies eher am Wetter liege. Einer hatte einen müden Arm nach dem Testen der Anwendung. Ein genereller Zusammenhang mit Beschwerden und Unterschieden in der Wahrnehmung des Feedbacks konnte nicht festgestellt werden.

Alle außer zwei Testern hatten zumindest etwas Erfahrung mit Virtual Reality und alle hatten ein wenig Erfahrung mit Computerspielen. Die Menge an Erfahrung war dabei sehr unterschiedlich.

Im ersten Durchgang wurde jeweils im Wechsel der Pfeil und die Hand getestet, so gegengleich auch im zweiten Durchgang. Von den zehn Testern begannen fünf (diejenigen mit ungerader Nummer) mit dem Pfeil als Feedback und testeten anschließend die Hand, fünf starteten mit der Hand (diejenigen mit gerader Nummer) und bekamen den Pfeil im zweiten Testlauf.

Bei der Frage, welche Elemente als Feedback identifiziert wurden, fielen die Antworten teils sehr unterschiedlich aus. Sieben Tester registrierten den Pfeil als Feedback. Die Hand wurde von fünf bewusst als Feedback wahrgenommen und beide Feedbackarten nur von vier. Ansonsten wurden die pinken Würfel, die Explosion beim Levelende und das Rotwerden der fälschlich berührten Würfel als Feedback erkannt. Der Pfeil scheint also mehr bewusste Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen als die Hand. Dies gaben auch einige der Tester im Fragebogen an. Ein Teilnehmer gab als Begründung an, beim ersten Durchgang mit dem Pfeil bereits alles so gut verstanden zu haben, dass er die Hand im zweiten Durchgang kaum mehr bemerkte.

Die Frage, wie motivierend die Probanden die Anwendung unter Verwendung des entsprechenden Feedbacks fanden, ist über die siebenstufige Skala unterschiedlich verteilt. Meist war der Durchgang mit der Hand höher (bei 5 Teilnehmern) oder gleich hoch (bei 3) wie der mit dem Pfeil gewertet. Nur zwei Tester empfanden die Aufgabe unter Verwendung des Pfeils motivierender. Im Schnitt ergab sich dabei im Gesamten ein durchschnittlicher Wert von 3,6 für den Pfeil und 5,1 für die Hand. Die Anwendung mit dem Pfeil wurde also als demotivierend empfunden, die mit der Hand als eher motivierend. Werden nun die Werte unter dem Gesichtspunkt, welches Feedback zuerst getestet wurde, betrachtet, ergeben sich leichte Abweichungen. Im Schnitt wurde der Pfeil, wenn er zuerst getestet wurde, mit einem glatten Wert von vier als weder motivierend noch demotivierend empfunden. Die Hand lag mit 4,4 leicht darüber. Hingegen ergeben sich für die Werte aus dem zweiten Durchgang eine 3,2 für den Pfeil und eine 5,8 für die Hand. Wurde die Anwendung mit dem Pfeil als zweites getestet, wurde sie also als deutlich weniger motivierend wahrgenommen, während sie mit der Hand unter diesem Umstand als noch motivierender betrachtet wurde. Die Verteilungen im Gesamten und in den beiden Durchgängen ist in Diagramm 1 dargestellt.

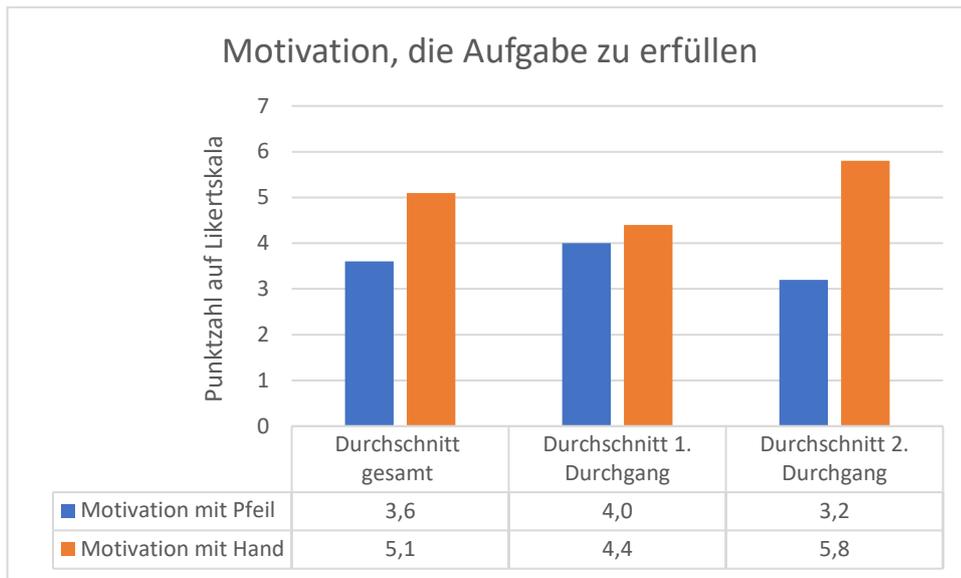


Diagramm 1 – (FB) Motivation die Aufgabe zu erfüllen laut dem Fragebogen

Die Wertverteilung über die einzelnen Items des INTUI Fragebogenteils ist ebenfalls sehr unterschiedlich. In der Gesamtwertung erreicht der Wert für Mühelosigkeit für den Pfeil im Schnitt 3,38 Punkte und die Hand 4,68. Damit wird die Bedienung der Steuerung mit dem Pfeil als eher anstrengend und mühevoll wahrgenommen und erfordert etwas mehr Aufmerksamkeit als mit der Hand, die eher mühelos empfunden wird. Wobei die Steuerung mithilfe der Hand nur geringfügig über der Grenze von vier liegt, die weder mühevoll noch mühelose Interaktion anzeigt.

Betrachtet man die beiden Durchgänge wieder unabhängig voneinander, so ergibt sich für alle, die den Pfeil zuerst testeten, ein Wert von 3,28. Für die Hand im ersten Durchgang ergibt sich eine 4,24. Beide Werte sind also etwas geringer als der Gesamtdurchschnitt. Für den zweiten Durchgang ergeben sich höhere Werte als der Gesamtdurchschnitt. Für den Pfeil 3,48 und für die Hand 5,12. Dass sich im zweiten Durchgang die Werte für eine mühelose Bedienung erhöhen, ist nachvollziehbar. Die Steuerung verändert sich nicht, bis auf das Feedback, und aus dem ersten Durchgang nehmen die Probanden ihre Erfahrung mit. Daher wird der zweite Durchgang vermutlich als müheloser empfunden.

Bei dem Punkt Bauchgefühl liegen die Werte für Pfeil und Hand näher beieinander. Im Gesamtdurchschnitt erreicht der Pfeil eine 3,9 und die Hand eine 4,48. Die Steuerung mithilfe des Pfeils liegt dabei wieder minimal näher an einer verstandsgeliteten Bedienung, während die Hand eher gefühlsgelitet wahrgenommen wird.

Für den ersten Durchgang liegen die Werte etwas höher, nämlich 4,3 beim Pfeil und 4,85 bei der Hand. Nur die zuerst getesteten Durchgänge mit dem Pfeil betreffend, wird die Steuerung als doch eher gefühls- als verstandsgelitet empfunden. Wobei die nur geringfügige

Abweichung vom Mittelwert nicht ausreicht, um den Pfeil klar einem Begriff zuzuordnen. Die Betrachtung des zweiten Durchgangs ergibt geringere Werte. 3,5 beim Pfeil und 4,1 bei der Hand. Im zweiten Durchgang ist damit die Wahrnehmung wieder eher verstandsgelenkt, während sie im ersten Durchgang eher gefühlsgelenkt wahrgenommen wird.

Der Wert für Verbalisierungsfähigkeit gibt an, ob die Schritte bei der Bedienung der Steuerung gut in Worte zu fassen sind und die Anwender sich gut an sie erinnern können. Hier ist der Pfeil in der Gesamtwertung mit einem Wert von 4,95 stärker im Vergleich zur Hand, die nur eine 4,65 erreicht. Damit ist die Bedienung mit dem Pfeil besser zu beschreiben als diejenige mit der Hand.

Der Unterschied wird dabei deutlicher, wenn nur der erste Durchgang mit einbezogen wird. Hier liegt der Durchschnitt des Pfeils bei 4,8, während die Hand nur eine 2,9 erreicht. Wurde also die Hand zuerst getestet, so fällt die Beschreibung, wie die Steuerung genau funktionierte schwer, während es beim Pfeil eher möglich ist. Dies kehrt sich beim zweiten Durchgang um. Wurde der Pfeil zuerst getestet, erreicht die Hand einen Durchschnittswert von 6,4. Wurde die Hand zuvor getestet, ergibt der Pfeil eine 5,1. Nach dem zweiten Durchgang sind demnach bei beiden Steuerungen die Vorgänge besser verbalisierbar, mit der Hand sogar noch einmal mehr als mit dem Pfeil. Dass die Tester nach einem zweiten Durchgang klarer beschreiben können, wie sie bei der Steuerung vorgegangen sind, scheint einleuchtend, während der deutlich höhere Wert bei der Hand nicht direkt erklärt werden kann.

Der letzte Teil des INTUI Fragebogens betrifft das Globale Intuitivitätsurteil. Es besteht nur aus einem Item, das direkt nach der Intuitivität der Steuerung mit dem jeweiligen Feedback fragt. Der Durchschnitt über alle Tester und Durchgänge beträgt für den Pfeil 3,4 und für die Hand 5. Damit wird die Steuerung mithilfe der Hand als deutlich intuitiver wahrgenommen als mit dem Pfeil. Wobei sie bei einem Wert von fünf immer noch zwei Punkte von einer optimalen Intuitivität nach dem Fragebogen entfernt ist.

Beim ersten Durchgang nähern sich die Werte einander an. Der Pfeil wird mit 4 Punkten weder intuitiv noch nicht intuitiv bewertet, während die Hand mit 4,6 zwar noch darüber liegt, aber mit geringerem Abstand. Währenddessen ist die Differenz beim zweiten Durchgang deutlich größer als im Gesamtdurchschnitt. Hier erreicht der Pfeil nur eine 2,8, während die Hand mit 5,4 im Schnitt eingestuft wurde. Diejenigen, die den Pfeil vor der Hand testeten, nahmen letztere als deutlich intuitiver wahr. Im Umkehrschluss empfanden die Probanden, die zuerst die Hand testeten, den Pfeil als sehr viel weniger intuitiv. Dadurch gibt der erste Durchgang am ehesten Aufschluss darüber, wie intuitiv die Steuerung durch das jeweilige Feedback tatsächlich wahrgenommen wurde, während der zweite darauf hinweist, wie die beiden Arten im Vergleich zueinander wahrgenommen wurden.

Zusätzlich zu den Items gab es noch Möglichkeiten zur Begründung, warum etwas so empfunden wurde wie angegeben und Freitextfelder, wenn die Probanden noch über die Fragen hinaus Anmerkungen hatten. Hier beschrieben einige der Tester, was sie gestört oder verwirrt hat und wie sie mit dem Feedback zurechtkamen.

Zwei Teilnehmer stellten sich auch die Frage, ob bei dem Feedback mit der Hand ihre eigene Handhaltung eine Rolle spiele. Konkret, ob sie die Hand ebenso halten mussten, wie das Feedback es ihnen vormachte, was nicht der Fall war. Bezüglich des Pfeils wurde die rote Farbe kritisiert. Die Farbe, die falsches Verhalten anzeigt, erzeugt bei einem Tester „unmotivierende Stimmung“, ein anderer verstand die Farbe so, dass die Bewegung gesperrt wäre.

Zur Verbesserung des Feedbacks wurde vorgeschlagen, die mittlere Kugel aufleuchten zu lassen, um dadurch deutlicher zu machen, dass die Bewegung dorthin führen soll. Oder nur grüne Pfeile zu verwenden. Ein Weiterer schlug vor, die Pfeile einfarbig zu machen und sie sich von der Mitte aus bewegen sollen. Bei der Hand fanden sich Anmerkungen, man solle deutlicher machen, dass die Handhaltung keinen Einfluss nimmt und eventuell mehr Aufmerksamkeit auf sie lenken.

Nicht nur bei der Farbwahl gab es Kritikpunkte. Vier Teilnehmer gaben an, das Feedback habe sie dahingehend verwirrt, dass es sie in ihrem Tun eingeschränkt habe. Das Feedback verwies sie in die entgegengesetzte Richtung, in die sie den Würfel bewegen wollten. Dies bezieht sich auf drei Kommentare über den Pfeil und einen über die Hand. Den Pfeil betreffend wurde geschrieben, er habe „durcheinandergebracht, wenn er in eine andere Richtung gezeigt hat als die, in die ich gehen wollte“. Bei der Hand wurde angegeben: „Die Bewegung der Hand war gefühlt gegensätzlich zu dem was ich machen sollte. Die Bewegung war auch sehr langsam und ich wusste nicht so recht was ich damit anfangen soll“. Ein Teilnehmer, der zuerst die Hand testete, gab folgendes an: „Ich habe versucht den Pfeil zu ignorieren, da er mich verwirrt hat. Weil er der zweite Durchgang war, hatte ich schon Erfahrung und empfand den Hinweis als störend“.

Weitere drei Tester empfanden den Pfeil ebenfalls als verwirrend. Bei zwei von ihnen war der Pfeil der zweite Durchgang, bei einem war es der erste. Ein Tester war sich durch das Feedback schließlich nicht mehr sicher, ob die Steuerung sogar invertiert war. Ein anderer gab hingegen an, er habe den Pfeil überhaupt nicht wahrgenommen.

Zweien war unklar, als Reaktion auf welche Handlungen das Feedback überhaupt erscheint beziehungsweise sich der gelbe Würfel bewegt und wann nicht. Ein weiterer meinte: „Manchmal dachte ich zu wissen was ich machen soll, die Hand kam trotzdem, was teilweise etwas verwirrend war“. Etwas Ähnliches wurde auch beim Pfeil angemerkt. Ein anderer schrieb: „Ich weiß nicht warum der Würfel manchmal so schwer bewegen konnte und

manchmal so einfach. Ich dachte das ist eventuell ein VR Problem“. Solche Probleme können von verschiedenen Ursachen herrühren. Durch Fehler im Tracking, schlechte Erkennung der Überschneidungen mit den Kugeln, eine zu kleine Kapsel in der Hand, die dann trotz Überschneidung der Hand mit einer Kugel nicht die gewünschte Reaktion auslöst oder einfach durch eine falsche Tiefenwahrnehmung des Testers, sodass dieser an den Kugeln vorbei fährt. Darauf, wie gut die Steuerung bewusst verstanden wurde, geben folgende Kommentare Hinweise. Nur eine Person gab explizit an, dass sie das Prinzip nicht verstanden habe. Fünf Personen verstanden die Steuerung so, dass sie ähnlich wie bei der Bedienung eines Smartphones in die entsprechende Richtung „wischen“ müssen. Dies geht auch aus den Beobachtungen hervor. Zwar ist dies nicht die angestrebte Bewegung, doch sie findet entlang der Achsen statt und erzielte das von den Testern gewünschte Ergebnis, dass sich der gelbe Würfel steuern ließ. Lediglich ein Teilnehmer umging die entsprechende Bewegung, indem er eine Richtungskugel antippte, die Hand zurückzog, anschließend in die Mitte tippte, um dann wieder eine andere Steuerkugel betätigen zu können.

Die meisten schienen das Prinzip, nach dem die Steuerung funktionierte, nicht vollständig zu begreifen, besonders anfangs noch nicht. Jedoch konnte die Aufgabe dennoch nach unterschiedlich langer Zeit mehr oder weniger intuitiv von allen gelöst werden, bis auf einen Teilnehmer. Dieser schaffte es erst im zweiten Durchgang mithilfe des Handfeedbacks den gelben Würfel gezielt zu bewegen. Ein Proband schrieb zum Feedback mit der Hand: „Durch Bewegungsnachahmung konnte man zumindest einen Effekt erzielen auch wenn man nicht direkt verstanden hat wie genau“.

Außerdem übertrugen die Teilnehmer nach dem ersten Durchgang das gleichbleibende Prinzip der Steuerung nicht direkt auf den zweiten Durchgang, bis auf einen Tester. Den anderen fiel erst nach etwas Interaktion mit dem neuen Feedback auf, dass die Funktionalität noch dieselbe war, wenn überhaupt.

Vier Teilnehmer verstanden und beschrieben die Funktion der Steuerung exakt. Zum Beispiel: „Auch wenn es etwas seltsam war, dass man immer zur zentralen Steuerkugel zurückkehren musste für neuen Input, ist die Steuerung doch recht einfach.“ Oder bei einem anderen: „Ich habe zwar die Bewegung der Hand nachgeahmt, aber lange gebraucht, um zu verstehen das ich immer vom Mittelpunkt ausgehen muss“.

Hierbei wird noch ein weiterer genannter Punkt deutlich: Die Steuerung selbst wird von zwei Teilnehmern laut ihren Kommentaren nicht als intuitiv empfunden. Besonders Teilnehmer mit viel Spielerfahrung sind eher vertraut damit, wie eine solche Aufgabe in anderen Spielen umgesetzt wird. In den allermeisten Fällen wird die Steuerung in anderen Spielen nicht beinhalten, in die Mitte der Steuerung zurückzukehren, bevor ein Knopf erneut die erwartete Reaktion zeigt. Sie auf die gegebene Art zu implementieren war jedoch nötig, um eine

Bewegungskorrektur mithilfe von Feedback realisieren zu können. Es fiel auf, dass ein Teilnehmer ohne VR-Erfahrung und nur sehr wenig allgemeiner Erfahrung mit Computerspielen sich sehr schnell in die Steuerung eindenken konnte und verstand, worauf es ankam. Möglicherweise sorgte eine fehlende Erwartungshaltung für ein schnelleres Verständnis der Anwendung.

Neben dem Fragebogen wurden zu jedem Durchgang die Zeit gemessen, bis der erste pinke Würfel erreicht wurde und die Punktzahl am Ende festgehalten. Dabei war der Datensatz der dritten Testperson nicht verwendbar, da kurz vor Abschluss des ersten Durchgangs die VR-Brille die Stromverbindung vorübergehend verlor. Daher wurden zur Auswertung der Daten nur neun Datensätze herangezogen. Der Fragebogen dieses Testers floss dennoch mit ein.

Die Zeit bis zum Erreichen des ersten Würfels sind sehr unterschiedlich verteilt, je nachdem wie schnell die betreffende Person mit der Steuerung soweit zurechtkam. Die Spanne der Zeiten reicht von 200 Sekunden (die Person hat es während der gesamten Testzeit also nicht geschafft einen Würfel einzusammeln) bis hin zu 6,18 Sekunden. Dabei muss jedoch in Betracht gezogen werden, dass es durch einen durch Ausprobieren zufällig getroffenen Würfel zu Fehlern bei dieser Betrachtung kommen kann. Die Verteilung ist in Diagramm 2 dargestellt.

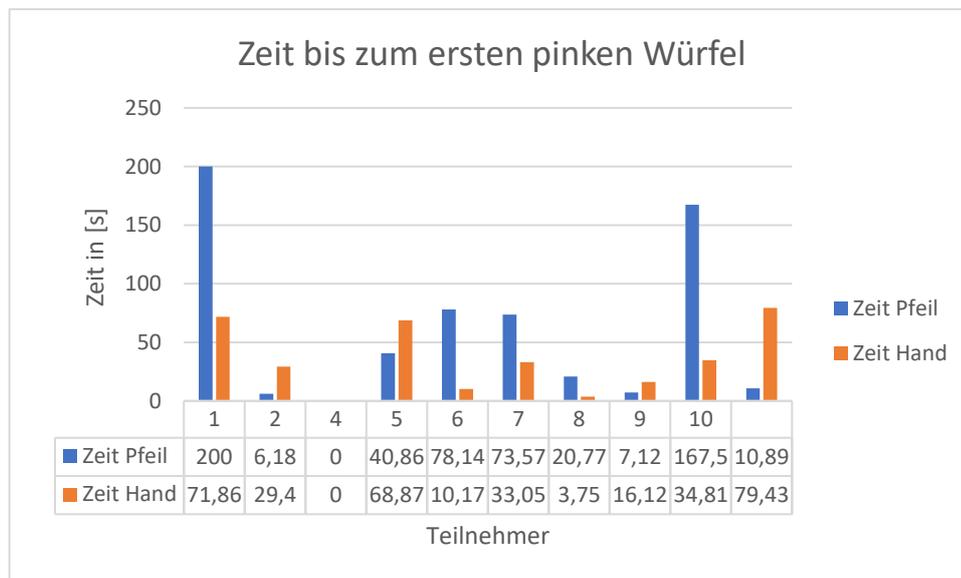


Diagramm 2 – (FB) Zeit, die bis zum Erreichen des ersten pinken Würfels nötig war

Auffällig ist jedoch, dass, bis auf eine Ausnahme, die Probanden immer im zweiten Durchgang schneller waren. Das kann damit erklärt werden, dass die Tester im zweiten Durchlauf bereits mit der Funktion der Steuerung vertraut waren und dadurch beim zweiten Mal schneller ihren ersten Punkt erzielen konnten, auch wenn sie das Prinzip nicht sofort von der ersten Runde übertragen haben. Die Durchschnittszeit pro Feedback und Durchgang ist in Diagramm 3 abgebildet.

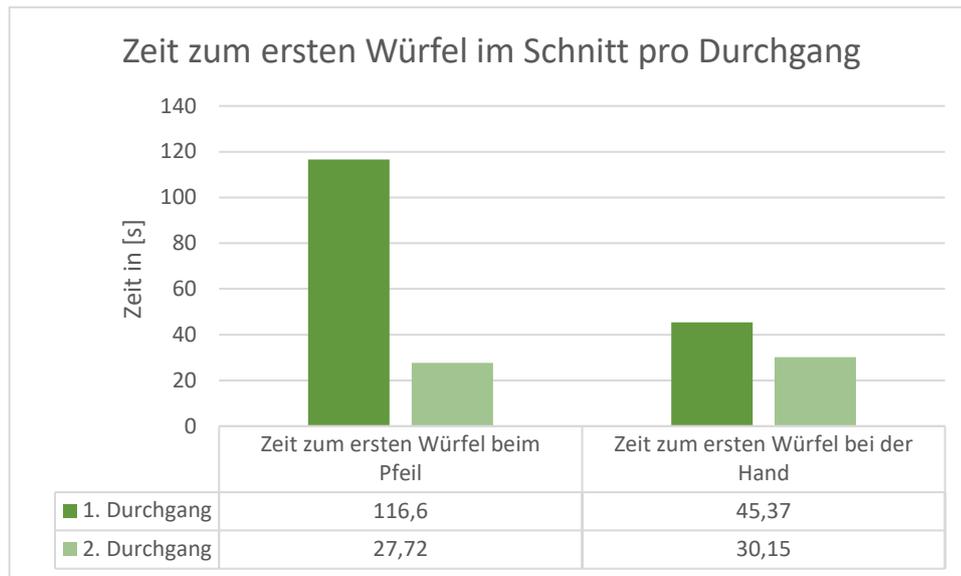


Diagramm 3 – (FB) Zeit zum ersten Würfel im Schnitt pro Durchgang

Im Schnitt benötigen die Teilnehmer mit dem Pfeil im ersten Durchgang wesentlich länger, bis der erste Punkt erzielt wird, als bei der Hand. Selbst wenn der Extremfall der Person außer Acht gelassen wird, die es beim ersten Mal gar nicht schaffte mithilfe des Pfeils einen Punkt zu erzielen, ist die Zeit bei der Hand nur etwa halb so hoch im Vergleich. Interessanterweise ist im zweiten Durchgang die Zeit bei der Hand wieder höher. Vom Pfeil auf die Hand umzustellen scheint also mehr Zeit in Anspruch zu nehmen als von der Hand auf den Pfeil. Der Gesamtschnitt für den Pfeil über alle Durchgänge beträgt 67,22 Sekunden, der für die Hand liegt bei 38,61.

Die erreichten Punktzahlen sprechen stark für das Feedback mit der Hand. Unabhängig vom Durchgang erreichten alle bis auf einen eine höhere Punktzahl mithilfe des Handfeedbacks als mit dem Pfeil. Die Punktzahlen pro Tester sind in Diagramm 4 abzulesen.

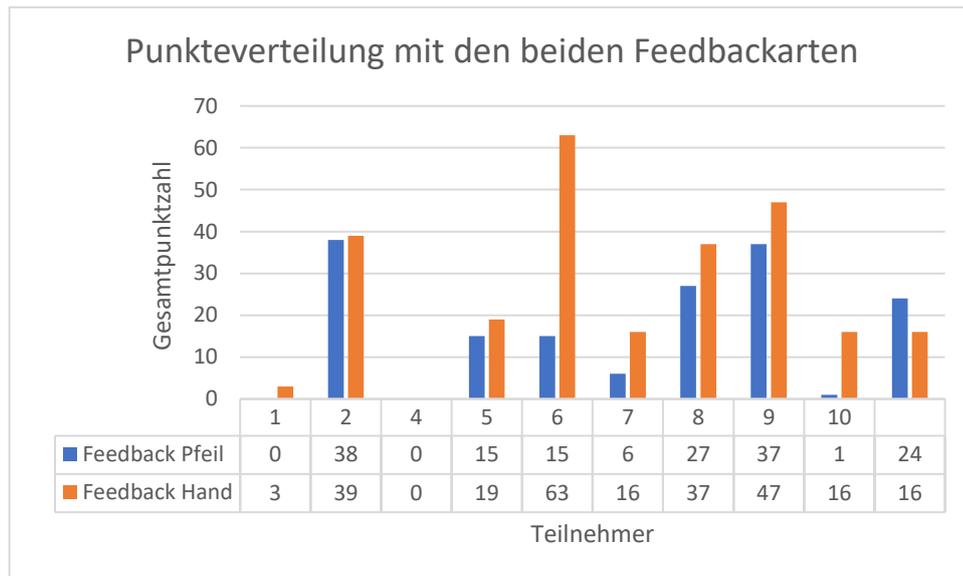


Diagramm 4 – (FB) Punkteverteilung mit den beiden Feedbackarten

Die Punktzahl kann, außer vom Feedback, allerdings auch noch davon abhängen, wie geschickt die zu treffenden Würfel zueinander lagen. Dies kann das Ergebnis beeinflussen.

Im Schnitt über alle Durchgänge erreichten die Teilnehmer mit dem Pfeil 18,11 Punkte und mit der Hand 28,44 Punkte. Die Verteilung über den ersten und zweiten Durchgang zeigt Diagramm 5. Im ersten Durchgang lag der Wert für den Pfeil bei 10,75 Punkten und bei der Hand mehr als doppelt so hoch bei 27,4. Beim zweiten Durchgang werden mit dem Pfeil 24 Punkte erreicht und mit der Hand 29,75 Punkte. Mit dem zweiten Durchgang verbessern sich durch die Übung die Probanden und damit die Punktzahlen. Allerdings fällt auf, dass diejenigen, die zuerst den Pfeil und dann die Hand testeten, sich im zweiten Lauf um durchschnittlich 19 Punkte verbesserten. Während diejenigen, die mit der Hand begannen, sich im Schnitt um 3,4 Punkte verschlechterten.

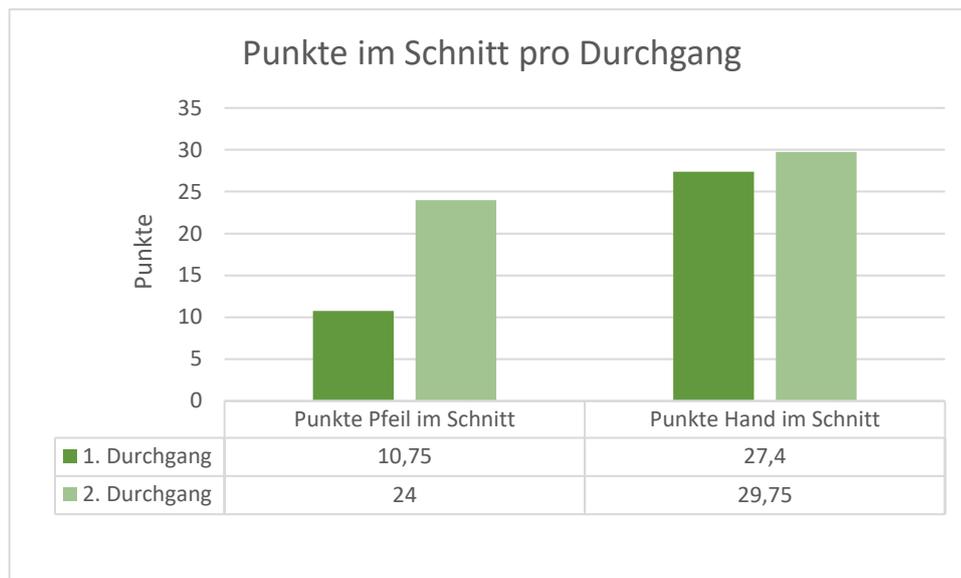


Diagramm 5 – (FB) Punkte im Schnitt pro Feedback und Durchgang

6.3.2 Auswertung der Schwierigkeitsanpassung

Der Nutzertest wurde mit zehn Personen durchgeführt. Der achte Teilnehmer konnte den Fragebogen aus zeitlichen Gründen nicht vollständig ausfüllen, daher wird er nur bei den im Spiel erhobenen Daten mit einbezogen. Im Folgenden wird zuerst auf die Daten der Fragebögen und die Kommentare während des Spielens eingegangen. Anschließend werden die im Spiel gesammelten Daten analysiert und in Zusammenhang gebracht. Das Wort „Anwendung“ bezieht sich lediglich auf den dynamischen und statischen Teil und nicht auf die vorherige Anwendung, in der Feedback getestet wurde. „Person“ und „Teilnehmer“ umfasst beide Geschlechter.

Keiner der Teilnehmer hatte körperliche Beeinträchtigungen. Zu körperlichen Beeinträchtigungen zählen beispielsweise eingeschränkte Bewegungsfähigkeit der Arme und/oder Hände, Zittern oder gebrochene Gliedmaßen, jedoch keine visuellen Einschränkungen wie Kurz- oder Weitsichtigkeit. Sieben Personen haben angegeben, Erfahrung mit Computerspielen zu haben, drei haben teilweise Erfahrung. Mit Virtual Reality hingegen hatten drei Leute noch keine Erfahrung. Alle haben zugestimmt, dass sie Spiele schnell verstehen, fünf davon voll, zwei größtenteils und zwei teils. Nur drei Teilnehmer bevorzugen schwierige Spiele, der Rest lediglich teilweise bis gar nicht.

Von den Teilnehmern, die die Fragebögen ausgefüllt haben, wurde fünf Mal zuerst die statische Anpassung getestet und vier Mal die dynamische Anpassung. In beiden Durchgängen wurde angegeben, dass die Anwendung sehr (5) oder größtenteils (4) fesselnd sei. Laut einem Kommentar haben die verschiedenen Level und die bunten Punkte bzw. Würfel mit wechselnden Positionen dazu beigetragen. Vier Antworten sind über die Durchgänge

hinweg gleichgeblieben, drei Mal wurde der zweite Durchgang (dynamisch) als fesselnder befunden, einmal der zweite Durchgang (statisch) und einmal der erste Durchgang (statisch). Im Vergleich dynamisch – statisch war die dynamische Anpassung also etwas fesselnder, wenn sie als Zweites getestet worden ist. Unabhängig von der Reihenfolge hat die dynamische Anpassung etwas besser im Durchschnitt abgeschnitten (4,44 statisch vs. 4,56 dynamisch).

Auch auf die Anwendung haben sich alle sehr (5) oder größtenteils (4) konzentriert, lediglich ein Teilnehmer hat sich im ersten (statischen) Durchgang nur teils (3) und im zweiten (dynamischen) Durchgang größtenteils (4) angegeben. Die Durchschnitte sind dieselben wie bei der vorherigen Frage. Die zusätzliche Schwierigkeit durch beispielsweise die Umkehrung der Steuerung hat laut den Kommentaren die Aufmerksamkeit mehr gefordert und für eine höhere Konzentration gesorgt. Im zweiten Durchgang trat ein Gewöhnungseffekt ein, was aber eher dazu geführt hat, dass die Teilnehmer entspannter waren. Die schwerere Umkehrung hat einen Teilnehmer kurzzeitig abschweifen lassen, weil „ich mich nun extrem darauf konzentrieren musste, wo sich welche Richtung versteckt“.

Zwei Teilnehmer haben sich im ersten (dynamischen) Durchgang etwas mehr Mühe gegeben, ansonsten sind die Werte gleichgeblieben (Durchschnitt 4,56 statisch vs. 4,78 dynamisch). Eine Person gab an, immer traurig gewesen zu sein, wenn sie einen Würfel fälschlicherweise berührt hatte. Das wirkte sich zumindest laut der Antwort im Fragebogen jedoch nicht auf das Mühe geben aus.

Abgesehen von einem Teilnehmer, der im ersten (statischen) Durchgang kaum (2) und im zweiten (dynamischen) Durchgang teils (3) das Gefühl hatte, sein Bestes zu geben, haben alle die Frage mit größtenteils (4) oder sehr (5) beantwortet. Die drei anderen mit unterschiedlichen Werten zwischen den Durchgängen haben jeweils im ersten Durchgang (zwei Mal dynamisch, einmal statisch) den höheren Wert angegeben. Bei einer Betrachtung des ersten Durchgangs schneidet dynamisch mit einem Durchschnitt von 4,75 deutlich besser ab als statisch (3,8). Die Durchschnittswerte insgesamt lagen hier bei 4 (statisch) und 4,23 (dynamisch). Eine Person hat laut Kommentar bei einer der Umkehrungen im zweiten Durchgang (Rotation um 90° nach rechts) anfangs einfach nur noch herumprobiert. Da sie den ersten Durchlauf mit 5 und den zweiten mit 4 bewertet hat, ist die Schwierigkeit hier eventuell zu hoch gewesen. Eine Ermüdung im Arm oder der Hand hat ebenfalls dazu beigetragen, dass die Teilnehmer im zweiten Durchgang nicht mehr voll ihr Bestes geben konnten.

Das Zeitgefühl wurde im Durchschnitt größtenteils (4) verloren, die stärksten Änderungen waren bei zwei Teilnehmern von kaum (2, erster Durchgang statisch) zu größtenteils (4, zweiter Durchgang dynamisch) und von sehr (5, erster Durchgang dynamisch) zu teils (3, zweiter Durchgang statisch). Die erste Person schrieb dazu, dass der Timer im Hintergrund ein guter Anhaltspunkt gewesen sei. Scheinbar wurde beim zweiten Durchgang dann nicht mehr so sehr auf den Timer geachtet oder die Person war vertiefter. Die zweite merkte in ihrem

ersten Durchgang an, dass sie am Ende durch die Explosion sehr überrascht war, dass die Zeit um ist. Das wiederum spricht für eine größere Vertiefung im ersten Durchgang und einen Gewöhnungseffekt im zweiten Durchgang. Ein Teilnehmer meinte im ersten Durchgang, dass er noch länger hätte spielen können. Durchschnittlich schnitt dynamisch mit 4,11 im Vergleich zu 3,78 statisch besser ab.

Mehr Änderung zwischen den Durchgängen gab es bei der Frage, inwieweit die Anwendung herausfordernd gefunden wurde. Fünf Teilnehmer gaben an, dass der zweite Durchgang herausfordernder gewesen sei (einmal statisch, vier Mal dynamisch) und drei der erste (einmal statisch, zweimal dynamisch) (Diagramm 6). Daraus lässt sich schließen, dass die dynamische Anwendung insgesamt als herausfordernder wahrgenommen wurde. Die Annahme wird von einem Durchschnitt von 4,11 für dynamisch und 3,67 für statisch unterstützt. Aus den Kommentaren geht hervor, dass die Umkehrungen auch im ersten, aber größtenteils im zweiten Durchgang mehr Aufmerksamkeit und Konzentration gebraucht haben und dadurch herausfordernder waren. Je mehr vertauscht wurde, desto höher die Herausforderung. Das wurde durchaus als positiv gesehen, da beispielsweise ein Teilnehmer die neue Steuerung so schnell wie möglich adaptieren und damit umgehen wollte und einer das erste Umgewöhnen zwar schwer fand, danach aber schnell dazugelernt hat. Andere beschrieben die Punktwechsel (vermutlich der Steuerung) als „witzig und herausfordernd“ und die Anwendung als „einfach zu verstehen“, das Einsammeln der Würfel/Gegenstände „habe Spaß gemacht“. Einmal wurde angemerkt, dass die sehr nah beieinander oder ineinander liegenden Würfel eine zusätzliche Herausforderung waren, was korrekterweise als nur begrenzt geplant eingestuft worden ist.

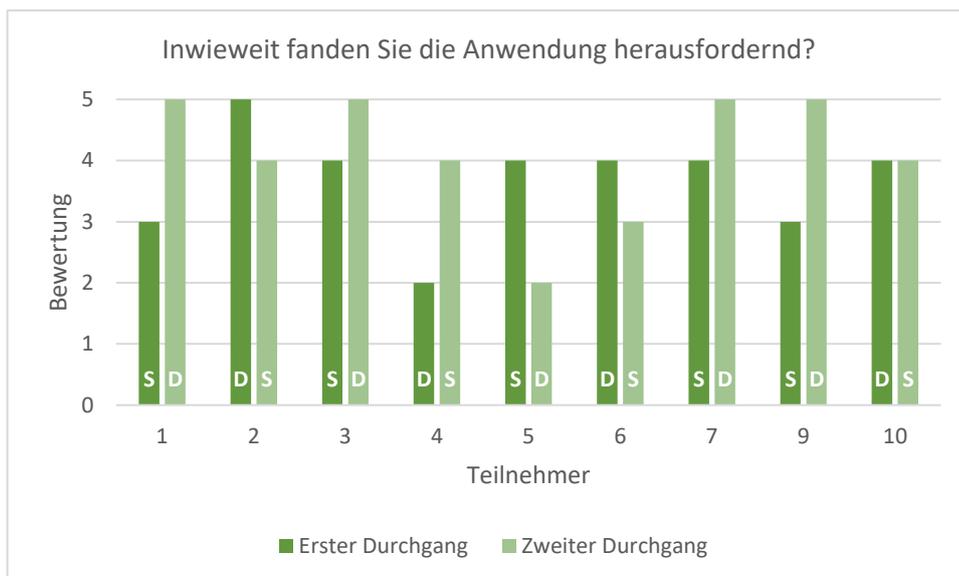


Diagramm 6 – (S) Empfundenes Maß der Herausforderung
 S entspricht dem statischem, D dem dynamischen Durchgang

Fast kein Teilnehmer hatte während des Spielens Zeitpunkte, an denen er aufgeben wollte, nur drei haben für den zweiten Durchgang (zwei Mal dynamisch, einmal statisch) entweder kaum (2) oder teils (3) angegeben. Das ist auf die teilweise schwerer werdende Umkehrung der Steuerung zurückzuführen. Ein Kommentar dazu war, dass es am Ende mit den komplett vertauschten Richtungen kurzzeitig aussichtslos erschien, die Person dann aber in einem Endspurt trotzdem versucht hat, noch alles herauszuholen. Der Rest hat die Frage mit überhaupt nicht (1) beantwortet. Hier schnitt dynamisch mit 1,33 etwas schlechter im Vergleich zu statisch (1,11) ab.

Motiviert gefühlt haben sich alle Teilnehmer größtenteils (4) bis sehr (5). Bei drei Teilnehmern hat sich die Motivation im zweiten Durchgang etwas nachgelassen (5 im ersten, 4 im zweiten Durchgang: zweiter Durchgang einmal dynamisch und zweimal statisch). Die Durchschnitte liegen mit 4,33 für statisch und 4,44 für dynamisch recht nah beieinander. Als motivierend wurden das Feedback durch die pinken Würfel und die bunten Kugeln der Steuerung wahrgenommen („material hat zum „anfassen“ animiert“ [sic]), und wenn es geschafft wurde, mehrere pinke Würfel hintereinander einzusammeln ohne dabei Fehler zu machen (andere Würfel zu berühren). Außerdem der sichtbare Highscore (vermutlich die angezeigten Punkte) inklusive des Timers und dass die Anwendung intuitiv gewesen zu sein scheint („Alles hat sofort so funktioniert wie erwartet“). Zuletzt wurde angemerkt, dass das völlige Vertauschen der Richtungen Rätselspielcharakter gehabt habe, „weil man sich merken musste, wo welche Richtung war“. Grund für die etwas geringere Motivation im zweiten Durchgang war laut einem Kommentar die schwerere Umkehrung.

Vier Mal viel die dynamische Anwendung leichter (zwei Mal im ersten Durchgang, zwei Mal im zweiten Durchgang), drei Mal die statische Anwendung (zwei Mal im ersten Durchgang, einmal im zweiten Durchgang). Es wurde vier Mal in dem einen Durchgang teilweise (3), in dem anderen größtenteils (4) angegeben und drei Mal größtenteils (4) und sehr (5). Zwei Teilnehmer fiel die Anwendung mit größtenteils (4) als Antwort beides Mal gleich leicht (Diagramm 7). Der Durchschnitt liegt dementsprechend bei 4 für statisch und 4,22 für dynamisch. Wenn ausschließlich der zweite Durchgang betrachtet wird, schneidet dynamisch ebenfalls mit 4,2 besser ab (statisch 3,5). Wurde also die statische Anwendung zuerst getestet, ist eher die dynamische Anwendung leichtgefallen. Auch hier wurde angemerkt, dass teilweise das Zielen schwerfiel. Grund dafür könnte sein, dass die Würfel zu eng beieinander lagen oder der Teilnehmer wegen zu langem Berühren der Steuerungskugeln öfters über das Ziel hinausgeschossen ist. Eine andere Person hat die Anwendung an ein Konsolenspiel erinnert, „auch durch die klassischen vier Farben rot, blau, gelb und grün für die "Buttons" (ich habe sie als Buttons aufgefasst)“. Schwierig war laut einem Kommentar das Umgewöhnen von der vorherigen Umkehrung der Steuerung zu einer anderen Umkehrung, da teilweise immer noch die alten Bewegungen gemacht wurden.

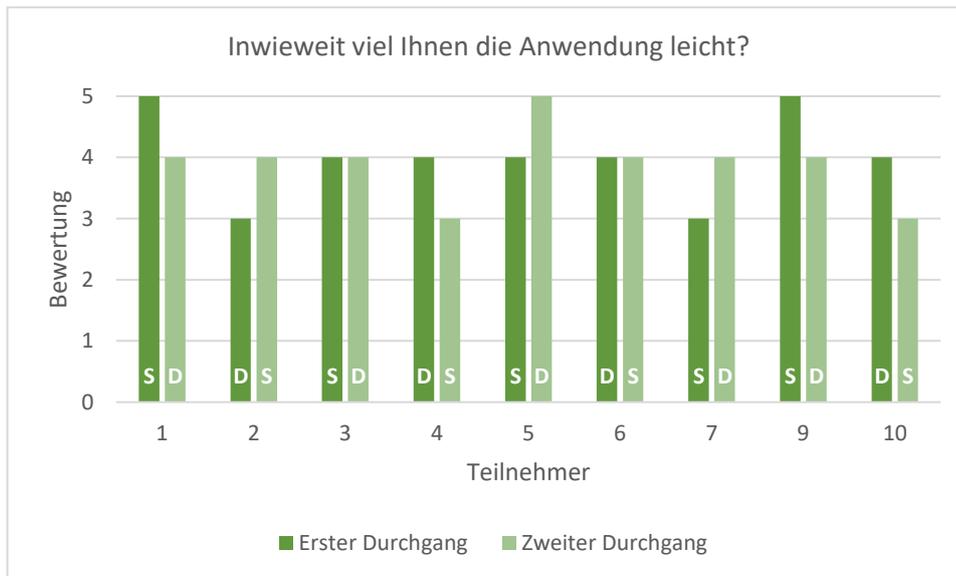


Diagramm 7 – (S) Empfindung über das Leichtfallen der Anwendung

S entspricht dem statischem, D dem dynamischen Durchgang

Deutliche Schwankungen zwischen den Durchgängen gab es bei dem Fortschrittsgefühl gegen Ende der Anwendung. Ein Teilnehmer hatte das Gefühl, in der ersten Anwendung (dynamisch) gar keine Fortschritte zu machen, während das Fortschrittsgefühl im zweiten (statischen) Durchgang mit sehr (5) das komplette Gegenteil darstellte. Das ist dadurch zu erklären, dass die Person die einfachen Umkehrungen der Steuerung als schwieriger zu empfinden schien als die komplette Umkehrung, welche im zweiten Durchgang auftrat („Doppel Invertierung [sic] spielte mir in die Hände als jemand, der Controller invertiert steuern kann“). Ein anderer Teilnehmer hingegen empfand die erste (statische) Anwendung so, dass er dort kaum (2) Fortschritt gemacht hatte und dafür in der zweiten (dynamischen) Anwendung sehr (5) das Gefühl hatte, voranzukommen. Hier wurde zwar zur ersten Anwendung angegeben, dass der Richtungswechsel zu diesem Gefühl beigetragen hat, das schien im zweiten Durchgang dann aber nicht mehr zu stören. Der dritte Extremfall hatte im ersten (dynamischen) Durchgang ein starkes Fortschrittsgefühl (5), wohingegen die zweite (statische) Anwendung mit überhaupt nicht (1) bewertet wurde. Im ersten Durchgang wurde die Bewegung über die Zeit leichter („Ich musste mich irgendwann gar nicht mehr darauf konzentrieren welche bewegung [sic] ich mache“), während im zweiten Durchgang das Ende am schwersten empfunden wurde. Eine Person verglich den völligen Richtungswechsel mit einem „Endboss“, „sozusagen die Belohnung am Ende“. Das habe zu dem Gefühl geführt, überhaupt Fortschritte beim Spielen zu machen. Eine Übersicht der Bewertungen zu der Frage ist in Diagramm 8 zu sehen. Der Durchschnitt belief sich auf 4 für statisch und 4,22 für dynamisch.

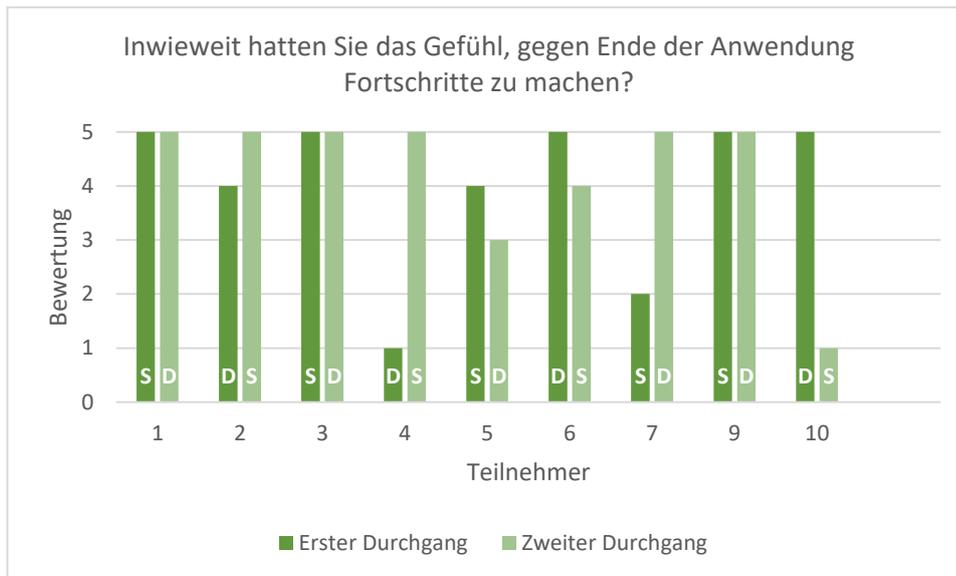


Diagramm 8 – (S) Fortschrittsgefühl in der Anwendung

S entspricht dem statischem, D dem dynamischen Durchgang

Die Teilnehmer haben ihr Abschneiden über die Durchgänge hinweg meistens konstant mit neutral (3), gut (4) und sehr gut (5) bewertet. Zwei Personen hatten ihrer Meinung nach im ersten (3 erster Durchgang, 2 zweiter Durchgang) bzw. zweiten Durchgang (3 erster Durchgang, 4 zweiter Durchgang) besser abgeschnitten. Beide besser bewerteten Durchgänge waren die dynamischen gewesen. Im Vergleich zu den vorherigen Fragen schneidet statisch mit 3,56 im Durchschnitt vergleichsweise schlecht ab, dynamisch erreicht jedoch auch nur eine 3,78. Das ist eventuell darauf zurückzuführen, dass es trotz des Punktestands schwerfiel, sich selbst einzuschätzen und es darauf ankam, was das Ziel war. Eine Person wollte lediglich besser sein als ihre Punktzahl im vorherigen Feedback-Test, außerdem fiel ihr im zweiten Teil die invertierte Steuerung leicht.

Spaß gemacht zu haben scheinen beide Anwendungen. Abgesehen von einem teils (3) in der ersten (dynamischen) Anwendung wurden beide Durchgänge entweder mit größtenteils (4) oder sehr (5) bewertet. Ersteres lag an dem simplen Aufbau, was durchaus nachvollziehbar ist, da es sich lediglich um einen Prototyp handelt. Gleichzeitig wurde jedoch auch angemerkt, dass der Zeitdruck ein gutes Game Design Element war, das Spaß gemacht hat. Zwei Teilnehmern hatten in der dynamischen Anwendung mehr Spaß (einmal erster Durchgang, einmal zweiter Durchgang), einer in der statischen Anwendung (zweiter Durchgang). Der allgemeine Durchschnitt beläuft sich auf 4,33 für statisch und 4,44 für dynamisch. Eine Person hat das Spiel an Snake erinnert, andere befand es als „gutes gehirn jogging spiel [sic]“. Die Invertierung habe Spaß gemacht und habe auch etwas von einem Training. Hinsichtlich des die ganze Zeit ausgestreckten Arms kommentierte ein Teilnehmer, dass es sicherlich gutes Armtraining sei, im zweiten Durchgang aber auch anstrengend wurde und daher etwas weniger spaßig war.

Über das Ende waren die Teilnehmer nur teilweise enttäuscht, beigetragen haben dazu die steigende Schwierigkeit und die Ermüdung des Arms. Die Werte bewegen sich hauptsächlich im Mittelfeld, lediglich ein Teilnehmer hat angegeben, in beiden Durchgängen sehr enttäuscht gewesen zu sein. Die Angabe dazu war, so vertieft gewesen zu sein, dass die Explosion am Ende sogar erschrocken hat, einer anderen Person ging es ähnlich. Sie war mehr auf das Spiel als auf die Zeitanzeige konzentriert, weshalb das Ende plötzlich kam. Drei Mal wurde angegeben, dass das Ende der Anwendung im ersten Durchgang enttäuschender war (zwei Mal statisch, einmal dynamisch), einmal das der zweiten Anwendung (dynamisch). Die Durchschnitte liegen mit 3,22 statisch und 3,11 dynamisch wieder recht nah beieinander, statisch schneidet minimal besser ab.

Trotz des relativ simplen Aufbaus der Anwendung gaben im Durchschnitt alle Teilnehmer an, das Spiel eventuell (4) noch einmal spielen zu wollen. Dabei ist auffällig, dass dies fünf Mal den zweiten Durchgang betrifft (drei Mal dynamisch, zwei Mal statisch) und nur einmal den ersten (statisch). Die anderen drei Angaben blieben über die Durchgänge gleich. Es wurden mehrere Vorschläge wie Musik, beidhändige Steuerung und Achievements gemacht, um den Spielwiederholungswert zu erhöhen. Eine Person würde es nur kompetitiv gegen jemand anders erneut spielen wollen, eine andere Person fragte sich, ob sie über mehrere Durchgänge hinweg wohl auch besser darin werden würde, mit der schweren Umkehrung der Steuerung umzugehen.

Mit der Steuerung sind ebenfalls alle zurechtgekommen, zweimal wurde der erste Durchgang besser bewertet (5 im ersten Durchgang, 4 im zweiten). Vermutlich ist der Grund dafür, dass die Steuerung im zweiten Durchgang schwieriger invertiert wurde und höhere Konzentration oder mehr Herumprobieren erfordert hat. Die komplette Umkehrung (oben – unten und links – rechts) wurde im Vergleich zu den einzelnen Umkehrungen allerdings als weniger schwer wahrgenommen. Durchschnittlich wurde ein Wert von 4,4 für beide Anwendungen angegeben. Ein Kommentar verglich die Steuerung mit dem Drücken von Pfeiltasten und befand sie damit als sehr intuitiv, ein anderer fand sie leicht und konnte sich so mehr darauf konzentrieren, so schnell wie möglich zu sein. Generell waren beide Anwendungen verständlich für die Teilnehmer, eine Person hat größtenteils (4) angegeben, ansonsten wurden beide Durchgänge jeweils mit sehr (5) bewertet.

Zuletzt hatten die Teilnehmer im Durchschnitt eher bei der statischen Anwendung (3,89) das Gefühl, dass die Schwierigkeit sich verändert hat als im dynamischen Teil (3,67). Die Angaben reichen von es wurde leichter (1) bis hin zu es wurde schwerer (5), wobei letzteres von drei Teilnehmern für beide Durchgänge angegeben wurde. Zwei Teilnehmer haben zwar den Richtungswechsel beziehungsweise die Farbänderung der Kugeln bemerkt, das scheinbar aber nicht als Schwierigkeitsänderung wahrgenommen. Sie bewerteten beide Durchgänge mit weder noch (3). Ein Teilnehmer hatte das Gefühl, dass der erste dynamische Durchgang

leichter (1) und der zweite statische Durchgang etwas leichter (2) wurde. Zurückzuführen ist das darauf, dass die komplette Umkehrung von ihm als sehr einfach erachtet wurde. Ein anderer empfand den ersten statischen Durchgang als schwerer (5) und den zweiten als etwas leichter werdend (2) (Diagramm 9). Begründet wurde letzteres durch die Änderung der Steuerung und das benötigte Umdenken, im zweiten Durchgang fiel die Navigation wegen bereits vorhandener Übung dann leichter. Durchschnittlich hatten die Teilnehmer das Gefühl, dass die statische Anwendung (3,89) mehr an Schwierigkeit zunahm als die dynamische (3,67).

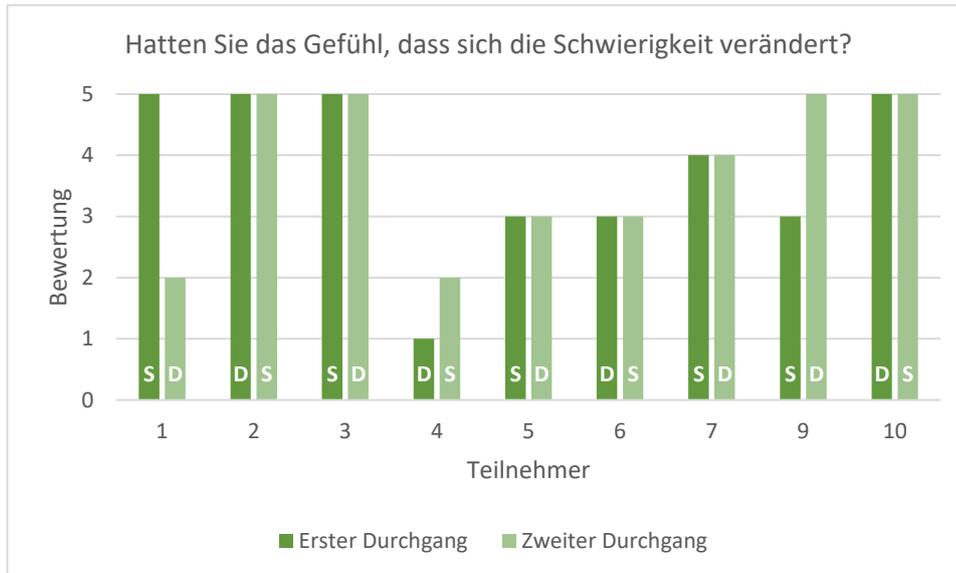


Diagramm 9 – (S) Empfundene Schwierigkeitsänderung

S entspricht dem statischem, D dem dynamischen Durchgang

Die Meinung, welcher Durchgang als schwieriger empfunden wurde, war sehr durchwachsen. Vier gaben den ersten Durchgang an (zwei davon waren mit der dynamischen Anpassung, zwei mit der statischen), fünf den zweiten Durchgang (drei Mal dynamisch, zwei Mal statisch). Somit haben sich hier keine Unterschiede ergeben, egal welcher Durchgang und welche Art zuerst getestet worden sind.

Bei der Frage, welcher Durchgang mehr Spaß gemacht hat, zeichnet sich ein etwas klareres Bild ab: Fünf Teilnehmer haben den ersten Durchgang angegeben (drei Mal dynamisch, zwei Mal statisch), vier den zweiten Durchgang (drei Mal dynamisch, einmal statisch). Unabhängig von der Reihenfolge wurde die dynamische Anpassung also als spaßiger empfunden. Bei einem Teilnehmer sind die Angaben inkonsistent, dort wurde in der Frage „Wie sehr hat Ihnen die Anwendung Ihrer Meinung nach Spaß gemacht?“ im ersten (statischen) Durchgang größtenteils (4) angegeben und im zweiten (dynamischen) Durchgang sehr (5). Diese Antworten lassen eigentlich darauf schließen, dass der zweite dynamische Durchgang mehr Spaß gemacht hat. Jedoch wurde bei dem anschließenden direkten Vergleich der erste statische Durchgang angegeben. Der Grund dafür könnte sein, dass zwischen den beiden

Durchgängen eine Pause mit Ausfüllen des ersten Fragebogenteils lag, und der Vergleich erst nach dem zweiten Fragebogenteil kam. Bis dahin ist es durchaus möglich, dass die Teilnehmer den ersten Durchgang beziehungsweise ihre Antworten dazu wieder vergessen haben.

Alle Teilnehmer haben angegeben, einen Unterschied zwischen den zwei Anwendungen bemerkt zu haben. Die wahrgenommenen Unterschiede bezogen sich ausschließlich auf die Umkehrung der Steuerung beziehungsweise die Repräsentation davon im Spiel. Laut Kommentaren haben die Farben der Steuerungskugeln dabei geholfen, eine Änderung in der Steuerung zu erkennen. Außerdem wurde von fast allen Teilnehmern angemerkt, dass sich die Umkehrung verändert hat (oben/unten, links/rechts, komplette Umkehrung). Dabei viel den Teilnehmern die horizontale Umkehrung (rechts – links) schwerer wie die vertikale (oben – unten). Die komplette Umkehrung (oben – unten, links – rechts) hingegen wurde wieder als einfach erachtet.

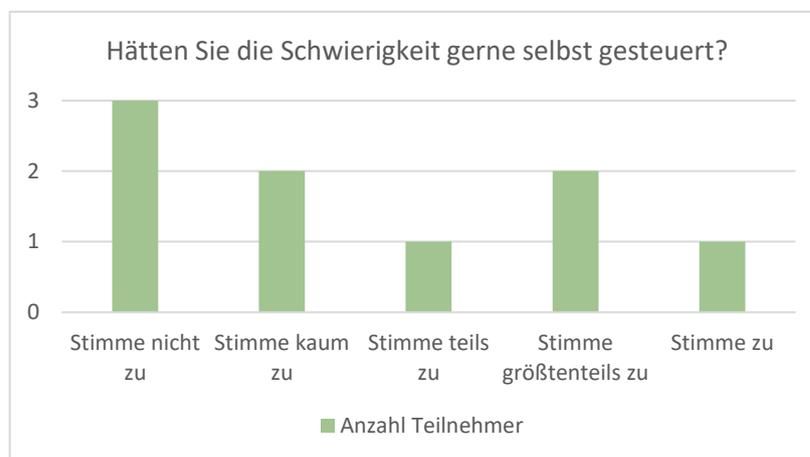


Diagramm 10 – (S) Bedürfnis, die Schwierigkeit selbst zu steuern

Ein Teilnehmer hätte die Schwierigkeit gerne selbst gesteuert, zwei tendieren dazu sie selbst steuern zu wollen. Drei waren mit der Schwierigkeitsanpassung wie sie ist zufrieden beziehungsweise wollten sie zumindest nicht selbst steuern (Diagramm 10). Drei Teilnehmer haben angegeben, Beschwerden nach dem Spielen zu haben, zwei davon bezogen sich auf eine (leichte) Ermüdung des Arms. Die dritte Person hatte etwas Kopfweg, gab aber auch an, dass das eventuell an der Hitze liegen könnte. Ein weiterer Teilnehmer, der Nein angegeben hatte, schrieb in den Kommentaren „Müde, aber war ich vorher auch schon :-)“.

Allgemein wurde angemerkt, dass es im Vergleich zu der Feedback-Anwendung leichter war, nicht über die Mitte gehen zu müssen. Bei der dynamischen Anpassung empfand ein Teilnehmer es als angenehm, dass die Umkehrung der Steuerung zwischendurch wieder aufgehoben wurde („da hat man sich dann richtig gut gefühlt plötzlich so schnell zu sein“). Ein Teilnehmer hat sich sogar eine komplett zusammengewürfelte Steuerung gewünscht (zum Beispiel unten, oben, rechts, links im Uhrzeigersinn gesehen). Eine ähnliche Anpassung wäre

theoretisch später im Spiel noch gekommen, ist jedoch aufgrund der Zeitbegrenzung bei keinem Teilnehmer aufgetreten.

Werden beide Durchgänge verglichen, ergibt sich folgende Verteilung:

Erster Durchgang	Zweiter Durchgang
Mehr Mühe gegeben	Fesselnder gewesen
Vom Gefühl her das Beste gegeben	Konzentrierter auf die Anwendung gewesen
Motivierter gefühlt	Mehr das Zeitgefühl verloren
Leichter gefallen	Herausfordernder gewesen
Gefühlt besser abgeschnitten	Eher Zeitpunkte, an denen man aufgeben wollte
Enttäuschter über das Ende gewesen	Mehr Fortschritt am Ende gemacht
Eher mit der Steuerung zurechtgekommen	Mehr Spaß gemacht
<i>Verstanden was zu tun war</i>	Noch einmal spielen wollen
	<i>Verstanden was zu tun war</i>
	Schwierigkeit hat sich mehr geändert

Abbildung 20 – (S) Vergleich von erstem und zweitem Durchgang mit Schwierigkeitsanpassung

Alle Werte sind auf die einzelnen Durchgänge und deren Durchschnittswerte bezogen, unabhängig von statisch und dynamisch. Die Unterschiede belaufen sich dabei auf maximal 0,55 und sind teilweise auch nur sehr gering. Bei der Frage „Inwieweit haben Sie verstanden, was sie tun müssen?“ war der Durchschnitt in beiden Durchgängen gleich, daher steht es auf beiden Seiten und ist kursiv dargestellt.

Für statisch und dynamisch sieht die Tabelle wie folgt aus:

Statische Anpassung	Dynamische Anpassung
Enttäuschter über das Ende gewesen	Fesselnder gewesen
<i>Noch einmal spielen wollen</i>	Konzentrierter auf die Anwendung gewesen
<i>Eher mit der Steuerung zurechtgekommen</i>	Mehr Mühe gegeben
<i>Verstanden was zu tun war</i>	Vom Gefühl her das Beste gegeben
Schwierigkeit hat sich mehr geändert	Mehr das Zeitgefühl verloren
	Herausfordernder gewesen
	Eher Zeitpunkte, an denen man aufgeben wollte
	Motivierter gefühlt
	Leichter gefallen
	Mehr Fortschritt am Ende gemacht
	Gefühlt besser abgeschnitten
	Mehr Spaß gemacht
	<i>Noch einmal spielen wollen</i>
	<i>Eher mit der Steuerung zurechtgekommen</i>
	<i>Verstanden was zu tun war</i>

Abbildung 21 – (S) Vergleich von statischer und dynamischer Anpassung

Auch hier sind Fragen mit gleichem Durchschnitt für beide Durchgänge kursiv dargestellt. Das unterstützt die Hypothese, dass die dynamische Anpassung besser geeignet ist. Werden die Antworten der einzelnen Teilnehmer über den gesamten Fragebogen hinweg betrachtet, gibt es keine direkt erkennbare Bevorzugung der dynamischen oder statischen Anwendung. Jedoch wurde mit leichter Tendenz öfters die dynamische Anwendung besser bewertet als die statische. Bei einem Teilnehmer ergab sich beispielsweise fünf Mal, dass die dynamische Anwendung besser abschnitt, während es bei den restlichen Antworten keinen Unterschied gab. Ein anderer bewertete sechs Mal die dynamische Anwendung besser und nur einmal die statische. Umgekehrt ergaben sich für statisch nur Werte von Zwei (dynamisch besser) zu Fünf (statisch besser), Eins zu Zwei und Vier zu Fünf.

Zusätzlich zeigen die Daten aus dem Spiel, dass in den dynamischen Durchgängen jeweils ein höheres Level erreicht und, bis auf eine Ausnahme, mehr oder gleich viele Punkte als im statischen Durchgang erreicht werden konnten (Diagramm 11, Diagramm 12). Der Übersicht halber sind Statisch und Dynamisch in den Diagrammen immer in derselben Reihenfolge

aufgelistet, in den Nutzertests wurde nach jedem Teilnehmer gewechselt welches von beidem zuerst kam.

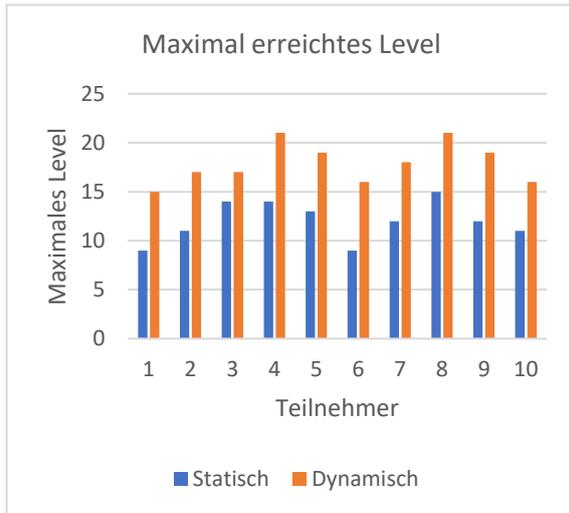


Diagramm 11 – (S) Im Durchschnitt maximal erreichtes Level

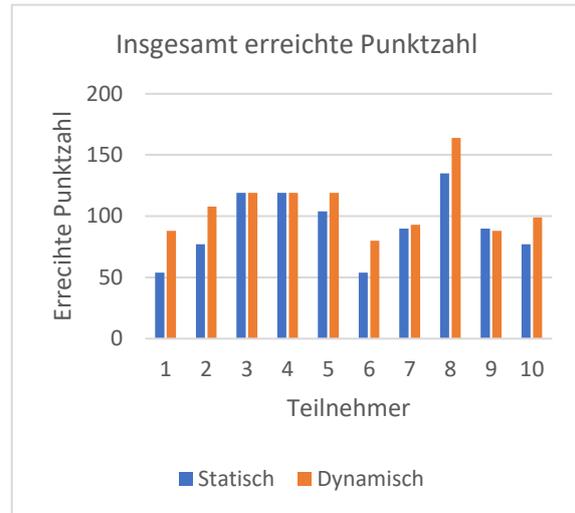


Diagramm 12 – (S) Im Durchschnitt insgesamt erreichte Punktzahl

Die folgenden Diagramme zeigen für jeden Teilnehmer die Durchschnittsgeschwindigkeit pro Level. Dafür wurden die abzufahrende Strecke und die Zeit von Levelbeginn bis Levelende (erreichen des letzten Würfels im jeweiligen Level) gemessen und verrechnet. Während der Trend der statischen Geschwindigkeit (blaue Linie) eher sinkend ist, steigt er bei der dynamischen Anpassung (orangene Linie) eher an.

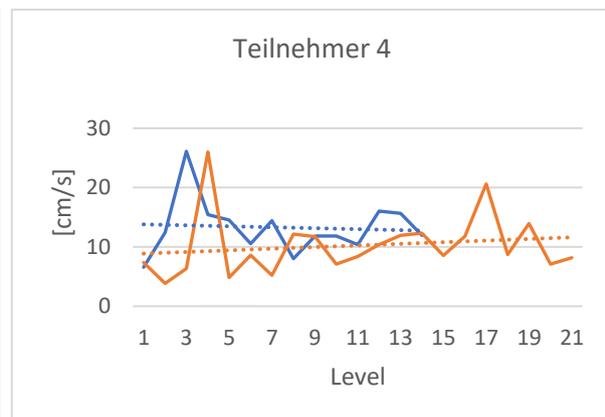
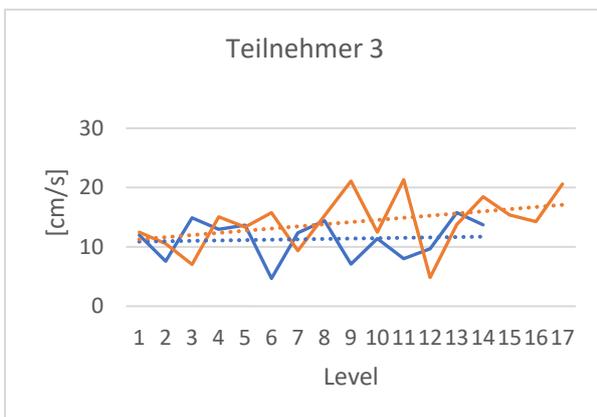
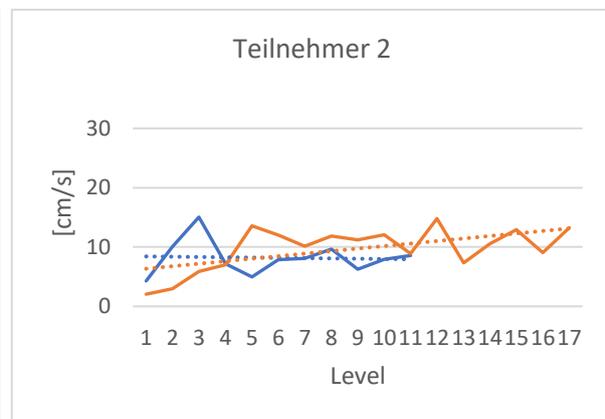
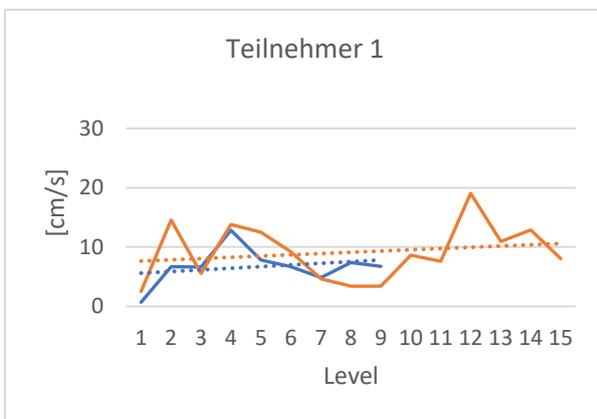




Diagramm 13 – (S) Durchschnittliche Geschwindigkeit pro Level je Teilnehmer

Bei Betrachtung des Fehlerdurchschnitts in Diagramm 14 fällt außerdem auf, dass in der statischen Anwendung mehr Fehler gemacht wurden als in der dynamischen, unabhängig von der Reihenfolge. Als Fehler zählt, wenn ein grauer, nicht aktiver Würfel von dem gelben Steuerungswürfel berührt wird.

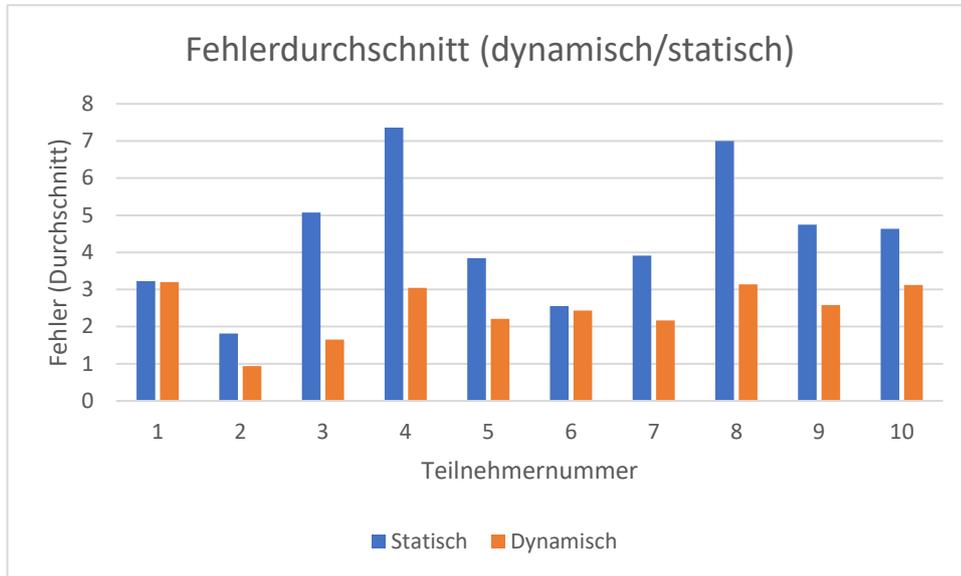


Diagramm 14 – (S) Fehlerdurchschnitt nach Anpassungstyp

7 FAZIT

In diesem Kapitel werden die Erkenntnisse dieser Arbeit zusammengefasst. Dazu erfolgt zunächst eine Bewertung der Ergebnisse aus den Nutzertests, möglichen Fehlerquellen sowie Verbesserungen. Im Anschluss wird unter dem Punkt Ausblick auf weitere nötige Forschungsschritte auf diesem Gebiet eingegangen.

7.1 BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

Im Folgenden werden die Erkenntnisse aus den Nutzertests zusammengefasst und bewertet.

7.1.1 Bewertung der Ergebnisse des Feedbacks

Bei den durchgeführten Nutzertests mit zehn Teilnehmern schnitt das bildliche Feedback in Form der sich bewegenden Hand besser ab als das abstrakte mit dem Pfeil. Die meisten folgten intuitiv der Handbewegung, während bei der Verwendung des Pfeils mehr Überlegen nötig war. Zwar wurde bei beiden Feedbackformen oftmals nicht genau verstanden, wie die Steuerung funktionierte, jedoch konnte die Aufgabe dennoch erfüllt werden. Sowohl unter Verwendung des Pfeils als auch unter der Hand. Bei der Hand wurde schneller der erste Punkt erzielt und es wurden mehr Punkte erreicht.

Die Hand erscheint im Vergleich zum Pfeil deutlich intuitiver in der Anwendung zu sein. Sind die Teilnehmer jedoch den Pfeil erst einmal gewöhnt, fällt es ihnen schwerer auf die Hand umzustellen als umgekehrt. Zudem wird die Anwendung mit der Hand auch als etwas motivierender empfunden, als mit dem Pfeil.

Die Werte für Mühelosigkeit und Bauchgefühl, ermittelt durch den INTUI Fragebogen, liegen im Gesamten bei der Hand etwas höher. Die globale Intuitivität ist sogar um 1,6 höher. Bei der Verbalisierungsfähigkeit steht im Gesamtdurchschnitt der Pfeil um 0,3 höher.

Allerdings sind beide Feedbackarten nicht optimal. Der Pfeil wirkt durch seine rote Farbe eher demotivierend. Und bei beiden Arten fanden es einige Probanden verwirrend, dass sie in die entgegengesetzte Richtung weisen als die, in die sie den gelben Würfel bewegen wollten. Möglicherweise wäre es besser verständlich, wenn das Feedback von der Mitte nach außen führen würde. Außerdem könnte eine klarere Kenntlichmachung des Ziels einer Bewegung, in diesem Fall der Mitte des Steuerkreuzes, von Vorteil sein. Für die Hand könnte noch eine natürlichere Haltung getestet werden, damit die Probanden nicht mehr denken, sie müssen die Hand genauso halten.

Zudem sind die unterschiedlichen Ergebnisse nicht rein auf das Feedback zurückzuführen. Die verschieden verteilten Würfel in jedem Level nehmen Einfluss auf das Ergebnis. So wie

auch schlecht reagierende Überlappungserkennung von der virtuellen Hand und den Steuerkugeln, die dann zu Verwirrung führt, welche Handlung durch das Feedback angezeigt und von der Anwendung verlangt wird.

Für ein aussagekräftigeres Ergebnis müsste außerdem mit mehr Probanden getestet werden. Diese sollten dann eventuell nur ein Feedback jeweils testen. Oder zumindest nach jedem Durchgang den entsprechenden Teil des Fragebogens ausfüllen und nicht beide Teile am Ende. Dadurch kann besser vermieden werden, dass die Probanden etwas vermischen oder vergessen, wie manche Freitextantworten im Fragebogen vermuten lassen.

Zur Beurteilung der Intuitivität des Feedbacks selbst eignet sich möglicherweise eine andere Basisaufgabe besser, bei der eine Bewegungskorrektur sinnvoller erscheint. Hierbei war die Steuerung selbst durch die Bedingung, dass eine Bewegung in einer bestimmten Art und Weise stattfinden muss, um sie korrigieren zu können, zusätzlich verkompliziert. Damit war sie nicht so intuitiv wie vielleicht von ähnlichen Systemen gewohnt, die ebenfalls vier Knöpfe nutzen, um ein Objekt zu steuern. Diese Verkomplizierung nimmt auch Einfluss auf die Wahrnehmung des Feedbacks.

Und schlussendlich kann für Schlaganfallpatienten, für die das Feedback konzipiert wurde, keine Aussage getroffen werden, da mit ihnen keine Nutzertests möglich waren. Bei der Gruppe gesunder Probanden ist letztlich die sich bewegende Hand und damit das bildliche Feedback besser zur Bewegungskorrektur geeignet als das abstrakte mithilfe des Pfeils. Ob diese Erkenntnis auf Schlaganfallpatienten übertragen werden kann, muss durch Nutzertests mit ihnen verifiziert werden.

7.1.2 Bewertung der Ergebnisse der Schwierigkeitsanpassung

Aufgrund der geringen Teilnehmeranzahl besteht nur eine geringe Datengrundlage, es wurden 10 Datensätze und 9 Fragebögen analysiert und ausgewertet. So konnten lediglich Tendenzen festgestellt werden.

Sowohl die Nutzertests als auch die erhobenen Daten haben gezeigt, dass die dynamische Anwendung insgesamt besser abgeschnitten hat. Dabei wurde als sichtbarer Unterschied lediglich die Umkehrung der Steuerung bemerkt, keinem Teilnehmer fiel die Geschwindigkeitsänderung des gelben Würfels oder die teilweise gleichbleibende Anzahl der zu erreichenden Würfel pro Level auf. Damit wurde das Ziel, die Adaption möglichst unbemerkt geschehen zu lassen, erfüllt.

Der Schwierigkeitsgrad der vertauschten Richtungen ist sehr unterschiedlich wahrgenommen worden. Teilweise als zu meisternde Herausforderung, teilweise aber auch als etwas überfordernd, was zu Abschweifen geführt hat. Da die Anwendung so konzipiert war, dass sie

theoretisch auch noch länger hätte laufen können, wäre der Richtungswechsel noch schwieriger geworden (siehe Kapitel 5.2.4). Ein weiteres Problem könnte sein, dass die Reihenfolge der Umkehrungen zwar über die Gesamtheit der Anwendung und damit über die Teilnehmer konstant war, nicht aber zwischen den einzelnen Durchgängen. Wurde im ersten Durchgang beispielsweise die zweite Umkehrung erreicht, ging es im zweiten Durchgang mit der dritten Umkehrung weiter. Damit sollten ein zu starker Gewöhnungseffekt und Langeweile vermieden werden, es erschwert jedoch auch den direkten Vergleich. Da die dynamische Anpassung ohnehin abhängig von der Leistung des Spielers unterschiedlich stark eingegriffen hat, sind die dynamischen Durchgänge nie komplett identisch gewesen. Der hierfür benutzte Algorithmus war zudem relativ simpel gehalten, dadurch konnten leichter Änderungen vorgenommen werden ohne direkt den kompletten Algorithmus neu implementieren zu müssen.

Eine Ermüdung des Arms ist recht schnell eingetreten, was insbesondere einen Einfluss auf den zweiten Durchgang gehabt haben könnte. Zwar gingen aus den Ergebnissen keine klaren Unterschiede hervor, es ist aber nicht auszuschließen, dass die Antworten im Fragebogen oder die Leistung im Spiel dadurch beeinflusst wurden.

Da die Würfel relativ nah beieinander erscheinen konnten, wurden die falsch durchfahrenen Würfel lediglich als Messwerte in den Daten festgehalten. Auch wenn den Teilnehmern gesagt wurde, dass das keinen Einfluss auf die Punktzahl hat, probierten die einen die grauen Würfel zu umgehen während andere kein Problem damit hatten, auch einmal durch einen solchen hindurchzufahren. Durch das Feedback der kurz rot aufleuchtenden Würfel ist letzteres recht selten vorgekommen und ein schlechteres Zielen kann genauso zu Zeitunterschieden führen, dennoch könnten Zeitunterschiede daraus resultieren.

7.2 AUSBLICK

In den letzten zwei Kapiteln wird beschrieben, welche Korrekturmöglichkeiten sich aus den gewonnenen Erkenntnissen ergeben haben, wie der Prototyp weiterentwickelt werden könnte und in welche Richtung noch Forschungsbedarf besteht.

7.2.1 Ausblick bezüglich des Feedbacks

Für das Feedback einer Bewegungskorrektur in einer Anwendung für Schlaganfallpatienten sind weitere Studien erforderlich. In der Literatur wird wenig direkt darauf eingegangen und es werden kaum verschiedene Ansätze verglichen.

Dieser Prototyp zeigte bei zehn gesunden Teilnehmern, dass bildliches Feedback in Form einer sich bewegenden Hand effektiv, wenn auch nicht optimal ist. Jedoch scheint es einer

abstrakten Darstellung durch einen Pfeil überlegen. Ob dies ebenso auf Schlaganfallpatienten übertragbar ist, müssen weitere Tests mit diesen verdeutlichen. Auch die Kontrollgruppe sollte hierzu vergrößert werden und mehr Varianz in Alter und anderen demografischen Informationen enthalten. Eine weitere Kontrollgruppe mit gesunden Menschen ab 60 Jahren und älter ist ebenfalls sinnvoll.

In dem derzeitigen Prototyp müssten bei der Verwendung durch Schlaganfallpatienten noch einige Anpassungen vorgenommen werden. Beispielsweise wäre bei den Steuerkugeln eine variable Abstandsanzpassung nötig. Je nachdem, wie sehr der jeweilige Patient seine Hand bewegen kann. Wenn die Kugeln jedoch zu nah beieinanderstehen müssen, um für einen Patienten nutzbar zu sein, funktioniert die Erkennung der angewählten Kugel über Overlap-Events mit der Hand in der Implementierung nicht mehr richtig. Es können dann leicht mehrere Kugeln gleichzeitig aktiviert werden und das Feedback könnte nicht mehr zielführend gegeben werden. Hier müsste mithilfe eines Zeigers (zum Beispiel ein Strahl, der von der Hand ausgehend die Kugeln anwählt) oder etwas Ähnlichem gearbeitet werden, um die Steuerkugeln präzise zu aktivieren. Darüber hinaus hat das Feedback unter Umständen zu wenig Platz, wenn es wie derzeit innerhalb der Steuerung dargestellt wird. Damit müsste seine Position ebenfalls neu durchdacht werden.

Mehr zu weiteren nötigen Anpassungen am Prototyp findet sich im folgenden Kapitel zur Schwierigkeitsanzpassung.

Auch ob Design und Farbwahl der hier umgesetzten Anwendung für Schlaganfallpatienten geeignet sind, muss mit ihnen überprüft werden. Zwar hatten einige von den gesunden Testern ebenfalls Probleme mit der Sehschärfe, aber in der Anwendung dadurch scheinbar keine zusätzlichen Schwierigkeiten. Doch ältere Menschen und Schlaganfallpatienten weisen eine viel höhere Bandbreite an visuellen Einschränkungen auf. Zudem war das Design nicht Hauptaugenmerk bei diesem Prototyp. Ob Patienten mit verschiedenen Einschränkungen in der Lage sind, den Prototyp richtig zu nutzen, kann sich ebenfalls nur in Nutzertests erweisen.

Auch bei Designfragen, die das Feedback betreffen, gibt es noch viele offene Fragen. Sowie auch für motivierendes Feedback. Zwar gibt es hierzu viele Untersuchungen, jedoch könnte es sich lohnen, auch die Nutzertypen der Schlaganfallpatienten hierbei mit einzubeziehen. Wie sich die Verteilung der Nutzertypen bei Schlaganfallpatienten verhält, ist nach aktuellem Kenntnisstand noch sehr wenig untersucht. Zudem sollten Patienten in den Designprozess im besten Fall mit einbezogen werden, um ein besseres Erlebnis für sie zu erreichen (Charles et al., 2020). So wären während der Konzeption Gespräche mit Patienten sicherlich hilfreich.

Letztlich können noch mehr verschiedene Ansätze für eine Bewegungskorrektur entwickelt und miteinander verglichen werden. Auch anhand von unterschiedlichen Aufgaben. Auf diese

Weise ist eine bessere Übersicht möglich, welche Darstellung am besten wofür geeignet ist. Diese müssten dann ebenfalls mit Schlaganfallpatienten getestet werden.

7.2.2 Ausblick bezüglich der Schwierigkeitsanpassung

Für ein genaueres Ergebnis müsste ein größer angelegter Nutzertest mit mehr Personen und unterschiedlichen demografischen Daten durchgeführt werden. Um die im Theorieteil gewonnenen und umgesetzten Erkenntnisse zu Schlaganfallpatienten zu überprüfen sollte außerdem mit solchen getestet werden, was unter gegebenen Umständen nicht möglich war. Eine Verlängerung der Testdauer und das Testen von jeweils nur einer Anpassungsart (statisch oder dynamisch) könnte zu erkennbareren Trends in den Daten führen. So wäre es möglich, beide Anwendungen unabhängig vom Durchgang und Kenntnis des anderen Durchgangs zu betrachten, außerdem gäbe es keine Unterbrechung mehr durch die Beantwortung des Fragebogens. Eventuell würde ein Interview detailliertere Ergebnisse zu Empfindungen liefern und mehr Aufschlüsse geben.

Da ein zu schwerer Richtungswechsel zu Aufgeben und Demotivation führen könnte, sollte entweder die Anzahl der Richtungswechsel eingeschränkt werden oder der Schwierigkeitsgrad des Richtungswechsels an die dynamische Anpassung gekoppelt sein. Alternativ ist eine Verlängerung des Abstands zwischen einzelnen Richtungswechsel denkbar, um eine längere Adaptionphase zu gewährleisten. Für Schlaganfallpatienten könnte die invertierte Steuerung bereits einen zu hohen Schwierigkeitsgrad darstellen, da die Bewegung alleine schon eine gewisse Schwierigkeit darstellt. Deshalb sollten andere Parameter verwendet werden, dabei ist eine Anpassungsregel, die das Wohlbefinden des Spielers zum Ziel hat und zum Weiterspielen animiert, zu bevorzugen.

Die gezählten Fehler könnten abgesehen von der visuellen Rückmeldung (der Würfel wird kurzzeitig rot) mehr Auswirkungen haben, beispielsweise auf die Schwierigkeit oder auf die Umgebung. Statt die Spieler für Fehler zu bestrafen wäre eine Überlegung, die ohne Fehler hintereinander erreichten Würfel zu zählen („Combo“) und einen Multiplikator einzuführen, der mit höherem Combo-Wert steigt und mit den Punkten verrechnet wird. Wenn ein falscher Würfel berührt wird, wird der Multiplikator zurückgesetzt. Dieses Prinzip wird beispielsweise in dem VR-Rhythmusspiel „Beat Saber“ umgesetzt (Beat Games, 2018).

Sinnvoll ist außerdem ein zwischenzeitiges Ablegen des Arms, um eine frühzeitige Ermüdung zu vermeiden. Alternativ könnte der Arm während der Anwendung abgestützt werden. Für Schlaganfallpatienten wären eine kürzere Anwendungsdauer, längere Pausen zwischen den Anwendungen oder eine Kombination von beidem unbedingt notwendig, da die Beweglichkeit zusätzlich eingeschränkt ist und der Arm noch schneller ermüdet.

Zumindest bei gesunden Probanden wäre eine Kombination von manueller und dynamischer Anpassung nicht auszuschließen, wobei standardmäßig die dynamische Anpassung aktiv ist und gegebenenfalls durch die manuelle Auswahl überschrieben werden kann (siehe Kapitel 3.3.1). Auch bei Schlaganfallpatienten könnte diese Funktion nützlich sein, wenn der Therapeut die vorgeschlagene Schwierigkeit anpassen oder überschreiben möchte.

Für eine Weiterentwicklung des Prototyps sollten beispielsweise über eine Einbindung von Ton oder Musik und eine ansprechendere Umgebung nachgedacht werden, um die Anwendung immersiver zu gestalten. Eventuell könnten verschiedene Levelabschnitte verschiedene Umgebungen haben um Abwechslung zu bieten. Achievements und Highscores würden einen Anreiz bieten, das Spiel trotz eines Gewöhnungseffekts erneut zu spielen. Gerade für Schlaganfallpatienten wäre dies wichtig, da diese über längere Zeit hinweg mehrere Sitzungen durchlaufen müssten, um ein Ergebnis zu erzielen und Fortschritte zu machen. Hier könnte es sowohl für den Patienten als auch den Therapeuten interessant sein, den Fortschritt in der einzelnen Sitzung und über die Sitzungen hinweg visualisiert zu haben. Je nach Zielgruppe könnte kompetitiv online gegeneinander angetreten werden oder offline gegen sich selbst.

Allgemein könnte die Zeitanzeige oder die Zeitbegrenzung bei Schlaganfallpatienten zu viel Druck aufbauen, weshalb die Zeit zwar intern gemessen werden könnte, aber nicht ausschlaggebend für das Levelende ist. Stattdessen könnte eine feste Anzahl von Bewegungen vorgegeben werden, die es zu absolvieren gilt. Zusätzlich sollte die Geschwindigkeit des zu steuernden Würfels verringert werden, um das „Zielen“ zu vereinfachen.

Der Algorithmus zum Erscheinen der Würfel könnte so angepasst werden, dass ein Mindestradius zum zuletzt erschienenen Würfel eingehalten wird, um Überlappungen zu verhindern. Zuletzt bietet vor allem der Algorithmus zur dynamischen Schwierigkeitsanpassung großes Verbesserungspotential, hier könnten beispielsweise Techniken des maschinellen Lernens für eine akkuratere Anpassung genutzt werden, um das Spielerlebnis für den Patienten zu verbessern und damit die Motivation zu steigern. Interessant könnte außerdem die Technik des Player Modelings sein, das zusammen mit Präferenzen des Spielers zu einer Anpassung des Spielerlebnis genutzt werden könnte (Charles et al., 2005; Missura & Gärtner, 2009). Zusätzliche Sensoren wie EEG könnten dazu genutzt werden, den emotionalen Zustand des Spielers in die Schwierigkeitsanpassung mit einzubeziehen (Stein et al., 2018).

LITERATURVERZEICHNIS

- Ada, L., Dorsch, S. & Canning, C. G. (2006). Strengthening interventions increase strength and improve activity after stroke: a systematic review. *Australian Journal of Physiotherapy*, 52(4), 241–248. [https://doi.org/10.1016/S0004-9514\(06\)70003-4](https://doi.org/10.1016/S0004-9514(06)70003-4)
- Aho, K., Harmsen, P., Hatano, S., Marquardsen, J., Smirnov, V. E. & Strasser, T. (1980). Cerebrovascular disease in the community: results of a WHO collaborative study. *Bulletin of the World Health Organization*, 58(1), 113–130.
- Alankus, G., Lazar, A., May, M. & Kelleher, C. (2010). Towards customizable games for stroke rehabilitation. In E. Mynatt, D. Schoner, G. Fitzpatrick, S. Hudson, K. Edwards & T. Rodden (Hg.), *CHI 2010 - we are HCI: Conference proceedings and extended abstracts ; the 28th Annual CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, April 10 - 15, 2010 in Atlanta, GA, USA* (S. 2113–2122). ACM. <https://doi.org/10.1145/1753326.1753649>
- Alarcón, F., Zijlmans, J. C. M., Dueñas, G. & Cevallos, N. (2004). Post-stroke movement disorders: report of 56 patients. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 75(11), 1568–1574. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2003.011874>
- Alimanova, M., Borambayeva, S., Kozhamzharova, D., Kurmangaiyeva, N., Ospanova, D., Tyulepberdinova, G., Gaziz, G. & Kassenkhan, A. (2017). Gamification of Hand Rehabilitation Process Using Virtual Reality Tools: Using Leap Motion for Hand Rehabilitation. In *IRC 2017: 2017 First IEEE International Conference on Robotic Computing : proceedings : 10-12 April 2017, Taichung, Taiwan* (S. 336–339). Ieee. <https://doi.org/10.1109/IRC.2017.76>
- Alqahtani, A. S., Daghestani, L. F. & Ibrahim, L. F. (2017). Environments and System Types of Virtual Reality Technology in STEM: a Survey. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8(6), 77–89. <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2017.080610>
- Altmeyer, M. & Lessel, P. (2017). The Importance of Social Relations for Well-Being Change in Old Age-Do Game Preferences Change As Well? In *Positive Gaming: Workshop on Gamification and Games for Wellbeing*. <http://ceur-ws.org/vol-2055/paper2.pdf>
- Altschuler, E. L., Wisdom, S. B., Stone, L., Foster, C., Galasko, D., Llewellyn, D. M. E. & Ramachandran, V. S. (1999). Rehabilitation of hemiparesis after stroke with a mirror. *The Lancet*, 353(9169), 2035–2036. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(99\)00920-4](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(99)00920-4)
- Andrews, A. W. & Bohannon, R. W. (2000). Distribution of muscle strength impairments following stroke. *Clinical rehabilitation*, 14(1), 79–87. <https://doi.org/10.1191/026921500673950113>
- Ávila-Sansores, S., Orihuela-Espina, F. & Enrique-Sucar, L. (2013). Patient Tailored Virtual Rehabilitation. In J. L. Pons, D. Torricelli & M. Pajaro (Hg.), *Biosystems & Biorobotics: Bd. 1. Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation* (Bd. 1, S. 879–883). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-34546-3_143
- Barreca, S., Wolf, S. L., Fasoli, S. & Bohannon, R. (2003). Treatment interventions for the paretic upper limb of stroke survivors: a critical review. *Neurorehabilitation and neural repair*, 17(4), 220–226. <https://doi.org/10.1177/0888439003259415>
- Bartle, R. (1996). *Hearts, clubs, diamonds, spades: Players who suit MUDs*. <https://mud.co.uk/richard/hcnds.htm>
- Barzilay, O. & Wolf, A. (2013). Adaptive rehabilitation games. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 23(1), 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.09.004>
- Beat Games. (2018). *Beat Saber [Computer software]*. Beat Games. <https://beatsaber.com/>
- Bendel, O. (7. Januar 2019). Definition: Gamification. *Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH*. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/gamification-53874/version-368843>
- Bourbonnais, D., Bilodeau, S., Cross, P., Lemay, J. F., Caron, S. & Goyette, M. (1997). A motor reeducation program aimed to improve strength and coordination of the upper limb of a hemiparetic subject. *NeuroRehabilitation*, 9(1), 3–15. <https://doi.org/10.3233/NRE-1997-9102>
- Bowen, A., Hazelton, C., Pollock, A. & Lincoln, N. B. (2013). Cognitive rehabilitation for spatial neglect following stroke. *The Cochrane database of systematic reviews*(7), 1-92. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003586.pub3>

- Brill, M. (2009). Virtuelle Realität. In O. Günther, W. Karl, R. Lienhart & K. Zeppenfeld (Hg.), *Informatik im Fokus. Informatik im Fokus* (S. 5–43). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-540-85118-9_2
- Brox, E., Fernandez-Luque, L., Evertsen, G. & González-Hernández, J. (2011). Exergames For Elderly: Social exergames to persuade seniors to increase physical activity. In J. O'Donoghue, G. O'Hare & P. McCullagh (Hg.), *5th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), 2011: 23 - 26 May 2011, Dublin, Ireland ; [including workshop papers]*. Ieee. <https://doi.org/10.4108/icst.pervasivehealth.2011.246049>
- Burke, J. W., McNeill, M. D. J., Charles, D. K., Morrow, P. J., Crosbie, J. H. & McDonough, S. M. (2009). Optimising engagement for stroke rehabilitation using serious games. *The Visual Computer*, 25(12), 1085–1099. <https://doi.org/10.1007/s00371-009-0387-4>
- Burke, J. W., McNeill, M. D.J., Charles, D. K., Morrow, P. J., Crosbie, J. H. & McDonough, S. M. (2010). Designing engaging, playable games for rehabilitation. In *Proceedings of the 8th international conference on disability, virtual reality & associated technologies*.
- Burke, J. W., Mcneill, M., Charles, D., Morrow, P., Crosbie, J. & McDonough, S. (2009). Serious Games for Upper Limb Rehabilitation Following Stroke. In G. Rebolledo-Mendez (Hg.), *Conference in Games and Virtual Worlds for Serious Applications, 2009: VS-GAMES '09 ; Coventry, United Kingdom, 23 - 24 March 2009* (S. 103–110). Ieee. <https://doi.org/10.1109/VS-GAMES.2009.17>
- Bütefisch, C., Hummelsheim, H., Denzler, P. & Mauritz, K.-H. (1995). Repetitive training of isolated movements improves the outcome of motor rehabilitation of the centrally paretic hand. *Journal of the Neurological Sciences*, 130(1), 59–68. [https://doi.org/10.1016/0022-510X\(95\)00003-K](https://doi.org/10.1016/0022-510X(95)00003-K)
- Cameirao, M. S., Bermudez i Badia, S., Oller, E. D. & Verschure, P. F. M. J. (2008). Using a Multi-Task Adaptive VR System for Upper Limb Rehabilitation in the Acute Phase of Stroke. In *Virtual rehabilitation, 2008: Vancouver, BC, Canada, 25 - 27 Aug. 2008* (S. 2–7). Ieee. <https://doi.org/10.1109/ICVR.2008.4625112>
- Carvalho, R. N. S. de & Ishitani, L. (2012). Motivational factors for mobile serious games for elderly users. In *SBC-Proceedings of SBGames 2012*.
- Cauraugh, J., Light, K., Kim, S., Thigpen, M. & Behrman, A. (2000). Chronic motor dysfunction after stroke: recovering wrist and finger extension by electromyography-triggered neuromuscular stimulation. *Stroke*, 31(6), 1360–1364. <https://doi.org/10.1161/01.str.31.6.1360>
- Charles, D., Holmes, D., Charles, T. & McDonough, S. (2020). Virtual Reality Design for Stroke Rehabilitation. *Advances in experimental medicine and biology*, 1235, 53–87. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37639-0_4
- Charles, D., Mcneill, M., Mcalister, M., Black, M. & Kerr, A. (2005). Player-centred game design: Player modelling and adaptive digital games. *Proceedings of DiGRA 2005 Conference: Changing Views – Worlds in Play*, 285–298.
- Chen, J. (2007). Flow in games (and everything else). *Communications of the ACM*, 50(4), 31–34. <https://doi.org/10.1145/1232743.1232769>
- Chen, Y., Baran, M., Sundaram, H. & Rikakis, T. (2011). A low cost, adaptive mixed reality system for home-based stroke rehabilitation. *Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference, 2011*, 1827–1830. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2011.6090520>
- Chen, Y., Xu, W., Sundaram, H., Rikakis, T. & Liu, S.-M. (2007). Media adaptation framework in biofeedback system for stroke patient rehabilitation. In R. Lienhart, A. R. Prasad, A. Hanjalic, S. Choi, B. Bailey & N. Sebe (Hg.), *Proceedings of the 15th international conference on Multimedia* (S. 47–57). ACM. <https://doi.org/10.1145/1291233.1291248>
- Coote, S. & Stokes, E. K. (2001). Physiotherapy for Upper Extremity Dysfunction Following Stroke. *Physical Therapy Reviews*, 6(1), 63–69. <https://doi.org/10.1179/108331901786161609>
- Cowley, B., Charles, D., Black, M. & Hickey, R. (2008). Toward an understanding of flow in video games. *Computers in Entertainment*, 6(2), Artikel 20, 1–27. <https://doi.org/10.1145/1371216.1371223>
- Crosbie, J. H., McDonough, S. M., Gilmore, D. H. & Wiggam, M. I. (2004). The adjunctive role of mental practice in the rehabilitation of the upper limb after hemiplegic stroke: a pilot study. *Clinical rehabilitation*, 18(1), 60–68. <https://doi.org/10.1191/0269215504cr702oa>

- Crow, J. L., Lincoln, N. B., Nouri, F. M. & Weerdt, W. de (1989). The effectiveness of EMG biofeedback in the treatment of arm function after stroke. *International disability studies*, 11(4), 155–160. <https://doi.org/10.3109/03790798909166667>
- Csikszentmihalyi, M. (1997). *Finding flow: The psychology of engagement with everyday life* (1. Aufl.). *MasterMinds*. Basic Books. <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0830/97002008-b.html>
- Csikszentmihalyi, M. (2017). *Flow. Das Geheimnis des Glücks* (2. Auflage). Klett-Cotta; [Ciando].
- Dobkin, B. H. (2009). Motor rehabilitation after stroke, traumatic brain, and spinal cord injury: common denominators within recent clinical trials. *Current opinion in neurology*, 22(6), 563–569. <https://doi.org/10.1097/WCO.0b013e3283314b11>
- Evans, J. R., Fletcher, A. E., Wormald, R. P. L., Ng, E. S.-W., Stirling, S., Smeeth, L., Breeze, E., Bulpitt, C. J., Nunes, M., Jones, D. & Tulloch, A. (2002). Prevalence of visual impairment in people aged 75 years and older in Britain: results from the MRC trial of assessment and management of older people in the community. *The British journal of ophthalmology*, 86(7), 795–800. <https://doi.org/10.1136/bjo.86.7.795>
- Ezendam, D., Bongers, R. M. & Jannink, M. J. A. (2009). Systematic review of the effectiveness of mirror therapy in upper extremity function. *Disability and rehabilitation*, 31(26), 2135–2149. <https://doi.org/10.3109/09638280902887768>
- Feltz, D. L. & Landers, D. M. (1983). The Effects of Mental Practice on Motor Skill Learning and Performance: A Meta-analysis. *Journal of Sport Psychology*, 5(1), 25–57. <https://doi.org/10.1123/jsp.5.1.25>
- Ferraro, M., Palazzolo, J. J., Krol, J., Krebs, H. I., Hogan, N. & Volpe, B. T. (2003). Robot-aided sensorimotor arm training improves outcome in patients with chronic stroke. *Neurology*, 61(11), 1604–1607. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000095963.00970.68>
- Gama, A. D., Chaves, T., Figueiredo, L. & Teichrieb, V. (2012). Guidance and Movement Correction Based on Therapeutics Movements for Motor Rehabilitation Support Systems. In *14th Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR), 2012: 28 - 31 May 2012, Rio de Janeiro, Brazil ; proceedings* (S. 191–200). Ieee. <https://doi.org/10.1109/SVR.2012.15>
- Ghika-Schmid, F., Ghika, J., Regli, F. & Bogousslavsky, J. (1997). Hyperkinetic movement disorders during and after acute stroke: The Lausanne Stroke Registry. *Journal of the Neurological Sciences*, 146(2), 109–116. [https://doi.org/10.1016/S0022-510X\(96\)00290-0](https://doi.org/10.1016/S0022-510X(96)00290-0)
- Goldenberg, G. (2012). Visuelle Objektagnosie und Prosopagnosie. In H.-O. Karnath & H. Ackermann (Hg.), *Springer-Lehrbuch. Kognitive Neurowissenschaften: Mit ... 28 Tabellen* (3. Aufl., S. 161–171). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-25527-4_15
- Gorsic, M., Darzi, A. & Novak, D. (2017). Comparison of two difficulty adaptation strategies for competitive arm rehabilitation exercises. *IEEE ... International Conference on Rehabilitation Robotics : [proceedings], 2017*, 640–645. <https://doi.org/10.1109/ICORR.2017.8009320>
- Gouaïch, A., Hocine, N., van Dokkum, L. & Mottet, D. (2012). Digital-pheromone based difficulty adaptation in post-stroke therapeutic games. In G. Luo (Hg.), *Proceedings of the 2nd ACM SIGHIT International Health Informatics Symposium* (S. 5–11). ACM. <https://doi.org/10.1145/2110363.2110368>
- Grimm, F., Naros, G. & Gharabaghi, A. (2016). Compensation or Restoration: Closed-Loop Feedback of Movement Quality for Assisted Reach-to-Grasp Exercises with a Multi-Joint Arm Exoskeleton. *Frontiers in neuroscience*, 10, Artikel 280, 1–8. <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00280>
- Handley, A., Medcalf, P., Hellier, K. & Dutta, D. (2009). Movement disorders after stroke. *Age and ageing*, 38(3), 260–266. <https://doi.org/10.1093/ageing/afp020>
- Hatano, S. (1976). Experience from a multicentre stroke register: a preliminary report. *Bulletin of the World Health Organization*, 54(5), 541–553.
- Heidler, M.-D. (2007). „Kognitive Dysphasien“ - Klassifikation, Diagnostik und Therapie nichtaphasischer zentraler Sprachstörungen. In *Forum Logopädie*.
- Heiss, W.-D. & Teasel, R. W. (2006). Brain recovery and rehabilitation. *Stroke*, 37(2), 314–316. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000200454.98176.04>
- Hepworth, L., Rowe, F., Walker, M., Rockliffe, J., Noonan, C., Howard, C. & Currie, J. (2016). Post-stroke Visual Impairment: A Systematic Literature Review of Types and Recovery of Visual Conditions. *Ophthalmology Research: An International Journal*, 5(1), 1–43. <https://doi.org/10.9734/OR/2016/21767>

- Hoda, M., Hoda, Y., Hage, A., Alelaiwi, A. & El Saddik, A. (2015). Cloud-based rehabilitation and recovery prediction system for stroke patients. *Cluster Computing*, 18(2), 803–815. <https://doi.org/10.1007/s10586-015-0448-6>
- Holden, M. K. (2005). Virtual environments for motor rehabilitation: review. *Cyberpsychology & behavior: the impact of the Internet, multimedia and virtual reality on behavior and society*, 8(3), 187-211. <https://doi.org/10.1089/cpb.2005.8.187>
- Hsu, A.-L., Tang, P.-F. & Jan, M.-H. (2003). Analysis of impairments influencing gait velocity and asymmetry of hemiplegic patients after mild to moderate stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84(8), 1185–1193. [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(03\)00030-3](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(03)00030-3)
- Hubbard, I. J., Parsons, M. W., Neilson, C. & Carey, L. M. (2009). Task-specific training: evidence for and translation to clinical practice. *Occupational therapy international*, 16(3-4), 175–189. <https://doi.org/10.1002/oti.275>
- Hunicke, R. (2005). The case for dynamic difficulty adjustment in games. In N. Lee (Hg.), *Proceedings of the 2005 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology* (S. 429–433). ACM. <https://doi.org/10.1145/1178477.1178573>
- Hunicke, R., Marc LeBlanc & Robert Zubek. (2004). MDA: A formal approach to game design and game research. In *Challenges in game artificial intelligence: Papers from the AAAI workshop, [held July 25-26, 2004, in San Jose, California, USA]* (Technical report / American Association for Artificial Intelligence WS WS-04-04). Menlo Park, Calif.: AAAI workshop.
- Ijsselsteijn, W., Nap, H. H., Kort, Y. de & Poels, K. (2007). Digital game design for elderly users. In B. Kapralos, M. Katchabaw & R. Rajnovich (Hg.), *Proceedings of the 2007 Conference on Future Play: 2007, Toronto, Canada, November 14-17, 2007* (S. 17–22). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/1328202.1328206>
- Ijsselsteijn, W. A., Ridder, H. de, Freeman, J. & Avons, S. E. (2000). Presence: concept, determinants, and measurement. In B. E. Rogowitz & T. N. Pappas (Hg.), *SPIE Proceedings, Human Vision and Electronic Imaging V* (S. 520–529). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.387188>
- Institut für Games. (3. August 2020). <https://www.hdm-stuttgart.de/ifg/forschung/>
- Ip, D. (2008). *Casebook of Orthopedic Rehabilitation: Including Virtual Reality*. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74427-6>
- Jennett, C., Cox, A. L., Cairns, P., Dhoparee, S., Epps, A., Tijs, T. & Walton, A. (2008). Measuring and defining the experience of immersion in games. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(9), 641–661. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2008.04.004>
- Jennings-Teats, M., Smith, G. & Wardrip-Fruin, N. (2010). Polymorph. In R. Bidarra (Hg.), *Proceedings of the 2010 Workshop on Procedural Content Generation in Games* (S. 1–4). ACM. <https://doi.org/10.1145/1814256.1814267>
- Kallus, K. W. (2016). *Erstellung von Fragebogen* (2. Aufl.). *utb-studi-e-book: Bd. 4465*. facultas. <http://www.utb-studi-e-book.de/9783838544656>
- Kamper, D. G., Fischer, H. C., Cruz, E. G. & Rymer, W. Z. (2006). Weakness is the primary contributor to finger impairment in chronic stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 87(9), 1262–1269. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2006.05.013>
- Klein, R. (1991). Age-related eye disease, visual impairment, and driving in the elderly. *Human factors*, 33(5), 521–525. <https://doi.org/10.1177/001872089103300504>
- Kohler, F., Schmitz-Rode, T. & Disselhorst-Klug, C. (2010). Introducing a feedback training system for guided home rehabilitation. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 7, Artikel 2, 1–11. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-7-2>
- Kolominsky-Rabas, P. L. & Heuschmann, P. U. (2002). Inzidenz, Ätiologie und Langzeitprognose des Schlaganfalls [Incidence, etiology and long-term prognosis of stroke]. *Fortschritte der Neurologie-Psychiatrie*, 70(12), 657–662. <https://doi.org/10.1055/s-2002-35857>
- Kolominsky-Rabas, P. L., Sarti, C., Heuschmann, P. U., Graf, C., Siemonsen, S., Neundoerfer, B., Katalinic, A., Lang, E., Gassmann, K. G. & Stockert, T. R. von (1998). A prospective community-based study of stroke in Germany--the Erlangen Stroke Project (ESPro): incidence and case fatality at 1, 3, and 12 months. *Stroke*, 29(12), 2501–2506. <https://doi.org/10.1161/01.str.29.12.2501>
- Kolominsky-Rabas, P. L., Heuschmann, P. U., Marschall, D., Emmert, M., Baltzer, N., Neundörfer, B., Schöffski, O. & Krobot, K. J. (2006). Lifetime cost of ischemic stroke in Germany: results and

- national projections from a population-based stroke registry: the Erlangen Stroke Project. *Stroke*, 37(5), 1179–1183. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000217450.21310.90>
- Kolominsky-Rabas, P. L., Wiedmann, S., Weingärtner, M., Liman, T. G., Endres, M., Schwab, S., Buchfelder, M. & Heuschmann, P. U. (2015). Time trends in incidence of pathological and etiological stroke subtypes during 16 years: the Erlangen Stroke Project. *Neuroepidemiology*, 44(1), 24–29. <https://doi.org/10.1159/000371353>
- Koster, R. (2013). *A theory of fun for game design* (2nd ed.). O'Reilly Media. <http://proquest.tech.safaribooksonline.de/9781449363208>
- Krakauer, J. W. (2005). Arm function after stroke: from physiology to recovery. *Seminars in neurology*, 25(4), 384–395. <https://doi.org/10.1055/s-2005-923533>
- Kwakkel, G., Wagenaar, R. C., Koelman, T. W., Lankhorst, G. J. & Koetsier, J. C. (1997). Effects of intensity of rehabilitation after stroke. A research synthesis. *Stroke*, 28(8), 1550–1556. <https://doi.org/10.1161/01.str.28.8.1550>
- Kwakkel, G., Kollen, B. J., van der Grond, J. & Prevo, A. J. H. (2003). Probability of regaining dexterity in the flaccid upper limb: impact of severity of paresis and time since onset in acute stroke. *Stroke*, 34(9), 2181–2186. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000087172.16305.CD>
- Lamoth, C. J. C., Alingh, R. & Caljouw, S. R. (2012). Exergaming for elderly: effects of different types of game feedback on performance of a balance task. *Annual Review of Cybertherapy and Telemedicine*, 93–97. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-121-2-103>
- Lang, C. E., MacDonald, J. R., Reisman, D. S., Boyd, L., Jacobson Kimberley, T., Schindler-Ivens, S. M., Hornby, T. G., Ross, S. A. & Scheets, P. L. (2009). Observation of amounts of movement practice provided during stroke rehabilitation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 90(10), 1692–1698. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2009.04.005>
- Lawrence, E. S., Coshall, C., Dundas, R., Stewart, J., Rudd, A. G., Howard, R. & Wolfe, C. D. (2001). Estimates of the prevalence of acute stroke impairments and disability in a multiethnic population. *Stroke*, 32(6), 1279–1284. <https://doi.org/10.1161/01.str.32.6.1279>
- Lichy, C. & Hacke, W. (2010). Schlaganfall [Stroke]. *Der Internist*, 51(8), 1003–1011. <https://doi.org/10.1007/s00108-009-2540-6>
- Liu, C., Agrawal, P., Sarkar, N. & Chen, S. (2009). Dynamic Difficulty Adjustment in Computer Games Through Real-Time Anxiety-Based Affective Feedback. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 25(6), 506–529. <https://doi.org/10.1080/10447310902963944>
- Ma, V. Y., Chan, L. & Carruthers, K. J. (2014). Incidence, prevalence, costs, and impact on disability of common conditions requiring rehabilitation in the United States: stroke, spinal cord injury, traumatic brain injury, multiple sclerosis, osteoarthritis, rheumatoid arthritis, limb loss, and back pain. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 95(5), 986–995. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2013.10.032>
- Macleay, N., Pound, P., Wolfe, C. & Rudd, A. (2000). A critical review of the concept of patient motivation in the literature on physical rehabilitation. *Soc Sci Med*, 50(4), 495–506.
- Marczewski, A. (2015). *Even ninja monkeys like to play: Gamification, game thinking and motivational design*. Gamified UK.
- Miller, G. J. & Light, K. E. (1997). Strength training in spastic hemiparesis: should it be avoided? *NeuroRehabilitation*, 9(1), 17–28. <https://doi.org/10.3233/NRE-1997-9103>
- Miltner, W. H., Bauder, H., Sommer, M., Dettmers, C. & Taub, E. (1999). Effects of constraint-induced movement therapy on patients with chronic motor deficits after stroke: a replication. *Stroke*, 30(3), 586–592. <https://doi.org/10.1161/01.str.30.3.586>
- Missura, O. & Gärtner, T. (2009). Player Modeling for Intelligent Difficulty Adjustment. In J. Gama, V. Santos Costa, A. M. Jorge & P. B. Brazdil (Hg.), *Lecture notes in computer science Lecture notes in artificial intelligence: Bd. 5808. Discovery science: 12th international conference, DS 2009, Porto, Portugal, October 3 - 5, 2009 ; proceedings* (Bd. 5808, S. 197–211). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04747-3_17
- Mulder, T. (2007). Motor imagery and action observation: cognitive tools for rehabilitation. *Journal of neural transmission (Vienna, Austria : 1996)*, 114(10), 1265–1278. <https://doi.org/10.1007/s00702-007-0763-z>

- Nakamura, J. & Csikszentmihalyi, M. (2014). The Concept of Flow. In M. Csikszentmihalyi (Hg.), *Flow and the Foundations of Positive Psychology: The Collected Works of Mihaly Csikszentmihalyi* (S. 239–263). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9088-8_16
- Nakayama, H., Stig Jørgensen, H., Otto Raaschou, H. & Skyhøj Olsen, T. (1994). Recovery of upper extremity function in stroke patients: The Copenhagen stroke study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 75(4), 394–398. [https://doi.org/10.1016/0003-9993\(94\)90161-9](https://doi.org/10.1016/0003-9993(94)90161-9)
- Page, S. J., Levine, P. & Leonard, A. (2007). Mental practice in chronic stroke: results of a randomized, placebo-controlled trial. *Stroke*, 38(4), 1293–1297. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000260205.67348.2b>
- Pagulayan, R. J., Keeker, K., Wixon, D., Romero, R. L. & Fuller, T. (2003). User-centered design in games. In J. A. Jacko & A. Sears (Hg.), *Human factors and ergonomics. The human-computer interaction handbook: Fundamentals, evolving technologies and emerging applications* (S. 883–906). Erlbaum.
- Pak, S. & Patten, C. (2008). Strengthening to promote functional recovery poststroke: an evidence-based review. *Topics in stroke rehabilitation*, 15(3), 177–199. <https://doi.org/10.1310/tsr1503-177>
- Palm, F., Urbanek, C., Rose, S., Buggle, F., Bode, B., Hennerici, M. G., Schmieder, K., Inselmann, G., Reiter, R., Fleischer, R., Piplack, K.-O., Safer, A., Becher, H. & Grau, A. J. (2010). Stroke Incidence and Survival in Ludwigshafen am Rhein, Germany: the Ludwigshafen Stroke Study (LuSSt). *Stroke*, 41(9), 1865–1870. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.110.592642>
- Parker, V. M., Wade, D. T. & Langton Hewer, R. (1986). Loss of arm function after stroke: measurement, frequency, and recovery. *International Rehabilitation Medicine*, 8(2), 69–73. <https://doi.org/10.3109/03790798609166178>
- Peszczynski, M., Benson, D. F., Collins, J. M., Darley, F. L., Diller, L., Greenhouse, A. H., Katzen, F. P., Lake, L. F., Rothberg, J. S. & Waggoner, R. W. (1972). II. Stroke Rehabilitation. *Stroke*, 3(3), 375–407. <https://doi.org/10.1161/01.STR.3.3.375>
- Platz, T. (2004). Impairment-oriented Training (IOT) – scientific concept and evidence-based treatment strategies. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 22(3-5), 301–315. <https://content.iospress.com/articles/restorative-neurology-and-neuroscience/rnn00266>
- Pollock, A., Hazelton, C., Henderson, C. A., Angilley, J., Dhillon, B., Langhorne, P., Livingstone, K., Munro, F. A., Orr, H., Rowe, F. J. & Shahani, U. (2011a). Interventions for disorders of eye movement in patients with stroke. *The Cochrane database of systematic reviews*(10), Artikel CD008389, 1-33. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008389.pub2>
- Pollock, A., Hazelton, C., Henderson, C. A., Angilley, J., Dhillon, B., Langhorne, P., Livingstone, K., Munro, F. A., Orr, H., Rowe, F. J. & Shahani, U. (2011b). Interventions for visual field defects in patients with stroke. *The Cochrane database of systematic reviews*(10), Artikel CD008388, 1-73. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008388.pub2>
- Pollock, A., Hazelton, C., Henderson, C. A., Angilley, J., Dhillon, B., Langhorne, P., Livingstone, K., Munro, F. A., Orr, H., Rowe, F. J. & Shahani, U. (2012). Interventions for age-related visual problems in patients with stroke. *The Cochrane database of systematic reviews*(3), Artikel CD008390, 1-34. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008390.pub2>
- Popović, M. D., Kostić, M. D., Rodić, S. Z. & Konstantinović, L. M. (2014). Feedback-mediated upper extremities exercise: increasing patient motivation in poststroke rehabilitation. *BioMed research international*, 2014, Artikel 520374, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2014/520374>
- Reidy, A., Minassian, D. C., Vafidis, G., Joseph, J., Farrow, S., Wu, J., Desai, P. & Connolly, A. (1998). Prevalence of serious eye disease and visual impairment in a north London population: population based, cross sectional study. *BMJ (Clinical research ed.)*, 316(7145), 1643–1646. <https://doi.org/10.1136/bmj.316.7145.1643>
- Ribo, M., Pinz, A. & Fuhrmann, A. L. (2001, Juli). A new optical tracking system for virtual and augmented reality applications. In *2001 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference* (S. 1932–1936). I E E E. <https://doi.org/10.1109/IMTC.2001.929537>
- Richards, L. G., Stewart, K. C., Woodbury, M. L., Senesac, C. & Cauraugh, J. H. (2008). Movement-dependent stroke recovery: a systematic review and meta-analysis of TMS and fMRI evidence. *Neuropsychologia*, 46(1), 3–11. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.08.013>
- Rijntjes, M., Haevernick, K., Barzel, A., van den Bussche, H., Ketels, G. & Weiller, C. (2009). Repeat therapy for chronic motor stroke: a pilot study for feasibility and efficacy. *Neurorehabilitation and neural repair*, 23(3), 275–280. <https://doi.org/10.1177/1545968308324226>

- Rizzo, A. "S." & Kim, G. J. (2005). A SWOT Analysis of the Field of Virtual Reality Rehabilitation and Therapy. *Presence Teleoperators & Virtual Environments*, 14(2), 119–146. <https://doi.org/10.1162/1054746053967094>
- RKI - Coronavirus SARS-CoV-2 - Informationen und Hilfestellungen für Personen mit einem höheren Risiko für einen schweren COVID-19-Krankheitsverlauf. (2. August 2020). https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Risikogruppen.html
- Rowe, F., Brand, D., Jackson, C. A., Price, A., Walker, L., Harrison, S., Eccleston, C., Scott, C., Akerman, N., Dodridge, C., Howard, C., Shipman, T., Sperring, U., MacDiarmid, S. & Freeman, C. (2009). Visual impairment following stroke: do stroke patients require vision assessment? *Age and ageing*, 38(2), 188–193. <https://doi.org/10.1093/ageing/afn230>
- Sacco, R. L., Kasner, S. E., Broderick, J. P., Caplan, L. R., Connors, J. J. B., Culebras, A., Elkind, M. S. V., George, M. G., Hamdan, A. D., Higashida, R. T., Hoh, B. L., Janis, L. S., Kase, C. S., Kleindorfer, D. O., Lee, J.-M., Moseley, M. E., Peterson, E. D., Turan, T. N., Valderrama, A. L. & Vinters, H. V. (2013). An updated definition of stroke for the 21st century: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*, 44(7), 2064–2089. <https://doi.org/10.1161/STR.0b013e318296aeca>
- Shin, J.-H., Ryu, H. & Jang, S. H. (2014). A task-specific interactive game-based virtual reality rehabilitation system for patients with stroke: a usability test and two clinical experiments. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 11, Artikel 32, 1–10. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-32>
- Sigrist, R., Rauter, G., Riener, R. & Wolf, P. (2013). Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: a review. *Psychonomic bulletin & review*, 20(1), 21–53. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0333-8>
- Slater, M. (1999). Measuring Presence: A Response to the Witmer and Singer Presence Questionnaire. *Presence Teleoperators & Virtual Environments*, 8(5), 560–565. <https://doi.org/10.1162/105474699566477>
- Sodhi, R., Benko, H. & Wilson, A. (2012). LightGuide. In J. A. Konstan, E. H. Chi & K. Höök (Hg.), *CHI 2012, it's the experience: The 30th ACM Conference on Human Factors in Computing Systems; Austin, Texas, USA, May 5 - 10, 2012* (S. 179). ACM. <https://doi.org/10.1145/2207676.2207702>
- Sommerfeld, D. K., Eek, E. U.-B., Svensson, A.-K., Holmqvist, L. W. & Arbin, M. H. von (2004). Spasticity after stroke: its occurrence and association with motor impairments and activity limitations. *Stroke*, 35(1), 134–139. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000105386.05173.5E>
- Spronck, P., Sprinkhuizen-Kuyper, I. & Postma, E. (2004). Difficulty scaling of game AI. In *Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Games and Simulation (GAME-on 2004)*.
- Steam-Hard- & Softwareumfrage*. (9. August 2020). <https://store.steampowered.com/hwsurvey/>
- Stein, A., Yotam, Y., Puzis, R., Shani, G. & Taieb-Maimon, M. (2018). EEG-triggered dynamic difficulty adjustment for multiplayer games. *Entertainment Computing*, 25, 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2017.11.003>
- Steuer, J. (1992). Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. *Journal of Communication*, 42(4), 73–93. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x>
- Subramanian, S., Knaut, L. A., Beaudoin, C., McFadyen, B. J., Feldman, A. G. & Levin, M. F. (2007). Virtual reality environments for post-stroke arm rehabilitation. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 4, Artikel 20, 1–5. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-4-20>
- Szegletes, L., Koles, M. & Forstner, B. (2014). The design of a biofeedback framework for dynamic difficulty adjustment in games. In *5th IEEE Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom), 2014: 5 - 7 Nov. 2014, Vietri sul Mare, Italy* (S. 295–299). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CogInfoCom.2014.7020465>
- Teasell, R., Bitensky, J., Salter, K. & Bayona, N. A. (2005). The role of timing and intensity of rehabilitation therapies. *Topics in stroke rehabilitation*, 12(3), 46–57. <https://doi.org/10.1310/ETDP-6DR4-D617-VMVF>
- Thom, T., Haase, N., Rosamond, W., Howard, V. J., Rumsfeld, J., Manolio, T., Zheng, Z.-J., Flegal, K., O'Donnell, C., Kittner, S., Lloyd-Jones, D., Goff, D. C., Hong, Y., Adams, R., Friday, G., Furie, K., Gorelick, P., Kissela, B., Marler, J., . . . Wolf, P. (2006). Heart disease and stroke statistics--2006 update: a report from the American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics

- Subcommittee. *Circulation*, 113(6), 85-151.
<https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.105.171600>
- Tobler-Ammann, B. C., Surer, E., Bruin, E. D. de, Rabuffetti, M., Borghese, N. A., Mainetti, R., Pirovano, M., Wittwer, L. & Knols, R. H. (2017). Exergames Encouraging Exploration of Hemineglected Space in Stroke Patients With Visuospatial Neglect: A Feasibility Study. *JMIR serious games*, 5(3), Artikel 17, 1-18. <https://doi.org/10.2196/games.7923>
- Trombly, C. A. (1995). *Occupational therapy of physical dysfunction* (4. ed.). Williams & Wilkins.
- Ullrich, D. & Diefenbach, S. (2010). INTUI: Exploring the Facets of Intuitive Interaction. In J. Ziegler & A. Schmidt (Hg.), *Mensch and Computer 2010: 10. fachübergreifende Konferenz für interaktive und kooperative Medien. Interaktive Kulturen* (S. 251–260). WALTER DE GRUYTER.
- van der Lee, J. H., Wagenaar, R. C., Lankhorst, G. J., Vogelaar, T. W., Devillé, W. L. & Bouter, L. M. (1999). Forced use of the upper extremity in chronic stroke patients: results from a single-blind randomized clinical trial. *Stroke*, 30(11), 2369–2375. <https://doi.org/10.1161/01.str.30.11.2369>
- van Someren, M. W., Barnard, Y. F. & Sandberg, J. A. C. (1994). *The think aloud method: A practical guide to modelling cognitive processes*. Academic Press.
- Virani, S. S., Alonso, A., Benjamin, E. J., Bittencourt, M. S., Callaway, C. W., Carson, A. P., Chamberlain, A. M., Chang, A. R., Cheng, S., Delling, F. N., Djousse, L., Elkind, M. S. V., Ferguson, J. F., Fornage, M., Khan, S. S., Kissela, B. M., Knutson, K. L., Kwan, T. W., Lackland, D. T., . . . Tsao, C. W. (2020). Heart Disease and Stroke Statistics-2020 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation*, 141(9), 139-596.
<https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000757>
- VIVE™ Deutschland | VIVE Hardware kaufen. (9. August 2020).
<https://www.vive.com/de/product/vive/#vive-spec>
- Volpe, B. T., Krebs, H. I., Hogan, N., Edelstein OTR, L., Diels, C. & Aisen, M. (2000). A novel approach to stroke rehabilitation: robot-aided sensorimotor stimulation. *Neurology*, 54(10), 1938–1944. <https://doi.org/10.1212/wnl.54.10.1938>
- Weiss, P. L., Kizony, R., Feintuch, U. & Katz, N. (2006). Virtual reality in neurorehabilitation. In M. E. Selzer (Hg.), *Textbook of neural repair and rehabilitation: Volume 2: Medical Neurorehabilitation* (S. 182–197). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511545078.015>
- Whitall, J., McCombe Waller, S., Silver, K. H. & Macko, R. F. (2000). Repetitive bilateral arm training with rhythmic auditory cueing improves motor function in chronic hemiparetic stroke. *Stroke*, 31(10), 2390–2395. <https://doi.org/10.1161/01.str.31.10.2390>
- Wie sind die Systemanforderungen? (9. August 2020).
https://www.vive.com/de/support/vive/category_howto/what-are-the-system-requirements.html
- Winstein, C. J., Pohl, P. S., Cardinale, C., Green, A., Scholtz, L. & Waters, C. S. (1996). Learning a partial-weight-bearing skill: effectiveness of two forms of feedback. *Physical therapy*, 76(9), 985–993. <https://doi.org/10.1093/ptj/76.9.985>
- Wit, L. de, Putman, K., Dejaeger, E., Baert, I., Berman, P., Bogaerts, K., Brinkmann, N., Connell, L., Feys, H., Jenni, W., Kaske, C., Lesaffre, E., Leys, M., Lincoln, N., Louckx, F., Schuback, B., Schupp, W., Smith, B. & Weerd, W. de (2005). Use of time by stroke patients: a comparison of four European rehabilitation centers. *Stroke*, 36(9), 1977–1983.
<https://doi.org/10.1161/01.STR.0000177871.59003.e3>
- Witmer, B. G. & Singer, M. J. (1998). Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. *Presence Teleoperators & Virtual Environments*, 7(3), 225–240.
<https://doi.org/10.1162/105474698565686>
- Wolf, S. L., Winstein, C. J., Miller, J. P., Taub, E., Uswatte, G., Morris, D., Giuliani, C., Light, K. E. & Nichols-Larsen, D. (2006). Effect of constraint-induced movement therapy on upper extremity function 3 to 9 months after stroke: the EXCITE randomized clinical trial. *JAMA*, 296(17), 2095–2104. <https://doi.org/10.1001/jama.296.17.2095>
- Wüest, S., van de Langenberg, R. & Bruin, E. D. de (2014). Design considerations for a theory-driven exergame-based rehabilitation program to improve walking of persons with stroke. *European Review of Aging and Physical Activity*, 11(2), 119–129. <https://doi.org/10.1007/s11556-013-0136-6>
- Wulf, G., Chiviawsky, S. & Lewthwaite, R. (2012). Altering mindset can enhance motor learning in older adults. *Psychology and aging*, 27(1), 14–21. <https://doi.org/10.1037/a0025718>

- Xue, S., Wu, M., Kolen, J., Aghdaie, N. & Zaman, K. A. (2017). Dynamic Difficulty Adjustment for Maximized Engagement in Digital Games. In R. Barrett (Hg.), *Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web Companion* (S. 465–471). International World Wide Web Conferences Steering Committee. <https://doi.org/10.1145/3041021.3054170>
- Yavuzer, G., Selles, R., Sezer, N., Sütbeyaz, S., Bussmann, J. B., Köseoğlu, F., Atay, M. B. & Stam, H. J. (2008). Mirror therapy improves hand function in subacute stroke: a randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89(3), 393–398. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.08.162>
- Yu, H. & Trawick, T. (2011). Personalized Procedural Content Generation to Minimize Frustration and Boredom Based on Ranking Algorithm. In *AIIDE'11, Proceedings of the Seventh AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment* (S. 208–213). AAAI Press.
- Zhang, H., Shen, Z., Lin, J., Chen, Y. & Miao, Y. (2016). Familiarity design in exercise games for elderly. *International Journal of Information Technology*, 22(2), 1–19. <https://pdfs.semanticscholar.org/994d/3dbda3f2c66cee4d1664dc27cb25b28c6afd.pdf>

ANHANG

Einwilligungserklärung und Überblick zum Datenschutz beim Nutzertest (vor beiden Fragebögen)

Überblick

Im Rahmen des Fragebogens werden keine personenbezogenen Daten erhoben. Die Teilnahme ist freiwillig und es ist jederzeit möglich die Teilnahme abubrechen.

Wer ist für Ihre Datenerfassung verantwortlich und wer genau hat Zugriff auf Ihre Daten?

Die Datenerfassung und -verarbeitung im Rahmen des Nutzertests erfolgt durch den Testleiter. Zugriff auf die Daten haben ausschließlich die Testleiter/Bacheloranten. Bei Fragen können Sie diesen unter folgenden Kontaktdaten erreichen:

Amelie Kassner

Mail: ak233@hdm-stuttgart.de

Wie und welche Daten werden erfasst?

Ihre Daten werden dadurch erfasst, dass Sie uns diese im Rahmen dieser Einwilligungserklärung für den Nutzertest mitteilen. Die Datenerhebung erfolgt somit auf Grundlage der von Ihnen erteilten Einwilligung nach Art. 6 Abs. 1 S. 1 lit. a DSGVO. Hierbei können Kommentare schriftlich vom Testleiter erfasst werden.

Wofür werden Ihre Daten genutzt?

Die Daten werden zur Auswertung der Hypothese der Bachelorarbeit genutzt. Ihre Daten werden ausschließlich im Rahmen der Bachelorarbeit verwendet und nicht an Dritte weitergegeben.

Wie werden die Daten gespeichert und wann werden sie gelöscht?

Die Daten werden lokal auf den Test-Computern zur Auswertung gespeichert. Nach Abschluss der Auswertung werden Ihre Daten gelöscht.

Ich habe die oben genannten Hinweise gelesen und stimme der Verarbeitung meiner Daten zu

- Ja
- Nein

Fragebogen Feedback

Allgemeine Informationen

Alter: _____

Geschlecht:

- weiblich männlich divers Ich fühle mich zu nichts davon zugehörig
 keine Angabe

Derzeitige Beschäftigung: _____

Sind Sie Rechts- oder Linkshänder?

- Rechtshänder Linkshänder

Haben Sie Erfahrung mit VR Anwendungen?

- | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------|
| Keine | <input type="radio"/> | Viel |

Haben Sie Erfahrung mit Computerspielen?

- | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------|
| Keine | <input type="radio"/> | Viel |

Fragen zu Sehvermögen und Empfinden

Haben Sie visuelle Einschränkungen?

- Ja Nein

Wenn ja, welche? (Kurzichtig, weitsichtig, schielen, grüner oder grauer Star, etc.)

Wurde die Anwendung mit einer Korrektur getestet oder nicht? (Brille, Kontaktlinsen, etc.)

- Ja Nein

Hatten Sie Beschwerden beim oder nach dem Spielen?

- Ja Nein

Wenn ja, welche? (Kopfschmerzen, Schwindel, Augenschmerzen, etc.)

Feedback

Haben Sie Feedback bemerkt?

- Ja Nein

Welche Elemente haben Sie als Feedback erkannt?

Mit welchem Feedback haben Sie die Steuerung zuerst getestet?

- Pfeil
- Hand

Pfeil

Wie empfanden Sie die Aufgabe mit dem Pfeil als Feedback?

	1	2	3	4	5	6	7	
Demotivierend	○	○	○	○	○	○	○	motivierend

Bitte vergegenwärtigen Sie sich jetzt noch einmal die Nutzung der Steuerung und beschreiben Sie Ihr Erleben der Nutzung mit Hilfe der folgenden Aussagenpaare. Die Paare stellen jeweils extreme Gegensätze dar, zwischen denen eine Abstufung möglich ist. Vielleicht passen einige Aussagen nicht so gut, kreuzen Sie aber trotzdem bitte immer an, welcher Begriff Ihrer Meinung nach eher zutrifft. Denken Sie daran, dass es keine "richtigen" oder "falschen" Antworten gibt - nur Ihre persönliche Meinung zählt!

Bei der Nutzung der Steuerung mithilfe des Pfeils als Feedback...

	1	2	3	4	5	6	7	
...handelte ich überlegt	○	○	○	○	○	○	○	...handelte ich spontan
	1	2	3	4	5	6	7	
...erreichte ich mein Ziel nur mit Anstrengung	○	○	○	○	○	○	○	...erreichte ich mein Ziel mit Leichtigkeit

Warum?

	1	2	3	4	5	6	7	
...handelte ich unbewusst, ohne lange über die einzelnen Schritte nachzudenken	○	○	○	○	○	○	○	...führte ich bewusst einen Schritt nach dem anderen aus
	1	2	3	4	5	6	7	
...ließ ich mich von meinem Verstand leiten	○	○	○	○	○	○	○	...ließ ich mich von meinem Gefühl leiten
	1	2	3	4	5	6	7	
...war ich orientierungslos	○	○	○	○	○	○	○	...konnte ich mich gut zurechtfinden

Warum?

	1	2	3	4	5	6	7	
...handelte ich, ohne nachzudenken	○	○	○	○	○	○	○	...konnte ich jeden Schritt genau begründen

Die Nutzung der Steuerung mithilfe des Pfeils als Feedback...

	1	2	3	4	5	6	7	
...erforderte viel Aufmerksamkeit	<input type="radio"/>	...ging wie von selbst						

Warum?

	1	2	3	4	5	6	7	
...war einfach	<input type="radio"/>	...war schwierig						

Warum?

	1	2	3	4	5	6	7	
...war sehr intuitiv	<input type="radio"/>	...war gar nicht intuitiv						

Warum?

	1	2	3	4	5	6	7	
...fiel mir leicht	<input type="radio"/>	...fiel mir schwer						

Im Nachhinein...

	1	2	3	4	5	6	7	
...kann ich mich gut an die Bedienung erinnern	<input type="radio"/>	...fällt es mir schwer, mich zu erinnern wie die Steuerung bedient wird						

	1	2	3	4	5	6	7	
...kann ich nicht sagen, auf welche Art und Weise ich die Steuerung bedient habe	<input type="radio"/>	...kann ich genau sagen, auf welche Art und Weise ich die Steuerung bedient habe						

Warum?

Das Feedback mit dem Pfeil an sich war...

	1	2	3	4	5	6	7	
...störend	<input type="radio"/>	...nicht störend						

Warum?

Gibt es etwas, das das Feedback verbessern würde?

Sonstige Anmerkungen?

Hand

Wie empfanden Sie die Aufgabe mit der Hand als Feedback?

	1	2	3	4	5	6	7	
Demotivierend	<input type="radio"/>	motivierend						

Bitte vergegenwärtigen Sie sich jetzt noch einmal die Nutzung der Steuerung und beschreiben Sie Ihr Erleben der Nutzung mit Hilfe der folgenden Aussagenpaare. Die Paare stellen jeweils extreme Gegensätze dar, zwischen denen eine Abstufung möglich ist. Vielleicht passen einige Aussagen nicht so gut, kreuzen Sie aber trotzdem bitte immer an, welcher Begriff Ihrer Meinung nach eher zutrifft. Denken Sie daran, dass es keine "richtigen" oder "falschen" Antworten gibt - nur Ihre persönliche Meinung zählt!

Bei der Nutzung der Steuerung mithilfe der Hand als Feedback...

	1	2	3	4	5	6	7	
...handelte ich überlegt	<input type="radio"/>	...handelte ich spontan						
...erreichte ich mein Ziel nur mit Anstrengung	<input type="radio"/>	...erreichte ich mein Ziel mit Leichtigkeit						

Warum?

	1	2	3	4	5	6	7	
...handelte ich unbewusst, ohne lange über die einzelnen Schritte nachzudenken	<input type="radio"/>	...führte ich bewusst einen Schritt nach dem anderen aus						
...ließ ich mich von meinem Verstand leiten	<input type="radio"/>	...ließ ich mich von meinem Gefühl leiten						
...war ich orientierungslos	<input type="radio"/>	...konnte ich mich gut zurechtfinden						

Warum?

	1	2	3	4	5	6	7	
...handelte ich, ohne nachzudenken	<input type="radio"/>	...konnte ich jeden Schritt genau begründen						

Die Nutzung der Steuerung mithilfe der Hand als Feedback...

	1	2	3	4	5	6	7	
...erforderte viel Aufmerksamkeit	<input type="radio"/>	...ging wie von selbst						

Warum?

	1	2	3	4	5	6	7	
...war einfach	<input type="radio"/>	...war schwierig						

Warum?

	1	2	3	4	5	6	7	
...war sehr intuitiv	<input type="radio"/>	...war gar nicht intuitiv						

Warum?

	1	2	3	4	5	6	7	
...fiel mir leicht	<input type="radio"/>	...fiel mir schwer						

Im Nachhinein...

	1	2	3	4	5	6	7	
...kann ich mich gut an die Bedienung erinnern	<input type="radio"/>	...fällt es mir schwer, mich zu erinnern wie die Steuerung bedient wird						

	1	2	3	4	5	6	7	
...kann ich nicht sagen, auf welche Art und Weise ich die Steuerung bedient habe	<input type="radio"/>	...kann ich genau sagen, auf welche Art und Weise ich die Steuerung bedient habe						

Warum?

Das Feedback mit der Hand an sich war...

	1	2	3	4	5	6	7	
...störend	<input type="radio"/>	...nicht störend						

Warum?

Gibt es etwas, das das Feedback verbessern würde?

Sonstige Anmerkungen?

Fragebogen Schwierigkeitsanpassung

Allgemeine Informationen

Alter: _____

Geschlecht:

- weiblich männlich divers Ich fühle mich zu nichts davon zugehörig
 keine Angabe

Derzeitige Tätigkeit (Schüler, Student, Arbeitstätig): _____

Empfinden

Haben Sie körperliche Beeinträchtigungen?

- Ja Nein

Wenn ja, welche?

Vorerfahrung

Ich habe Erfahrung mit Computerspielen

	1	2	3	4	5	
Stimme nicht zu	<input type="radio"/>	Stimme zu				

Ich habe Erfahrung mit VR-Anwendungen

	1	2	3	4	5	
Stimme nicht zu	<input type="radio"/>	Stimme zu				

Ich verstehe schnell, wie Spiele funktionieren

	1	2	3	4	5	
Stimme nicht zu	<input type="radio"/>	Stimme zu				

Ich bevorzuge schwierige Spiele

	1	2	3	4	5	
Stimme nicht zu	<input type="radio"/>	Stimme zu				

1. Durchgang (Alle Fragen sind auf den soeben gespielten Durchgang bezogen)

Welcher Durchgang wurde gerade getestet?

- A B

Wie sehr hat die Anwendung Sie gefesselt?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr viel				

(Optional) Kommentar

Inwieweit hatten Sie das Gefühl, dass Sie sich auf die Anwendung konzentriert haben?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr viel				

(Optional) Kommentar

Wie viel Mühe haben Sie sich beim Spielen gegeben?

	1	2	3	4	5	
Sehr wenig	<input type="radio"/>	Sehr viel				

(Optional) Kommentar

Haben Sie das Gefühl, dass Sie Ihr Bestes gegeben haben?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr sogar				

(Optional) Kommentar

Inwieweit haben Sie das Zeitgefühl verloren?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr viel				

(Optional) Kommentar

Inwieweit fanden Sie die Anwendung herausfordernd?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr herausfordernd				

(Optional) Kommentar

Gab es während der Anwendung Zeitpunkte, an denen Sie einfach aufgeben wollten?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr viele				

(Optional) Kommentar

Inwieweit fühlten Sie sich beim Spielen motiviert?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr viel				

(Optional) Kommentar

Inwieweit fiel Ihnen die Anwendung leicht?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr sogar				

(Optional) Kommentar

Inwieweit hatten Sie das Gefühl, gegen Ende der Anwendung Fortschritte zu machen?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr viel				

(Optional) Kommentar

Wie gut haben Sie Ihrer Meinung nach in der Anwendung abgeschnitten?

	1	2	3	4	5	
Sehr schlecht	<input type="radio"/>	Sehr gut				

(Optional) Kommentar

Wie sehr hat Ihnen die Anwendung Ihrer Meinung nach Spaß gemacht?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr viel				

(Optional) Kommentar

Waren Sie enttäuscht, dass die Anwendung zu Ende war?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr sogar				

(Optional) Kommentar

Würden Sie das Spiel noch einmal spielen wollen?

	1	2	3	4	5	
Definitiv nicht	<input type="radio"/>	Definitiv ja				

(Optional) Kommentar

Hatten Sie das Gefühl, mit der Steuerung zurechtzukommen?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr sogar				

Wenn nicht, aus welchem Grund?

Inwieweit haben Sie verstanden, was Sie tun müssen?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr viel				

Hatten Sie das Gefühl, dass sich die Schwierigkeit verändert?

	1	2	3	4	5	
Es wurde leichter	<input type="radio"/>	Es wurde schwerer				

Wenn ja, was hat sich verändert?

2. Durchgang (Alle Fragen sind auf den soeben gespielten Durchgang bezogen)

Welcher Durchgang wurde gerade getestet?

A B

Wie sehr hat die Anwendung Sie gefesselt?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr viel				

(Optional) Kommentar

Inwieweit hatten Sie das Gefühl, dass Sie sich auf die Anwendung konzentriert haben?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr viel				

(Optional) Kommentar

Wie viel Mühe haben Sie sich beim Spielen gegeben?

	1	2	3	4	5	
Sehr wenig	<input type="radio"/>	Sehr viel				

(Optional) Kommentar

Haben Sie das Gefühl, dass Sie Ihr Bestes gegeben haben?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr sogar				

(Optional) Kommentar

Inwieweit haben Sie das Zeitgefühl verloren?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr viel				

(Optional) Kommentar

Inwieweit fanden Sie die Anwendung herausfordernd?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr herausfordernd				

(Optional) Kommentar

Gab es während der Anwendung Zeitpunkte, an denen Sie einfach aufgeben wollten?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr viele				

(Optional) Kommentar

Inwieweit fühlten Sie sich beim Spielen motiviert?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr viel				

(Optional) Kommentar

Inwieweit fiel Ihnen die Anwendung leicht?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr sogar				

(Optional) Kommentar

Inwieweit hatten Sie das Gefühl, gegen Ende der Anwendung Fortschritte zu machen?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr viel				

(Optional) Kommentar

Wie gut haben Sie Ihrer Meinung nach in der Anwendung abgeschnitten?

	1	2	3	4	5	
Sehr schlecht	<input type="radio"/>	Sehr gut				

(Optional) Kommentar

Wie sehr hat Ihnen die Anwendung Ihrer Meinung nach Spaß gemacht?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr viel				

(Optional) Kommentar

Waren Sie enttäuscht, dass die Anwendung zu Ende war?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr sogar				

(Optional) Kommentar

Würden Sie das Spiel noch einmal spielen wollen?

	1	2	3	4	5	
Definitiv nicht	<input type="radio"/>	Definitiv ja				

(Optional) Kommentar

Hatten Sie das Gefühl, mit der Steuerung zurechtzukommen?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr sogar				

Wenn nicht, aus welchem Grund?

Inwieweit haben Sie verstanden, was Sie tun müssen?

	1	2	3	4	5	
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr viel				

Hatten Sie das Gefühl, dass sich die Schwierigkeit verändert?

	1	2	3	4	5	
Es wurde leichter	<input type="radio"/>	Es wurde schwerer				

Wenn ja, was hat sich verändert?

Vergleich

Welchen Durchgang haben Sie als schwieriger empfunden?

- Den ersten Durchgang Den zweiten Durchgang Weder noch

Welcher Durchgang hat Ihnen mehr Spaß gemacht?

- Den ersten Durchgang Den zweiten Durchgang Weder noch

Haben Sie Unterschiede zwischen den Durchgängen bemerkt?

- Ja Nein

Wenn ja, welche?

Hätten Sie die Schwierigkeit gerne selbst gesteuert?

- | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Stimme nicht zu | <input type="radio"/> | Stimme zu |

Beschwerden

Hatten Sie Beschwerden nach dem Spielen?

- Ja Nein

Wenn ja, welche? (Übelkeit, Kopfweg, Schwindel, Müdigkeit, Augenschmerzen...)

Anmerkungen

Haben Sie sonstige Anmerkungen?
