

Mixed Reality Mirror Box:

Design und Evaluation eines Mixed Reality- Ansatzes für Spiegeltherapie

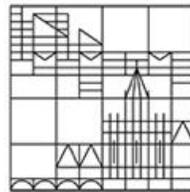
Bachelorarbeit

vorgelegt von

Rebecca Weber

an der

Universität
Konstanz



Mathematisch-Naturwissenschaftliche Sektion

FB Informatik und Informationswissenschaft

AG Mensch-Computer-Interaktion

1. Gutachter: Professor Dr. Harald Reiterer

2. Gutachter: Juniorprofessor Dr. Bela Gipp

Konstanz, 5. September 2016

Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die anliegende Arbeit mit dem Thema:

„Mixed Reality Mirror Box:
Design und Evaluation eines Mixed Reality-Ansatzes für Spiegeltherapie“
“Mixed Reality Mirror Box:
Design and evaluation of a Mixed Reality-approach for mirror therapy”

selbstständig verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen benutzt habe. Die Stellen, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinne nach entnommen sind, habe ich in jedem einzelnen Falle durch Angabe der Quelle, auch der benutzten Sekundärliteratur, als Entlehnung kenntlich gemacht.

Konstanz, 5. September 2016

Rebecca Weber

Danksagung

In erster Linie möchte ich mich bei meinen Betreuern Dr. Ulrike Pfeil und Johannes Zagermann für ihre hervorragende Unterstützung und die vielen hilfreichen Ratschläge zur Umsetzung und Evaluation des Projekts bedanken. Ein weiterer Dank gilt den Interviewpartnerinnen der Experteninterviews für die genommene Zeit und die ausführliche Besprechung des Systems. Ganz besonders bedanken möchte ich mich an dieser Stelle bei den Kliniken Schmieder und allen beteiligten Mitarbeitern sowie Prof. Dr. Harald Reiterer, die die Durchführung der Nutzerstudie ermöglicht haben. Innerhalb kürzester Zeit wurden geeignete Probanden gefunden und Terminpläne erstellt. Anschließend wurde ich sehr herzlich in der Klinik empfangen und durfte eine Woche lang in einer angenehmen Atmosphäre in den Räumen der Klinik arbeiten. Gleichmaßen danke ich auch den Probanden für ihre Teilnahmebereitschaft, ihr Interesse und ihre Geduld. Ohne diese Unterstützung wäre die Evaluation des Projekts nicht in gleichem Maße möglich gewesen. Zu guter Letzt möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden für ihre Unterstützung auf unterschiedlichen Wegen bedanken.

Hinweis zur Verwendung von Markennamen

Die in diesem Projektbericht erwähnten Unternehmens-, Produkt- oder Markenbezeichnungen können Marken oder eingetragene Markenzeichen der jeweiligen Eigentümer sein. Die Wiedergabe von Marken- und/oder Warenzeichen in diesem Projektbericht berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese als frei von Rechten Dritter zu betrachten seien. Alle erwähnten Marken- und/oder Warenzeichen unterliegen uneingeschränkt den länderspezifischen Schutzbestimmungen und den Besitzrechten der jeweiligen eingetragenen Eigentümer.

Kurzfassung

Im Bereich der Neurorehabilitation gibt es die sogenannte Spiegeltherapie, welche bei Phantomschmerzen nach Amputationen, CRPS und Hemiparese infolge eines Schlaganfalls angewendet wird. Zur Durchführung wird ein Spiegel, auch Mirror Box genannt, benötigt, mit dessen Hilfe das Spiegelbild der gesunden Extremität betrachtet wird.

Diese Arbeit befasst sich mit dem Design und der Evaluation eines Mixed Reality-Ansatzes für Spiegeltherapie. Die dabei entstandene Mixed Reality Mirror Box ersetzt den Spiegel durch ein Head-Mounted Display und eine Infrarotkamera. Mit diesem Ansatz kann die herkömmliche Mirror Box verbessert und erweitert werden.

In zwei Experteninterviews wird eine erste Einschätzung des Systems gewonnen, aus der neue Anforderungen zur Weiterentwicklung abgeleitet werden. Nach Umsetzung dieser wird eine Nutzerstudie mit halbseitig gelähmten Schlaganfallpatienten durchgeführt, um die Benutzbarkeit und die Benutzererfahrung des Systems beurteilen zu können.

Durch die Ergebnisse der Studie kann zusammenfassend festgestellt werden, dass der vorgestellte Mixed Reality-Ansatz ein großes Potenzial für den Einsatz in der Spiegeltherapie aufweist. Dennoch befindet sich das System in einem Anfangsstadium und lässt Raum für Verbesserungen und Weiterentwicklungen.

Abstract

In the section of neurorehabilitation, there is a therapy called mirror therapy which is used for the treatment of phantom limb pain after an amputation, CRPS and hemiparesis following stroke. Conducting mirror therapy requires a so-called mirror box, which is used to view the reflected image of the unimpaired limb.

This thesis is about the design and evaluation of a mixed reality-approach for mirror therapy. The resulting “Mixed Reality Mirror Box” replaces the mirror with a head-mounted display and an infrared camera. With this approach the conventional mirror box can be improved and enhanced.

Two expert interviews provide a first evaluation of the system, from which new requirements for further development can be derived. After implementing these, a user study with stroke patients who are paralyzed on one side is conducted in order to be able to assess the usability and the user experience of the system.

Given the results of the study, in summary, it can be stated that the presented mixed reality-approach shows a great potential for the application of the system in mirror therapy. However, the system is in its early stages and leaves room for improvements and further development.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	XI
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Zielsetzung.....	1
1.2 Vorgehensweise	1
2 Theorie und verwandte Arbeiten	3
2.1 Spiegeltherapie	3
2.2 Mixed Reality	4
2.3 Verwandte Arbeiten.....	5
3 Mixed Reality Mirror Box	8
3.1 Anforderungen.....	8
3.2 Konzeption und Aufbau	9
3.3 Umsetzung	10
4 Experteninterview	13
4.1 Zielsetzung	13
4.2 Leitfaden.....	13
4.3 Durchführung.....	14
4.3.1 Erstes Experteninterview.....	14
4.3.2 Zweites Experteninterview	15
4.4 Auswertung.....	15
4.4.1 Virtuelle Darstellung.....	16
4.4.2 Vergleich zu herkömmlicher Spiegeltherapie.....	18
4.4.3 Einsetzbarkeit und Benutzbarkeit	19
4.4.4 Spielentwicklung.....	20
5 Mixed Reality Mirror Box: Weiterentwicklung	22
5.1 Neue Anforderungen.....	22
5.2 Implementierung.....	23
5.2.1 Einbinden neuer Handmodelle.....	23
5.2.2 Änderungen an Menüs, Texten und Farben.....	26
5.2.3 Sichtbarkeit der gesunden Hand	27
5.2.4 Spielentwicklung.....	29

5.2.5	Verbesserung der Höhenanpassung	36
6	Nutzerstudie	38
6.1	Zielsetzung	38
6.2	Studienaufbau	38
6.3	Durchführung.....	40
6.4	Auswertung.....	42
6.4.1	Übungsaufgaben.....	43
6.4.2	Menü	49
6.4.3	Illusion und Darstellung	49
6.4.4	Spaß und Motivation.....	51
6.4.5	Vergleich zur herkömmlichen Spiegeltherapie	52
6.4.6	Verbesserungsvorschläge und neue Ideen.....	53
7	Diskussion	55
8	Zusammenfassung und Ausblick	57
	Literaturverzeichnis	59
	Internetquellenverzeichnis	60
	Anhang A: Experteninterview Einverständniserklärung	61
	Anhang B: Experteninterview Leitfaden	62
	Anhang C: Nutzerstudie Einverständniserklärung	63
	Anhang D: Nutzerstudie Fotogenehmigung	64
	Anhang E: Nutzerstudie Studienablauf	65
	Anhang F: Nutzerstudie Leitfaden Vorgespräch	66
	Anhang G: Nutzerstudie Leitfaden Nachbesprechung	69
	Anhang H: Nutzerstudie Leitfaden für Folgebesuche	74
	Anhang I: Inhalte des beiliegenden USB-Sticks	77

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schemenhafte Darstellung einer Mirror Box [1].....	3
Abbildung 2: Faltbare Mirror Box des Neuro Orthopaedic Institute, Adelaide, Australien [2]	3
Abbildung 3: Darstellung des "Reality-Virtualy Continuum" (Milgram et al., 1994, S. 283).....	5
Abbildung 4: HMD und Stereokamera (Bach et al., 2009, S. 185).....	6
Abbildung 5: Realität erweitert durch gespiegelte Hand (Bach et al., 2009, S. 185).....	6
Abbildung 6: HMD und Datenhandschuh (Murray et al., 2010, S. 186).....	6
Abbildung 7: Virtuelle Welt aus Sicht des Nutzers (Murray et al., 2010, S.187)	6
Abbildung 8: Oculus Rift DK2 mit daran montiertem Leap Motion Controller [4].....	10
Abbildung 9: Aufbau der Mixed Reality Mirror Box	10
Abbildung 10: Einstellungsansicht.....	10
Abbildung 11: Auswahlmenü	11
Abbildung 12: Übungsszene "Ball"	11
Abbildung 13: Übungsszene "Cubes"	11
Abbildung 14: Übungsszene "Cards"	12
Abbildung 15: Übungsszene "Hands only"	12
Abbildung 16: Stoffbedeckung über gesundem Arm.....	12
Abbildung 17: Virtuelle Darstellung der Hände	16
Abbildung 18: Stoffüberzug über gesundem Arm	16
Abbildung 19: Hierarchie des Objekts LMHeadMountedRig	24
Abbildung 20: Inspector des LeapHandControllers für die gespiegelte Seite	24
Abbildung 21: Inspector des LeapHandControllers für die gesunde Seite.....	25
Abbildung 22: Neues Handmodell	25
Abbildung 23: Neues Handmodell	25
Abbildung 24: SettingsInitializer-Komponente des LMHeadMountedRig in der Vorgängerversion	26
Abbildung 25: SettingsInitializer-Komponente des LMHeadMountedRigs in der aktuellen Version.....	26
Abbildung 26: Auswahlmenü mit verändertem Farbschema, auf Deutsch übersetzt und ohne eine Kachel zur Szene "Ball"	27
Abbildung 27: Nur gespiegelte Seite sichtbar	28
Abbildung 28: Gesunde Hand transparent sichtbar	28
Abbildung 29: Gesunde und gespiegelte Hand gleichwertig sichtbar	28
Abbildung 30: Menü für Sichtbarkeit der gesunden Hand	29
Abbildung 31: Collider-Objekt einer Kiste zur Erkennung der Kollision mit einem Würfel.....	30
Abbildung 32: GameHandler-Objekt mit Komponente CubesGameHandler	31
Abbildung 33: Szene "Würfelspiel"	31
Abbildung 34: Das Würfelspiel wurde gestartet	32
Abbildung 35: Würfelspiel Level 1 beendet	33
Abbildung 36: Kleinere Kisten (Level 3)	33
Abbildung 37: Alle Levels des Würfelspiels vollendet	34
Abbildung 38: CardsGameHandler-Objekt bzw. -Komponente	34
Abbildung 39: Kartenspiel gestartet.....	35
Abbildung 40: Kartenspiel läuft	35
Abbildung 41: Kartenspiel beendet	36
Abbildung 42: LMHeadMountedRig mit Komponente VRHeightOffset.....	36

Abbildung 43: Einstellungsansicht mit verändertem Farbschema, in Deutsch und überarbeiteten Instruktionen für die Höhenanpassung	37
Abbildung 44: Anonymisierter Terminplan der Studie von Montag bis Freitag (je eine Zeile)....	40
Abbildung 45: Aufbau der Mixed Reality Mirror Box zur Durchführung der Nutzerstudie	41
Abbildung 46: Anzahl an Sitzungen, in denen die einzelnen Übungen genutzt wurden, im Vergleich zur jeweiligen Gesamtanzahl an Sitzungen gruppiert nach Probanden	43
Abbildung 47: Proband beim Testen des Kartenspiels	44
Abbildung 48: Versuch eine Spielkarte zu greifen	45
Abbildung 49: Proband beim Testen des Würfelspiels	46
Abbildung 50: Fehldarstellung der rechten (gespiegelten) Hand.....	47
Abbildung 51: Proband beim Betrachten beider Hände.....	48

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anforderungen an die MRMB	8
Tabelle 2: Beispielübungen	9
Tabelle 3: Experteninterview Identifikationsnummern.....	16
Tabelle 4: Neue Anforderungen zur Weiterentwicklung der MRMB	23
Tabelle 5: Übersicht über die Probanden	42

1 Einleitung

1.1 Motivation und Zielsetzung

Vielen Menschen mit Lähmungen nach einem Schlaganfall und Schmerzsyndromen kann Spiegeltherapie auf dem Weg der Rehabilitation helfen. Um Spiegeltherapie auszuüben, wird lediglich ein Spiegel benötigt. Dieser wird aufgrund der Entstehung besonders in der englischsprachigen Literatur auch als *Mirror Box* bezeichnet. Es können jedoch durch die Verwendung von Mixed Reality-Technologien einige Vorteile entstehen, wodurch der Nutzer mehr Motivation und Spaß beim Üben hat. Dadurch könnten das Training intensiviert und somit der Rehabilitationsprozess beschleunigt werden.

Eine Einschränkung der Mirror Box ist der Mangel an Bewegungsfreiheit. Die Patienten müssen exakt vor dem Spiegel sitzen und sich etwas beugen, um seitlich in den Spiegel schauen zu können. Dies ist auf Dauer eine unbequeme Haltung. Eine weitere Einschränkung ist, dass die möglichen Bewegungen auf die Spiegelachsen beschränkt sind. Es sind also kaum natürliche Bewegungen im dreidimensionalen Raum möglich. Außerdem erfordert das Üben viel Konzentration, die leicht durch Einflüsse aus der Umgebung gestört werden kann.

Mögliche zusätzliche Vorteile eines Mixed Reality-Ansatzes sind die Variationsmöglichkeit in der Darstellung der Hände und die Möglichkeit die gesunde Hand verdecken oder ausblenden zu können, um die Aufmerksamkeit auf die gespiegelte Hand zu lenken. Unter Verwendung von Mixed Reality-Technologien können auch virtuelle Objekte in das System eingebunden werden. Diese haben möglicherweise den Vorteil, dass keine der Hände taktile oder haptische Reize empfängt. Zuletzt ist es mit einem computergestützten System im Vergleich zum Spiegel auch möglich ein Trainingsprogramm oder Spiel zu entwickeln.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Design und der Evaluation eines solchen Mixed Reality-Ansatzes für Spiegeltherapie. Im vorangegangenen Bachelor-Projekt wurde dazu das System *Mixed Reality Mirror Box* (MRMB) entwickelt. Nachdem theoretische Grundlagen und die Entwicklung noch einmal zusammenfassend beschrieben werden, soll dieses System schließlich evaluiert werden. Dabei stehen nicht die medizinische Wirksamkeit, sondern Fragen der Einsetzbarkeit, der *Usability* sowie der *User Experience* im Vordergrund. So lässt sich beurteilen, inwieweit die verwendeten Mixed Reality-Technologien für eine Anwendung in der Spiegeltherapie geeignet sind.

1.2 Vorgehensweise

Zunächst werden die Begriffe *Spiegeltherapie* und *Mixed Reality* erläutert und verwandte Arbeiten vorgestellt. Im Anschluss folgt eine zusammenfassende Beschreibung der Entwicklung der MRMB und ihrer Funktionen.

Schließlich gilt es das System zu evaluieren. Die Evaluation gliedert sich dabei in zwei Teile. Im ersten Teil wird die MRMB zwei Experten mit therapeutischem Fachwissen vorgestellt. Diese werden daraufhin zu dem System befragt, um zu klären, ob es ihrer Meinung nach in der Spiegeltherapie eingesetzt werden kann und an welchen Stellen sie Probleme oder Verbesserungsbedarf sehen. Im nächsten Schritt werden anhand der Ergebnisse aus den Experteninterviews neue Anforderungen an die MRMB gestellt und umgesetzt. Diese Weiterentwicklung kann daher als erste Iteration im *UX Lifecycle* (Hartson & Pyla 2012, S. 47ff.) aufgefasst werden. Im zweiten Teil der Evaluation wird eine Nutzerstudie durchgeführt. Dazu werden halbseitig gelähmte Schlaganfallpatienten in einer Klinik das weiterentwickelte System über den Zeitraum von fünf Tagen testen und Fragen dazu beantworten.

Auf diesen zwei Teilen stützt sich die anschließende Diskussion der Evaluationsergebnisse. Das letzte Kapitel fasst die wesentlichen Schritte dieser Arbeit zusammen und enthält einen Ausblick auf zukünftige Arbeiten zu diesem Thema.

2 Theorie und verwandte Arbeiten

Der Anwendungsbereich des in der vorliegenden Arbeit behandelten Systems liegt im Bereich der Neurorehabilitation. Das System setzt das Konzept der *Spiegeltherapie* unter Verwendung von *Mixed Reality*-Technologien um. Daher werden in diesem Kapitel diese beiden Begriffe näher erläutert. Anschließend werden einige verwandte Arbeiten vorgestellt.

2.1 Spiegeltherapie

In der vorangegangenen Seminararbeit zu diesem Thema wurden die Grundlagen und Funktionsweise der Spiegeltherapie erarbeitet. Dieser Abschnitt fasst diese zusammen.

Die Entstehung der Spiegeltherapie ist auf den Neurologen Vilayanur S. Ramachandran zurückzuführen. Er stellte 1996 zusammen mit Diane Rogers-Ramachandran eine Studie vor, in der die Wirkung von visuellen Reizen durch die Verwendung einer *Mirror Box* bei einseitig armamputierten Patienten mit Phantomschmerzen untersucht wird. Phantomschmerzen bezeichnen schmerzhaft empfundene Empfindungen an der Stelle des fehlenden Körperteils nach einer Amputation (Kim & Kim, 2012) und treten bei etwa 60-80% der Patienten auf (Nikolajsen & Jensen, 2001). Eine *Mirror Box* ist ein Kasten, welcher durch einen beidseitigen Spiegel in der Mitte geteilt ist. In jeder Hälfte gibt es nach vorne hin eine Öffnung so groß, dass man einen Arm hindurch legen kann (siehe Abbildung 1). Abbildung 2 zeigt einen einfachen, aufstellbaren Spiegel, wie er heute in der Regel anstelle einer *Mirror Box* verwendet wird.

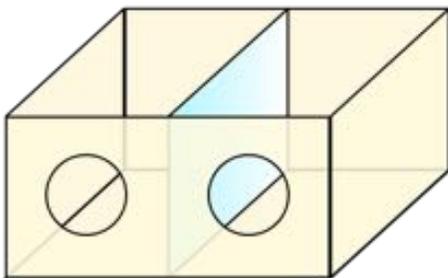


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer Mirror Box [1]



Abbildung 2: Faltbare Mirror Box des Neuro Orthopaedic Institute, Adelaide, Australien [2]

Der Spiegel wird so entlang der Körpermitte aufgestellt, dass die Spiegelfläche zur nicht betroffenen Extremität zeigt. Die Aufgabe der Patienten ist es dann, das Spiegelbild, welches nun als gegenüberliegende Extremität erscheint, zu beobachten, während mit der gesunden Extremität Bewegungen ausgeführt werden. Ramachandrans und Rogers-Ramachandrans Untersuchungen zeigen, dass das Beobachten dieser visuellen Reize Auswirkungen auf die „Phantomhand“ hat. Bei

sechs der insgesamt zehn Probanden bewegte sich die Phantomhand. Fünf der Probanden litten unter schmerzhaften Spasmen in der Phantomhand, welche vier von ihnen durch Betrachtung des Spiegelbildes lösen konnten.

Später konnte mit Hilfe bildgebender Verfahren gezeigt werden, dass durch das Betrachten der eigenen Hand, die mittels einer Kamera und einem Monitor horizontal gespiegelt abgebildet wird, diejenigen Gehirnareale aktiviert werden, die für die gegenüberliegende Seite der eigentlichen Hand zuständig sind. (Dohle, Kleiser, Seitz & Freund, 2004)

Spiegeltherapie findet hauptsächlich bei Phantomschmerzen nach einseitiger Amputation, dem Komplexen Regionalen Schmerzsyndrom (CRPS) und Hemiparese nach einem Schlaganfall Anwendung (Lamont, Chin & Kogan, 2011). Die größten Erfolge sind bei der Behandlung von Phantomschmerzen zu erwarten. Hier können Patienten mit Hilfe von Spiegeltherapie sogar schmerzfrei werden, wie sich bereits bei einem Probanden aus Ramachandrans Studie zeigte (Ramachandran & Rogers-Ramachandran, 1996). CRPS beschreibt eine schmerzhafte Erkrankung, bei der an dem betroffenen Körperteil starke Schmerzen und Funktionsstörungen auftreten, die unverhältnismäßig zu der eigentlich bestehenden Störung oder Entzündung sind (Cacchio, De Blasis, De Blasis, Santilli & Spacca, 2009). Auch hier kann Spiegeltherapie helfen die Schmerzen zu lindern (Lamont et al., 2011). Wird Spiegeltherapie bei Hemiparese nach einem Schlaganfall eingesetzt, ist die Wiederherstellung motorischer und sensorischer Fähigkeiten der Hand das Ziel (Altschuler et al., 1999; Lamont et al., 2011; Thieme, Mehrholz, Pohl, Behrens & Dohle, 2013).

2.2 Mixed Reality

In diesem Abschnitt wird der Begriff *Mixed Reality* definiert und in einen Zusammenhang zu anderen verbreiteten Begriffen wie *Augmented Reality* und *Virtual Reality* gestellt. Nach der Begriffsklärung wird die MRMB entsprechend eingeordnet.

1994 stellen Milgram, Takemura, Utsumi und Kishino das Konzept des *Reality-Virtuality (RV) Continuum* vor, welches durch Abbildung 3 veranschaulicht wird. In dem Konzept werden die beiden Extreme „reale Welt“ und „virtuelle Welt“ gegenübergestellt. Dabei wird die reale Welt durch physikalische Gesetze begrenzt, wohingegen die virtuelle Welt eine Welt bezeichnet, in der keine physikalischen, zeitlichen oder räumlichen Grenzen gelten müssen, es aber können. Alle Systeme oder Konzepte, die sowohl Elemente des einen Extrems als auch des Anderen verwenden und somit keinem der beiden vollständig zugeordnet werden können, fallen unter den Oberbegriff der *Mixed Reality (MR)*.

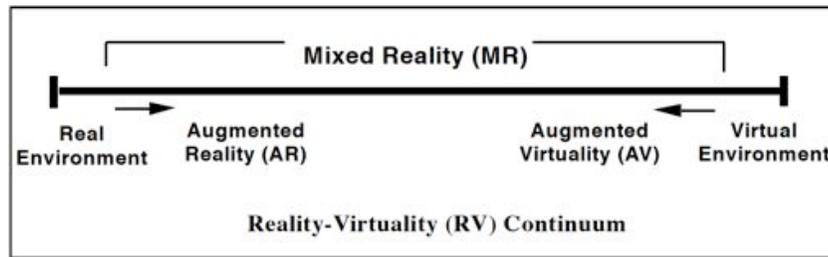


Abbildung 3: Darstellung des "Reality-Virtuality Continuum" (Milgram et al., 1994, S. 283)

Der Oberbegriff Mixed Reality wird daraufhin noch einmal unterteilt in *Augmented Reality (AR)* und *Augmented Virtuality (AV)*. AR-Systeme zeigen die Realität, welche um virtuelle Elemente erweitert wird. AV hingegen bezeichnet Systeme, die eine virtuelle Umgebung darstellen und sich einer gewissen Anzahl realer Elemente bedienen.

Die in dieser Arbeit vorgestellte MRMB zeigt eine rein virtuelle Umgebung auf einem *Head-Mounted Display (HMD)*. Diese wird erweitert durch die Bewegungserkennung der realen Hände, wodurch die Steuerung virtueller Hände in der virtuellen Umgebung ermöglicht wird. Somit fällt die MRMB im Allgemeinen in den Bereich Mixed Reality und kann auf der RV-Achse weiter rechts dem Konzept der AV zugeordnet werden.

2.3 Verwandte Arbeiten

Der Ansatz computergestützte Mixed Reality-Systeme in der Spiegeltherapie einzusetzen ist nicht neu. Es gibt diverse Systeme, die dies auf unterschiedliche Art und Weise umsetzen, welche hier zusammenfassend vorgestellt werden. Eine detailliertere Beschreibung der Systeme und Studienergebnisse findet sich in der Seminararbeit.

Die im Folgenden beschriebenen Systeme haben, bis auf eines, gemeinsam, dass sie eine rein virtuelle Darstellung der Hand verwenden.

Bach et al. (2009) hingegen haben ein AR-System entwickelt. Dieses kombiniert ein HMD mit einer darauf montierten Stereokamera. Über die Stereokamera wird die Umgebung aus Sicht des Benutzers aufgenommen. In dem aufgenommenen Bild wiederum wird die Hand durch einen von Bach et al. entwickelten Algorithmus erkannt und gespiegelt in die andere Hälfte des Bildes eingefügt. Durch diese realitätsnahe Abbildung ermöglicht das System einen hohen Grad an Immersion. Es ist jedoch beschränkt auf den Einsatz für die Behandlung des Armes und es ist nicht klar, wie das System damit umgeht, wenn der Nutzer nicht amputiert ist, sondern beide Hände im Bild sind. Daher werden nicht alle der zuvor definierten Anforderungen erfüllt.



Abbildung 4: HMD und Stereokamera (Bach et al., 2009, S. 185)



Abbildung 5: Realität erweitert durch gespiegelte Hand (Bach et al., 2009, S. 185)

Neben dem System von Bach et al. verwendet als einziges der hier vorgestellten Systeme das 2010 von Murray et al. vorgestellte System ein HMD. Bei diesem System werden die Bewegungen des Arms mit Hilfe eines Datenhandschuhs und Sensoren an den Gelenken verfolgt. Für die Bewegungserkennung des Beins werden ausschließlich Sensoren an den Gelenken verwendet. Auf dem HMD sieht der Nutzer eine virtuelle Welt aus der Perspektive eines Avatars, dessen Hände bzw. Beine synchron die durch die Sensoren erkannten Bewegungen ausführen. Laut Murray et al. geschieht dies in Echtzeit. Somit erfüllt dieses System alle Anforderungen. Murray et al. konnten außerdem in einer Studie mit drei armamputierten und zwei beinamputierten Probanden zeigen, dass durch die Verwendung des Systems bei vier der fünf Probanden eine allgemeine Verbesserung der Phantomschmerzen erkennbar ist. Dennoch ist es fraglich, ob der Aufbau des Systems auch für das Eigentaining zu Hause geeignet ist. Denn es erfordert das Anbringen der Sensoren, was die meisten der Patienten aufgrund ihrer Einschränkung vermutlich nicht alleine können. Außerdem ist die Anschaffung eines Datenhandschuhs mit hohen Kosten verbunden.



Abbildung 6: HMD und Datenhandschuh (Murray et al., 2010, S. 186)



Abbildung 7: Virtuelle Welt aus Sicht des Nutzers (Murray et al., 2010, S.187)

Weitere Systeme verwenden einen Monitor oder eine Leinwand zur Anzeige der virtuellen Extremitäten. Bei Desmond, O'Neill, De Paor, McDarby und MacLachlan

(2006) wird der Monitor anstelle des Spiegels platziert. Die virtuelle Hand auf dem Monitor wird hierbei ebenfalls durch einen Datenhandschuh, der an der gesunden Hand getragen wird, gesteuert. Molla und Boulic (2013) verwenden eine Leinwand, einen Projektor und optische Marker. Dieses System basiert nicht auf der Ego-Perspektive, sondern die Leinwand ist als „virtueller Ganzkörperspiegel“ zu verstehen. Der Nutzer sitzt oder steht frontal vor der Leinwand und beobachtet einen Avatar als sein Spiegelbild, bei dem sich beide Arme bewegen. Die Bewegung basiert auf den Daten der optischen Marker, daher sind hier nur grobmotorische Bewegungen möglich. Ein weiteres System zielt ausschließlich auf den Einsatz bei Phantomschmerzen ab. Dieses wurde von Cole, Crowle, Austwick und Slater 2009 präsentiert. Die Patienten können mit einer Hand oder einem Fuß in einer virtuellen Umgebung agieren, welche auf einem gewöhnlichen Monitor angezeigt wird. Die Steuerung der Bewegung funktioniert dabei mittels elektromagnetischer Sensoren, die an dem Stumpf der amputierten Extremität angebracht werden. Keines dieser Systeme kann jedoch alle Anforderungen erfüllen. Darüber hinaus liegt der Schwerpunkt der Forschung in diesen Studien bei der Effektivität der Systeme aus medizinischer Sicht. Dabei werden meist die Auswirkungen der Benutzbarkeit und der Benutzererfahrung auf die Motivation außer Acht gelassen, welche jedoch einen wesentlichen Teil zur Wirksamkeit des Systems beitragen kann.

3 Mixed Reality Mirror Box

Dieses Kapitel befasst sich mit den Schritten der Entwicklung der Mixed Reality Mirror Box und beschreibt deren Funktionen. Die technische Umsetzung wird in dem zugehörigen Projektbericht ausführlich erläutert.

3.1 Anforderungen

Um herauszufinden, was notwendige oder wichtige Eigenschaften einer MRMB sind, wurde im Rahmen der Seminararbeit zu diesem Thema ein Experteninterview durchgeführt. Aus den Ergebnissen des Interviews konnten folgende Anforderungen abgeleitet werden.

A1	Es sollen Bewegungen im dreidimensionalen Raum möglich sein, anstatt wie bei der herkömmlichen Mirror Box nur entlang der Spiegelachsen (hoch/runter, vor/zurück).
A2	Die Übungen sollen nicht auf einen bestimmten Raum, wie z. B. die Maße des Spiegels, beschränkt werden müssen.
A3	Eine Mixed Reality Mirror Box soll grundsätzlich sowohl für die Therapie von Armen als auch Beinen geeignet sein.
A4	Das System soll mit allen Krankheitsbildern, bei denen Spiegeltherapie zum Einsatz kommt, also sowohl Phantomschmerzen nach Amputation als auch Lähmungen oder CRPS, verwendbar sein.
A5	Damit die Illusion funktionieren kann, soll die abgebildete Extremität aus der Ego-Perspektive dargestellt werden.
A6	Die Darstellung der virtuellen Extremität soll in Echtzeit erfolgen.

Tabelle 1: Anforderungen an die MRMB

Außerdem als Anforderung zu verstehen sind folgende für Spiegeltherapie typische Übungen [3], welche mit der MRMB ausführbar sein sollen.

Übungen ohne Objekte		
Ü1		Betrachten des Spiegelbilds, Bild wirken lassen und auf Illusion einlassen
Ü2		Betrachten verschiedener Positionen der Hand/des Fußes (z. B. Handfläche nach oben/unten, Hand auf der Kante „aufgestellt“)

Ü3		Beugen/Strecken der Finger/des Handgelenks bzw. der Zehen/des Knöchels, kleine Bewegungen
Ü4		Öffnen/Schließen der Hand, Kreisen des Fußes, größere Bewegungen
Übungen mit Objekten		
Ü5		Greifen eines Objekts mit der ganzen Hand/einzelnen Fingern bzw. den Zehen
Ü6		Vor- und zurückschieben der Hand bzw. des Fußes auf einem Waschlappen

Tabelle 2: Beispielübungen

3.2 Konzeption und Aufbau

Basierend auf den Anforderungen wurden verschiedene für die Umsetzung benötigte Konzepte entwickelt.

Als Hauptkonzept lässt sich die Spiegelung bezeichnen, da diese Grundvoraussetzung für den Einsatz in der Spiegeltherapie ist. Hierzu wurden zwei detailliertere Konzepte erarbeitet: Eines ist die Spiegelung eines Kamerabildes, welches der AR zuzuordnen ist. Das andere ist die Darstellung der Hände in einer virtuellen Welt, in der nur die realen Bewegungen abgebildet werden, was sich der AV zuordnen lässt. Weitere Konzepte sind die Verwendung von Objekten und die Strukturierung einzelner Übungsaufgaben in Form eines Trainingsprogramms oder eines Spiels.

Daraufhin wurden Lösungen zur Umsetzbarkeit der Konzepte erarbeitet und auf die Erfüllung der Anforderungen geprüft. Der Ansatz zur Spiegelung mit einem rein virtuellen Bild hat mehr Anforderungen erfüllt und erschien besser realisiert werden zu können als die übrigen Ideen zur Umsetzung. Mit diesem Ansatz können außerdem die Konzepte zu Objekten und einem Trainingsprogramm oder Spiel optimal kombiniert werden. Er beinhaltet die Verwendung eines HMD und einer Infrarotkamera sowie die Entwicklung der Software mit Hilfe einer 3D-Grafik-Engine.

Im nächsten Schritt wurde die Hardware ausgewählt. Dazu wurden verschiedene HMDs und Infrarotkameras betrachtet und geprüft, wie leistungsfähig sie sind, ob sie

den Anforderungen gerecht werden und wie gut sie miteinander kombiniert werden können. Das Ergebnis ist die Verwendung der *Oculus Rift DK2* VR-Brille¹, des *Leap Motion* Controllers² sowie einem leistungsstarken Computer mit VR-geeigneter Grafikkarte und gewöhnlichen Ein- und Ausgabegeräten. Diese Hardware lässt sich optimal an die 3D-Grafik-Engine *Unity*³ anbinden.

Die folgenden Abbildungen zeigen den finalen Aufbau der MRMB.



Abbildung 8: Oculus Rift DK2 mit daran montiertem Leap Motion Controller [4]

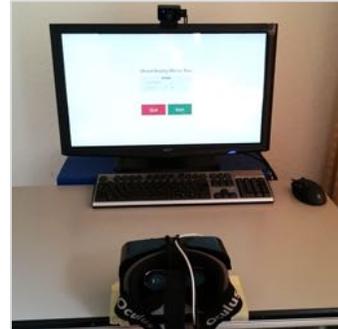


Abbildung 9: Aufbau der Mixed Reality Mirror Box

3.3 Umsetzung

Beim Starten des Programms öffnet sich zunächst eine Einstiegs- und Einstellungsansicht (siehe Abbildung 10). Diese dient dazu, den Abstand zwischen Augen und Tischoberfläche sowie den gesunden Arm, dessen Bewegung erkannt werden soll, zu definieren.



Abbildung 10: Einstellungsansicht

¹ <https://www.oculus.com/en-us/rift/>

² <https://www.leapmotion.com/>

³ <https://unity3d.com/>

Durch Klicken auf Start wird die virtuelle Umgebung geladen. Sobald die Umgebung geladen ist, befindet sich der Nutzer in einem Raum vor einem Tisch. Die hier geladene Szene dient der Auswahl verschiedener Übungsaufgaben mittels eines fixationsbasierten Auswahlmenüs. Fixationsbasiert ist so zu verstehen, dass die in Abbildung 11 abgebildeten Kacheln durch die Kopfbewegung („Blickrichtung“ des HMD) anvisiert und nach dem Fixieren für eine Dauer von zwei Sekunden ausgewählt werden. Diese Form der Eingabe ermöglicht das Bedienen des Programms ohne weitere Eingabegeräte wie Tastatur oder Maus.

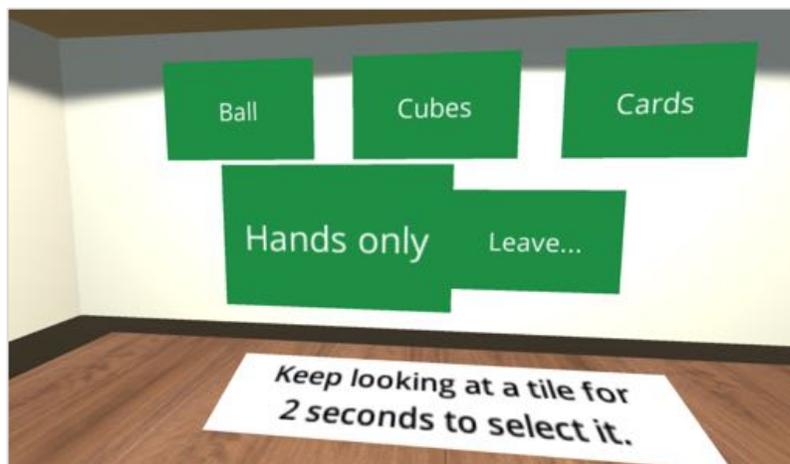


Abbildung 11: Auswahlmenü

Zur Auswahl stehen vier verschiedene Übungsszenen und die Möglichkeit, die virtuelle Umgebung zu verlassen. Drei der vier Übungsszenen enthalten virtuelle Objekte und bieten spielerische Aufgaben. Das fixationsbasierte Menü findet sich auch in den Übungsszenen. Über die in jeder Szene vorhandene Kachel „Go back“ gelangt der Nutzer wieder zurück zur Auswahlzene.

Hinter der Kachel „Ball“ verbirgt sich eine Übungsszene, in der auf dem Tisch ein Ball und eine Kiste liegen (siehe Abbildung 12). Der Ball soll nun mit beiden Händen hochgehoben und in die Kiste gelegt werden.

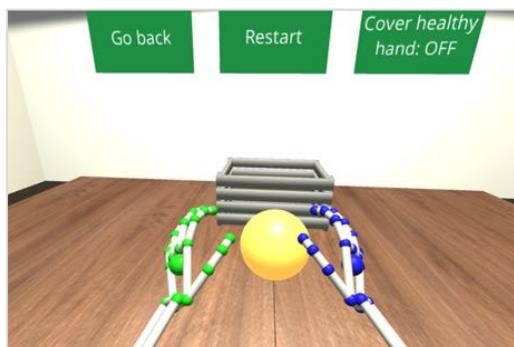


Abbildung 12: Übungsszene "Ball"

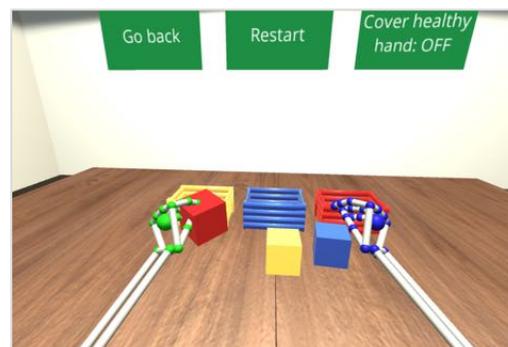


Abbildung 13: Übungsszene "Cubes"

Eine weitere Übungsszene ist die Szene „Cubes“. Hier gibt es, wie in Abbildung 13 erkennbar, drei farbige Würfel und drei farblich zu den Würfeln passende Kisten, in die die Würfel hineingelegt werden sollen.

Die letzte Übungsszene mit Objekten enthält vier Spielkarten, die verdeckt auf dem Tisch liegen und aufgedeckt werden sollen (siehe Abbildung 14).

In allen drei Übungsszenen mit Objekten gibt es eine Kachel „Restart“ durch die die Szene neu geladen wird, um alle Objekte wieder an ihre Ausgangsposition zurückzusetzen.



Abbildung 14: Übungsszene "Cards"

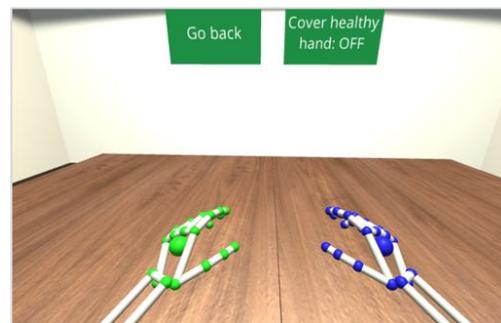


Abbildung 15: Übungsszene "Hands only"

In der Szene „Hands only“ (siehe Abbildung 15) kann der Nutzer die Hände betrachten und ohne Objekte verschiedene Bewegungen ausüben.

In allen Übungsszenen gibt es außerdem die Möglichkeit den gesunden Arm zu verdecken, um sich auf den gespiegelten Arm konzentrieren zu können. Dazu wird über die Kachel „Cover healthy hand: ON/OFF“ ein Stoffüberzug, wie er in Abbildung 16 zu sehen ist, ein- bzw. ausgeblendet.



Abbildung 16: Stoffbedeckung über gesundem Arm

Mit diesem System konnten nun alle bis auf eine Anforderung erfüllt werden. Nicht erfüllt wurde Anforderung A3, da das System nur eine Erkennung und Darstellung der Arme ermöglicht, jedoch nicht der Beine. Gleichzeitig können sowohl alle Übungen ohne Objekte (Ü1–Ü4) ausgeübt werden, als auch die Übung zum Greifen von Objekten (Ü5).

4 Experteninterview

Dieses Kapitel enthält den ersten Teil der Evaluation, die Experteninterviews. Zunächst wird die Zielsetzung der Experteninterviews erläutert, daraufhin werden der Interviewleitfaden und die Durchführung der Interviews beschrieben. Zuletzt folgt eine Auswertung der Interviewgespräche.

4.1 Zielsetzung

Im Rahmen der Seminararbeit wurden die Grundlagen der Spiegeltherapie erarbeitet und mit Hilfe eines Experteninterviews Anforderungen an einen Mixed Reality-Ansatz aufgestellt, anhand derer letztendlich die Entwicklung der MRMB erfolgte.

Erneute Experteninterviews sollen nun dazu dienen, eine Meinung über das aktuelle System von Personen, die therapeutisches Fachwissen und Erfahrungen im Umgang mit entsprechenden Patienten haben, einzuholen und zu prüfen, inwiefern das System in der Therapie eingesetzt werden kann bzw. welche Änderungen dafür nötig sind. Dabei stehen folgende Aspekte im Vordergrund: Vergleich zur Spiegeltherapie mit einem Spiegel, Möglichkeiten das System einzusetzen, Nutzen der Übungsaufgaben und Einschätzung der Benutzbarkeit des Systems mit Blick auf die Bedürfnisse und Erfordernisse der Patienten und ihrer Krankheitsbilder. Hieraus sollen neue Anforderungen an die MRMB entstehen, die dann vor der Durchführung einer späteren Nutzerstudie implementiert werden.

4.2 Leitfaden

Damit eine Einschätzung seitens des Experten möglich ist, muss dieser das System zunächst ausprobieren und sich damit vertraut machen. Im Anschluss soll ein halbstrukturiertes Leitfadeninterview stattfinden. Dieses stellt sicher, dass wichtige Fragen nicht unbeachtet bleiben. Dennoch ist ein natürliches Gespräch und damit auch das Ansprechen von Themen, die bei der Vorbereitung nicht bedacht wurden, möglich (Lazar, Feng & Hochheiser, 2010).

Um die zuvor genannten Ziele erreichen zu können, wurden folgende Fragen für die Experteninterviews vorbereitet (siehe auch Anhang B: Experteninterview Leitfaden):

1. Wie ist Ihr erster Eindruck vom System?
2. Welche Vorteile sehen Sie gegenüber Spiegeltherapie mit einem Spiegel?
3. Welche Nachteile?
4. Was halten Sie von den einzelnen Übungsaufgaben?
 - Sollten Übungen weggelassen, oder geändert werden?
 - Haben Sie Ideen für Übungen, die man zusätzlich aufnehmen sollte?
5. Halten Sie die Entwicklung eines Trainingsprogramms für sinnvoll?
6. Darstellung der Arme:

- Wie schätzen sie die momentane künstliche Darstellung der Arme ein?
 - Was halten Sie von "real" ausschauenden Armen?
 - Denken Sie die Variationsmöglichkeit für die Darstellung der Hände ist wichtig?
 - Was halten Sie von der Abdeckung des Arms?
 - Haben sie noch Ideen, wie man den Fokus auf den "kranken" Arm lenken könnte (nur kranken Arm darstellen? Transparenz? Einer real, einer künstlich?)
7. Was denken Sie über das „fixationsbasierte“ Auswahlmenü?
 8. Wo denken Sie, können bei der Nutzung des Systems Probleme auftreten?
 9. Denken Sie, das System kann in der Spiegeltherapie eingesetzt werden?
 10. Gibt es Fälle, wo der Einsatz des Systems besonders sinnvoll ist / sein könnte?
 11. Gibt es Fälle, wo das System Ihrer Meinung nach nicht geeignet wäre?
 12. Haben Sie noch Anmerkungen/Kommentare oder Verbesserungsvorschläge?

Die Daten der Experteninterviews werden in Form von Audioaufnahmen erhoben, um den Gesprächsfluss nicht zu stören. Hierfür werden die Interviewpartner gebeten eine Einverständniserklärung (siehe Anhang A: Experteninterview Einverständniserklärung) über die Verwendung der durch die Audioaufnahme des Gesprächs erhobenen Daten in schriftlicher, anonymisierter Form zu unterschreiben.

4.3 Durchführung

4.3.1 Erstes Experteninterview

Für die Auswahl des ersten Interviewpartners war es naheliegend, einen durch das Experteninterview im Rahmen der Seminararbeit bereits vorhandenen Kontakt wiederherzustellen. Die Interviewpartnerin ist in einer leitenden Position für eine Klinikgruppe tätig, ausgebildete Physiotherapeutin, hat einen Hochschulabschluss in Neurorehabilitation und gibt unter anderem Kurse für Therapeuten zur Durchführung von Spiegeltherapie. Sie nimmt an vielen Tagungen und Kongressen aus dem Bereich der Neurorehabilitation teil, sodass sie auch immer über aktuelle Forschungsergebnisse und Entwicklungen neuer Therapieformen informiert ist.

Die Interviewanfrage wurde per E-Mail gestellt, wobei der Aufbau und die Funktionen der MRMB bereits kurz vorgestellt wurden. Die Interviewpartnerin erklärte sich daraufhin rasch zu einer Teilnahme bereit.

Das Treffen fand in den Räumen der AG Mensch-Computer-Interaktion an der Universität Konstanz statt, da dies für die Interviewpartnerin keine großen Umstände darstellte und hier bereits ein Computer mit allen nötigen Installationen vorhanden war.

Zunächst wurde die MRMB vorgestellt und durch die Interviewpartnerin getestet. Dies beinhaltete selbstverständlich das Durchführen aller Übungsaufgaben sowie das

Testen der Armbedeckung. Die im Anschluss unmittelbar beginnende Diskussion wurde dann kurz unterbrochen, um den Raum zu wechseln und das Einverständnis für die Verwendung der Daten einzuholen. Daraufhin wurde die Audioaufnahme gestartet und das Gespräch fortgeführt. Die meisten der im Vorfeld vorbereiteten Fragen mussten dabei nicht direkt gestellt werden, sondern wurden während des Gesprächsverlaufs indirekt beantwortet.

4.3.2 Zweites Experteninterview

Für das zweite Experteninterview wurde eine Bekannte kontaktiert, die Ergotherapeutin in einer Rehaklinik ist und mit ihren Patienten unter anderem auch Spiegeltherapie durchführt. Sie selbst war an der Entstehung der groben Ideen zu dem Projekt beteiligt und hat sich ebenfalls für ein Interview bereit erklärt.

Auch dieses Treffen fand in den Räumen der AG Mensch-Computer-Interaktion statt.

Der Interviewpartnerin wurde das System erklärt, während sie es selbst ausprobiert hat. Nachdem alle Funktionen der MRMB getestet worden waren, wurde die Interviewpartnerin gebeten, die Einverständniserklärung zu unterschreiben. Anschließend wurde über das System diskutiert, wobei sich hier das Gespräch stark an dem Leitfaden orientierte.

4.4 Auswertung

Um die Experteninterviews auszuwerten wurden zunächst die Audioaufnahmen transkribiert⁴. Hierbei wurde eine wörtliche Transkription (Höld, 2009) erstellt, bei der das Gesprochene in Schriftdeutsch übertragen wurde, jedoch ohne dabei eine Korrektur der Grammatik vorzunehmen. Da eine inhaltliche Auswertung und nicht eine Analyse der Sprache (Betonung, Dialekt, etc.) stattfinden soll, erscheint diese Vorgehensweise zur Erleichterung der Lesbarkeit als sinnvoll. An einigen wenigen Stellen wurden Kommentare in eckigen Klammern eingefügt, wenn es für nötig erachtet wurde, die Situation oder Gestik zu beschreiben, um die Aussage verständlicher zu machen. Auch Pausen oder Unverständliches wurden durch die Sonderzeichen „...“ bzw. „???“ gekennzeichnet. Durch die wörtliche Transkription ist eine Auswertung der Daten ohne vorherige Selektion und eine damit einhergehende Beeinflussung der Interpretation möglich.

Die beiden Transkripte wurden mit Hilfe der Datenanalysesoftware MAXQDA⁵ kodiert. Dabei wurden die Codes in Anlehnung an das Verfahren der Grounded Theory (Adams, Lunt & Cairns, 2008) „aus dem Text heraus“ erstellt, sodass auch Themen, die im Leitfaden nicht enthalten waren, berücksichtigt werden. Dennoch

⁴ Die vollständigen Transkripte sind auf dem beiliegenden USB-Stick zu finden (siehe auch Anhang I: Inhalte des beiliegenden USB-Sticks).

⁵ <http://www.maxqda.de/>

wurden die Codes so gewählt, dass sie den Fragen aus dem Leitfaden entsprechen bzw. diesen zugeordnet werden können.

Im Folgenden werden die Aussagen der Experten in Bezug auf einzelne Themen zusammengefasst, miteinander verglichen und bewertet. Dabei werden folgende Identifikationsnummern verwendet:

E1	Interviewpartnerin des ersten Experteninterviews
E2	Interviewpartnerin des zweiten Experteninterviews

Tabelle 3: Experteninterview Identifikationsnummern

4.4.1 Virtuelle Darstellung

Das erste Thema der Auswertung bezieht sich auf die Darstellung der Hände in der virtuellen Umgebung. Einerseits geht es dabei um deren Äußeres wie Form und Farbe, andererseits darum, ob beide Hände angezeigt werden oder wie die Aufmerksamkeit auf die gespiegelte Hand gelenkt werden kann. Auch wie gut die Bewegungserkennung funktioniert wird hier analysiert.

Interviewpartnerin E2 sagt über die Darstellung der Hände (siehe Abbildung 17): „Das wirkt auch erstmal komisch“ und ist der Meinung die Hände sollten farblich und von der Form her mehr an eine menschliche Hand angepasst werden. Dennoch hält sie eine exakte Abbildung der Hand des Benutzers für nicht unbedingt erforderlich. Sie glaubt, man nehme sie auch an, wenn sie wie ein Handschuh aussähe. Außerdem schlägt sie vor dem Nutzer die Wahl zwischen verschiedenen Handmodellen zu lassen, sodass jeder Nutzer individuell das Modell auswählen kann, womit er am liebsten übt.

Für die Interviewpartnerin E1 ist die Darstellung der Hände nicht so problematisch: „Also da konnte man sich wirklich vorstellen, das ist meine Hand, ja.“ Sie meint lediglich, es könne sein, dass es eine Rolle spiele, ob die Hand möglichst real aussieht oder nicht. Sie weist jedoch auch darauf hin, dass es Patienten gibt, die sich selbst an dem Spiegelbild sehr stören und hält es für wahrscheinlich, dass es schwierig wäre, dass diese die virtuelle Hand als die Eigene annehmen.

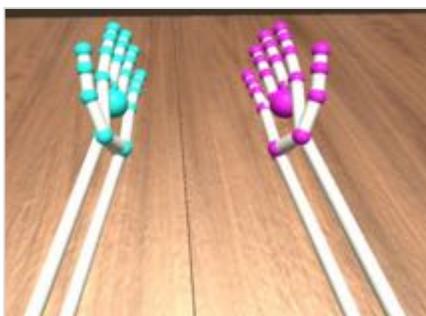


Abbildung 17: Virtuelle Darstellung der Hände

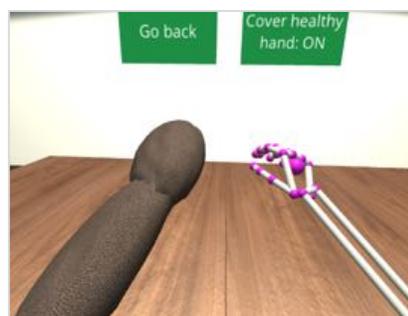


Abbildung 18: Stoffüberzug über gesundem Arm

Ein weiterer Aspekt der virtuellen Darstellung ist die Frage, inwiefern sich die Aufmerksamkeit auf die gespiegelte Hand leiten lässt, da sich der Patient beim Üben mit einem Spiegel ausschließlich auf das Spiegelbild konzentrieren soll. Hierzu wurde ein „Stoffüberzug“ als Armbedeckung implementiert, der den gesunden Arm verdeckt (siehe Abbildung 18).

Der Stoffüberzug wurde von beiden Interviewpartnerinnen nicht als ideales Mittel empfunden, um den Fokus auf die gespiegelte Seite zu setzen. Für Interviewpartnerin E1 war es zwar mit verdecktem gesunden Arm leichter, umzudenken und sich auf die gespiegelte Seite zu konzentrieren, als wenn beide Arme sichtbar sind. Dennoch hielt sie es für eine bessere Idee den gesunden Arm komplett auszublenden und dies vor allem auch als Standardeinstellung beim Start des Programms zu verwenden. Sie ist der Meinung, man gewöhne sich sonst zu sehr daran, dass das, was die reale Hand macht, die virtuelle Hand auf der gleichen Seite macht. Das Umdenken, dass auch die gespiegelte Seite dadurch gesteuert wird, sei dann schwieriger.

Interviewpartnerin E2 empfand den Stoffüberzug als sehr irritierend, besonders wegen des „Flimmerns“ (Bewegen des Stoffes) und würde den gesunden Arm dann „lieber ganz weg“ machen. Sie ist der Meinung, es könne so trotzdem funktionieren und der Stoffüberzug sei irritierender als ein ausgeblendeter Arm. Eine weitere Idee, den Fokus auf die gespiegelte Seite zu lenken, ist, den gesunden Arm zwar anzuzeigen, jedoch ohne, dass dieser sich bewegt. Dies müsse man ausprobieren, um zu sehen, wie es sich anfühlt.

Die Bewegungserkennung und deren virtuelle Darstellung ist ein weiterer wichtiger Punkt für das Funktionieren der Illusion. Interviewpartnerin E1 gibt zu bedenken, dass es die Vorstellung enorm störe, sobald man zur virtuellen Realität einen Versatz habe, einerseits zeitlich und andererseits räumlich gesehen. Von der Zeit her sei dies nicht der Fall gewesen. Räumlich gesehen jedoch stimmen Realität und virtuelle Darstellung nicht immer exakt überein, beispielsweise bei Oppositionsbewegungen zwischen dem Daumen und den anderen Fingern oder auch beim Schließen der Faust, welches übliche Bewegungen in der Spiegeltherapie sind. E2 sieht dies ebenfalls als Nachteil, da solch selektive, feine Übungen mit einzelnen Fingern gerade für das Üben der Feinmotorik notwendig seien. E1 relativiert dieses der Technik geschuldete Problem jedoch mit der Aussage, man könne diese Bewegungen weglassen und, dass viele andere Bewegungen, z. B. das Umdrehen der Hand, bereits sehr gut funktionieren würden.

Fazit

Die roboterähnliche Darstellung der Hände ist ohnehin der Tatsache geschuldet, dass in der zum Zeitpunkt der Entwicklung aktuellsten Version der *Leap Motion Unity Core Assets* die menschlich aussehenden Handmodelle nicht mehr wie in einer älteren Version zuvor enthalten waren. Das verbesserte Tracking in der aktuelleren Version

wurde für zunächst wichtiger erachtet. Die Einbindung realistischerer Handmodelle ist daher ein wichtiger Punkt für eine Weiterentwicklung.

Zudem könnten der Stoffüberzug in einer neuen Version der MRMB entfernt und durch eine entsprechende Auswahlmöglichkeit nur eine Hand (die gespiegelte) oder beide Hände angezeigt werden.

Eine Verbesserung der Bewegungserkennung liegt außerhalb der Möglichkeiten einer Weiterentwicklung innerhalb dieser Arbeit, da diese auf der verwendeten Hardware (*Leap Motion* Controller) und deren *Libraries* basiert.

4.4.2 Vergleich zu herkömmlicher Spiegeltherapie

Als Vorteil der MRMB im Vergleich zum Üben mit einem Spiegel sieht Interviewpartnerin E2 den Bewegungsspielraum. Dieser ist größer, komplexer und durch die Dreidimensionalität näher an der Art und Weise, wie wir im Alltag mit unseren Händen agieren können. Auf der anderen Seite ist die höhere Komplexität für sie aber auch eine Erschwernis der Illusion gegenüber dem Üben mit einem Spiegel, dort fiele ihr die Vorstellung leichter.

Beide Interviewpartnerinnen sind sich darin einig, es sei möglicherweise ein Vorteil, dass der Patient nicht wegschauen kann, was bei einigen Patienten vorkommt, die sich leicht ablenken lassen bzw. sich nicht gut konzentrieren können. Die Brille zwingt diese, auf die virtuelle Umgebung zu schauen. Durch das Eintauchen in die virtuelle Welt könne man sich dann auch länger konzentrieren. Gleichzeitig gibt Interviewpartnerin E2 aber auch zu bedenken, dass dies die Patienten überfordern könne, da es anstrengend für den Kopf sei.

Einen „Riesenvorteil“ eines solchen computergestützten Systems sieht Interviewpartnerin E1 in der Möglichkeit den Spielcharakter weiter herauszuarbeiten. Hierauf wird in Abschnitt 4.4.4 zum Thema Spielentwicklung näher eingegangen.

Ein großer Nachteil gegenüber dem Üben mit einem Spiegel ist laut beiden Interviewpartnerinnen die bereits im vorigen Abschnitt beschriebene Problematik der nicht immer genauen Bewegungserkennung. Interviewpartnerin E1 empfindet das Üben mit der MRMB außerdem als generell schwieriger, da mehr Konzentration für die Illusion benötigt werde.

Darüber hinaus bemerkte Interviewpartnerin E2, dass Patienten sich aufgrund ihrer Einschränkung die VR-Brille nicht selbst aufsetzen können. Wenn immer eine weitere Person beim Aufsetzen helfen muss, erschwert dies den Einsatz des Systems im Eigentaining. Jedoch bringt die Interviewpartnerin zugleich die Idee ein, man könne eine Art Helm konstruieren, um das Problem zu lösen.

Auch die Tatsache, dass sich die VR-Brille nicht immer einwandfrei auf die Sehstärke des Nutzers einstellen lässt, wie es bei Interviewpartnerin E2 der Fall war, sei eine Einschränkung gegenüber dem Üben mit einem Spiegel.

Fazit

Es wurden sowohl Vorteile als auch einige Nachteile der MRMB gegenüber der herkömmlichen Spiegeltherapie unter Verwendung eines Spiegels genannt. Es lassen sich in diesem Abschnitt jedoch keine Probleme finden, welche durch eine Weiterentwicklung des Programms zu lösen wären, da die hier beschriebenen Nachteile sich allesamt auf die Hardware beziehen.

4.4.3 Einsetzbarkeit und Benutzbarkeit

„Also eigentlich ist es ja selbsterklärend, man setzt die Brille auf und los geht’s“ sagte Interviewpartnerin E1 über das System, als sie über den Einsatz von Spielen bzw. computergestützten Systemen in der Therapie sprach. Generell gefalle dies den Patienten und sie können sich dafür begeistern.

Das über Kopfbewegung und Fixation bedienbare Menü findet sie „super“ und „logisch“. Dies gefällt auch der zweiten Interviewpartnerin gut. Auch im Hinblick auf die Patienten meint sie, dass diese es bedienen können, da man „ja nur den Kopf bewegen“ müsse. Man müsse sich jedoch konzentrieren, da aus Versehen etwas ausgewählt werden könne, wenn man vor sich hinstarre. Sie schlägt außerdem vor, die „Go back“-Kachel etwas von den übrigen Kacheln abzusetzen.

Die Übungsszene, in der nur die Hand bzw. Hände angezeigt werden und keine Objekte zum Einsatz kommen, wird nicht genauer diskutiert. Viel wichtiger ist die Beurteilung der Übungsszenen mit Objekten.

Über die Aufgabe, bei der ein Ball mit beiden Händen in eine Kiste gelegt werden soll, sind sich die Interviewpartnerinnen uneinig. Interviewpartnerin E2 findet die Aufgabe grundsätzlich gut, da es eine bimanuelle Tätigkeit sei, die man bei Spiegeltherapie normalerweise nicht machen könne. Dennoch empfindet sie das Greifen des Balls als unintuitiv, man müsse ihn besser, einfacher greifen können, damit er nicht wegrolle. Dies liegt daran, dass der Ball momentan lediglich mit beiden Händen von unten her angehoben werden kann, jedoch kein seitlicher Druck auf ihn ausgeübt wird, wie es in der Realität der Fall wäre, um einen Ball festzuhalten. Interviewpartnerin E1 hingegen ist sehr skeptisch gegenüber dieser Aufgabe, es widerspreche der Realität und sei weit weg vom Möglichen. Sie empfiehlt schlussendlich, auf bimanuelle Aufgaben zu verzichten.

Die Würfelaufgabe wird für gut befunden, bloß sind beide Interviewpartnerinnen der Meinung, dass man hier nur die gespiegelte Hand sehen und mit dieser die Würfel greifen sollte.

Schließlich gibt es noch die Übungsszene, bei der Spielkarten aufgedeckt werden sollen. Interviewpartnerin E1 hatte „den Eindruck, da hat irgendwas nicht gepasst“, sie habe aber gemerkt, worauf es reagiert, und sich auf die Technik eingestellt. „Karten umdrehen finde ich super, das machen wir auch so normal in der Therapie, weil die Bewegung wichtig ist.“, sagte Interviewpartnerin E2 über diese Aufgabe. Sie ist der Meinung es funktioniere ganz gut.

Generell erachten beide Interviewpartnerinnen die Übungen als tendenziell zu schwierig, da dem Gehirn mit den eher komplexen Bewegungen, der nötigen Konzentration und dem Vorstellungsvermögen aufgrund des Spiegelverkehrten viel abverlangt wird.

Fazit

In Bezug auf die Benutzbarkeit wurde eine Anmerkung bezüglich der „Go back“-Kachel gemacht, welche durch ein räumliches oder farbliches Absetzen von den übrigen Kacheln, umgesetzt werden kann. Darüber hinaus wurde das fixationsbasierte Auswahlmenü generell für gut befunden.

Die Übungsszenen wurden teilweise kritisiert, sodass es sinnvoll erscheint, auf die Übungsszene „Ball“ zu verzichten. Die Übungsszene „Cards“ bedarf einer Verbesserung des Greifens. Um dies umzusetzen, müsste der Mechanismus der Greif-Funktion überdacht, weiterentwickelt und für kleine Objekte optimiert werden, was allerdings eine sehr große und für diese Arbeit zu zeitintensive Änderung wäre.

4.4.4 Spielentwicklung

Ein Thema, welches Interviewpartnerin E1 über das gesamte Gespräch hinweg wiederholt hervorhebt, ist der Spielcharakter, der ihr zufolge weiter herausgearbeitet werden sollte. Sie verweist hier auf den Begriff „Serious Games“. Laut Burke *et al.* (2009) haben Spiele das Potenzial aufgrund ihrer Eigenschaften, fesselnd, unterhaltsam und oft sogar süchtig machend zu sein, den meist langatmigen Rehabilitationsprozess zu intensivieren und zu erleichtern. Sie erklärt, dass der Neurotransmitter Dopamin, welcher u. a. beim Spielen ausgeschüttet wird, und das damit verbundene Suchtpotenzial für das motorische Lernen gebraucht werden. Ein Spiel kann einerseits einen Zeitcharakter haben, d. h. etwas muss in einer bestimmten Zeit erreicht werden oder die für eine Aufgabe benötigte Zeit wird gezählt. Andererseits können auch unterschiedliche Schwierigkeitsstufen zum Einsatz kommen, sodass es schwieriger wird, wenn ein Nutzer eine Aufgabe bereits gut kann. Es gebe bereits viele Systeme, die dies umsetzen. Oftmals sind diese alltagsorientiert, z. B. Äpfel, die in einem Korb gesammelt werden müssen. Dies habe sich laut Interviewpartnerin E1 als zu öde erwiesen. Stattdessen „machen [die Patienten] viel lieber Moorhuhn schießen oder so was“.

Nicht ganz so euphorisch über das Herausarbeiten des Spielcharakters ist Interviewpartnerin E2. Sie ist der Meinung, dass dies zwar motivierend sei, es aber

auch überfordern könne, wenn die Bewegungsabläufe für den Patienten zu komplex sind. Man müsse individuell entscheiden, inwiefern dies den Patienten fordern oder überfordern würde.

Fazit

Es wurde empfohlen die Übungsszenen weiter zu einem Spiel auszubauen. In der Szene „Cubes“ könnten hierfür beispielsweise durch Verändern der Größe, der Anzahl oder der Anordnung von Würfeln oder Kisten unterschiedliche Schwierigkeitsgrade entstehen. Auch die zum Erfüllen der Aufgabe benötigte Zeit könnte hier sowie in der Spielkarten-Szene gezählt werden. Dennoch sollte der Nutzer nicht dazu gezwungen sein, die Aufgaben in Form eines Spiels zu üben, sodass individuell entschieden werden kann, ob dies gewollt ist.

5 Mixed Reality Mirror Box: Weiterentwicklung

Nach der Durchführung der zuvor beschriebenen Experteninterviews soll die MRMB nun an einigen Stellen weiterentwickelt werden. Im Folgenden werden die neuen Anforderungen und deren Umsetzung erläutert.

5.1 Neue Anforderungen

Aus den Ergebnissen der im vorigen Kapitel beschriebenen Experteninterviews können neue Anforderungen an die MRMB abgeleitet werden.

Für die Verbesserung der virtuellen Darstellung der Hand ist als erstes die Anpassung des Handmodells zu nennen, welches in Bezug auf Form und Farbe mehr einer menschlichen Hand ähneln soll. Da seit der Entwicklung des ersten Prototyps in einer neueren Version der *Leap Motion Unity Core Assets* neue Handmodelle integriert wurden, ist diese Anforderung auch gut umsetzbar. Eine weitere Anforderung ist, dass der Stoffüberzug über der gesunden Seite entfernt werden soll, da dieser irritiert und die Aufmerksamkeit auf sich gezogen hat, anstatt den Fokus auf den gespiegelten Arm zu lenken. Stattdessen soll nun standardmäßig nur der gespiegelte Arm angezeigt werden und optional der gesunde Arm eingeblendet werden können.

Des Weiteren soll im fixationsbasierten Menü die „Go back“-Kachel von den restlichen Kacheln abgesetzt werden. Dies kann im Zuge der ohnehin nötigen Umstrukturierung der Kacheln bei der Weiterentwicklung der Übungsszenen z. B. durch eine farbliche Unterscheidung umgesetzt werden.

Aufgrund der Empfehlung der ersten Interviewpartnerin, keine bimanuelle Aufgabe zu verwenden, und der nicht vollständigen Zufriedenheit der zweiten Interviewpartnerin mit dem Greifen des Balls soll die Übungsszene „Ball“ entfernt werden. In der Würfelszene soll nur die gespiegelte Hand sichtbar sein, was dadurch, dass der Stoffüberzug entfernt werden und standardmäßig nur eine Hand angezeigt werden soll, bereits der Fall sein wird.

Die letzte Anforderung, die sich nun aus den Experteninterviews ableiten lässt, ist die Weiterentwicklung zu einem Spiel. Besonders die Würfelaufgabe eignet sich gut, um Elemente eines Spiels hinzuzufügen. Hier sollen unterschiedliche Schwierigkeitsstufen (Levels) entstehen. Außerdem soll sowohl in der Würfel- als auch in der Kartenszene die benötigte Zeit gezählt werden, sodass ein Vergleich der eigenen Leistung stattfinden kann.

Darüber hinaus werden zwei weitere Anforderungen zur Durchführung der Nutzerstudie als erforderlich erachtet, ohne dass diese in den Experteninterviews Thema waren. Zum einen sind dies die Übersetzung der Menü-Elemente und sonstiger Texte in Deutsch zur Verminderung eventueller Barrieren, zum anderen

eine Änderung in der Implementierung der Höhenanpassung, sodass nicht für jeden Benutzer der Abstand zwischen Augen und Tischoberfläche gemessen werden muss.

Zur Übersicht werden die neuen Anforderungen, die nun vor der Durchführung einer Nutzerstudie implementiert werden sollen, tabellarisch aufgelistet:

A7	Die Handmodelle sollen in Form und Farbe an die menschliche Hand angepasst werden.
A8	Der Stoffüberzug soll entfernt werden und stattdessen sollen standardmäßig nur eine Hand und optional beide Hände angezeigt werden.
A9	Die „Go back“-Kachel soll von den übrigen Kacheln des jeweiligen Menüs abgesetzt werden.
A10	Die Übungsszene „Ball“ soll entfernt werden.
A11	Die Übungsszenen „Cubes“ und „Cards“ sollen um spielerische Elemente wie Levels und Zeit erweitert werden.
A12	Die Implementierung der Höhenanpassung soll verbessert werden, sodass keine manuelle Einstellung mehr nötig ist.
A13	Sämtliche Menü-Elemente und Texte sollen in Deutsch übersetzt werden.

Tabelle 4: Neue Anforderungen zur Weiterentwicklung der MRMB

5.2 Implementierung

Dieser Abschnitt beschreibt die Implementierung der einzelnen Anforderungen in *Unity*. Die dabei beschriebenen Skripte können auf dem beiliegenden USB-Stick eingesehen werden. Dieser enthält den Unity-Projektordner inklusive aller Skripte (siehe Anhang I: Inhalte des beiliegenden USB-Sticks).

5.2.1 Einbinden neuer Handmodelle

Im ersten Schritt der Umsetzung der zuvor beschriebenen Anforderungen wurden die *Leap Motion Unity Core Assets* auf Version 4.1.2 aktualisiert und das Hands Module in Version 1.0.0 hinzugefügt, was das Einbinden der neuen Handmodelle ermöglicht (Anforderung A7). Die Architektur der Handmodelle hat sich mit dieser Aktualisierung grundlegend verändert (siehe Abbildung 19). Dies führte dazu, dass die entsprechenden *Unity GameObjects* neu erstellt oder neu angeordnet werden mussten und somit auch die Spiegelung der Hand der neuen Struktur angepasst werden musste.



Abbildung 19: Hierarchie des Objekts LMHeadMountedRig

Ein *LeapHandController*-Objekt enthält nun nur noch die Handmodelle, die für das Aussehen der Hände zuständig sind. Die *PhysicsModels*, die für die Interaktion zuständig sind, werden in der Hierarchie direkt unterhalb des *LMHeadMountedRig*-Objekts platziert. Das heißt die Spiegelung durch Verändern der Rotation und der Skalierung um -1 (siehe *Transform*-Komponente in Abbildung 20) muss sowohl für das zu spiegelnde *LeapHandController*-Objekt als auch für die zu spiegelnden *PhysicsModels* erfolgen. Seit dieser Version gibt es die Möglichkeit der *HandPool*-Komponente des *LeapHandControllers* mehrere Händepaare zuzuweisen. So werden hier alle von dem jeweiligen *LeapHandController* zu steuernde Handmodelle – also auch die *RigidRoundHands* – hinzugefügt.

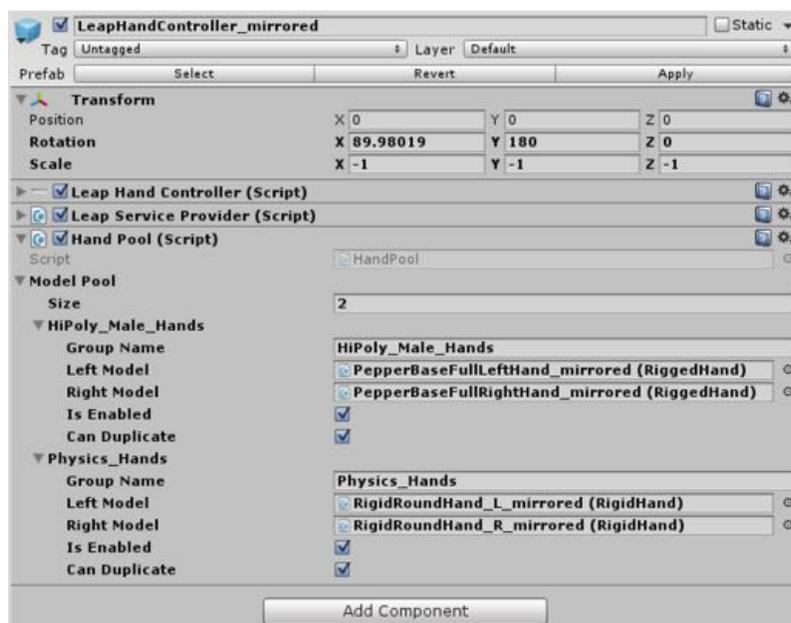


Abbildung 20: Inspector des LeapHandControllers für die gespiegelte Seite

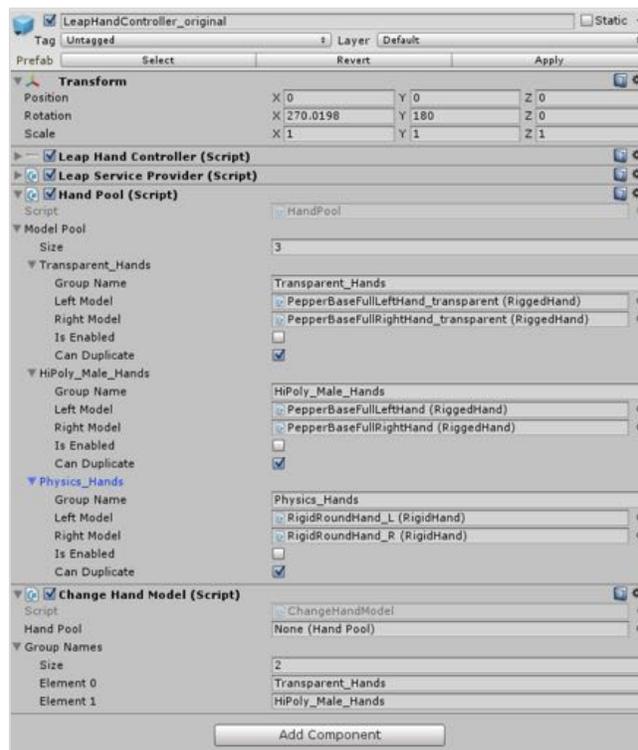


Abbildung 21: Inspector des LeapHandControllers für die gesunde Seite

Als Handmodell wird jetzt das Modell *PepperBaseFullRight(Left)Hand* verwendet und als Farbe wurde ein etwa hautfarbener Ton gewählt (siehe Abbildung 22 und Abbildung 23).



Abbildung 22: Neues Handmodell



Abbildung 23: Neues Handmodell

Die neue Strukturierung hatte außerdem Auswirkungen auf die Implementierung der Einstellung, welche Hand die gesunde ist. Daher mussten in dem Skript *SettingsInitializer* entsprechende Anpassungen vorgenommen werden. Anstatt der vier Eltern-Objekte, die jeweils die Handmodelle als Kinder hatten (siehe Abbildung 24), gibt es nun für linke und rechte Handmodelle jeweils ein Array, welchem die entsprechenden Handmodelle zugewiesen werden (siehe Abbildung 25).

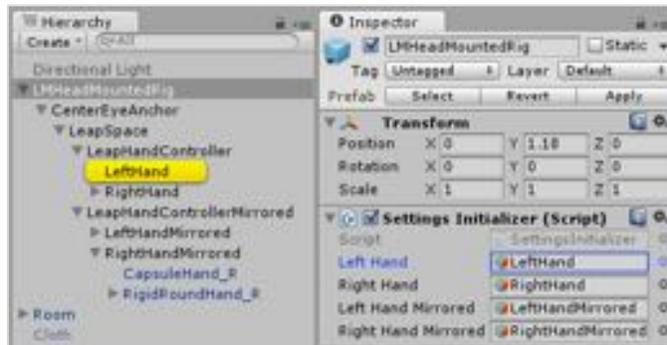


Abbildung 24: *SettingsInitializer*-Komponente des *LMHeadMountedRig* in der Vorgängerversion

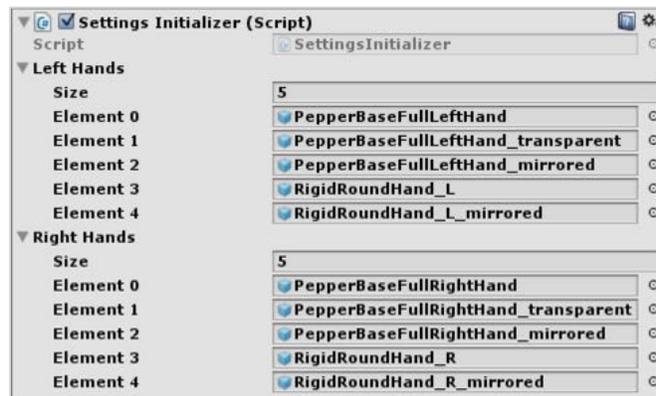


Abbildung 25: *SettingsInitializer*-Komponente des *LMHeadMountedRigs* in der aktuellen Version

5.2.2 Änderungen an Menüs, Texten und Farben

Als nächstes wurden alle Texte der Einstellungsansicht und der Kacheln in Deutsch übersetzt, womit Anforderung A13 erfüllt wurde. Gleichzeitig wurde das Farbschema überarbeitet: Die Einstellungsansicht hat nun einen weißen Hintergrund und die Buttons bzw. Kacheln sind türkisblau und grau gefärbt, sodass die Farben harmonischer sind und besser zum medizinischen Anwendungsbereich passen. Grau gefärbt sind nun alle Buttons bzw. Kacheln, die eine Funktion zum Zurückgehen oder Beenden bieten, also der Button „Beenden“ in der Einstellungsansicht, die Kachel „Verlassen“ in der Auswahlzene und die Kacheln „Zurück“ in den einzelnen Übungsszenen. Auf diese Weise wurde das Absetzen der „Go back“ („Zurück“)-Kachel von den übrigen Kacheln (Anforderung A9) umgesetzt. Während der Anpassungen

an den Menü-Elementen wurde auch die nötige Verweildauer („*gaze time*“), d. h. die Zeit die vergehen muss bis eine fixierte Kachel ausgewählt wird, von 2 Sekunden auf 3 Sekunden erhöht, da bereits während der Entwicklung oftmals eine Kachel unabsichtlich ausgewählt wurde. Der Instruktionstext in der Auswahlzene wurde dementsprechend geändert. Schließlich wurde in der Auswahlzene die Kachel zur Auswahl der Übungsszene „Ball“ entfernt, sodass diese nun nicht mehr ausgewählt werden kann (Anforderung A10). Diese Änderungen sind beispielhaft in Abbildung 26 zu sehen.

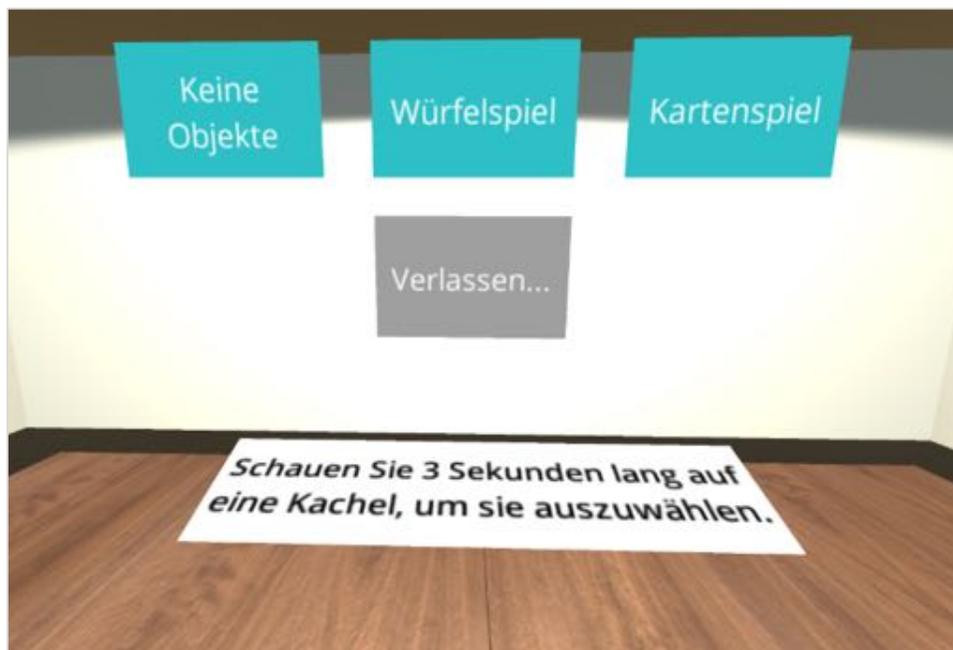


Abbildung 26: Auswahlmenü mit verändertem Farbschema, auf Deutsch übersetzt und ohne eine Kachel zur Szene "Ball"

5.2.3 Sichtbarkeit der gesunden Hand

Um Anforderung A8, Entfernen des Stoffüberzugs und standardmäßiges Anzeigen allein der gespiegelten Hand, zu erfüllen, wurde ein Skript *ChangeHandModel* erstellt, welches die entsprechenden Handmodelle (de-)aktiviert. Dazu muss die Variable *CurrentGroup* mit dem Index des Händepaares, welches aktiviert werden soll, in dem Array *GroupNames* (siehe *ChangeHandModel*-Komponente in Abbildung 21) belegt werden. Um alle Modelle zu deaktivieren, muss *CurrentGroup* mit -1 belegt werden. Insgesamt gibt es drei Optionen: alle Handmodelle für die nicht gespiegelten Modelle deaktivieren, sodass nur die gespiegelte Seite sichtbar ist (Abbildung 27), das transparente Handmodell aktivieren, sodass die nicht gespiegelte Hand transparent dargestellt wird (Abbildung 28), oder das vollständige, undurchsichtige Handmodell aktivieren, sodass beide Hände gleich dargestellt werden (Abbildung 29).

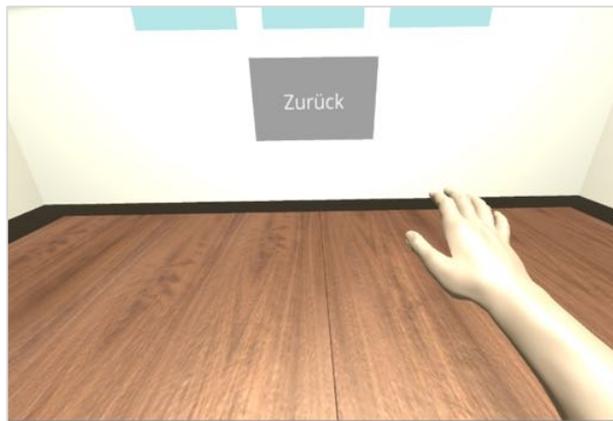


Abbildung 27: Nur gespiegelte Seite sichtbar



Abbildung 28: Gesunde Hand transparent sichtbar



Abbildung 29: Gesunde und gespiegelte Hand gleichwertig sichtbar

Die zuvor über die *PlayerPrefs* dauerhaft gespeicherte Einstellung, ob die gesunde Hand verdeckt werden soll oder nicht, entfällt somit. Beim Laden einer Übungsszene

sind alle Handmodelle für die gesunde Hand zunächst deaktiviert. Um dies während des Übens ändern zu können bedarf es schließlich noch einer Steuerung. So wurde aus dem *ToggleButton* zum Ein- bzw. Ausschalten der Armbedeckung ein Menü „Gesunde Hand“, welches die drei Optionen „aus“, „transparent“ und „ganz“ enthält, die sich auf die zuvor beschriebenen Handmodelle beziehen (siehe Abbildung 30). Beim Auswählen einer der drei Kacheln wird die Methode *ChangeHandGroup(groupNumber)* des *ButtonHandler*-Skripts aufgerufen, welche die Variable *CurrentGroup* der *ChangeHandModel*-Komponente mit der übergebenen *groupNumber* belegt und somit die entsprechenden Hände (de-)aktiviert.



Abbildung 30: Menü für Sichtbarkeit der gesunden Hand

5.2.4 Spielentwicklung

Die nächsten Schritte der Weiterentwicklung beziehen sich auf die Spielentwicklung in den beiden übrigen Übungsszenen mit Objekten und dienen somit der Erfüllung der Anforderung A11.

Hierzu musste zunächst die Greiffunktionalität wiederhergestellt werden, welche nach dem Einbinden der neuen Handmodelle nicht mehr funktionierte. Ursache hierfür, war ein für das Erkennen der Pinch-Bewegung benötigter Wert, welcher mit den neuen Handmodellen negativ statt wie zuvor positiv war, wodurch die Pinch-Bewegung nicht mehr erkannt wurde und somit auch keine Objekte mehr gegriffen werden konnte. Dies herauszufinden erforderte einiges an Zeit. Der Wert *proximal_length* in der Methode *GetNewPinchState()* des *GrabbingHand*-Skripts wird nun entsprechend mit -1 multipliziert:

```
// Scale trigger distance by thumb proximal bone length
float proximal_length = -1f * leap_hand.Fingers[0].Bone(
    Bone.BoneType.TYPE_PROXIMAL).Length;
float trigger_distance = proximal_length * grabTriggerDistance;
float release_distance = proximal_length * releaseTriggerDistance;
```

Als nächstes wurden in der Würfel-Aufgabe unterschiedliche Levels implementiert. Mit jedem Level werden die Kisten, in die die Würfel gelegt werden sollen, etwas kleiner, sodass man genauer treffen muss. Ein Level ist beendet, sobald alle Würfel in der farblich passenden Kiste liegen. Um zu erkennen, dass ein Würfel innerhalb

einer Kiste liegt, wurde den Kisten jeweils ein Objekt *Collider* hinzugefügt, welches eine als Trigger fungierende *BoxCollider*-Komponente enthält, die etwa den Maßen der Kiste entspricht (siehe Abbildung 31). Die Höhe des *BoxColliders* ist etwas niedriger als die der Kiste, damit die Kollision erst erkannt wird, wenn sich der Würfel tatsächlich innerhalb der Kiste befindet.

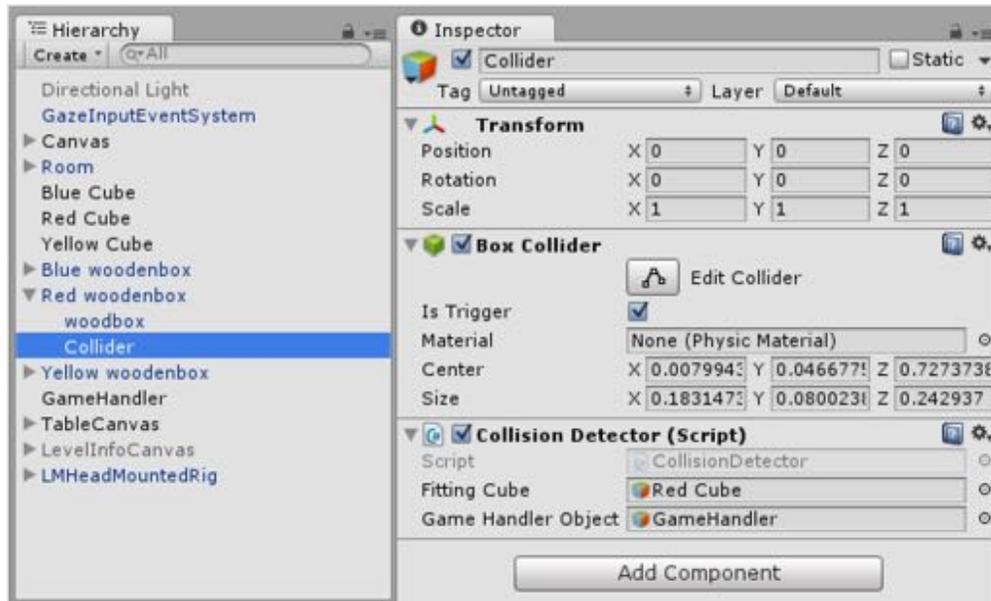


Abbildung 31: Collider-Objekt einer Kiste zur Erkennung der Kollision mit einem Würfel

Die Komponente *CollisionDetector* prüft, sobald eine Kollision erkannt wurde (mittels der Funktion *OnTriggerEnter()*), ob das kollidierende Objekt dem passenden Würfel entspricht. Dieses wird über die Variable *fittingCube* zugeordnet (siehe Abbildung 31). Wenn dies der Fall ist, wird die Methode *OnMatch(matchingBox)* des *GameHandlers* aufgerufen, wo auch die restliche Spiellogik stattfindet. Genauso wird der *GameHandler* auch über die Methode *OnMatchDismissal(matchingBox)* wieder benachrichtigt, wenn ein passender Würfel aus der Kiste entfernt wird (mittels der Funktion *OnTriggerExit()*).

Das Objekt *GameHandler* bzw. dessen Komponente *CubesGameHandler* (siehe Abbildung 32) ist für die Spielsteuerung zuständig.

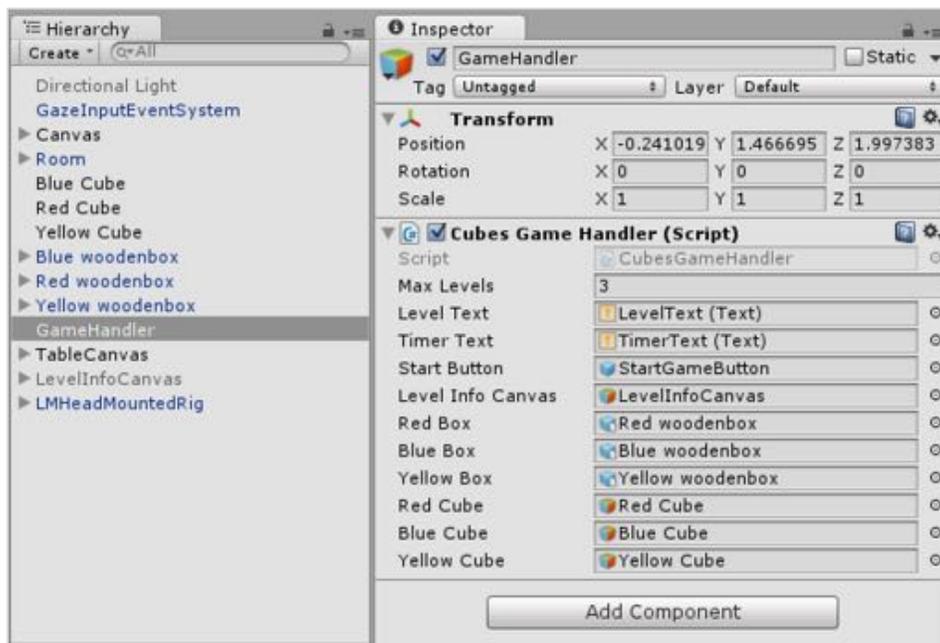


Abbildung 32: GameHandler-Objekt mit Komponente CubesGameHandler

Um das Spiel starten zu können wurde dem *Canvas*-Objekt eine Kachel „Spiel starten“ hinzugefügt (siehe Abbildung 33).

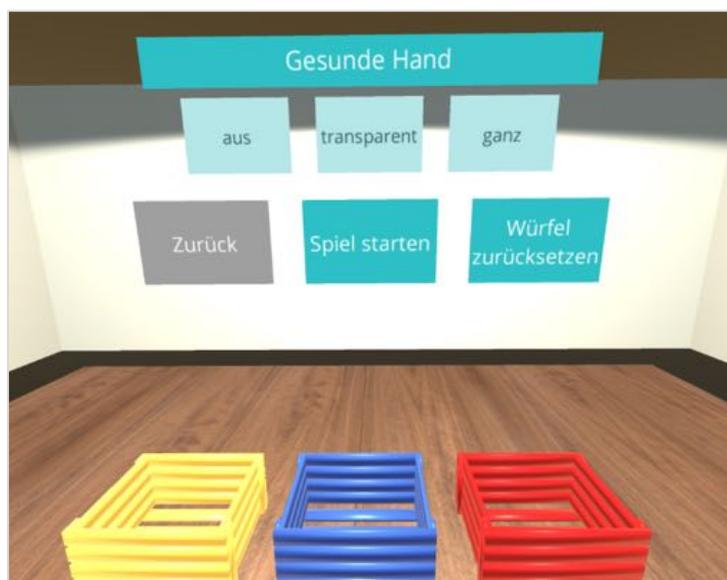


Abbildung 33: Szene "Würfelspiel"

Wenn diese ausgewählt wird, wird die Methode *StartGame()* aufgerufen, welche die Variable *gameRunning* invertiert, die Variable *level* auf den Wert 1 setzt, die Variable *timer* auf 0, alle Kisten auf ihre normale Größe (*ResetBoxes()*) und die Würfel auf ihre

Ausgangsposition (*ResetCubes()*) zurücksetzt, die Texte für die Angabe des Levels (*UpdateLevelText()*) und der Zeit (*UpdateTimerText()*) aktualisiert und den Text der „Spiel starten“-Kachel auf „Spiel beenden“ ändert (*UpdateStartButtonText()*). Die Werte für die Ausgangspositionen und -größen der über den *Inspector* zugeordneten Würfel und Kisten werden beim Initialisieren des *GameHandler*-Objekts gespeichert, sodass beim Zurücksetzen immer wieder auf die Ursprungswerte zugegriffen werden kann. Die Methode *StartGame()* wird auch aufgerufen, wenn das Spiel bereits läuft und durch Auswahl der Kachel wieder beendet wird.

Wenn nun das Spiel läuft, d. h. die Variable *gameRunning* „true“ ist, werden das aktuelle Level und die Zeit auf dem Tisch eingeblendet (siehe Abbildung 34). Die Anzahl der Levels, bis das Spiel fertig ist, (*maxLevels*) beträgt drei, da das Spiel so für eine geübte Person sehr gut zu bewältigen ist. Aufgrund der Aussage in den Experteninterviews, die Aufgaben seien generell etwas zu schwierig, soll es gleichzeitig jedoch nicht zu schwer sein.

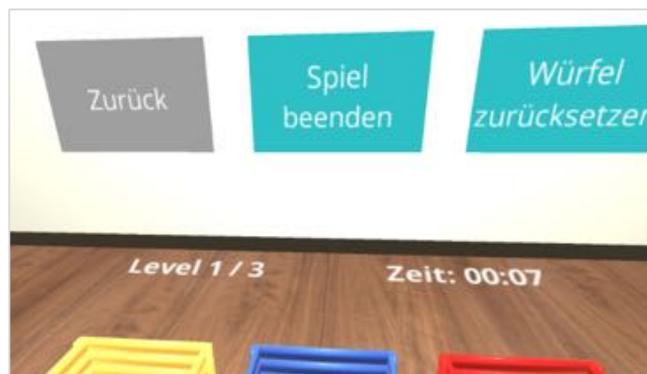


Abbildung 34: Das Würfelspiel wurde gestartet

Die Zeit wird gezählt, indem in der *Update()*-Methode, die bei jedem *Frame* ausgeführt wird, die Variable *timer* um die zur Ausführung des letzten *Frames* benötigten Zeit in Sekunden (*Time.deltaTime*) erhöht wird. Entsprechend wird auch der *TimerText* in der *Update()*-Methode aktualisiert.

Um zu prüfen, ob ein Level vollendet wurde, gibt es ein Array *matchings*. Diesem wird in der Methode *OnMatch(matchingBox)* die übergebene Kiste *matchingBox* hinzugefügt, sodass ein Level vollendet ist, sobald das Array *matchings* genau drei Elemente enthält. In der Methode *OnMatchDismissal(matchingBox)*, d. h. wenn ein passender Würfel wieder aus der Kiste herausgenommen wird, wird das entsprechende Element aus dem Array entfernt. Die Überprüfung, ob das Array die Größe drei erreicht hat, findet wie das Aktualisieren der Zeit in der *Update()*-Methode statt.

Wenn das Array *matchings* drei Elemente enthält, wird die Methode *EndLevel()* aufgerufen, welche dazu dient das aktuelle Level zu beenden. Hier werden das

LevelInfoCanvas eingeblendet (siehe Abbildung 35), der Zeitpunkt für das Vollenden des Levels gesetzt (*levelEndTime*) und die Elemente aus dem Array *matchings* gelöscht. Die Variable *levelEndTime* ist eine Addition des aktuellen Werts der Variable *timer* und der Zahl 2,5.



Abbildung 35: Würfelspiel Level 1 beendet

Hintergrund der *levelEndTime* ist, dass das *LevelInfoCanvas* und die Würfel in den Kisten für 2,5 Sekunden sichtbar bleiben sollen, bevor das nächste Level gestartet wird. Es wird also nun ebenfalls in der *Update()*-Methode überprüft, ob die aktuelle Zeit (*timer*) größer ist als die *levelEndTime*. Erst dann wird die Methode *CompleteLevel()* aufgerufen. In dieser Methode wird die *levelEndTime* wieder auf ihren Startwert „unendlich“ gesetzt, sodass der Wert ab sofort wieder größer als der Wert der Variable *timer* ist. Anschließend findet eine Fallunterscheidung statt.

Im ersten Fall ist das gerade beendete Level nicht das letzte. Dann werden das *LevelInfoCanvas* wieder ausgeblendet, die Kisten verkleinert (*ShrinkBoxes()*), die Würfel zurückgesetzt (*ResetCubes()*), die Variable *level* inkrementiert und die Level-Statusanzeige auf dem Tisch aktualisiert (*UpdateLevelText()*). Die Methode *ShrinkBoxes()* verkleinert die Kisten in *x*- und *z*-Ausdehnung um 0,1 und verschiebt sie auf der *x*-Achse um 13 % des vorherigen Wertes nach links, sodass die Kisten etwa an der gleichen Stelle bleiben. Aufgrund einer Rotation um die *y*-Achse würden sie sonst weiter rechts stehen.

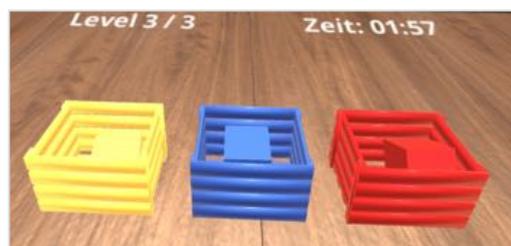


Abbildung 36: Kleinere Kisten (Level 3)

Im zweiten Fall ist das gerade beendete Level das letzte. In diesem Fall wird das *LevelInfoCanvas* nicht direkt ausgeblendet, sondern der Text wird geändert zu „Alle Levels geschafft! Zeit: <benötigte Gesamtzeit>“ (siehe Abbildung 37) und es wird eine *Coroutine* gestartet, durch die das *LevelInfoCanvas* erst nach acht Sekunden ausgeblendet wird. Außerdem werden die Variable *gameRunning* auf *false* gesetzt, daraufhin die Texte für Level, Zeit und die Kachel ausgeblendet bzw. aktualisiert und die Kisten und Würfel zurückgesetzt.



Abbildung 37: Alle Levels des Würfelspiels vollendet

Über die Kachel „Würfel zurücksetzen“ können die Würfel, auch ohne dass dafür das Spiel beendet werden muss, an ihre Ausgangsposition zurückgesetzt werden, falls diese beispielsweise vom Tisch gefallen sind.

In der Kartenszene wurde die Spielfunktion auf ähnliche Weise implementiert wie in der Würfelszene. Da es hier keine Levels gibt, ist sie jedoch weniger umfangreich. Es gibt auch hier ein Objekt *CardsGameHandler* mit gleichnamiger Komponente, welche für die Steuerung des Spiels zuständig ist (siehe Abbildung 38).

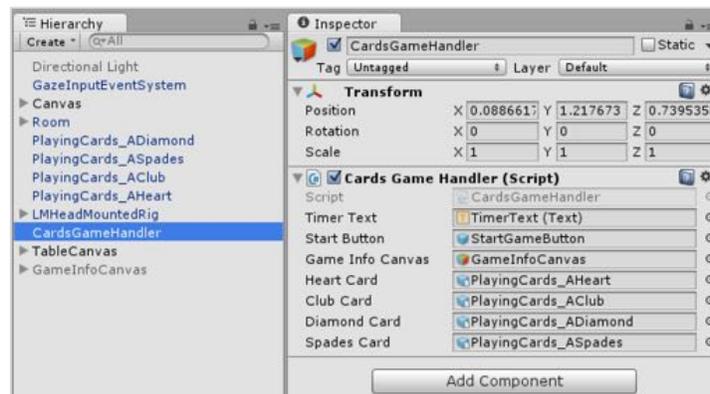


Abbildung 38: *CardsGameHandler*-Objekt bzw. -Komponente

Durch Auswahl der auch hier im Menü vorhandenen Kachel zum Starten bzw. Beenden des Spiels (siehe Abbildung 39) werden die Variable *gameRunning* invertiert, die Zeit auf 0 gesetzt, die Karten an die Ausgangsposition zurückgesetzt und die Texte der Zeitanzeige und der „Spiel starten“-Kachel aktualisiert. Die Zeit wird auf gleiche Weise gezählt und auf dem Tisch angezeigt.



Abbildung 39: Kartenspiel gestartet



Abbildung 40: Kartenspiel läuft

Das Spiel ist beendet, sobald alle Karten aufgedeckt wurden. Um dies zu überprüfen gibt es eine Variable *cardsOpened*, die zunächst *false* ist, und eine Methode *AllCardsOpen()*, die einen Booleschen Wert zurückgibt, welcher angibt, ob alle Karten aufgedeckt wurden oder nicht. Ausschlaggebend hierfür ist der Wert der Rotation um die *x*-Achse der einzelnen Spielkarten. Ist die Differenz des aktuellen Werts und des beim Initialisieren des *CardsGameHandler*-Objekts gespeicherten Werts gleich 180 (absolut betrachtet), dann gilt eine Spielkarte als aufgedeckt. Ist dies der Fall liefert *AllCardsOpen()* als Rückgabewert *true*. In der *Update()*-Methode wird die Methode *EndGame()* aufgerufen, wenn *cardsOpened false* ist und *AllCardsOpen() true* zurückgibt. *cardsOpened* wird dann in der Methode *EndGame()* auf *true* gesetzt. Dies ist nötig, da durch die alleinige Bedingung „*AllCardsOpen()*“ diese in jedem *Frame* zutreffen würde. Mit Hilfe der Variable *cardsOpened* wird hieraus ein einmaliges Ereignis. Außerdem wird auch hier eine Variable *gameEndTime* auf den Wert der Variable *timer* + 1 gesetzt. Sobald nun der Wert der Variable *timer* größer ist als der unter *gameEndTime* gespeicherte Wert, wird die Methode *CompleteGame()* aufgerufen. Dadurch bleiben die Karten noch für eine Sekunde lang aufgedeckt liegen. Erst jetzt werden die eigentlichen Schritte zum Beenden des Spiels durchgeführt: Die Variable *gameEndTime* wird wieder auf unendlich gesetzt, es wird das *gameInfoCanvas* mit dem Text „Alle Karten aufgedeckt! Zeit: <benötigte Zeit>“ eingeblendet (siehe Abbildung 41) und auch hier mittels einer *Coroutine* nach 8 Sekunden wieder ausgeblendet, die Variable *gameRunning* wird auf *false* gesetzt, die Texte werden ausgeblendet bzw. aktualisiert und schließlich werden auch die Karten wieder zu ihrer Ausgangsposition zurückgesetzt.



Abbildung 41: Kartenspiel beendet

Auch hier gibt es die Möglichkeit die Karten durch Auswahl der Kachel „Karten zurücksetzen“ jederzeit an ihre Ausgangsposition zurückzusetzen.

5.2.5 Verbesserung der Höhenanpassung

Zu guter Letzt gilt es Anforderung A12 zu erfüllen, welche sich auf die Verbesserung der Implementierung der Höhenanpassung bezieht.

In der nun verwendeten Version der *Leap Motion Unity Core Assets* hat das *LMHeadMountedRig*-Objekt eine Komponente *VRHeightOffset* (siehe Abbildung 42). Durch den dort angegebenen Wert *HeightOffset* wird die Höhe des Objekts *LMHeadMountedRig* und damit die Höhe der Kamera bestimmt. Da zu dem *Oculus Rift* HMD ab Version DK2 auch ein *Positional Tracker* gehört, welcher die Position des HMD innerhalb des Tracking-Bereichs misst, wird jede Positionsänderung des HMD und damit auch der Kamera für die virtuelle Umgebung mitverfolgt und aktualisiert. Es bedarf daher nur einer festgelegten Startposition beim Laden der virtuellen Umgebung, wofür sich die Tischoberfläche anbietet, da der Tisch Teil des Aufbaus ist. Die Variable *HeightOffset* wird also mit dem Wert der Höhe der Tischoberfläche in der virtuellen Umgebung belegt, welcher 0,79 beträgt (siehe Abbildung 42).



Abbildung 42: LMHeadMountedRig mit Komponente VRHeightOffset

Liegt nun das HMD beim Starten der virtuellen Umgebung auf der Tischoberfläche des realen Tisches und wird die Höhe des *LMHeadMountedRigs* auf 0,79 gesetzt, sodass sich auch in der virtuellen Umgebung die Kamera auf Höhe der Tischoberfläche befindet, dann verhalten sich HMD-Position bzw. Kameraposition immer gleich zur realen bzw. virtuellen Tischoberfläche.

Somit entfällt die zuvor notwendige Messung und Einstellung des Abstands zwischen Augen und Tischoberfläche. Das Eingabefeld in der Einstellungsansicht wurde entfernt und der Instruktionstext entsprechend abgeändert (siehe Abbildung 43).

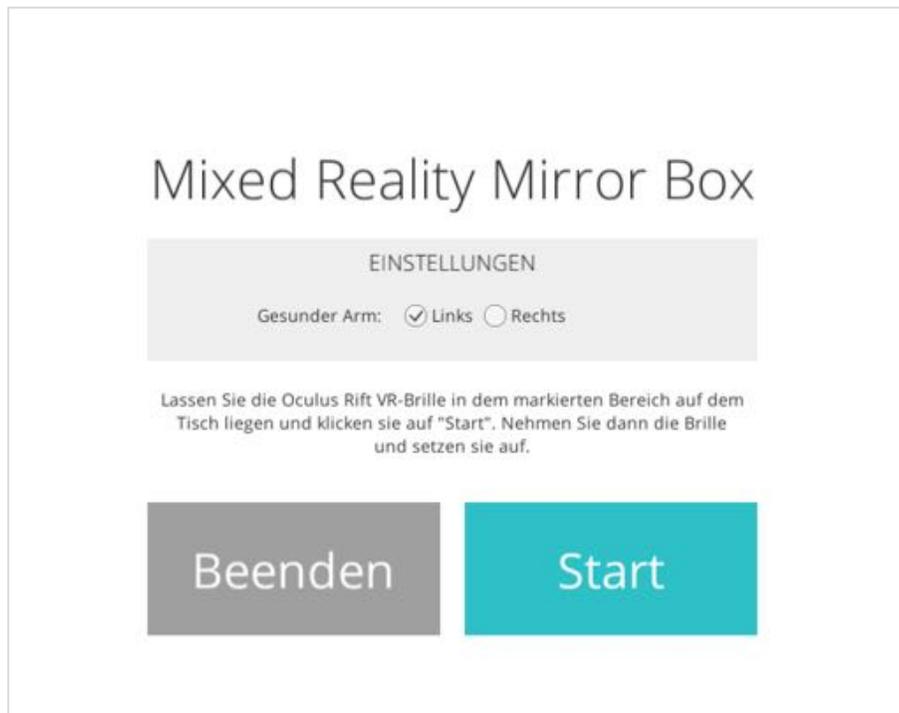


Abbildung 43: Einstellungsansicht mit verändertem Farbschema, in Deutsch und überarbeiteten Instruktionen für die Höhenanpassung

6 Nutzerstudie

Im Anschluss an das erste Experteninterview wurde die Möglichkeit der Durchführung einer Nutzerstudie mit betroffenen Patienten in einer der Kliniken, für die die Interviewpartnerin tätig ist, besprochen. Dankenswerterweise hat sich die Klinikgruppe bereit erklärt das Projekt zu unterstützen und die Durchführung der Studie möglich gemacht. Dieses Kapitel beschreibt die Ziele, den Aufbau, die Durchführung und schließlich die Ergebnisse dieser Studie.

6.1 Zielsetzung

Das Hauptziel der Evaluation von Geräten und Systemen, welche im medizinischen und therapeutischen Bereich eingesetzt werden sollen, ist in der Regel, deren Nutzen und Wirkung zu beurteilen. Hier geht es jedoch zunächst viel mehr darum, Fragen wie die folgenden zu beantworten: Ist das System für Nutzer der Zielgruppe bedienbar und anwendbar? Wie gerne benutzen diese es? An welchen Punkten muss etwas verbessert werden? Und wo stößt die Technik für den vorgesehenen Einsatzbereich an ihre Grenzen?

6.2 Studienaufbau

In der an der Durchführung der Studie beteiligten Klinik wird Spiegeltherapie bei schwer betroffenen Schlaganfallpatienten eingesetzt. Aus diesem Grund werden ausschließlich Schlaganfallpatienten und keine Patienten mit Phantomschmerzen oder CRPS Teil der Studie sein. Die Studie soll in den Räumen der Klinik stattfinden, so lässt sich die Studienteilnahme optimal in die Therapiepläne der Patienten integrieren. Außerdem befinden sich diese dabei in einer natürlichen Umgebung, welche auch einem der möglichen Einsatzbereiche eines solchen Systems entspricht. Dies hat gleichzeitig den Vorteil, dass eine Sitzung der Studie für den Probanden einer Therapiesitzung ähnelt. Somit kann von ähnlichen Erwartungen und Verhaltensweisen wie in einer realen Therapiesitzung ausgegangen werden. Um festzustellen, inwiefern sich die Nutzung des Systems im Laufe der Zeit verändert, sollen die Probanden die Möglichkeit haben, es innerhalb einer Woche mehrmals zu nutzen, wenn sie möchten. Die Auswahl der Probanden und Planung der Termine erfolgt durch Mitarbeiter der Klinik anhand folgender Vorgaben:

- Gleiche Indikation wie für Spiegeltherapie
- Betroffene Extremität: Arm
- Kognitiv nicht oder kaum eingeschränkt: Sprechen, Hören/Verstehen und Sehen sind möglich.
- Kein Gesichtsfeldausfall
- Bei einer Sehschwäche muss individuell ausprobiert werden, ob die Benutzung des Systems möglich ist.

- Anzahl der Probanden: keine Einschränkung (Im Vorfeld hat die Interviewpartnerin bereits angedeutet, dass sich etwa 3-5 geeignete Probanden finden würden.)
- Dauer der Sitzung: etwa eine Stunde jeweils mit etwas Puffer zwischen zwei Sitzungen

Der Studienablauf ist nun folgendermaßen geplant: Beim ersten Treffen mit einem Probanden wird dieser begrüßt, über den Ablauf und die Ziele der Studie aufgeklärt. Daraufhin werden das Einverständnis über die Verwendung der Daten sowie ggf. eine Fotogenehmigung eingeholt. Nach der Besprechung dieser Formalien wird ein Vorgespräch geführt. Im Anschluss daran wird das System zunächst demonstriert und schließlich von dem Probanden selbst getestet. Während der Proband das System testet wird eine Audioaufnahme gemacht, um die Nutzung des Systems später nachvollziehen zu können, wenn möglicherweise nicht ausreichend Notizen gemacht werden konnten, z. B. aufgrund gleichzeitig erforderlicher Hilfestellungen. Der Proband kann selbst entscheiden, welche Übungen und Funktionen er nutzen möchte, dennoch wird beim ersten Ausprobieren auch darauf geachtet, dass der Proband viele, wenn möglich alle, Funktionen testet. Selbstverständlich besteht für den Probanden jederzeit die Möglichkeit das Nutzen des Systems zu pausieren oder zu beenden oder auch die Studienteilnahme abubrechen. Im Anschluss an das erste Ausprobieren folgt eine Nachbesprechung. Sofern der Proband das System in den darauffolgenden Tagen wieder nutzen möchte, werden jeweils vor, während oder nach der Nutzung Fragen gestellt und Beobachtungen gemacht.

Für die Durchführung der Studie wurden einige Dokumente vorbereitet. Das Organisatorische betreffend sind dies die Einverständniserklärung über die Verwendung der erhobenen Daten (siehe Anhang C: Nutzerstudie Einverständniserklärung), eine Fotogenehmigung (siehe Anhang D: Nutzerstudie Fotogenehmigung) sowie ein einleitendes Schreiben zum Studienablauf (siehe Anhang E: Nutzerstudie Studienablauf), das Inhaltliche betreffend die im Folgenden beschriebenen Dokumente mit größtenteils offenen Fragen für die Durchführung halbstrukturierter Interviews.

1. Vorgespräch (Anhang F: Nutzerstudie Leitfaden Vorgespräch): Das Vorgespräch dient einem ersten Kennenlernen und Einschätzen der Vorerfahrung des Probanden, einerseits mit Spiegeltherapie andererseits mit VR. Es enthält Fragen zur Person bzw. Erkrankung, zu Erwartungen und Motivation, zur Erfahrung mit Spiegeltherapie und ggf. weitere Fragen zur Anwendung von Spiegeltherapie.
2. Nachbesprechung (Anhang G: Nutzerstudie Leitfaden Nachbesprechung): Die Nachbesprechung findet nach dem ersten Ausprobieren des Systems statt. Es soll über erste Eindrücke, Empfindungen und Meinungen zu den einzelnen Komponenten des Programms, die nötige Konzentration, den Spaßfaktor, die

Illusion, ggf. Unterschiede zu Spiegeltherapie mit einem Spiegel und Verbesserungsvorschläge gesprochen werden.

3. Fragen bei Folgebesuchen (Anhang H: Nutzerstudie Leitfaden für Folgebesuche): Bei weiterem Ausprobieren des Systems während der nächsten Tage werden erneut Fragen zum Befinden, der Wahrnehmung, zu positiven und negativen Eindrücken, Verbesserungsvorschlägen und zu Veränderungen gegenüber dem vorherigen Nutzen des Systems bzgl. Konzentration, Spaß, Illusion usw. besprochen.

Daten werden hauptsächlich in Form von Notizen auf den vorbereiteten Dokumenten erhoben. Dabei werden sowohl Antworten auf explizite Fragen notiert, als auch Aussagen, Eindrücke und Beobachtungen, die während einer Sitzung entstehen. Außerdem werden in der jeweils ersten Sitzung mit einem Probanden während der Nutzung des Systems Audiodaten erhoben.

6.3 Durchführung

Die Mitarbeiter der Klinik aus dem Bereich Ergotherapie haben sechs Patienten gefunden, die als Probanden in Frage kamen und bereit waren an der Studie teilzunehmen. Da die Patienten in der Klinik einen Wochenplan bekommen, der all ihre Therapiesitzungen enthält, wurden diese in der Regel täglich für eine Stunde zur Studienteilnahme eingeteilt (siehe Abbildung 44).

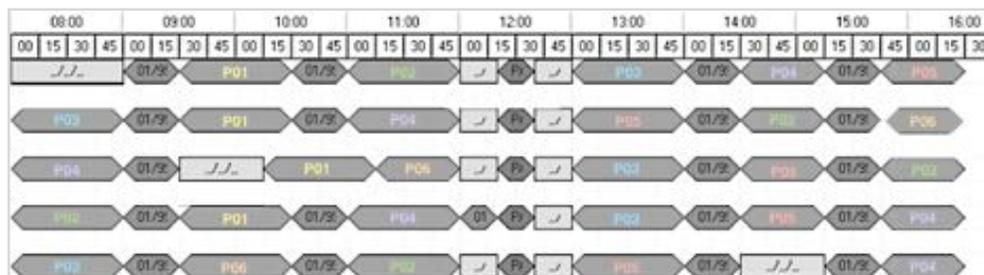


Abbildung 44: Anonymisierter Terminplan der Studie von Montag bis Freitag (je eine Zeile)

Abbildung 45 zeigt den Aufbau des Systems in der Klinik, wie er während der gesamten Dauer der Studie bestand. Es wurde ein Computer mit einer leistungsstarken Grafikkarte verwendet, an den ein Monitor, Maus und Tastatur sowie die *Oculus Rift* VR-Brille und der *Leap Motion* Controller angeschlossen wurden. Damit sich die VR-Brille optimal innerhalb des Erkennungsbereichs des zugehörigen *Positional Trackers* befindet, wurde auf dem Tisch mit Hilfe eines Klebebands ein Bereich markiert, in dem die VR-Brille liegt, bevor sie aufgesetzt wird. So wird sichergestellt, dass die Veränderung der Höhe beim Aufsetzen richtig erkannt wird. Über den Monitor konnte während der Nutzung des Systems mitverfolgt werden, was der Nutzer sieht. Als vorteilhaft erwies sich außerdem die

Höhenverstellbarkeit des Tisches, da alle bis auf ein Proband in einem Rollstuhl saßen und die Höhe so individuell angepasst werden konnte.



Abbildung 45: Aufbau der Mixed Reality Mirror Box zur Durchführung der Nutzerstudie

Die Probanden kamen jeweils zu den vorgegebenen Terminen zu dem entsprechenden Raum, in dem die Sitzungen in einer ruhigen Atmosphäre stattfinden konnten. Nach jeder Sitzung wurde die VR-Brille mit einem Desinfektionstuch gereinigt.

Der Leitfaden für Fragen bei Folgebesuchen wurde nach dem ersten Tag, an dem dieser zum Einsatz kam, (Dienstag) etwas angepasst bzw. umgestellt.⁶ Der Grund dafür war vor allem, dass die Frage, ob der Proband das Gefühl hat, ihm habe das Nutzen des Systems persönlich geholfen, zu diesem Zeitpunkt von keinem der Probanden beantwortet werden konnte. Dies nach jeder Sitzung zu fragen, könnte eine frustrierende Wirkung auf die Probanden haben, da eine Verbesserung der Körperfunktion natürlich erhofft wird, aber innerhalb weniger Tage sehr unwahrscheinlich ist. Diese Frage wurde daraufhin also nur noch in der jeweils letzten Sitzung gestellt.

Auch am System wurden im Laufe der Woche einige kleinere Änderungen vorgenommen, sodass für unterschiedliche Probanden teilweise unterschiedliche Versionen verwendet wurden. Auf diese Änderungen wird in der Auswertung näher eingegangen.

Um eine anonymisierte Dokumentation zu ermöglichen, wurde den Probanden jeweils eine Identifikationsnummer (P01–P06) zugewiesen, welche auf jedem Dokument vermerkt wurde. Insgesamt wurden 35 Protokolle erstellt.

⁶ Im Anhang befindet sich die aktualisierte Version des Dokuments, die erste Version ist auf dem beiliegenden USB-Stick zu finden.

Bei Proband P03 gab es Schwierigkeiten, die *Oculus Rift* VR-Brille so einzustellen, dass er scharf sehen konnte. Obwohl der Proband angab, nur gelegentlich beim Fernsehen eine Brille zu tragen, konnte trotz Austesten aller Anpassungsmöglichkeiten der VR-Brille keine passende Einstellung gefunden werden. Der Proband konnte das System daher nicht nutzen und hat somit nicht weiter an der Studie teilgenommen. Aus diesem Grund bezieht sich der Großteil der Auswertung auf die Daten der übrigen fünf Probanden.

6.4 Auswertung

Die Protokolle über die einzelnen Sitzungen wurden digitalisiert und befinden sich auf dem dieser Arbeit beiliegenden USB-Stick.

Folgende Tabelle zeigt eine Übersicht über die Probanden, ihre Einschränkungen und ihre Vorerfahrung mit Spiegeltherapie (siehe Tabelle 5).

Die Hälfte der Probanden hat ein deutlich jüngeres Alter als das Durchschnittsalter von Schlaganfallpatienten, welches laut einer Londoner Studie im Jahr 2013 bei 69,6 Jahren lag (Wang, Rudd & Wolfe, 2013). Das Alter hat möglicherweise eine Auswirkung auf den Umgang mit der MRMB.

ID	Alter	Geschlecht	Krankheitsbild	Einschränkung	Spiegeltherapieerfahrung
P01	46	weiblich	Schlaganfall vor 1 Monat	Links gelähmt, keine Funktion	Keine Erfahrung, nicht bekannt
P02	49	männlich	Schlaganfall vor 5 Monaten	Links gelähmt, seit ein paar Tagen leichte Funktion im Daumen	Ja, seit wenigen Wochen einmal pro Woche 30 Minuten
P03	66	männlich	4. Schlaganfall vor 2 Monaten	Links gelähmt, keine Funktion	Keine Erfahrung, nicht bekannt
P04	43	männlich	Schlaganfall vor 5 Monaten	Links gelähmt, leichte Funktion (minimal Faust machen)	Ja, das erste Mal vor 4 Monaten, dann eine Weile nicht, jetzt seit ein paar Wochen, nicht täglich, 20-30 Minuten
P05	66	männlich	Schlaganfall vor 1,5 Jahren	Links gelähmt, keine Funktion	Ja, seit 2-3 Wochen, einmal pro Woche
P06	61	weiblich	Schlaganfall vor 1,25 Jahren	Rechts gelähmt, keine Funktion	Ja, aktuell seit Frühjahr regelmäßig (1-2 Mal täglich ca. 15 Min.), vor einem Jahr bereits schon mal begonnen

Tabelle 5: Übersicht über die Probanden

Keiner der Probanden hat Vorerfahrungen mit VR. Bis auf die Probanden P02 und P03 haben zwar alle schon einmal davon gehört, haben jedoch keine Meinung dazu bzw. können nichts dazu sagen. Einzig Proband P04 äußerte explizit, eine positive Einstellung und Interesse gegenüber neuen Dingen zu haben. Es hatte somit keiner der Probanden eine grundsätzlich negative oder kritische Einstellung zu VR.

In den Vorgesprächen wurde außerdem gefragt, was die Motivation der Probanden ist an der Studie teilzunehmen und welche Vorstellungen und Erwartungen sie haben. Es lässt sich für alle Probanden zusammenfassend sagen, dass diese, außer der generell vorhandenen Erwartung an den Aufenthalt in der Klinik ihre Körperfunktionen wiederzuerlangen, keine konkreten Erwartungen an das System hatten. Ihnen wurde im Vorfeld kaum etwas über das System und den Inhalt der Studie gesagt, da die Mitarbeiter der Klinik, die mit der Organisation beauftragt waren, selbst wenig darüber wussten. Die dennoch bei allen vorhandene Motivation ist in der Hoffnung auf eine Verbesserung begründet, was sich in der Aussage von Proband P02 „man nimmt jeden Strohhalm, den man kriegen kann“ sehr gut widerspiegelt.

6.4.1 Übungsaufgaben

In den insgesamt 23 Sitzungen der fünf Probanden (ohne P03) wurde 19 Mal das Würfelspiel verwendet, 17 Mal die Szene ohne Objekte und 12 Mal das Kartenspiel. Abbildung 46 zeigt, wie sich dies auf die einzelnen Probanden verteilt.

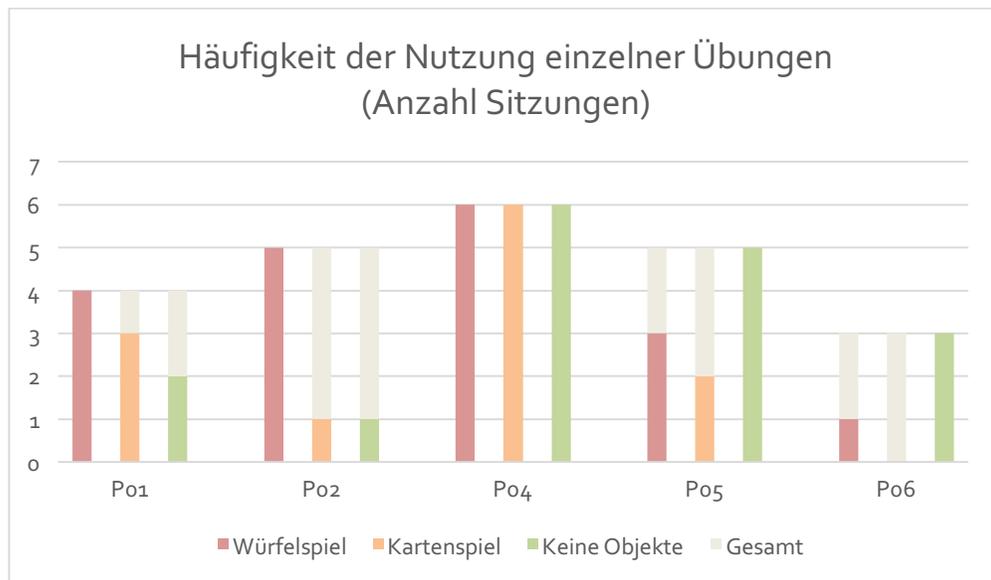


Abbildung 46: Anzahl an Sitzungen, in denen die einzelnen Übungen genutzt wurden, im Vergleich zur jeweiligen Gesamtanzahl an Sitzungen gruppiert nach Probanden

Diese Häufigkeiten deuten darauf hin, wie zufrieden die Probanden mit den einzelnen Übungen waren.

6.4.1.1 Kartenspiel

Das Kartenspiel wurde am wenigsten genutzt und auch am stärksten kritisiert. Alle Probanden waren der Meinung, das Greifen funktioniere nicht gut, man müsse es feiner machen, man habe das Gefühl, es passt nicht richtig. Dies trifft auch auf Proband P04 zu. Auch wenn er es in jeder Sitzung genutzt hat und es sehr gut konnte, hat es ihm nicht so gut gefallen und er empfand es als unintuitiv. Probandin P06 wollte das Kartenspiel nicht ausprobieren, da sie generell keine Kartenspiele mag. Bei Probandin P01 war ein Lerneffekt erkennbar. Das erste Mal hatte sie Schwierigkeiten die Karten zu greifen und umzudrehen, beim zweiten Mal waren am Ende alle Karten einmal aufgedeckt und beim letzten Mal konnte sie einige Male hintereinander alle Karten aufdecken. Proband P02 hat die Kartenaufgabe nur einmal ausprobiert und fand sie schwieriger als die Würfelaufgabe, sie erfordere mehr Konzentration. Proband P05 fiel es beim zweiten Mal auch leichter als beim ersten Mal, dennoch fand er diese Aufgabe „ungeschickt“.

Die Spielfunktion wurde beim Kartenspiel nur von Proband P04 genutzt, er benötigte einmal 39 Sekunden und einmal 57 Sekunden, um alle Karten umzudrehen. Sonst wurden die Karten immer im „Trainingsmodus“ aufgedeckt. Es scheint den Probanden folglich wichtiger gewesen zu sein, sich auf die Bewegung an sich zu konzentrieren, als dies möglichst schnell zu schaffen.

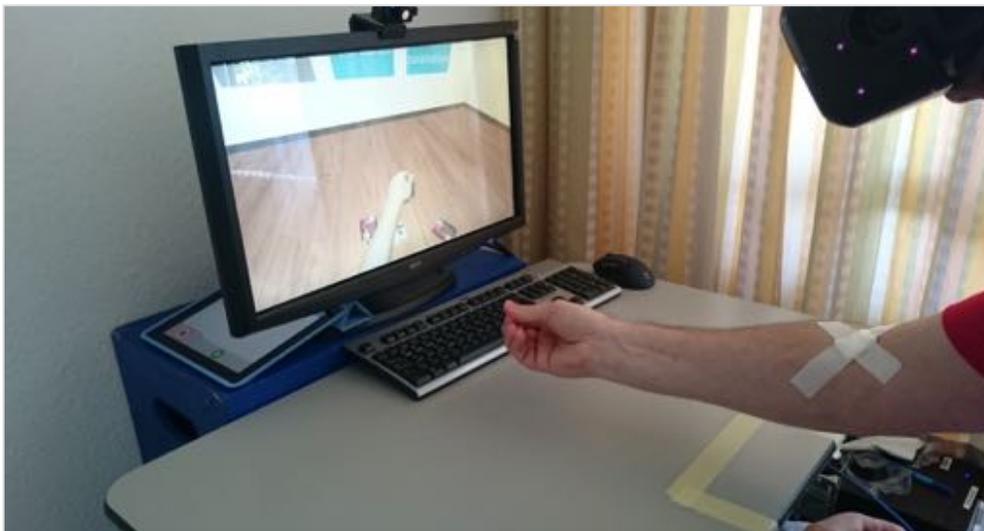


Abbildung 47: Proband beim Testen des Kartenspiels

Eine mögliche Erklärung dafür, dass sich das Greifen nicht richtig anfühlt, ist die fehlende Haptik und die Möglichkeit Kraft auszuüben. In der Realität hält man eine Karte zwischen den Fingern und übt etwas Kraft aus, um sie festzuhalten, was in der virtuellen Welt nicht möglich ist. Hier wird das Greifen und Loslassen ausschließlich über die Fingerposition von Daumen und Zeigefinger („Pinch“-Bewegung) gesteuert. Probandin P01 beispielsweise hat versucht, eine Karte zu greifen, indem sie die

Finger auf der Karte mit Druck zusammenschiebt, wie sie es aus der realen Welt kennt (siehe Abbildung 48).



Abbildung 48: Versuch eine Spielkarte zu greifen

6.4.1.2 Würfelspiel

Das Würfelspiel war bei den Probanden P01, P02 und P04 besonders beliebt. Zu Beginn wollte es bei Probandin P01 nicht so recht klappen, die Würfel zu greifen. Da sie am ersten Tag der Studie die erste Teilnehmerin war und zuvor nicht viel Zeit zum Aufbauen und Einrichten, war die Tischhöhe für die Probandin nicht gut eingestellt, sodass sie mit dem Rollstuhl nicht ganz an den Tisch heranfahren konnte. Dies hatte zur Folge, dass die Würfel etwas weit weg von ihr lagen, sie also ihren Arm weit ausstrecken musste und dieser sich dann nicht mehr optimal im Erkennungsbereich des *Leap Motion* Controllers befand. Das Greifen wurde dadurch vermutlich sehr erschwert und die Probandin schien etwas frustriert, aber dennoch sehr ehrgeizig, es zu schaffen. Beim zweiten Mal hat es schon etwas besser geklappt, jedoch hätte die Probandin die Hand meistens weiter schließen müssen, um das Greifen auszulösen. Daher wurde in den beiden darauffolgenden Sitzungen mit ihr eine Version verwendet, in der die Werte für das Erkennen der Greifbewegung so verändert wurden, dass die Hand weniger weit geschlossen werden muss. Das Greifen hat dann viel besser funktioniert, sodass die Probandin immer und immer wieder alle Würfel in die Kisten legte, in der letzten Sitzung etwa 20 Minuten lang. Dieser Fortschritt war sehr motivierend für die Probandin und hat erheblich dazu beigetragen, dass ihr das Üben von Sitzung zu Sitzung mehr Spaß gemacht hat. Ein *Bug* ist vor allem bei Probandin P01 öfters aufgetreten: Wenn Würfel vom Tisch gefallen sind oder aus Versehen „weggeschleudert“ wurden, wurde hin und wieder die Kollision mit dem Boden des Raumes nicht erkannt, sodass der Würfel endlos gefallen ist und nicht mehr zurückgesetzt werden konnte.

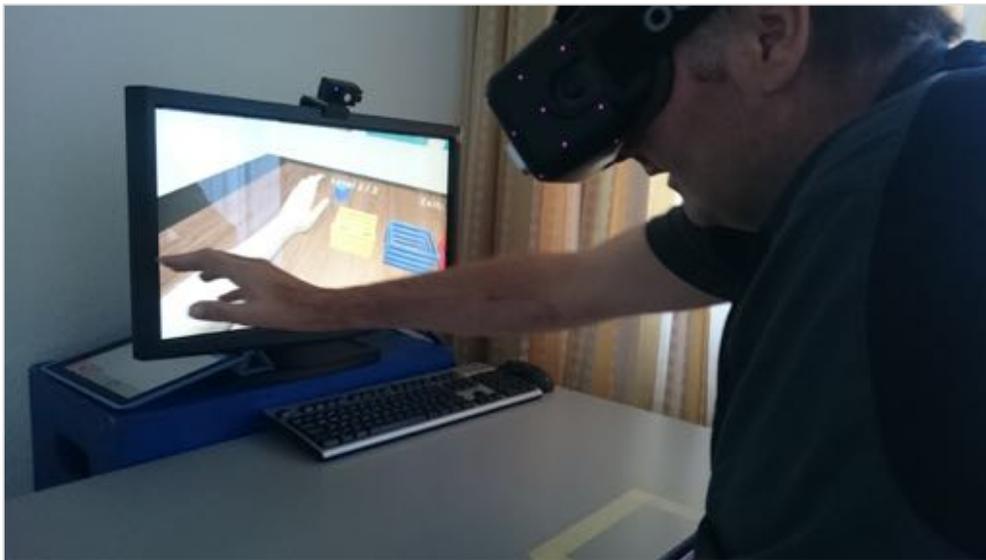


Abbildung 49: Proband beim Testen des Würfelspiels

Auch die Probanden P02 und P04 haben das Würfelspiel oft genutzt, P02 in den letzten drei von fünf Sitzungen sogar ausschließlich. Beide hatten keine Probleme die Würfel zu greifen und nutzten hier auch die Spielfunktion. Von Proband P02 kam der Vorschlag, die Kisten in den einzelnen Levels noch kleiner zu machen, um den Schwierigkeitsgrad zu erhöhen. Daher wurde bei diesen beiden Probanden in der jeweils dritten Sitzung eine Version verwendet, in der die Kisten etwas kleiner sind. Nachdem Proband P02 das Spiel auch mit dieser Version sehr einfach fand, hat er sich gewünscht, dass die Kisten ein zweites Mal verkleinert werden. In den restlichen Sitzungen wurde also eine Version verwendet, in der die Kisten noch einmal kleiner sind als zuvor, sodass im dritten Level ein Würfel gerade noch in eine Kiste passt. Dennoch konnten beide Probanden die Aufgabe gut lösen und haben immer wieder ähnliche Zeiten zwischen ca. 0:50 Minuten und 1:30 Minuten erreicht.

Proband P05 wiederum hat sich mit der Würfelaufgabe sehr schwer getan. Während des Übens machte er Bemerkungen wie „Blödes Spiel!“, aber auch „Ich bin begeistert von mir“, wenn es besser geklappt hat. Diese Aufgabe verlangte dem Probanden sehr viel Konzentration ab und er empfand sie als anstrengend. Ein Problem, das bei diesem Probanden aufgetreten ist, ist, dass er den Kopf meist sehr weit nach links bewegt hat, um die linke Hand zu sehen. Dadurch befand sich jedoch die reale rechte Hand oftmals außerhalb des Erkennungsbereichs des *Leap Motion* Controllers. Ein weiteres Problem war eine Fehldarstellung der Hand (siehe Abbildung 50), die bei diesem Probanden in der zweiten und dritten Sitzung sehr häufig aufgetreten ist.



Abbildung 50: Fehldarstellung der rechten (gespiegelten) Hand

Dieser Fehler scheint sehr zufällig aufzutreten. Im Nachhinein wurde herausgefunden, dass vereinzelt das Unity *GameObject* für das Handmodell dupliziert wird und dann entweder das Original oder das Duplikat aktiviert wird. Bei dem Duplikat ist jedoch die Anordnung der einzelnen Knochen falsch, wie in der Abbildung erkennbar. In der *HandPool*-Komponente des *LeapHandController*-Objekts gibt es für jedes Händepaar eine Einstellung *CanDuplicate*. Vermutlich hängt das Erstellen des Duplikats mit dieser Einstellung zusammen, was jedoch nicht ausführlich getestet wurde. Diese Fehldarstellung, der Proband bezeichnete sie als „Zusatzteile an der Hand“, führte dazu, dass er das Würfelspiel in den letzten beiden Sitzungen nicht mehr spielen wollte.

Für Probandin P06 war das Würfelspiel sehr gewöhnungsbedürftig. Sie probierte es nur in der ersten Sitzung einmal aus und erreichte eine Zeit von 3:36 Min, was ohne vorheriges Training eine „gute“ Zeit ist. Ihr gefiel es nicht, dass dabei der Fokus und die Konzentration bei dem Spiel liegen und nicht auf dem Betrachten der Hand. Allerdings versuchte sie dies damit zu erklären, dass sie keine geübte Spielerin sei und noch nie ein Videospiel gespielt habe. Die Probandin hat unter allen Probanden am meisten Erfahrung mit Spiegeltherapie und übt täglich mit dem Spiegel. Daher sagte sie, sei ihr das einfache Betrachten ohne Objekte vertrauter.

6.4.1.3 Keine Objekte

Die Szene „Keine Objekte“ wurde von den Probanden P05 und P06 am ausgiebigsten verwendet, auch Proband P04 nutzte sie regelmäßig, allerdings immer nur für kurze Zeit. Die übrigen Probanden haben sich nur ein bzw. zwei Mal damit beschäftigt. In dieser Szene haben sich die Probanden auf die Hand bzw. die Hände, je nach Einstellung, konzentriert. Diejenigen mit Erfahrung in Spiegeltherapie haben Bewegungen ausprobiert, die sie kennen. Dabei wurden, wie zu erwarten, bestimmte feine Bewegungen und das Schließen der Faust nicht exakt abgebildet. Besonders die

Probanden P01 und P04 waren dennoch fasziniert von dem Anblick beider Hände, wie es durch folgendes Zitat zum Ausdruck kommt.

„IST DAS JETZT ANDERS? Ist komisch, ja. KOMISCH? Ja. Schon lange nicht mehr beide Hände nebeneinander gesehen. JA. Es ist nicht komisch, dass es negativ ist, es ist halt einfach ein komisches Gefühl. UNGEWOHNT. Ungewohnt, genau, das ist das richtige Wort.“

– Gespräch mit Proband P04 während der ersten Sitzung

Die Probanden P01, P04 und P05 haben in dieser Szene in der Regel die gesunde Hand eingeblendet und somit beide Hände beobachtet. Dabei haben sie meist versucht die Hände „sich berühren“ zu lassen oder die Hände zu falten, wie es in Abbildung 51 zu sehen ist.



Abbildung 51: Proband beim Betrachten beider Hände

Für Probandin P06 hingegen war es besser nur eine Hand zu sehen, dies sei sie mehr gewohnt vom Üben mit dem Spiegel. Sie macht dann das linke Auge zu, sodass sie nur das Spiegelbild sieht. Die Probandin kann von Geburt an nicht dreidimensional sehen.

In der zweiten Sitzung mit Probandin P06 sowie in der vierten Sitzung mit Proband P05 war das Bild etwas unruhig. Die virtuelle Hand hat „gezittert“ oder „gezuckt“, obwohl die reale Hand ruhig gehalten wurde. Dies hat beide Probanden sehr gestört und irritiert, sodass sie in der jeweiligen Sitzung nicht lange geübt haben.

Fazit

Das Greifen der Würfel funktioniert besser als das Greifen der Karten. Die Probanden waren in Bezug auf das Würfelspiel meist sehr motiviert und hatten Spaß daran. Die Spielfunktion wurde oft verwendet. Das Kartenspiel konnte die Probanden dagegen

weniger überzeugen, da es sich nicht ganz „echt“ angefühlt hat. Hier kam auch die Spielfunktion kaum zum Einsatz. Das Betrachten der Hand ohne Objekte hat für grobe Bewegungen funktioniert. Für vier von fünf Probanden war es dabei spannender, beide Hände zu sehen.

6.4.2 Menü

Das fixationsbasierte Menü wurde von allen Probanden grundsätzlich als gut bewertet. Proband P02 war der Meinung man solle die Kacheln farblich stärker voneinander absetzen, womit er den Unterschied zwischen den grauen und den türkisblauen Kacheln meinte. Es sei aber schön groß und übersichtlich und die Schrift könne man gut lesen. Die Probanden haben dennoch besonders zu Beginn Hilfestellung benötigt bis eine Kachel tatsächlich fixiert wurde und mussten dazu angehalten werden, lange genug darauf zu schauen. Kritisiert wurde auch, dass es etwas empfindlich reagieren würde, sodass man unbeabsichtigt etwas auswählt. Gleichzeitig wurden aber auch die drei Sekunden Verweildauer als zu lange empfunden. Ein Vorschlag, um das Problem mit der Empfindlichkeit und der Drei-Sekunden-Regel zu lösen, kam von Proband P04. Er hatte die Idee, dass man erst an eine bestimmte Stelle schauen müsse, z. B. in eine Ecke, und dann das Menü „freigeschaltet“ wird. Die Empfindlichkeit stellte zu Beginn beim Einstellen und Anpassen des HMD, bis es den Probanden passt und sie alles gut und scharf sehen, ein großes Problem dar. Es wurde meist geradeaus geguckt, sodass dann die Kachel „Verlassen...“ ausgewählt und somit wieder die Einstellungsansicht geladen wurde. Dadurch musste bei jedem Aufsetzen der VR-Brille genau darauf geachtet werden, dass diese Kachel nicht ausgewählt wird. Daraufhin wurde bereits nach der dritten Sitzung die Kachel „Verlassen...“ aus dem Menü entfernt. Zurück zur Einstellungsansicht gelangt man durch Drücken der Escape-Taste. Hin und wieder wurde außerdem beobachtet, dass Probanden aus einer Übungsszene in die Auswahlsszene zurückwechseln wollten und dazu die Kachel „aus“ („Gesunde Hand“-Menü) anvisiert haben. Hier könnte einerseits die Anordnung des Untermenüs zum Anzeigen der gesunden Hand problematisch sein, da es nicht als solches erkannt wurde, andererseits spielt möglicherweise auch die Wortwahl – „aus“ vs. „zurück“ – eine Rolle.

Fazit

Das Grundprinzip des fixationsbasierten Menüs ist verständlich und findet unter den Probanden Zuspruch. Dennoch bedarf es Verbesserungen, um die Bedienung zu erleichtern und Fehlern vorzubeugen.

6.4.3 Illusion und Darstellung

Eine weitere Frage, die es zu klären gilt, ist, ob die Illusion, die virtuellen Hände seien die eigenen, für den Benutzer funktioniert. Hierbei spielt auch die Beurteilung des

Aussehens eine Rolle. Diese fällt sehr unterschiedlich aus, wie folgende Aussagen zeigen.

Probandin P06: „Es stört eigentlich, dass die Hand ein bisschen unrealistisch ist, es ist nicht die eigene.“

Proband P04: „Toll dargestellt, ist einwandfrei, kann man nichts sagen, ist gut gemacht.“

Proband P02 verglich das Handmodell mit toten, konservierten Händen, was ihn aber nicht störte. Proband P05 hielt die Hand für künstlich und nicht natürlich, wovon aber auch er sich nicht gestört fühlte. Probandin P01 hat es nicht gefallen, dass der Vorderarm am Ende abgehackt ist, fand aber Form und Farbe der Hand „okay“.

In der Wahrnehmung war bei den Probanden P01 und P04 im Verlauf der Studie eine Entwicklung erkennbar.

Probandin P01 hat die virtuelle Hand zunächst überhaupt nicht als ihre linke Hand wahrgenommen. Sie sagte: „Es ist die rechte Hand, sieht aber aus wie die linke.“ In den nächsten Sitzungen glaubte sie, die linke Hand besser gesehen und mehr wahrgenommen zu haben. Nach der letzten Sitzung war sie der Meinung, das System habe ihr geholfen, die linke Seite wahrzunehmen und es sei schön gewesen zu sehen, wie sich die linke Hand bewegt.

Auch Proband P04 hat die Hand beim ersten Mal nicht als linke Hand wahrgenommen, sondern als rechte. In der zweiten Sitzung hat er gesehen, dass es eine linke Hand ist und hat seitdem versucht sich darauf zu konzentrieren, es sich vorzustellen. Am Ende hatte er ebenfalls das Gefühl, es sei schön gewesen, zu sehen, dass die linke Hand etwas macht, und meinte beim Üben mit dem Spiegel dagegen sei ihm immer bewusst, dass es die rechte Hand ist, die sich bewegt.

Proband P02 ist der Meinung in der zweiten Sitzung die linke Hand eher als die eigene Hand wahrgenommen zu haben als am Vortag. Daraufhin hat es aber keine Veränderung bezüglich der Illusion mehr gegeben. Es ist möglich, dass dies in Zusammenhang damit steht, dass der Proband die Szene ohne Objekte nur in der zweiten Sitzung getestet hat. Außerdem fühlte er sich außer am ersten Tag nie gut, war meistens müde und „platt“ und hat auch das Würfelspiel nie besonders lange und ausdauernd genutzt.

Proband P05 hatte nie das Gefühl, die virtuelle Hand sei seine eigene Hand. Beide Hände zu sehen fand er „faszinierend“. Dennoch sagte er, sei ihm immer bewusst, dass die linke Hand auf dem Schoß liegt. Er hatte auch nicht das Gefühl, die Benutzung des Systems hätte geholfen oder etwas verändert. Der Proband überlegte, dass man die Wahrnehmung der Hände durch Haptik verbessern könnte.

Bei Probandin P06 unterscheidet sich die Wahrnehmung von der der anderen Probanden aufgrund ihrer Erfahrung mit Spiegeltherapie. Wenn sie mit dem Spiegel

übt und sich konzentriert, spürt sie das, was sie im Spiegel sieht, in der rechten (gelähmten) Hand. In der ersten und letzten Sitzung war dies auch mit der MRMB der Fall. Die rechte Hand fühlt sich dann „schwerer“ an und ist präsenter als die linke, auch wenn die linke Hand die Bewegungen ausführt. In der zweiten Sitzung war dies nicht der Fall, da sie von dem bereits beschriebenen „Zucken“ zu sehr irritiert war und sich nicht konzentrieren konnte. Die Tatsache, dass sie die gleichen oder zumindest ähnliche Empfindungen wie mit dem Spiegel hat, ist ein erster Hinweis darauf, dass das System aus medizinischer Sicht funktionieren kann. Trotz dieser Empfindungen fühlte es sich für die Probandin nicht so an, als wäre es die eigene Hand. Es sei nur klar gewesen, dass sie die virtuelle Hand steuert.

Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Wahrnehmung der Hände sehr individuell ist. Manche stören sich an dem Aussehen der Hand und andere nicht. Die Untersuchungsergebnisse deuten zudem darauf hin, dass das Funktionieren der Illusion auch mit dem Willen und der Fähigkeit zur Konzentration sowie der Ausdauer und Art und Weise, wie geübt wird, zusammenhängt.

6.4.4 Spaß und Motivation

Dieser Abschnitt beschäftigt sich damit, ob die Probanden Spaß hatten bei der Nutzung des Systems und inwiefern es motiviert, mehr zu üben.

Bei Probandin P01 war der Spaß, den sie an dem System hatte, stark an Erfolgserlebnisse geknüpft. In jeder Sitzung, in der sie die Würfelaufgabe besser und schneller lösen konnte, hat es ihr daher mehr Spaß gemacht. Motivation zum Üben war von Anfang an da, besonders durch den Ehrgeiz es zu schaffen, alle Würfel in die Kisten zu legen. Im Verlauf der Sitzungen musste sie außerdem immer weniger Konzentration aufbringen. Sie verglich das System mit anderen computergestützten Systemen, wie dem Produkt *Pablo*⁷ der Firma *Tyromotion*, welches unter anderem ein Spiel anbietet, in dem mit deinem Korb Äpfel gesammelt werden müssen. Sie ist der Meinung, hier sei man selber aktiv und das sei „schon was anderes“. Probandin P06 hingegen hat das System zwar gefallen, weil es etwas Neues sei. Sie empfand es jedoch als anstrengender als mit dem Spiegel und wisse nicht, ob es motiviert mehr oder länger zu üben. Den übrigen Probanden hat es laut eigener Aussagen Spaß gemacht. Die Probanden P02 und P04 haben jedoch meist nicht sehr lange geübt. Sie waren beide sehr „gut“ und schnell im Würfelspiel, sodass mehr Herausforderung vermutlich auch die Motivation, länger zu üben, verstärken könnte. Proband P05 fand es anstrengend, das System zu nutzen, besonders die Spiele, hatte aber dennoch Spaß daran.

⁷ <http://tyromotion.com/produkte/pablo>

Bis auf Probandin P06 können sich alle Probanden vorstellen, das System regelmäßig, beispielsweise als Eigentaining, zu verwenden. Proband P02 knüpft dies an die Bedingung, dass man Erfolge sieht, und kann sich auch vorstellen, dass es langweilig wird. Proband P04 kann es sich genauso gut vorstellen wie Spiegeltherapie auch. Probandin P01, als einzige ohne Erfahrung mit Spiegeltherapie, ist der Meinung es mache Spaß und sie würde es regelmäßig verwenden, „solange es hilft, die linke Seite wahrzunehmen“.

Fazit

Die MRMB bringt Spaß und Abwechslung in die Therapie. Dennoch wird deutlich, dass Spaß und Motivation am größten sind, wenn der Patient in einem für ihn guten Maß gefordert wird und nicht über- oder unterfordert ist. Daher können der Spaßfaktor und die Motivation erhöht werden, indem das System mehr Möglichkeiten zur individuellen Anpassung an das Können einzelner Patienten bietet. Eine regelmäßige Verwendung des Systems auch als Eigentaining ist für fast alle Probanden vorstellbar.

6.4.5 Vergleich zur herkömmlichen Spiegeltherapie

In diesem Abschnitt wird ein Vergleich zur herkömmlichen Spiegeltherapie gezogen, welcher auf Aussagen zu Unterschieden, Vor- und Nachteilen derjenigen Probanden beruht, die Vorerfahrung mit Spiegeltherapie haben (P02, P04, P05 und P06).

Die MRMB ist laut P02 neuer, besser und aufgrund der realeren Bewegungen logischer. Als Vorteil bezeichnet er, den größeren und flexibleren Bewegungsspielraum im Vergleich zu den 30 cm des Spiegels. Jedoch störten ihn der Druck auf Augen und Nase durch das HMD und die 3 Sekunden Verweildauer des Menüs.

Für Proband P04 stellt die Perspektive, die der Nutzer mit der MRMB einnimmt („Ego-Perspektive“), einen Unterschied zu der vor dem Spiegel dar. Beide Hände nebeneinander zu sehen war für ihn ungewohnt. Daher denkt er, das Gehirn würde so eher wahrnehmen, dass es die andere Hand auch noch gibt.

Als Unterschied zum Spiegelbild bezeichnete Proband P05 den Versatz in der Abbildung der Bewegung. Das Spiegelbild mache eins zu eins das, was die gesunde Hand macht, wohingegen es hier eine Verzögerung gebe. Trotzdem glaubt er, die MRMB sei besser für die Reaktion im Gehirn. Positiv fand er, keinen Spiegel vor sich stehen zu haben. Als Nachteil sieht er die Kosten des Systems, da er vermutet, es sei zu teuer für „normale“ Menschen.

Probandin P06 stört sich an der im Vergleich unrealistischen, künstlichen Darstellung der Hand, welche sie anfangs sehr irritierte. Dennoch hatte sie ein ähnliches Gefühl in der gelähmten Hand wie beim Üben mit dem Spiegel. Sie sieht auch einige Vorteile: Zum einen ist sie der Meinung es passe in die heutige Zeit und

sei jungen Leuten näher, zum anderen müsse man keinen Spiegel auf- und abbauen, einen Computer habe heute jeder. Nachteile zu benennen fällt ihr schwerer. Das Üben mit dem Spiegel findet sie einfacher, aber dies liegt womöglich daran, dass sie es gewohnt ist und das HMD nicht exakt auf ihre Sehstärke abgestimmt war.

Fazit

Positiv aufgefallen gegenüber herkömmlicher Spiegeltherapie sind die größere Bewegungsfreiheit, die Ego-Perspektive und die Tatsache, dass es etwas Neues, Modernes ist, negativ vor allem die Unbequemlichkeit und Umständlichkeit des HMD und die nicht immer exakte Bewegungserkennung.

6.4.6 Verbesserungsvorschläge und neue Ideen

Die Probanden haben einige Verbesserungsvorschläge und neue Ideen für die MRMB eingebracht, die im Folgenden vorgestellt werden.

In Bezug auf die Hardware gibt es zwei Vorschläge bzw. Wünsche. Zum einen soll die VR-Brille besser sitzen (P01) und kleiner, handlicher gestaltet werden (P05) und zum anderen soll der Kamerabereich größer sein, um die Hand weiter weg bewegen zu können (P05). Außerdem sollten „Kinderkrankheiten“, wie der Versatz bei der Abbildung der Bewegungen, und die Darstellung der Hand verbessert werden (P06).

Konkrete Verbesserungsvorschläge zu den Übungsszenen (Abschnitt 6.4.1) und zum Menü (Abschnitt 6.4.2EF_Ref460582014 \r \h Anhang I: Inhalte des beiliegenden USB-Sticks) wurden bereits in den entsprechenden Abschnitten aufgeführt. Diese beziehen sich auf eine Verbesserung des Greifens der Karten (P01 und P04), eine Verkleinerung der Kisten, das Verkürzen der Drei-Sekunden-Regel und eine stärkere farbliche Absetzung der Kacheln (P02).

Es wurden auch einige neue Spielideen hervorgebracht. Es könnten beim Würfelspiel in einem höheren Level neue Würfel und Kisten hinzukommen (P02). Weitere Aufgaben könnten sein, mehrere kleinere Würfel stapeln zu müssen (P02), oder ein Würfelspiel mit Spielwürfeln (z. B. „Kniffel“) umzusetzen (P01). Außerdem kam von zwei Probanden (P02 und P04), wobei es möglich ist, dass diese sich miteinander darüber unterhalten haben, der Vorschlag, ein Motorrad- oder Autorennspiel zu entwickeln, bei dem man den Lenker bzw. das Lenkrad in der virtuellen Umgebung steuern muss.

Fazit

Wünsche zur Verbesserung der Hardware spiegeln hier noch einmal die Problematik des HMD in Bezug auf Anpassungsmöglichkeiten und Bequemlichkeit wider. Die Verbesserungsvorschläge zu den Übungsszenen sind hilfreiche Aussagen, welche Anhaltspunkte für weitere Iterationen im UX Lifecycle liefern. Und auch die genannten neuen Spielideen können, nach Prüfung von Umsetzbarkeit und Sinnhaftigkeit aus therapeutischer Sicht, den Funktionsumfang des Systems

erweitern, um noch mehr Spaß, Motivation und individuellere Förderung zu ermöglichen.

7 Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Evaluation zusammengefasst und in den Kontext eingeordnet.

Die Ergebnisse der Studie lassen darauf schließen, dass der in dieser Arbeit dargestellte Mixed Reality-Ansatz großes Potenzial für den Einsatz in der Spiegeltherapie hat.

Trotz einiger bestehender Probleme, hatten die Probanden Spaß an dem System und sind gerne zu den Sitzungen gekommen. Die Erfolgserlebnisse und schönen, faszinierenden Emotionen, die während der Beobachtung der eigentlich gelähmten oder auch beider Hände entstanden sind, scheinen verbesserungswürdige Punkte aufzuwiegen. Es ist also anzunehmen, dass solche positiven Gefühle durch Weiterentwicklungen des Ansatzes mindestens in gleichem Maße vorhanden sein werden oder gar verstärkt werden können.

Die Auswertung der Übungsaufgaben hat gezeigt, dass Spaß und Motivation stark von Erfolgserlebnissen abhängig sind. Wenn etwas nicht gut funktioniert hat, Fehler, wie die Fehldarstellung der Hand, aufgetreten sind oder die Aufgaben zu schwer oder zu einfach waren, wurden Engagement und Ausdauer beim Üben vermindert. Daher ist es erforderlich, das System so zu gestalten, dass es individuell an die Fähigkeiten der Nutzer angepasst werden kann. Denkbar ist es, das System in Bezug auf benutzerbezogene Werte, wie z. B. Werte für die geöffnete bzw. geschlossene Hand einer Greifbewegung, zu kalibrieren. Ebenso ist es notwendig, das Angebot an Spielen weiter auszubauen und unterschiedliche Schwierigkeitsgrade stärker herauszuarbeiten. Für neue Spielideen haben die Probanden bereits einige Vorschläge geliefert. Außerdem sollte die bestehende Implementierung zum Greifen von virtuellen Objekten verbessert werden. Dies ist jedoch auch abhängig von der verwendeten Hardware, welche laufend weiterentwickelt wird. Seit der letzten Weiterentwicklung der MRMB wurden die *Leap Motion Unity Core Assets* erneut aktualisiert und enthalten Neuerungen im Bereich der Interaktion mit Objekten.

Zur Beurteilung der Benutzbarkeit des Systems müssen einerseits die Bedienung des Geräts und andererseits die Benutzerschnittstellen der Software betrachtet werden.

Die Bedienung des Geräts ist für die Zielgruppe problematisch. Zwar ist die Bedienung eines Computers für Menschen, die nur eine funktionierende Hand haben, möglich, jedoch gibt es, wie bereits im zweiten Experteninterview festgestellt wurde, Schwierigkeiten mit dem Aufsetzen und Justieren der VR-Brille. Hierbei musste den Probanden selbstverständlich geholfen werden. Dennoch ist die Handhabung im Vergleich zu einzelnen Sensoren oder optischen Markern, die in einigen Systemen verwandter Arbeiten verwendet werden, unkompliziert und einfach zu verstehen.

Über die Benutzerschnittstelle der Software lässt sich sagen, dass das Interaktionskonzept des fixationsbasierten Menüs nach einer kurzen

Eingewöhnungsphase vom Prinzip her gut verstanden wurde. Doch konnte es in der Regel nicht fehlerfrei bedient werden. Zum einen kann dies durch fehlendes Feedback erklärt werden, da der Benutzer ohne mitzuzählen nicht genau weiß, wann drei Sekunden vorüber sind. Zum anderen ist generell die Methode der Verweildauer zur Auslösung des „Klick“-Events nicht optimal, da sie doch den Zeitaufwand der Menünavigation künstlich verlängert. Zur Verbesserung dieses Interaktionskonzepts sollten weitere Arbeiten über Benutzerschnittstellen in Mixed Reality-Systemen herangezogen werden.

Die Wahrnehmung der Hände und die Illusion waren für die Probanden sehr unterschiedlich. Dies ist jedoch auch bei herkömmlicher Spiegeltherapie der Fall. Die Verwendung der MRMB hat allerdings bei einer Probandin ähnliche Empfindungen wie beim Üben mit dem Spiegel hervorgerufen, obwohl sie von der künstlichen Darstellung der Hand irritiert war. Dies ist ein erster Hinweis auf die Wirksamkeit des Systems.

Einschränkungen der herkömmlichen Mirror Box werden mit der MRMB behoben. Diese sind vor allem die allgemeine Bewegungsfreiheit und der größere Bewegungsspielraum der Hände. Inwiefern die nötige Konzentration durch das System im Vergleich verändert wird, lässt sich aus den Studiendaten allerdings nicht konkret ableiten. Hierfür müsste eine ausführlichere und länger andauernde Studie durchgeführt werden, in der die nötige Konzentration mit den jeweiligen Probanden im direkten Vergleich zur herkömmlichen Spiegeltherapie untersucht wird. Hierbei müssen auch unterschiedliche Erfahrungswerte mit beiden Verfahren bedacht werden.

8 Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurden zunächst die wesentlichen Schritte zur Entstehung und Umsetzung der Mixed Reality Mirror Box aus vorangegangenen Arbeiten zusammengefasst. Die Mixed Reality Mirror Box ist ein Mixed Reality-Ansatz für Spiegeltherapie. Spiegeltherapie wird zur Rehabilitation von halbseitig gelähmten Schlaganfallpatienten und zur Verminderung von Schmerzen bei CRPS und Phantomschmerzen angewendet. Ziel dieses Mixed Reality-Ansatzes ist es, Einschränkungen der herkömmlichen in der Spiegeltherapie verwendeten Mirror Box aufzuheben und weitere Vorteile ihr gegenüber zu schaffen.

Nachdem die Grundlagen zusammengefasst und die Umsetzung der MRMB erläutert wurden, wurde die MRMB in dieser Arbeit umfassend evaluiert.

Die Evaluation basiert dabei auf zwei verschiedenen Methoden. Als erstes wurden zwei Experten zu dem System befragt. Als Ergebnis der Interviews lässt sich festhalten, dass die Interviewpartner einen Einsatz des Systems in der Spiegeltherapie für möglich halten, aber auch an einigen Stellen Verbesserungsbedarf sehen. Hieraus konnten in einem nächsten Schritt neue Anforderungen an die MRMB abgeleitet werden, wie z. B. das Entfernen einer Übungsszene sowie das Ausarbeiten einer Spielfunktion in den anderen Übungsszenen. Diese Änderungen wurden implementiert, bevor schließlich der zweite Teil der Evaluation stattfinden konnte.

Im zweiten Teil wurde eine Nutzerstudie mit fünf Probanden in einer Rehabilitationsklinik durchgeführt. Ursprünglich haben sich sechs Probanden zu einer Teilnahme bereit erklärt, jedoch konnte ein Proband letztlich nicht an der Studie teilnehmen. Die Probanden sind allesamt Schlaganfallpatienten mit einer halbseitigen Lähmung und hatten zu einem großen Teil bereits etwas Vorerfahrung mit Spiegeltherapie. Die Studie fand in einem Zeitraum von fünf Tagen statt, an denen die Probanden das System nutzen konnten. Dabei wurden ihnen Fragen gestellt und Beobachtungen gemacht. Die Studiendaten wurden auf einzelne Themen bezogen ausgewertet. Anschließend wurden die Ergebnisse der Studie diskutiert.

In zukünftigen Arbeiten zu diesem Thema kann es hilfreich sein die Verwendung neuer Geräte in Betracht zu ziehen, da so eventuell einige der hardwarebezogenen Schwierigkeiten der MRMB behoben werden können. In der kommenden Zeit werden voraussichtlich weiterhin viele neue Produkte aus dem Bereich der Mixed Reality vorgestellt, je mehr diese sich im Konsumerbereich etablieren. Auch ein Augmented Reality-Ansatz könnte im Vergleich untersucht werden, z. B. unter Verwendung der *Microsoft HoloLens* AR-Brille.

Ein weiterer Schwerpunkt könnte auf der Ausarbeitung der Spiele liegen. Wertvoll wäre eine enge Zusammenarbeit mit Experten, z. B. Therapeuten, sodass der

therapeutische Nutzen der Aufgaben sichergestellt werden kann. Wichtig ist hierbei vor allem auch die individuelle Anpassungsfähigkeit des Systems an den einzelnen Benutzer. Dabei kann zur Speicherung benutzerspezifische Werte über ein Benutzermanagement nachgedacht werden. Benutzerspezifische Werte können außerdem dazu dienen die Leistung des Benutzers zu messen und diese für Ärzte und Therapeuten aufzubereiten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit der MRMB ein Ansatz entwickelt wurde, der an einigen Stellen weiter ausgebaut oder neu überdacht werden muss, aber insgesamt positiv bewertet werden kann. Die meiste Zeit hatten die Probanden Spaß an der Nutzung des Systems, was die Motivation fördert und somit zu einer Verbesserung des Rehabilitationsprozesses beitragen kann.

Literaturverzeichnis

- Adams, A., Lunt, P., & Cairns, P. (2008). A qualitative approach to HCI research. In: Cairns, P., & Cox, A. eds. *Research Methods for Human-Computer Interaction*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, pp. 138–157.
- Altschuler, E., Wisdom, S. & Stone, L. (1999). Rehabilitation of hemiparesis after stroke with a mirror. *The Lancet*, 353(9169), 2035–2036.
- Bach, F., Schmitz, B., Maaß, H., Çakmak, H., Diers, M., B.-Bodmann, R., Kamping, S. & Flor, H. (2010). Using interactive immersive VR/AR for the therapy of phantom limb pain. In Vitaly V. Klyuev and Michael Cohen (Eds.), *Proceedings of the 13th International Conference on Humans and Computers (HC '10)*, 183–187. Fukushima-ken, Japan: University of Aizu Press.
- 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. *Visual Computer*, 25(12), 1085–1099. doi:10.1007/s00371-009-0387-4
- Cacchio, A., De Blasis, E., De Blasis, V., Santilli, V. & Spacca, G. (2009). Mirror therapy in complex regional pain syndrome type 1 of the upper limb in stroke patients. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 23(8), 792–799. doi:10.1177/1545968309335977
- Cole, J., Crowle, S., Austwick, G., & Slater, D. H. (2009). Exploratory findings with virtual reality for phantom limb pain; from stump motion to agency and analgesia. *Disability and Rehabilitation*, 31(10), 846–54. doi:10.1080/09638280802355197
- Desmond D., O'Neill K., De Paor A., McDarby G., MacLachlan M. (2006). Augmenting the reality of phantom limbs: three case studies using an augmented mirror box procedure. *Journal of Prosthetics and Orthotics*, 18, 74–80. doi:10.1097/00008526-200607000-00005
- Dohle, C., Kleiser, R., Seitz, R. J., & Freund, H.-J. (2004). Body scheme gates visual processing. *Journal of Neurophysiology*, 91, 2376–2379. doi:10.1152/jn.00929.2003
- Hartson, R., & Pyla, P. S. (2012). *The UX Book: Process and guidelines for ensuring a quality user experience*. Waltham, MA, USA: Elsevier Inc..
- Höld, R. (2009). Zur Transkription von Audiodaten. *Qualitative Marktforschung : Konzepte - Methoden - Analysen*. doi:10.1007/978-3-8349-9441-7
- Kim, S. Y., & Kim, Y. Y. (2012). Mirror therapy for phantom limb pain. *Korean Journal of Pain*, 25(4), 272–274. doi:10.3344/kjp.2012.25.4.272
- Lamont, K., Chin, M., & Kogan, M. (2011). Mirror box therapy: seeing is believing. *Explore: The Journal of Science and Healing*, 7(6), 369–372. doi:10.1016/j.explore.2011.08.002
- Lazar, J., Feng, J. H., & Hochheiser, H. (2010). *Research Methods in Human-Computer Interaction*. Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd, chapter 8.
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1994). Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *SPIE (International Society of Optics and Photonics)*, 2351(Telemanipulator and Telepresence Technologies), 282–292. <http://doi.org/10.1.1.83.6861>

- Molla, E., & Boulic, R. (2013). A two-arm coordination model for phantom limb pain rehabilitation. *Proceedings of the 19th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST '13)*, 35. doi:10.1145/2503713.2503739
- Murray, C., Pettifer, S., Howard, T., Patchick, E., Caillette, F., & Murray, J. (2010). *Virtual Solutions to Phantom Problems: Using Immersive Virtual Reality to Treat Phantom Limb Pain*. In C. Murray (Ed.), *Amputation, Prosthesis Use, and Phantom Limb Pain*, 175–196. New York: Springer. doi:10.1007/978-0-387-87462-3
- Nikolajsen, L. & Jensen, T. S. (2001). Phantom limb pain. *British Journal of Anaesthesia*, 87(1), 107–116. doi:10.1093/bja/87.1.107
- Ramachandran, V. S. & Rogers-Ramachandran, D. (1996). Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. *Biological Sciences*, 263(1369), 377–386.
- Thieme, H., Mehrholz, J., Pohl, M., Behrens, J. & Dohle, C. (2013). Mirror therapy for improving motor function after stroke. *Stroke*, 44, e1-e2. doi:10.1161/STROKEAHA.112.673087
- Wang, Y., Rudd, A. G., & Wolfe, C. D. A. (2013). Age and ethnic disparities in incidence of stroke over time: The South London stroke register. *Stroke*, 44(12), 3298–3304. <http://doi.org/10.1161/STROKEAHA.113.002604>

Internetquellenverzeichnis

- [1] *Ramachandran-mirrorbox* by User:Phidaux, own work. Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons. URL: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ramachandran-mirrorbox.svg#/media/File:Ramachandran-mirrorbox.svg>. [Stand: 01. September 2016]
- [2] *Mirror Box*. Neuro Orthopaedic Institute. URL: <http://www.noigroup.com/en/Product/BTMB>. [Stand: 01. September 2016]
- [3] Rothgangel A. (2014). *Übungsanleitung Spiegeltherapie für Patienten und Therapeuten*, Informationsbroschüre. URL: <http://spiegeltherapie.com/uebungsanleitung-fuer-patienten-therapeuten/> [Stand: 01. September 2016]
- [4] Road to VR (Blog) *The Leap Motion sensor attached using the dedicated mount* (Bildunterschrift). URL: <http://www.roadtovr.com/wp-content/uploads/2014/10/oculus-mount-leap.png> [Stand: 01. September 2016]

Anhang A: Experteninterview Einverständniserklärung

Einverständniserklärung

Informationen zur Studienleitung

Studienleiter: Rebecca Weber

Institution: Arbeitsgruppe Mensch-Computer-Interaktion, Universität Konstanz

Ablauf des Interviews

Wir möchten Sie nochmals auf folgende Punkte zu unserem Interview aufmerksam machen: Sie können das Interview jederzeit abbrechen! Sollten Sie eine Pause benötigen, scheuen Sie sich nicht, und dies mitzuteilen. Wenn Sie Fragen zum generellen Ablauf oder zum System haben, können Sie diese jederzeit stellen.

Erklärung

Über das Ziel, den Inhalt und die Dauer des Interviews wurde ich informiert. Im Rahmen dieses Interviews werden durch Audioaufnahmen Daten erhoben.

Hiermit bin ich darüber aufgeklärt, dass diese Daten anonymisiert analysiert werden, vertraulich behandelt werden und nicht an Dritte weitergegeben werden. Audiodaten werden ausschließlich für die Auswertung zu genanntem Zweck verwendet und – mit meinem Einverständnis – für interne Präsentationszwecke (in schriftlicher Form) genutzt.

Hiermit erkläre ich mich mit den oben genannten Punkten einverstanden:

(Name)

(Ort, Datum)

(Unterschrift)

Hiermit verpflichtet sich die Studienleitung, die Audioaufzeichnung sowie sämtliche sonstigen gewonnenen Daten lediglich zu Auswertungszwecken im Rahmen dieser Untersuchung zu verwenden:

(Name)

(Ort, Datum)

(Unterschrift)

Anhang B: Experteninterview Leitfaden

Experteninterview Leitfaden

1. Wie ist Ihr erster Eindruck vom System?
2. Welche Vorteile sehen Sie gegenüber Spiegeltherapie mit einem Spiegel?
3. Welche Nachteile?
4. Was halten Sie von den einzelnen Übungsaufgaben?
Sollten Übungen weggelassen, oder geändert werden?
Haben Sie Ideen für Übungen, die man noch zusätzlich aufnehmen sollte?
5. Halten Sie die Entwicklung eines Trainingsprogramms für sinnvoll?
6. Darstellung der Arme:
Wie schätzen sie die momentane künstliche Darstellung der Arme ein?
Was halten Sie von "real" ausschauenden Armen?
Denken Sie die Variationsmöglichkeit für die Darstellung der Hände ist wichtig?
Was halten Sie von der Abdeckung des Arms?
Haben sie noch Ideen, wie man den Fokus auf den "kranken" Arm lenken könnte (nur kranken Arm darstellen? Transparenz? Einer real, einer künstlich?)
7. Was denken Sie über das „fixationsbasierte“ Auswahlmenü?
8. Wo denken Sie, können bei der Nutzung des Systems Probleme auftreten?
9. Denken Sie, das System kann in der Spiegeltherapie eingesetzt werden?
10. Gibt es Fälle, wo der Einsatz des Systems besonders sinnvoll ist / sein könnte?
11. Gibt es Fälle, wo das System Ihrer Meinung nach nicht geeignet wäre?
12. Haben Sie noch Anmerkungen/Kommentare oder Verbesserungsvorschläge?

Anhang C: Nutzerstudie Einverständniserklärung

ID: _____

Einverständniserklärung

Studie zum Thema „Mixed Reality Mirror Box“

Studienleitung

Rebecca Weber

AG Mensch-Computer-Interaktion, Universität Konstanz

Datenerhebung

Daten werden hauptsächlich in Form von Notizen oder Fragebögen erhoben. Außerdem werden während der Benutzung des Systems durch eine Audioaufnahme Daten erhoben, welche ausschließlich in schriftlicher Form zu unten genannten wissenschaftlichen Zwecken verwendet werden.

Verwendung

Die Studie zum Thema „Mixed Reality Mirror Box“ dient der Evaluation eines Mixed-Reality Ansatzes für Spiegeltherapie. Ziel der Studie ist es, Fragen zur Benutzbarkeit des Systems zu beantworten, der medizinische Aspekt steht dabei im Hintergrund. Die erhobenen Daten werden in einer Bachelor-Arbeit ausgewertet und präsentiert und können auch später noch für eventuelle wissenschaftliche Veröffentlichungen verwendet werden.

Einverständnis

Hiermit erkläre ich mich mit folgenden Punkten einverstanden:

- Ich wurde über die Ziele, den Ablauf und die voraussichtliche Dauer der Befragungen und Beobachtungen aufgeklärt.
- Ich bin mit der Verwendung der Daten in anonymisierter Form für oben genannte Zwecke einverstanden und bin hiermit darüber aufgeklärt, dass alle Daten vertraulich behandelt und nicht an Dritte weitergegeben werden.
- Mir ist bekannt, dass die Teilnahme an der Studie freiwillig ist und ich sie jederzeit abbrechen oder pausieren kann. Die Einverständniserklärung kann jederzeit ohne Angabe von Gründen widerrufen werden.

Name_____
Ort, Datum_____
Unterschrift

Hiermit verpflichtet sich die Studienleitung, die Audioaufnahmen sowie sämtliche sonstigen gewonnenen Daten lediglich zu Auswertungszwecken im Rahmen der Studie zu verwenden:

Name_____
Ort, Datum_____
Unterschrift

Anhang D: Nutzerstudie Fotogenehmigung

Fotogenehmigung

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass Fotos von mir, die nach vorheriger Absprache während der Studie zum Thema „Mixed Reality Mirror Box“ entstanden sind, in folgenden Arbeiten abgebildet werden:

- Bachelor-Arbeit zum Thema „Mixed Reality Mirror Box“ von Rebecca Weber
- Wissenschaftliche Veröffentlichungen der AG Mensch-Computer-Interaktion, Universität Konstanz

Name

Ort, Datum

Unterschrift

Fotos oben genannter Person werden ausschließlich in den angegebenen Arbeiten verwendet und nicht an Dritte weitergegeben:

Name

Ort, Datum

Unterschrift

Anhang E: Nutzerstudie Studienablauf

Studienablauf „Mixed Reality Mirror Box“

Rebecca Weber | AG Mensch-Computer-Interaktion, Universität Konstanz

Liebe(r) Studienteilnehmer(in),

zunächst vielen Dank, dass Sie sich für eine Teilnahme an meiner Studie und der damit verbundenen Unterstützung meiner Bachelor-Arbeit bereiterklärt haben.

In dieser Studie wird es darum gehen, das System „Mixed Reality Mirror Box“ und dessen Benutzbarkeit zu testen, sodass ich es später unter anderem mit Hilfe dieser Studiendaten bewerten kann. Das System basiert auf Virtual-Reality Technologien und bietet einen neuen Ansatz für Spiegeltherapie. Ich möchte ausdrücklich darauf hinweisen, dass das System getestet wird und nicht Sie, Sie können hier also keine Fehler machen. Eventuell auftretende Fehler sind dem System geschuldet.

Zu Beginn möchte ich Ihnen einige Fragen zu Ihnen und Ihrer Vorerfahrung mit Spiegeltherapie stellen. Sie müssen nicht auf alle Fragen antworten, wenn Sie nicht möchten. Falls Sie noch nie Spiegeltherapie gemacht haben, ist das kein Problem. Im Anschluss werde ich Ihnen die „Mixed Reality Mirror Box“ erklären und vorführen. Und schließlich dürfen Sie das System selbst ausprobieren und testen. Währenddessen werde ich eine Audioaufnahme und einige Notizen machen. Auch über Anmerkungen von Ihnen würde ich mich freuen, z. B. wenn Sie etwas gut finden oder etwas stört. Sie können jederzeit Fragen stellen und das Testen des Systems jederzeit beenden oder pausieren. Geben Sie einfach kurz Bescheid, wenn Sie die VR-Brille absetzen möchten. Es entstehen hierdurch keine Nachteile.

Nach dem Testen möchte ich Ihnen noch einmal einige Fragen zu Ihrer Erfahrung mit der „Mixed Reality Mirror Box“ stellen bzw. mit Ihnen über das System diskutieren. Soweit zum ersten Teil der Studie.

An den darauffolgenden Tagen sind Sie herzlich eingeladen, sich weiter mit dem System zu beschäftigen und es auszuprobieren, wenn Sie möchten. Hierbei freue ich mich jederzeit über Anmerkungen, Wünsche, Verbesserungsvorschläge oder Kritik und stehe Ihnen für Fragen und Hilfestellungen zur Verfügung. Ich werde mir auch dann Notizen machen und Ihnen ein paar weitere Fragen stellen. Wenn Sie das System nicht mehr benutzen möchten, ist das natürlich in Ordnung. Dann würde ich lediglich gerne noch etwas über die Gründe erfahren.

Zuletzt möchte ich Sie bitten, eine Einverständniserklärung über die Verwendung der erhobenen Daten zu unterschreiben.

Haben Sie noch Fragen zum Studienablauf?

Anhang F: Nutzerstudie Leitfaden Vorgespräch

ID: _____

Vorgespräch

Wie alt sind Sie?

Unter welcher Krankheit leiden Sie und seit wann?

Wie würden Sie Ihre Einschränkung beschreiben? Wie gut können Sie Ihren Arm bewegen?

Haben Sie bereits Erfahrungen mit Spiegeltherapie? Wie lange schon, wie häufig?

> Haben Sie das Gefühl Spiegeltherapie hilft Ihnen?

Vorgespräch

1

ID: _____

> Was für Übungsaufgaben machen Sie bei Spiegeltherapie?

> Wie sehr müssen Sie sich bei Spiegeltherapie konzentrieren?

> Funktioniert für Sie die Illusion, dass die Hand im Spiegel Ihre andere sei?

> Stört Sie etwas an dem Spiegelbild?

> Stört Sie etwas an Spiegeltherapie allgemein? Was würden Sie verbessern, wenn Sie könnten?

ID: _____

> Machen Sie gerne Spiegeltherapie? Macht es Spaß oder strengt es an?

Haben Sie Erfahrungen mit Virtual-Reality? Oder haben Sie schon mal davon gehört?

Falls ja, was halten Sie davon? Kann man Virtual Reality mit Spiegeltherapie verbinden?

Welche Vorstellungen, Erwartungen oder Wünsche haben Sie?

Wie fühlen Sie sich heute, sind Sie motiviert?

Anhang G: Nutzerstudie Leitfaden Nachbesprechung

ID: _____

Nachbesprechung

Wie hat Ihnen das System gefallen?

Mussten Sie sich konzentrieren? Ging es leicht, war es anstrengend?

Hatten Sie besondere Empfindungen während der Nutzung des Systems? Gute/schlechte?

Macht Ihnen das Benutzen des Systems Spaß?

Nachbesprechung

1

ID: _____

Stört Sie etwas an dem System?

Haben Sie die virtuelle Hand als Ihre eigene wahrgenommen?

Was denken Sie über die Darstellung der Hand?

Was war besser: gesunde Hand ausgeblendet, transparent oder ganz?

ID: _____

Wie hat Ihnen das Auswahlmü gefallen?

Wie hat Ihnen die Szene ohne Objekte gefallen?

Wie hat Ihnen die Szene mit den Würfeln gefallen? Wie fanden Sie das Spiel?

Wie hat Ihnen die Szene mit den Karten gefallen? Wie fanden Sie das Spiel?

Nachbesprechung

3

ID: _____

Motiviert Sie das System dazu, mehr oder länger zu üben?

Können Sie sich vorstellen das System regelmäßig zu benutzen?

Möchten Sie das System an den kommenden Tagen nochmal Testen?
Wenn nein, warum nicht?

Haben Sie Verbesserungsvorschläge?

Nachbesprechung

4

ID: _____

Falls Vorerfahrung mit Spiegeltherapie:

Was war anders als bei normaler Spiegeltherapie?

Was sind Ihrer Meinung nach Vorteile gegenüber normaler Spiegeltherapie?

Was sind Ihrer Meinung nach Nachteile gegenüber normaler Spiegeltherapie?

Anhang H: Nutzerstudie Leitfaden für Folgebesuche

ID: _____

Fragen bei Folgebesuchen

Vorher

Wie geht es Ihnen heute? Wie fühlen Sie sich?

Sind Sie motiviert, haben Sie Lust das System nochmal auszuprobieren?

Das wievielte Mal nutzt der(die) Proband(in) das System:

Während Nutzung

Was hat der(die) Proband(in) genutzt?

ID: _____

Nachher

Was hat Ihnen heute besonders gut gefallen?

Was hat Ihnen heute nicht gefallen? Hat Sie etwas gestört?

Hat sich etwas verändert im Vergleich zu(m) (den) letzten Mal(en), z. B. die Illusion, die nötige Konzentration, die Motivation, Spaß, erreichte Zeit etc.? (Individuell Bezug nehmen auf frühere Aussagen)

ID: _____

Haben Sie Verbesserungsvorschläge oder neue Ideen, was man noch machen könnte?

Beim letzten Mal

Haben Sie das Gefühl, das Benutzen des Systems hat Ihnen persönlich geholfen?

Können Sie sich vorstellen das System längere Zeit zu verwenden, es in den Alltag zu integrieren? Wird es auf Dauer eher langweilig?

Anhang I: Inhalte des beiliegenden USB-Sticks

Der beiliegende USB-Stick enthält folgende Dateien und Ordner:

- Seminararbeit_MRMB_Rebecca-Weber_03-2015.pdf
- Projektbericht_MRMB_Rebecca-Weber_06-2016.pdf
- Bachelorarbeit_MRMB_Rebecca-Weber_09-2016.pdf
- Ordner „Experteninterviews“: enthält die Dokumente und Transkripte der Experteninterviews
- Ordner „Mixed Reality Mirror Box“: enthält die Unity Projektdateien und eine ausführbare Version des Projekts
- Ordner „Nutzerstudie“: enthält die Dokumente und Protokolle der Nutzerstudie