

Aus dem Institut für Psychologie I der Universität Würzburg

Vorstand: Professor Dr. Paul Pauli



**„Evaluation der Verwendung von Virtueller Realität (VR) als Ergänzung zum
Laufbandtraining im Rahmen der Behandlung von Gangstörungen bei
Patienten mit Multipler Sklerose (MS) und Schlaganfall“**

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Carla Winter

aus **Bamberg**

Würzburg, Februar 2022



This document is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-NC-SA 4.0):
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0> This CC license does not apply to third party material (attributed to another source) in this publication.

Referent bzw. Referentin: Professor Dr. Paul Pauli

Korreferent bzw. Korreferentin: Professorin Dr. med. Claudia Sommer

Dekan: Professor Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 12.07.2022

Die Promovendin ist Ärztin.

Anmerkung: Um den Lesefluss nicht zu beeinträchtigen, wurde in dieser Arbeit das generische Maskulinum verwendet. Weibliche und andere Geschlechteridentitäten werden dabei ausdrücklich mitgemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Theoretischer Hintergrund.....	2
2.1	Gangstörungen bei neurologischen Patienten.....	2
2.2	Virtuelle Realität.....	5
2.2.1	Definition.....	5
2.2.2	Anwendungsfelder.....	7
2.2.3	Simulator Sickness	9
2.3	Forschungsstand zu VR und Gangrehabilitation	11
2.4	Fragestellung und Ziele	17
2.5	Vorstudie.....	17
3	Methoden.....	18
3.1	Stichprobenbeschreibung.....	18
3.1.1	Gesunde Versuchsteilnehmende.....	18
3.1.2	Patienten	19
3.2	Setup der Studie mit den gesunden Probanden.....	24
3.3	Setup der Patientenstudie.....	26
3.4	Die virtuelle Welt.....	27
3.5	Evaluationsinstrumente.....	33
3.5.1	Kurzfristige Effekte	33
3.5.2	Weitere Instrumente zur Beurteilung der Usability.....	34
3.5.3	Akzeptanz und Zufriedenheit	39
3.6	Versuchsablauf.....	39
3.7	Beschreibung der Datenanalyse.....	44
3.8	Hypothesen	44
4	Ergebnisse.....	45
4.1	Studie mit gesunden Versuchsteilnehmern.....	45

4.1.1	Laufgeschwindigkeit	45
4.1.2	Herzfrequenz	47
4.1.3	Stimmung und Motivation.....	48
4.1.4	Zeitgefühl	49
4.1.5	Gangerleben.....	50
4.1.6	Simulator Sickness (SSQ)	50
4.1.7	Präsenzerleben (IPQ).....	51
4.1.8	Intrinsische Motivation (IMI).....	51
4.1.9	Subjektive Belastung (NASA TLX und Borg-Skala).....	52
4.1.10	Usability (EDQ und SUS)	53
4.1.11	Präferenzen und Kritik der gesunden Probanden	53
4.2	Patientenstudie	56
4.2.1	Laufgeschwindigkeit	56
4.2.2	Herzfrequenz	58
4.2.3	Zeitgefühl	59
4.2.4	Stimmung und Motivation.....	59
4.2.5	Gangerleben.....	60
4.2.6	Simulator Sickness (SSQ)	61
4.2.7	Präsenzerleben (IPQ).....	62
4.2.8	Intrinsische Motivation (IMI).....	63
4.2.9	Subjektive Belastung (NASA TLX und Borg-Skala).....	63
4.2.10	Usability (EDQ und SUS)	64
4.2.11	Präferenzen und Kritik der Patienten.....	65
5	Diskussion	67
5.1	Laufgeschwindigkeit, Motivation und Stimmung	67
5.2	Präsenzerleben	72

5.3	Belastungserleben	73
5.4	Nebenwirkungen	76
5.5	Usability	79
5.6	Limitationen der Studie	82
5.7	Fazit und Ausblick	84
6	Zusammenfassung	88
7	Literaturverzeichnis	90
Appendix	110
I	Abkürzungsverzeichnis	110
II	Abbildungsverzeichnis	110
III	Tabellenverzeichnis	111
IV	Danksagung	113
V	Eigene Veröffentlichungen und Kongressteilnahme	114
VI	Demographischer Fragebogen (Gesunde Probanden)	115
VII	Demographischer Fragebogen (Patienten).....	118
VIII	Checkliste für Telefoninterviews mit Patienten.....	122

1 Einleitung

In a few years we will see medical Virtual Realities, where handicapped people can experience full-motion inter-action with others, where people with movement disabilities or paralysis will be able to experience a complete body. (Jaron Lanier im Whole Earth Review von Heilbrun & Stacks, 1989, S.118)

Was Jaron Lanier bereits 1989 prophezeit hat, ist 2022 längst Realität geworden. Algorithmen, künstliche Intelligenz und virtuelle Realitäten haben Einzug in unseren privaten wie auch beruflichen Alltag gefunden. Während einige in diesen Entwicklungen neue Chancen und eine Entlastung bei zahlreichen Tätigkeiten erkennen, stehen andere dem digitalen Zeitalter eher skeptisch gegenüber. Das Aufkommen einer gewissen Skepsis scheint deshalb berechtigt, weil sich mit nahezu jeder Innovation auch neue (ethische) Fragen aufdrängen - Mensch oder Maschine? Wer trifft die Entscheidungen und wer trägt schlussendlich die Verantwortung? Und allen voran: Wieviel Technik braucht es wirklich? Wo ist ihr Einsatz sinnvoll, wo eher überflüssig? Gerade letztere beide Fragen sollten in einem Tätigkeitsfeld wie der Medizin *vor* dem Einsatz in der unmittelbaren Patientenversorgung ausführlich geprüft und diskutiert werden, weshalb diese Fragen auch die Grundüberlegung für die im Folgenden beschriebene wissenschaftliche Arbeit darstellt. Wo Technik primär als Hilfsmittel zur Unterstützung der menschlichen Arbeit gesehen wird, kann durch das Aneignen und Anwenden von Wissen über diese die Angst und Verunsicherung ihr gegenüber minimiert und Raum für neue Ideen, Ansätze und Forschungsgebiete geschaffen werden. Virtuelle Realität (VR) kann ein solches Hilfsmittel sein – vor allem dann, wenn monotone, wiederkehrende oder wenig abwechslungsreiche Tätigkeiten durch sie aufgewertet werden. Wenn ein passender Film das Training eines Radfahrers auf seinem Fahrradergometer so untermalen kann, dass das Training für den Sportler subjektiv motivierender und kurzweiliger wirkt, dann könnten auch eintönige Rehabilitationsmaßnahmen für Patienten durch den Einsatz einer VR an Attraktivität gewinnen. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, das klassische Laufbandtraining von Patienten, die unter einer Gangstörung leiden, durch eine VR zu erweitern und einen Vergleich mit dem herkömmlichen Laufbandtraining ohne VR anzustellen. Angelehnt an die oben genannten Fragen „Wieviel Technik braucht es wirklich? Wo ist ihr Einsatz sinnvoll, wo eher überflüssig?“, sollte der Fokus dieser Studie im Gegensatz zu bisherigen Studien auf der

Erörterung liegen, ob Patienten tatsächlich bezüglich Leistung und Motivation von dem Einsatz einer VR profitieren können. In der Annahme, dass die Grundvoraussetzung für die Etablierung eines neuen Therapieansatzes die Akzeptanz der neuen Trainingsmethode durch die Patienten ist, wurde in dieser Proof-of-concept-Studie der Evaluation der Nutzerfreundlichkeit und der Einstellung der Patienten zu dieser neuen Trainingsmethode eine zentrale Rolle beigemessen. Denn eine Trainingsmethode, die den Patienten nicht gefällt oder in der sie keinen Sinn sehen, kann zwar eine auf dem Papier funktionierende Methode sein, ist aber langfristig nicht erfolgsversprechend. Die genauen Fragestellungen sind am Ende des Kapitels „Theoretischer Hintergrund“ dargestellt. Im Folgenden wird zunächst eine Einführung in die Problematik der von Gangstörungen betroffenen Patienten sowie in die Technik der VR gegeben. Anschließend folgt ein kurzer Einblick in den aktuellen Forschungsstand und die sich daraus ergebende Relevanz dieser Studie.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Gangstörungen bei neurologischen Patienten

Neurologische Erkrankungen wie Multiple Sklerose (MS) und Schlaganfall stellen nicht nur für die Betroffenen schwerwiegende Diagnosen dar, sondern sind auch epidemiologisch und sozioökonomisch relevante Erkrankungen. Während um das Jahr 2000 die Zahl der MS-Patienten in Deutschland auf ca. 120 000 Patienten geschätzt wurde (Hein & Hopfenmüller, 2000), weisen Abrechnungsdaten der gesetzlichen Krankenkassen darauf hin, dass sich im Jahr 2010 zwischen 150 000 bis 200 000 Patienten aufgrund dieser Diagnose in ambulanter Behandlung befanden, was fast einer Verdopplung der Prävalenz entspricht (Petersen et al., 2014). Dieser Trend wird weltweit beobachtet und vorwiegend auf die erhöhte Lebenserwartung der Patienten sowie die bessere Versorgungslage zurückgeführt (Koch-Henriksen & Sørensen, 2010).

Eine noch größere Herausforderung für unsere Gesellschaft könnte allerdings die Zunahme der Schlaganfallzahlen vor dem Hintergrund des demographischen Wandels werden (Foerch et al., 2008). Schätzungen zufolge wird die absolute Häufigkeit der Schlaganfälle in Europa pro Jahr von 1,1 Millionen im Jahr 2000 auf ca. 1,5 Millionen im Jahr 2025 ansteigen (Béjot et al., 2016; Truelsen et al., 2006).

Eine Hochrechnung von Olesen et al. schätzte die Gesamtkosten für Hirnerkrankungen in Europa im Jahr 2010 auf 798 Milliarden Euro, wovon 14,6 Milliarden Euro auf die

Behandlung der MS und 64,1 Milliarden Euro auf die Behandlung des Schlaganfalls entfielen (Olesen et al., 2012). Je nach Verlaufsform liegen allein die direkten medizinischen Kosten pro MS-Patient bei 17 000 bis 23 000 Euro jährlich (Kobelt et al., 2006). Hinzu kommen ungefähr genauso hohe indirekte Kosten, von denen der größte Teil als Folge der Erwerbsminderung bzw. der Frührente entsteht (Kobelt et al., 2006). Erklären lassen sich diese Kosten zum einen durch den jungen Erkrankungsgipfel, der bei etwa 30 Jahren liegt, durch den meist chronisch-progredienten Verlauf der Erkrankung sowie durch ihre Prävalenz. Die MS ist die häufigste neurologische Erkrankung, die im jungen Alter zu einer bleibenden Behinderung und frühzeitigen Berentung führt (Deutsche Gesellschaft für Neurologie, 2014). Gründe hierfür sind vor allem die eingeschränkte Beweglichkeit, Gangstörungen und der damit einhergehende Verlust der Unabhängigkeit der Betroffenen (Dunn, 2010).

Der Schlaganfall gehört zu den kardiovaskulären Erkrankungen und wird in erster Linie aufgrund seiner Mortalität gefürchtet (Benjamin et al., 2019; World Health Organization, 2018). Da aber bis zu Dreiviertel aller Schlaganfälle überlebt werden (Kolominsky-Rabas et al., 1998; Palm et al., 2010), nehmen sekundärpräventive und rehabilitative Maßnahmen für die Betroffenen eine wichtige Rolle ein (The European Stroke Organisation (ESO) Executive Committee and the ESO Writing Committee, 2008). Der Schlaganfall hinterlässt ähnliche motorische Beeinträchtigungen wie die MS und stellt schon heute nicht nur die zweithäufigste Todesursache weltweit dar, sondern auch die dritthäufigste Ursache für eine dauerhafte Pflegebedürftigkeit und Behinderung (Murray et al., 2012; Rosamond et al., 2007; World Health Organization, 2018). Er ist ebenfalls wie die MS mit einem erhöhten Sturzrisiko assoziiert (Forster & Young, 1995). Zwischen 50 und 70 % der Patienten, die einen Schlaganfall erlitten haben, stürzen nach der Entlassung aus dem Krankenhaus in ihrer häuslichen Umgebung, bis zu 47 % sogar mehrmals (Forster & Young, 1995; Nyberg & Gustafson, 1995). Neben einer allgemeinen Muskelschwäche, Balanceschwierigkeiten, einer visuellen oder einer mentalen Dysfunktion können auch hier Gangstörungen verantwortlich für die Stürze sein (Lamb et al., 2003; Tsur & Segal, 2010; Tutuarima et al., 1997).

Insbesondere diese Gangstörungen stellen sowohl für MS- als auch Schlaganfallpatienten eine große und oft stigmatisierende Belastungsprobe dar. Bedingt werden sie beispielsweise durch eine allgemeine Muskelschwäche, sensorische Missempfindungen,

zerebellare Koordinationsstörungen oder eine Störung der zentralen Gangsteuerung (Armutlu et al., 2001). Sie können sich als minimale Dysfunktionen, die klinisch kaum sichtbar sind, als Gleichgewichtsstörungen, in einer reduzierten Gehgeschwindigkeit oder Schrittlänge oder auch als spastische Bewegungen oder mangelnde Gangkontrolle äußern (Benedetti et al., 1999; Martin et al., 2006). Das damit assoziierte, erhöhte Sturzrisiko kann insbesondere bei Patienten mit MS, die durch eine regelmäßige Steroid-Einnahme und einen Vitamin-D-Mangel oftmals eine erhöhte Brüchigkeit der Knochen aufweisen, zu Frakturen führen (Cosman et al., 1998) oder bei Schlaganfallpatienten die Angst vor Stürzen erhöhen (Andersson et al., 2008). Hinzu kommt, dass Patienten mit MS 15 Jahre nach der Diagnosestellung mit einer Wahrscheinlichkeit von nahezu 40 % irgendeine Form der Gehhilfe, mit bis zu 25 % sogar einen Rollstuhl benötigen (Myhr et al., 2001). Das wirkt sich bei den Betroffenen nicht nur auf ihre Arbeitssituation, sondern auch negativ auf ihre mentale Gesundheit aus (Finlayson & Van Denend, 2003). Um eine dauerhafte Arbeitsunfähigkeit zu vermeiden und die Unabhängigkeit der Patienten möglichst lange aufrechtzuerhalten, wird eine multimodale Rehabilitation der Betroffenen angestrebt (Deutsche Gesellschaft für Neurologie, 2014). Dabei spielen die Physio-, Bewegungs- und Trainingstherapie eine zentrale Rolle (Snook & Motl, 2009), da sie zu einer Verbesserung der motorischen Funktionalität, der Lebensqualität und der Teilhabe beitragen können (Latimer-Cheung et al., 2013).

Die Rehabilitation von Gangstörungen erfolgt vorwiegend anhand eines therapeutisch angeleiteten Gangtrainings und hat zum Ziel, die Mobilität der Patienten zu verbessern (Tholen et al., 2019). Hierfür können verschiedene Behandlungsansätze verfolgt werden, welche sowohl die Ausdauer als auch die Kraft der Patienten steigern sollen. Eine bewährte Trainingsmethode ist das Gangtraining auf dem Laufband. Studien haben gezeigt, dass ein regelmäßiges Laufbandtraining motorische Defizite der unteren Extremität und die Gehfähigkeit der Betroffenen deutlich verbessern kann (Dalgas et al., 2008; Manning & Pomeroy, 2003; Shepherd & Carr, 1999). Bei Schlaganfallpatienten kann es außerdem die Gangsymmetrie und -gleichmäßigkeit und die Laufgeschwindigkeit verbessern (Harris-Love et al., 2001; Silver et al., 2000). MS-Patienten können mit einem derartigen Training unter anderem auch ihre maximale Gehstrecke verlängern (Dettmers et al., 2009). Je nach Bedarf kann auch ein körpergewicht-unterstützendes Laufbandtraining („Body-weight-supported treadmill

training, BWSTT“) eingesetzt werden, bei dem ein Teil des Körpergewichts von einem Gurtsystem getragen wird und den Patienten gewichtstechnisch entlastet (Moseley et al., 2005). Das Gangtraining auf dem Laufband kann auch roboter-assistiert erfolgen und mit einem Krafttraining der Wadenmuskulatur, der Fußhebermuskeln, der Hüftbeuger sowie des Quadriceps kombiniert werden (Tholen et al., 2019). Als zusätzlich förderlich gelten auch andere kombinierte Bewegungsprogramme, wie beispielsweise die Ergänzung des Gangtrainings um ein Balancetraining. Neben dem klassischen Balancetraining kann mit Sportarten wie Pilates, Yoga oder Tai Chi eine Verbesserung der Balance, der Gehfähigkeiten sowie auch anderer alltagsbeeinflussenden Faktoren wie der Fatigue erzielt werden (Burschka et al., 2014; Guclu-Gunduz et al., 2014; Oken et al., 2004; Sánchez-Lastra et al., 2019; Tholen et al., 2019; Zou et al., 2017).

2.2 Virtuelle Realität

2.2.1 Definition

Während „Virtual Reality“ (VR) von vielen noch als fremde Zukunftsvision gesehen wird, ist sie in anderen Bereichen schon ein nicht mehr wegzudenkendes Werkzeug der Gegenwart. Der kommerzielle Durchbruch dieser Technik gelang zwar erst in den letzten Jahren mit der Markteinführung kostengünstiger Head-Mounted-Displays (HMDs) verschiedener Hersteller, ihre Anfänge liegen aber mehr als 50 Jahre zurück. Als erstes HMD wird das von Ivan Sutherland 1966 entwickelte, so genannte „The Sword of Damocles“ angesehen (Sutherland, 1968). Dieses musste an einem mechanischen Arm befestigt werden, welcher aufgrund seines hohen Gewichts teilweise an der Decke des Labors aufgehängt werden musste. Die gezeigte virtuelle Umgebung war graphisch sehr einfach gehalten und ähnelte einer Strichzeichnung eines Raumes.

Als Erstbeschreiber des Begriffs „Virtual Reality“ gilt der Informatiker Jaron Lanier, der 1984 mit seinem Unternehmen *VPL Research* als einer der Ersten kommerzielle VR-Produkte wie Datenhandschuhe und HMDs entwickelte. Er fasste unter diesem Begriff alle damaligen Entwicklungen zu computergenerierten 3D-Welten mit Echtzeitfähigkeit zusammen (Lanier & Biocca, 1992) und beschrieb diese neue Technik in einem Interview mit Adam Heilbrun 1988 (Heilbrun & Stacks, 1989) wie folgt:

We are speaking about a technology that uses computerized clothing to synthesize shared reality. ... it doesn't have anything to do directly with what's going on inside your brain. It only has to do with what your sense organs perceive. The physical world, the thing on

the other side of your sense organs, is received through these five holes, the eyes, and the ears, and the nose, and the mouth, and the skin. They're not holes, actually, and there are many more senses than five but that's the old model, so we'll just stick with it for now. (Heilbrun & Stacks, 1989, S. 110)

Dass Lanier bereits damals großes Potenzial in dieser neuartigen Technik sah, verdeutlicht seine Aussage, die er bezüglich des Zweckes von Virtual Reality traf: „You can't really ask what the purpose of Virtual Reality is because it's just too big. You can ask what the purpose of a chair is because it's a small enough thing to have a purpose“ (Jaron Lanier in Heilbrun & Stacks, 1989, S. 117).

Seit den 80er Jahren wuchs das Interesse an den Möglichkeiten dieser Technik rasant und VR wurde auch von anderen Wissenschaftlern als vielversprechende Entwicklung der Zukunft prognostiziert (Lanier & Biocca, 1992). Genauso vielfältig wie die Vorstellungen von dieser Technik sind auch die Definitionen von VR. Sherman und Craig führen in ihrem Buch „Understanding Virtual Reality“ vier Grundelemente auf, die im Prinzip allen VR-Erfahrungen gemeinsam sind (Sherman & Craig, 2002): 1. Die virtuelle Welt (*virtual world*), 2. die Immersion (*immersion*), 3. das sensorische Feedback (*sensory feedback*) und 4. die Interaktivität (*interactivity*). Es wird also eine *virtuelle Welt* benötigt, die computergenerierte Objekte enthält und durch ein Medium (wie z. B. ein HMD) präsentiert wird. Zweitens muss eine *Immersion* in eine alternative Realität oder Perspektive gegeben sein, wobei sich eine physische und eine mentale Immersion unterscheiden lassen. Mit mentaler Immersion ist ein Status starker mentaler Beteiligung an der virtuellen Welt gemeint, sodass kaum mehr Zweifel an dieser bestehen. Physische Immersion dagegen beschreibt das körperliche Eintauchen in eine virtuelle Welt mithilfe künstlich erzeugter Stimuli, die auf einzelne Sinne des Körpers wirken, wie es bereits Lanier 1988 angedeutet hat (siehe Zitat oben). Ferner kann angenommen werden, dass je stärker eine VR den Benutzer von der realen Welt - z. B. durch kontinuierliche visuelle und auditive Stimuli - isoliert, desto höher ist der Grad der Immersion. In diesem Zusammenhang fällt oft auch der Begriff der „Präsenz“ (*presence*) in einer virtuellen Umgebung. Diese kann am ehesten mit der von Sherman und William beschriebenen physischen Immersion gleichgesetzt werden. Während die Immersion das technische Ausmaß umfasst, in dem einem menschlichen Teilnehmer eine computergenerierte Illusion mit all ihren Facetten vermittelt wird, sodass der Teilnehmer diese als real wahrnimmt (Slater & Wilbur, 1997), beschreibt dagegen die Präsenz einen psychischen

Zustand, nämlich das sich daraus entwickelte Gefühl, in dieser virtuellen Umgebung anwesend zu sein (Witmer & Singer, 1998). Demnach ist das Konzept der Präsenz oder - wie es nun in der VR-Community etabliert wurde – des „Gefühls der Präsenz“ (*sense of presence*) eher der mentalen Immersion ähnlich. Eine VR, die eine hohe Immersion beim Benutzer erzeugt, kann somit auch ein höheres so genanntes Präsenzlevel generieren (Witmer & Singer, 1998). Für den Begriff „Präsenz“ existieren in der Literatur ebenfalls verschiedene Definitionen, je nachdem ob er eher aus psychologischer oder aus technischer Sicht betrachtet wird (Skarbez et al., 2017). Nach Witmer und Singer ist Präsenz das subjektive Gefühl, an einem bestimmten Ort oder in einer Umgebung anwesend zu sein, auch wenn der Körper physisch eigentlich an einem anderen Ort ist (Witmer & Singer, 1998). Bezogen auf eine VR heißt das, dass der Benutzer sich in der virtuellen, computergenerierten Umgebung eher anwesend fühlt als an seinem aktuellen physischen Ort. Dieses Gefühl des „Dort-Seins“ („Being there“) ist demnach ein Bewusstseinszustand (Slater & Wilbur, 1997). Allen Definitionen ist gemeinsam, dass je nachdem wie stark die Aufmerksamkeit des Benutzers auf die virtuelle Umgebung gelenkt wird, der Benutzer sich in der VR stärker anwesend fühlt und im Nachhinein ein ausgeprägteres Präsenzerleben berichtet.

Ein weiteres Grundelement einer VR ist das *sensorische Feedback*, wodurch sich eine VR von traditionellen Medienerfahrungen abhebt. Basierend auf seiner vom System detektierten, physischen Position erhält der Benutzer vom VR-System ein direktes visuelles, auditives oder haptisches Feedback (Sherman & Craig, 2002).

Um schließlich eine VR authentisch zu machen, muss sie außerdem *interaktiv* sein, d. h. sie muss auf Aktionen des Benutzers eingehen und ihm die Fähigkeit geben, seine Position zu ändern und mit Objekten in der virtuellen Umgebung zu interagieren (Sherman & Craig, 2002).

2.2.2 Anwendungsfelder

Heutzutage ist virtuelle Realität nicht mehr nur ein futuristischer Technik-Hype, sondern bereits fester Forschungs- und Anwendungsgegenstand einiger Branchen.

Als eine der ersten Branchen hat die Videospiele-Industrie das Potenzial von VR erkannt und kommerziell genutzt. Für die Spieler bietet der Einsatz von VR eine neue, intensivere Spielerfahrung. Der entscheidende Unterschied zu herkömmlichen Computerspielen ist

die Nutzung eines HMDs, oft auch als „VR-Brille“ bezeichnet. Sie eröffnet dem Spieler die Möglichkeit, durch Kopfbewegungen seine Blickrichtung zu ändern und sich frei in der virtuellen Welt umzusehen (Yildirim et al., 2018). Das Einbeziehen der Sinne durch die 360-Grad-Optik, ergänzende Kopfhörer und gegebenenfalls haptische Elemente wie einen Joystick erhöhen das Gefühl der Immersion und der Involvierung in das Spiel (Schubert et al., 1999). Dadurch erlebt der Spieler nicht nur eine höhere Präsenz in der virtuellen Welt, sondern er kann sich auch mit dieser und seiner virtuellen Spielfigur besser identifizieren, was das Spiel wiederum unterhaltsamer macht (Lim & Reeves, 2010; Slater et al., 1994, 1996). Hinzu kommt, dass HMDs mittlerweile zur Consumer-Elektronik (Unterhaltungselektronik) gehören und im Vergleich zu den ersten HMDs aus der Anfangszeit der VR-Technik deutlich günstiger geworden sind, sodass VR nun eine breitere Masse an Spielern erreicht.

Neben dem Einzug in die Unterhaltungsbranche begründete VR bald auch ein neues Forschungsfeld in der Wissenschaft. Besonders das therapeutische Potenzial dieser Technik wurde zum Gegenstand vieler Untersuchungen. Heute hat VR beispielsweise ihren Einsatz in der Psychotherapie gefunden. Es wurde festgestellt, dass VR insbesondere bei der Expositionstherapie von Patienten, die unter einer spezifischen Phobie, wie z. B. einer Tunnelphobie (Mühlberger et al., 2007), Höhenphobie (Emmelkamp et al., 2002) oder Flugphobie (Mühlberger et al., 2003) leiden, Vorteile gegenüber der herkömmlichen Expositionstherapie in vivo haben kann (siehe Überblicksartikel von Mühlberger & Pauli, 2011). So können in einer VR zum einen vollständig kontrollierbare Expositionsszenarien kostengünstig erstellt werden (Sitzen im Flugzeug, etc.) und zum anderen diese Szenarien auch beliebig oft ohne großen organisatorischen Aufwand wiederholt werden. Laut aktueller Studienlage können VR-gestützte Expositionsverfahren bei der Behandlung von Angststörungen wie der Höhen- und Flugangst sogar effektiver sein als die herkömmliche Methode (Krijn et al., 2004). Virtuelle Szenarien können auch zur Ablenkung bei schmerzhaften Behandlungen eingesetzt werden (Lindner et al., 2020; Morris et al., 2009). Hunter et al. beispielsweise präsentierten mit ihrer VR-Welt „Snow World“ Verbrennungsoferten bei ihren täglichen, sehr schmerzhaften Verbandswechseln eine Schneelandschaft über ein HMD, in der die Patienten mithilfe eines Joysticks bestimmte Objekte mit Schneebällen abwerfen sollten. Die Patienten berichteten beim Verbandswechsel mit Präsentation der VR-Welt deutlich

geringere Schmerzen als beim Verbandswechsel mit einem klassischen Computerspiel oder in einer Kontrollbedingung ohne Ablenkung (Hoffman et al., 2000).

Gerade in der Medizin wurden für VR noch viele weitere Einsatzmöglichkeiten gefunden und evaluiert (Riva, 2003). VR-Anwendungen unterstützen auf der einen Seite bereits medizinisches Personal in ihrer Ausbildung, wie z. B. beim Anatomie lernen (Alfalah et al., 2019) oder beim Training chirurgischer Fähigkeiten (Alaker et al., 2016). Auf der anderen Seite fanden sie ihren Einsatz in Disziplinen wie der Neurowissenschaft und Neurorehabilitation. Dort stoßen sie bei Forschern besonders aufgrund ihrer interaktiven und motivationalen Komponente, der guten Kontrollierbarkeit sowie ihren Einfluss auf die Aktivierung bestimmter Hirnregionen und einen damit einhergehenden möglichen therapeutischen Nutzen auf großes Interesse (Bohil et al., 2011). So konnten bereits einige Studien bessere Therapieerfolge nach einem VR-Training detektieren als nach einem Training ohne VR. Patienten mit Parkinson beispielsweise zeigten eine stärkere Verbesserung der motorischen Funktion, Balance, Koordination, kognitiver Funktionen sowie der Lebensqualität, der mentalen Gesundheit und der Alltagsfähigkeiten als nach der konventionellen Rehabilitationsmethode (Triegaardt et al., 2020). Bei Schlaganfallpatienten wurden im Rahmen von VR-gestützten Trainings unter anderem bessere Therapieergebnisse in der Wiedererlangung der Funktionalität der oberen Extremitäten und ihrer Anwendung im Alltag beobachtet als in der Kontrollbedingung ohne VR (Mekbib et al., 2020; Merians et al., 2002).

2.2.3 Simulator Sickness

Im Folgenden werden mögliche Nebenwirkungen von VR erläutert. Ein nicht zu unterschätzendes Problem besteht darin, dass beim Anwender während oder nach dem VR-Erlebnis eine „Simulator Sickness“ auftreten kann (LaViola Jr., 2000). Die Simulator Sickness äußert sich in ähnlichen Symptomen wie die klassische Reisekrankheit („motion sickness“); hierzu gehören beispielsweise Schwindel, Übelkeit, Kopfschmerzen, Mundtrockenheit, Schwitzen und Desorientiertheit. Simulator Sickness entsteht gerade dann, wenn verschiedene Sinne unterschiedliche Informationen über die aktuelle Bewegung oder Orientierung des Körpers an das Gehirn weitergeben (LaViola Jr., 2000). Beim Eintauchen in eine virtuelle Welt ist der Benutzer selbst oft bewegungslos, nimmt aber gleichzeitig bewegte visuelle Bilder aus der virtuellen Umgebung wahr, wenn er sich beispielsweise durch die Betätigung eines Joysticks in der VR-Welt fortbewegt. So wird

ihm ein Gefühl vermittelt, dass er selbst als Person in Bewegung sei, obwohl er es nicht ist. Wenn nun die virtuelle Umgebung visuell eine Fortbewegung des Körpers suggeriert, andere Sinnessysteme wie das Vestibularorgan jedoch keine entsprechenden Signale vermitteln, weil die Person in der Realität eigentlich steht, entsteht durch die gegensätzlichen Sinneseindrücke ein sensorischer Konflikt (LaViola Jr., 2000). Es treten dann häufig die eingangs genannten körperlichen Symptome auf. Diese entwickeln sich unter anderem dann, wenn Bewegungssensoren (Tracker), die in ein HMD eingebaut sind, die Position des Kopfes nicht exakt erfassen oder verzögert an den Computer weitergeben, sodass die Bewegungen in der virtuellen Welt nicht mit denen in der realen Welt übereinstimmen (Biocca, 1992; Pausch et al., 1992).

Eine weiterer Faktor, der das Entstehen einer Simulator Sickness begünstigen und vor allem eine Müdigkeit der Augen hervorrufen kann, ist das Flimmern eines Bildes (Harwood & Foley, 1987). Da die periphere Retina flimmerempfindlicher ist als ihr zentraler, in der Sehachse liegender Teil (Fovea centralis), wird Flimmern umso mehr wahrgenommen, je größer das Sichtfeld ist (Hartmann et al., 1979; Seiple & Holopigian, 1996). Das muss gerade bei der Nutzung eines HMDs, welches das gesamte Gesichtsfeld des Anwenders einnimmt, beachtet werden. Um der Wahrnehmung von Flimmern entgegenzusteuern, sollte eine hohe Bildwiederholrate (über 60 Hz) des VR-Systems für die Netzhautperipherie gewählt werden (Boff & Lincoln, 1988; Wu & Zhai, 2012).

Schließlich können auch individuelle Faktoren einen Einfluss darauf haben, ob eine Person bei der Nutzung der VR-Technik Symptome einer Simulator Sickness entwickelt. So scheinen beispielsweise Frauen anfälliger für eine Simulator Sickness zu sein als Männer (Czerwinski et al., 2002). Auch wenn eine Person krank ist und zum Beispiel unter einem akuten respiratorischen Infekt, einer Fatigue, Schlaflosigkeit, Bauchschmerzen oder emotionalem Stress leidet, können Symptome einer Simulator Sickness gehäuft auftreten (Kennedy et al., 1987). Daraus ist abzuleiten, dass, wenn eine Person sich in einem anderen als ihrem üblichen Gesundheitszustand befindet, die Nutzung einer VR für die Dauer dieses Zustands vermieden werden sollte.

Um mögliche Symptome einer Simulator Sickness nach einer VR-Erfahrung zu erfassen, werden Fragebögen wie beispielsweise der Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) eingesetzt (Biernacki et al., 2016; Kennedy et al., 1993). Der SSQ fragt 16 Symptome

(beispielsweise Kopfschmerzen, Schwindel, Sehstörungen oder Übelkeit) ab, die den Subskalen *Nausea* [Übelkeit], *Disorientation* [Desorientiertheit] und *Oculomotor* [Okulomotorik] zugeordnet werden können.

2.3 Forschungsstand zu VR und Gangrehabilitation

Um eine Gangstörung erfolgreich zu therapieren oder zumindest die Sicherheit beim Gehen wiederzuerlangen, kann ein lebenslanges, regelmäßiges Gangtraining erforderlich sein (Tholen et al., 2019). Dabei basiert die Trainingsstruktur oft auf Wiederholung und Regelmäßigkeit, mit der die Gehübungen durchgeführt werden sollen (Duncan et al., 2011; Holden, 2005; Holden et al., 1984; Massetti et al., 2016). Ein herkömmliches Laufbandtraining bietet nur begrenzte Variationsmöglichkeiten, wie zum Beispiel das Einstellen einer Steigung oder der Geschwindigkeit. Langfristig gesehen könnten die repetitive Trainingsstruktur und die mangelnde Variabilität des herkömmlichen Laufbandtrainings monoton und ermüdend wirken. Das könnte einen negativen Einfluss auf die Motivation, die Compliance und somit wiederum auch auf das Therapieergebnis der Patienten haben.

Um das Laufbandtraining für Patienten attraktiver zu gestalten, kann es mit der Technik der virtuellen Realität kombiniert werden (Calabro et al., 2017; Massetti et al., 2016, 2018; Peruzzi et al., 2016; Sveistrup, 2004; Yang et al., 2008). Dabei wird den Betroffenen während des Gehens auf dem Laufband eine virtuelle Welt präsentiert. Ähnlich wie wenn der Patient während des Trainings einen Film schauen würde, soll die VR-Welt die Aufmerksamkeit des Patienten binden und das Training unterhaltsamer machen. Es haben bereits einige Studien gezeigt, dass eine VR-gestützte Rehabilitation über den Unterhaltungsaspekt hinaus als effektive und motivierende Alternative zum herkömmlichen Laufbandtraining angesehen werden kann (Ghai et al., 2020; Massetti et al., 2016).

Bei der Inklusion von VR in das traditionelle Rehabilitationskonzept wurden unterschiedliche Ansätze mit verschiedenen Darstellungsformen der VR verfolgt. Calabro et al. ergänzten ein robotergestütztes Gangorthesentraining mit einer VR, die den Patienten über einen Monitor präsentiert wurde und ein eingebautes Feedbacksystem enthielt, welches beispielsweise das erfolgreiche Passieren eines Hindernisses bewertete (Calabro et al., 2017). Die Kontrollgruppe absolvierte auch das robotergestützte Training,

erhielt Feedback allerdings nur in Form von Smileys auf einem Bildschirm vor dem Laufband. Nach einem achtwöchigen Training zeigte sich, dass sich das Gangbild und die Balance der MS-Patienten gemessen am Timed Up and Go Test und an der Berg Balance Scale um 20 % verbessert hatte. Außerdem wurden positive Auswirkungen der virtuellen Welt auf die Einstellung und Bewältigungsstrategien der Patienten im Hinblick auf den Umgang mit ihrer Erkrankung gefunden.

Dass ein VR-basiertes Laufbandtraining die Lauffähigkeiten und die Laufgeschwindigkeit verbessern kann, zeigte eine Studie von Peruzzi et al. (2016). Die Arbeitsgruppe präsentierte acht MS-Patienten während des Laufbandtrainings eine virtuelle Welt über ein HMD oder alternativ über einen Monitor. Die Patienten hatten die Aufgabe, in der VR-Welt vorwärtszulaufen und Hindernissen auszuweichen. Ob sie dabei erfolgreich waren, erfuhren sie durch auditives und visuelles Feedback. Als zusätzliche kognitive Aufgabe waren die Patienten dazu angehalten, sich den Weg einzuprägen, der ihnen vor dem Versuch gezeigt wurde. Nach einem Trainingsprotokoll von sechs Wochen mit zwei jeweils 45 Minuten dauernden Trainingseinheiten hat sich nicht nur die Laufgeschwindigkeit der Patienten erhöht, sondern auch die Schrittlänge und die Ausdauer beim Gehen gemessen am Six-Minute-Walking-Test (6MWT). Außerdem sank der Durchschnittswert der Expanded-Disability-Status-Scale (EDSS) um 12 % nach den sechs Trainingswochen sowie auch im Follow-Up. Die Autoren leiten von den Ergebnissen dieser Studie ab, dass ein VR-basiertes Laufbandtraining eine mögliche Therapieoption für MS-Patienten mit moderater Behinderung sein kann, um Gangparameter wie zum Beispiel die Schrittlänge positiv zu beeinflussen. Peruzzi et al. begründen den Trainingseffekt in einer weiteren Studie damit, dass das Training Spaß mache und die virtuelle Welt Dual-Task-Aufgaben enthält (Ausweichen von Hindernissen), die den Betroffenen eine gewisse Autonomie gewähren (Peruzzi et al., 2013).

Patienten, die einen Schlaganfall erlitten und dadurch eine Gangstörung davongetragen haben, können ebenfalls von einem regelmäßigen, VR-gestützten Gangtraining profitieren (de Rooij et al., 2017; Kang et al., 2012; Yang et al., 2008). In einer Studie mit 20 Schlaganfallpatienten, in der neun Patienten ein herkömmliches Laufbandtraining und elf Patienten ein VR-basiertes Laufbandtraining absolvierten, konnte gezeigt werden, dass schon nach einer Trainingszeit von drei Wochen ein Laufbandtraining mit VR die

Laufgeschwindigkeit stärker verbessern kann als ein Laufbandtraining ohne VR (Yang et al., 2008). Die elf Patienten, denen während des Laufbandtrainings eine VR über einen Monitor präsentiert wurde, erreichten nach Abschluss der Trainingsphase auch bessere Ergebnisse bei der Erhebung der Gehfähigkeit mittels des Walking Ability Questionnaire (WAQ) sowie der Activities-Specific Balance Confidence (ABC) Skala als die Patienten in der Kontrollgruppe.

Bei Schlaganfallpatienten liegt die Ursache des unsicheren Gangbilds meist in einer Gleichgewichtsstörung (Michael et al., 2005). Durch ein gezieltes Laufbandtraining können nicht nur die Laufgeschwindigkeit und Ausdauer der Patienten verbessert, sondern auch die Gleichgewichtsfähigkeit der Betroffenen wiederhergestellt und damit insbesondere die Sturzgefahr gesenkt werden (Hesse & Werner, 2003; Shepherd & Carr, 1999). Dies zeigt unter anderem eine Studie mit Schlaganfallpatienten, die alle eine Sturzanamnese aufwiesen (Jung et al., 2012): Die Patienten wurden in zwei Gruppen aufgeteilt, wovon eine Gruppe ein VR-Laufbandtraining und die andere als Kontrollgruppe ein herkömmliches Laufbandtraining durchlief. Bei den Patienten, die das VR-Laufbandtraining absolvierten, wurden nach drei Wochen Trainingszeit größere Effekte auf die Gleichgewichtsfähigkeit festgestellt als in der Kontrollgruppe (Jung et al., 2012).

Insgesamt zeigen die Studien, dass die Kombination von VR und herkömmlichem Laufbandtraining zu einer Verbesserung des Therapieerfolgs beitragen kann. Allerdings wählten die meisten bisherigen Studien als Ergänzung für ihr Laufbandtraining *entweder* die semi-immersive Darstellung einer VR über einen Monitor *oder* die immersive VR-Darstellung über ein HMD (siehe Tabelle 1). Es wurde bisher kein direkter Vergleich dieser beiden VR-Darstellungsformen angestellt. Eine Ausnahme bietet die Studie von Peruzzi et al., in der eine semi-immersive gegen eine immersive VR-Darstellung getestet wurde (Peruzzi et al., 2016). Da hier aber keine Kontrollgruppe eingesetzt wurde, die ein Training ohne VR absolviert hat, gibt es insgesamt keine Studie, die alle drei Trainingsbedingungen miteinander vergleicht: Das Training ohne VR, die semi-immersive VR-Darstellung und die immersive VR-Darstellung. Damit konnte bislang nicht eruiert werden, welche dieser VR-Formen für welche Patientengruppe am besten geeignet ist oder die höchste Akzeptanz findet. Außerdem wurde bei den oben genannten Studien kaum auf die Nebenwirkungen dieser unterschiedlichen VR-Darbietungsformen

eingegangen, obwohl diese gerade bei neurologischen Patienten, die oft auch unter eine Fatigue oder kognitiven Defiziten leiden (Chaudhuri & Behan, 2004a; Chiaravalloti & DeLuca, 2008a; Jasse et al., 2013a; Tatemichi et al., 1994a), besonders relevant sein könnten.

Die im Folgenden beschriebene Untersuchung soll diese Lücken schließen. Zum einen sollte die Machbarkeit und Akzeptanz eines VR-basierten Laufbandtrainings mit gesunden Versuchsteilnehmern sowie anschließend mit einer kleinen Gruppe von MS- und Schlaganfallpatienten geprüft werden. Zum anderen sollte ein direkter Vergleich zwischen den drei prinzipiell möglichen Trainingsformen angestellt werden: Ein Laufbandtraining ohne VR, ein Laufbandtraining mit semi-immersiver VR-Darstellung über einen Monitor und ein Laufbandtraining mit immersiver VR-Darstellung über ein HMD. Dabei sollten insbesondere die Vor- und Nachteile der verschiedenen Trainingsformen eruiert werden.

Tabelle 1 *Bisherige Studien zu VR-gestütztem Laufbandtraining mit MS-, Schlaganfall oder Parkinsonpatienten.*

Studie	Studienpopulation	Trainingsbasis	Getestete Versuchsbedingungen			VR-Inhalt
			Kein VR	Semi-immersiv (Monitor)	Immersiv (HMD)	
Calabro et al, 2017	40 MS-Patienten	Robot-assisted gait training (RAGT)	x	x		Spaziergang durch unterschiedliche Landschaften (inkl. Hindernisse und Greifaufgaben)
Peruzzi et al, 2016	8 MS-Patienten	Laufband		x	x	Laufen auf einem von Bäumen umrahmten Weg (inkl. Pfützen und Baumstämmen als Hindernisse)
Yang et al, 2008	20 Schlaganfallpatienten	Laufband	x	x		Laufen durch eine Gemeinde in Taipeh (inkl. unterschiedlicher Komplexitäts-Level durch z. B. Hindernisse)
Jung et al, 2012	21 Schlaganfallpatienten mit Sturzanamnese	Laufband	x		x	Spaziergang durch einen Park

Studie	Studienpopulation	Trainingsbasis	Getestete Versuchsbedingungen			VR-Inhalt
			Kein VR	Semi-immersiv (Monitor)	Immersiv (HMD)	
Kang et al, 2021	30 Schlaganfall- patienten	Laufband	x		x	Spaziergang auf einer Straße (inkl. individueller Geschwindigkeitsanpassung)
Cho et al, 2014	30 Schlaganfall- patienten	Laufband	x	x		Spaziergang durch Landschaft (Real-world video)
Kim et al, 2015	20 Schlaganfall- patienten	VR-basiertes Laufbandtraining zusätzlich zur physikalischen Therapie	x	x		Spaziergang auf Bürgersteigen, am Hang und über Hindernisse
Janeh et al, 2019	15 Parkinson- patienten	Laufsteg GAITRite®			x	Spaziergang auf einem langen Grasweg

2.4 Fragestellung und Ziele

Ziel der vorliegenden Proof-of-concept-Studie war es herauszufinden, welche unterschiedlichen Auswirkungen die immersive Darbietung einer virtuellen Welt über ein HMD verglichen mit der semi-immersiven Darbietung über einen Monitor sowie dem Laufbandtraining ohne den Einsatz einer VR-Welt hat. Der Patientenstudie wurde eine Studie mit gesunden Versuchsteilnehmern vorgeschaltet, um die Praktikabilität des Studiendesigns zu prüfen, schwerwiegende Nebenwirkungen der VR-Anwendung auszuschließen und eventuelle technische Defizite zu erkennen und zu beheben. Für beide Studien wurden die Laufgeschwindigkeit und die Herzfrequenz als Haupt-Outcome-Maße festgelegt. Daneben wurde die Nutzerfreundlichkeit und Akzeptanz des Systems unter anderem anhand von Ratingskalen bzw. Fragebögen zur Stimmung, Motivation und zum Präsenzerleben evaluiert. Außerdem wurden potenziell auftretende Nebenwirkungen, wie Symptome einer Simulator Sickness, sowie die subjektive Präferenz der Teilnehmer erfragt.

Es wurde eine Studie durchgeführt, in der die drei Versuchsbedingungen direkt miteinander verglichen wurden: In der ersten Bedingung durchliefen die Probanden ein konventionelles Laufbandtraining ohne irgendeine Art der VR-Intervention – so wie sie es bereits aus ihrer Rehabilitationseinrichtung oder aus dem Fitnessstudio kennen. In der zweiten und dritten Bedingung wurde das konventionelle Laufbandtraining um eine virtuelle Welt ergänzt. Diese wurde den Probanden einmal über einen vor dem Laufband aufgestellten Monitor präsentiert und einmal über ein HMD.

Da die Untersuchung zunächst mit gesunden Probanden und anschließend mit einer Gruppe von MS- und Schlaganfallpatienten durchgeführt wurde, ist im Folgenden von zwei Studien die Rede – einer Studie mit gesunden Teilnehmern und einer Patientenstudie.

2.5 Vorstudie

Für die beiden Studien, die in dieser Arbeit vorgestellt werden, wurde in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Human-Computer Interaction Würzburg eine virtuelle Welt konzipiert und implementiert. Da die Entwicklung einer neuen, fehlerresistenten VR-Software komplex ist und gerade vor der Anwendung am Patienten mehrerer Testphasen bedarf, wurde unserem Vorhaben eine Vorstudie zur Usability Evaluation vorangestellt (Kern et

al., 2019). Hierfür durchliefen 36 Studierende innerhalb einer Sitzung zwei Versuchsbedingungen, wobei sie in einer Bedingung auf einem Laufband mit einer voreingestellten Geschwindigkeit von 4 km/h 7,5 Minuten ohne zusätzliches Equipment laufen sollten. In der anderen Bedingung hatten die Probanden dieselbe Aufgabe, die VR-Welt wurde jedoch über ein HMD dargeboten. Ziel dieser Vorstudie war es, mögliche technische Defizite aufzudecken und anschließend zu beheben sowie erste Ergebnisse zur Wirkung von VR insbesondere im Hinblick auf die Motivationssteigerung zu eruieren. Außerdem wurden Nebenwirkungen wie etwa Symptome einer Simulator Sickness abgefragt. Die Studie ergab nicht nur, dass die Stimmung und Motivation der Probanden nach dem Laufbandtraining in VR höher war als nach dem Laufbandtraining ohne VR, sondern auch, dass sich die Probanden beim VR-Laufbandtraining wohler gefühlt haben. Nachdem die Versuchspersonen außerdem keine Nebenwirkungen berichtet hatten und kleinere technische Modifikationen an der VR-Welt vorgenommen worden waren, konnte diese VR-Welt für die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Studien verwendet werden.

3 Methoden

Bevor die Effekte des VR-basierten Laufbandtrainings mit Patienten untersucht wurden, wurde zunächst eine Studie mit gesunden Versuchsteilnehmern durchgeführt. Die Versuchsabläufe der beiden Studien waren im Wesentlichen identisch: Jeder Proband absolvierte drei verschiedene Trainingseinheiten auf einem Laufband. Die experimentellen Bedingungen unterschieden sich durch die Darbietung der VR. In einem Durchgang erfolgte die Darstellung der VR über ein HMD, in einem weiteren über einen Flachbildmonitor. Den beiden genannten Bedingungen wurde ein Durchgang mit einem konventionellen Laufbandtraining vorangestellt, bei dem die VR nicht verwendet wurde.

3.1 Stichprobenbeschreibung

3.1.1 Gesunde Versuchsteilnehmende

Sowohl für die erste Studie mit gesunden Probanden als auch für die zweite mit Patienten wurde eine Stichprobengröße von je $N = 30$ angestrebt.

Die optimalen Stichprobenumfänge für die Haupt-Outcome-Maße der Studie wurden mit dem Programm g.Power Version 3.1.9.2 folgendermaßen berechnet (Faul et al., 2007):

Eine Veränderung der Gehgeschwindigkeit um 0,5 – 1 km/h betrachteten wir als einen klinisch relevanten Effekt. Dieser wurde aufgrund der Ergebnisse in der Vorstudie für Gesunde erwartet, da in dieser ein Geschwindigkeitsunterschied von 0,9 km/h detektiert wurde (Kern et al., 2018). Dies entspricht einer mittleren bis hohen Effektstärke (Cohen's $d > 0.5$ bis $d > 0.8$). Der optimale Stichprobenumfang, um mindestens einen mittleren Effekt bei einem $\alpha = 0.05$ mit einer Power von 0.8 aufzudecken, beträgt $N = 28$. Für die Erfassung der Therapiemotivation und Stimmung wurden 11-stufige Ratingskalen eingesetzt. Differenzen von einem Punkt auf den Skalen zwischen den zwei VR-Bedingungen (entspricht einer mittleren bis starken Effektgröße von ca. $d = 0.67$) könnte mit einem Stichprobenumfang von $N = 20$ aufgedeckt werden. Wir strebten die Rekrutierung von $N = 30$ Studienteilnehmern an, um auch bei Abbruch der Studienteilnahme oder technischen Schwierigkeiten während der Erhebung von einzelnen Versuchsteilnehmern ausreichend Datensätze zur Verfügung zu haben und somit wenigstens die oben genannten Effekte aufdecken zu können.

Für die Pilotstudie konnten über Aushänge und über die elektronische Versuchspersonendatenbank des Instituts für Psychologie (<https://psywue.sona-systems.com/>) 36 gesunde Probanden rekrutiert werden. Die Personen, bei denen durch persönliche Rücksprache kardiovaskuläre, neurologische oder psychische Krankheiten ausgeschlossen wurden, erhielten eine Einladung zum Experiment in das Institut für Human-Computer Interaction der Universität Würzburg. Die Versuchsteilnehmer ($N = 36$; 26 Frauen) waren Studierende der Fächer Psychologie, Human-Computer Interaction und Medienkommunikation im Alter von 19 bis 39 Jahren ($M = 22.0$, $SD = 3.7$). Ihre Teilnahme an der Studie wurde in Form von Versuchspersonenstunden vergütet. Knapp die Hälfte von ihnen (47 %) wiesen eine Sehschwäche auf, die mit einer Brille oder Kontaktlinsen ausgeglichen wird. 33 (92 %) gaben an, bereits einmal an einer Studie mit VR teilgenommen zu haben. Zwei Teilnehmende gaben an, sich nicht in ihrem üblichen Fitnesszustand zu befinden, konnten aber trotzdem problemlos und ohne größere Anstrengung die Laufbandeinheiten der Studie absolvieren.

3.1.2 Patienten

Anhand der Proof-of-concept-Studie sollte die Akzeptanz und Durchführbarkeit der beschriebenen Therapiemethoden mit einer kleinen Anzahl an MS- und Schlaganfallpatienten mit Gangstörungen überprüft werden. Hier lief die Rekrutierung

der Studienteilnehmer über mehrere Kanäle: Zum einen wurden Patienten, die sich zu dem Zeitpunkt entweder in stationärer oder ambulanter Behandlung in der Rehabilitationsklinik Bavaria in Bad Kissingen befanden, von den behandelnden Ärzten und über in der Klinik ausgehändigte Flyer auf die Studie aufmerksam gemacht. Zum anderen konnten in Zusammenarbeit mit der Beratungsstelle der DMSG Unterfranken Patienten direkt sowie MS- und Aphasie-Selbsthilfegruppen in den Landkreisen Bad Kissingen und Rhön-Grabfeld über den postalischen Weg oder per E-Mail über die Studie informiert werden. Durch telefonische Kontaktaufnahme wurde das Krankheitsprofil der interessierten Patienten und deren Eignung für die Studie anhand einer Checkliste (siehe 7VIII) von der Versuchsleiterin geprüft. Gesucht wurden Patienten mit MS oder Schlaganfallereignis im Alter von 18 bis 60 Jahren, die bedingt durch ihre Diagnose eine Gangstörung haben, welche sich beispielsweise durch Humpeln, Hinken oder Ähnliches äußert. Voraussetzung für die Teilnahme an der Studie war die Selbstständigkeit und Unabhängigkeit beim Gehen auf ebenem Boden (Functional Ambulation Categories-Score [FAC] ≥ 4 und Expanded Disability Status Score [EDSS] < 6 , Holden et al., 1984; KURTZKE, 1983) sowie die schriftliche Einwilligung am ersten Studientag. Patienten, die in den letzten 30 Tagen vor der Studie einen akuten Schub ihrer MS erlitten oder eine Kortisontherapie erhalten haben, wurden nicht in die Studie aufgenommen. Weitere Ausschlusskriterien waren eine schwere Sehstörung bzw. eine Brille, die nicht unter das HMD passt, eine Epilepsie, Diplopie, ein paroxysmaler Schwindel oder ein Nystagmus, eine kardiorespiratorische Instabilität, ausgeprägte Muskelschwäche, Spastizität oder sensorische Ataxie sowie akut psychotische Zustände. Aufgrund einer Gewichtsbeschränkung des Laufbands konnten nur Patienten mit einem Körpergewicht unter 150 kg an der Studie teilnehmen.

Nach Prüfung aller Kriterien wurden insgesamt zehn MS- und vier Schlaganfallpatienten in die Studie eingeschlossen ($N = 14$; 8 Frauen). Das mittlere Alter der Probanden betrug 52.6 Jahre ($SD = 7.5$). Im Gegensatz zu den gesunden Probanden in der ersten Studie hatte von den Patienten bis zum Zeitpunkt der Studie noch keiner Erfahrungen mit VR gemacht. Lediglich zwei von ihnen gaben an, regelmäßig Computer zu spielen. Die Rate der Brillenträger war mit knapp 79 % deutlich höher als bei den Studenten. Außerdem gaben vier Patienten an, in ihrer Hörleistung beeinträchtigt zu sein.

Da einige Patienten (43 %) anmerkten, unter einem chronischen Erschöpfungssyndrom, einer so genannten Fatigue (Boerio et al., 2006), zu leiden, welche sich bei ihnen besonders in den Nachmittags- bzw. Abendstunden zeige, wurden die Studientermine für diese Patienten auf den Vormittag gelegt.

Die Auswertung des Selbstbeurteilungsfragebogens Beck-Depressions-Inventar-II (Beck et al., 1996; Hautzinger et al., 2006) zur Erhebung der Schwere einer Depression ergab, dass einer der 14 Patienten Anzeichen für eine leichte (Cut-off-Wert für leichte Depression gemäß der S3-Leitlinie zur unipolaren Depression: 13-19) und drei für eine mittelschwere Depression (Cut-off-Wert für mittelgradige Depression: 20-28) aufwiesen.

Weitere Patientencharakteristiken finden sich zur Übersicht in Tabelle 2 und Tabelle 3.

Tabelle 2 *Patientencharakteristiken.*

Patient	Alter	Geschlecht	Diagnose	Jahre seit Diagnose	Jahre seit Auftreten der Gangstörung	Haupt-Gehbeeinträchtigung ^a	Fatigue ^b	BDI-II
1	40	W	MS	4	4	Laufunsicherheit, Sensibilitätsstörungen	Ja	14
2	54	W	MS	22	22	Einseitige Beinschwäche, Stolpern	Ja	12
3	41	M	Schlaganfall	10	10	Hinken	Nein	10
4	55	M	MS	28	5	Einseitige Beinschwäche	Nein	4
5	65	W	MS	34	12	Beinschwäche	Ja	5
6	42	W	MS	18	2	Einseitige Beinschwäche	Ja	20
7	51	W	Schlaganfall	12	12	Hinken	Nein	27
8	59	M	MS	20	20	Stolpern	Nein	5
9	59	W	MS	16	16	Beinschwäche, mangelnde Beinkontrolle	Nein	1
10	60	M	Schlaganfall	8	6	Sensibilitätsstörungen in beiden Beinen	Nein	22
11	52	W	MS	10	4	Hinken	Ja	7
12	56	M	Schlaganfall	0	0	Gleichgewichtsstörungen	Nein	4
13	53	M	MS	6	5	Hinken	Ja	7
14	50	W	MS	30	6	Hinken	Nein	0

^a selbstberichtet; ^b selbstberichtetes chronisches Fatigue-Syndrom.

Abkürzungen: BDI-II, Beck Depression Inventory-II; MS, Multiple Sklerose; W, weiblich; M, männlich.

Tabelle 3 Fortsetzung Patientencharakteristiken.

Patient	PAREMO						ITQ			Total Score
	Seelischer Leidensdruck	Körperbedingte Einschränkungen	Soziale Unterstützung	Änderungsbereitschaft	Informationsstand	Skepsis	Focus	Involvement	Games	
1	5	10	9	5	6	7	38	30	3	78
2	5	11	4	3	12	7	27	22	3	57
3	5	10	11	4	11	7	28	14	2	54
4	4	7	12	3	12	8	30	13	2	54
5	3	11	7	4	12	4	20	11	2	40
6	6	9	12	7	8	5	35	42	4	90
7	11	13	9	9	12	9	31	39	2	79
8	6	12	9	6	11	8	20	8	2	36
9	3	11	9	7	12	3	25	16	2	50
10	5	16	9	11	10	8	25	21	2	58
11	3	12	14	5	11	7	24	19	2	53
12	5	6	12	8	8	3	34	13	9	64
13	6	11	10	7	11	6	38	27	2	77
14	3	4	4	3	12	6	42	23	5	81

Abkürzungen: PAREMO, Patientenfragebogen zur Erfassung der Reha-Motivation; ITQ, Immersive Tendencies Questionnaire.

3.2 Setup der Studie mit den gesunden Probanden

Für die Studie mit den gesunden Probanden wurde ein Labor des Instituts für Human Computer Interaction der Universität Würzburg genutzt. Dort wurde ein Laufband der Marke cardiostrong (Sport-Tiedje GmbH, Deutschland) in der Mitte des Raumes aufgestellt. Dieses enthielt seitliche Handläufe mit Tasten, über welche die Geschwindigkeit des Laufbands reguliert werden konnte. Unmittelbar vor dem Laufband wurde ein Flachbildmonitor platziert, der der semi-immersiven Präsentation der VR-Welt diente. Die immersive Darstellung der VR erfolgte über ein HMD, welches die Installation zweier Trackingstationen in den Ecken des Raumes erforderte. Über diese wurde die Position des HMDs und damit die Kopfbewegungen des Versuchsteilnehmers genau detektiert und in die virtuelle Umgebung übertragen. Gleiches galt für die Fußbewegungen, die durch auf den Schuhen der Versuchsteilnehmer befestigte Tracker von den Trackingstationen erfasst wurden. Um die Position des HMDs und der Fußsensoren im Raum richtig zu bestimmen, war vor jedem Gebrauch eine Kalibrierung nötig. Hierzu mussten einmal für ein paar Sekunden die Füße mit den Trackern parallel auf dem Laufband aufgestellt sowie das HMD am vorderen Ende des Laufbands platziert werden (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1. Kalibriervorgang.

Der Versuchsteilnehmer wurde vor Beginn des immersiven Laufbandtrainings aufgefordert, sich für wenige Sekunden mit beiden Füßen parallel zueinander auf das Laufband zu stellen und das HMD gerade

vor sich abzulegen. Danach startete die Versuchsleiterin die Kalibrierung. Auf dem Foto sind die Tracker erkennbar, die auf den Schuhen des Teilnehmers befestigt wurden.

Mithilfe dieses Trackings konnte sichergestellt werden, dass die Kopf- und Fußbewegungen des Versuchsteilnehmers synchron zu den Bewegungen des Avatars in der virtuellen Welt stattfanden. Zusätzlich bekamen die Versuchsteilnehmer Kopfhörer, über die Töne in der virtuellen Welt dargeboten wurden.

Neben dem Laufband befand sich ein Schreibtisch mit einem Computer, über den die Versuchsleiterin die VR-Anwendung starten konnte. Die Versuchsleiterin hatte so immer den Probanden sowie gleichzeitig die VR-Welt aus Sicht des Probanden im Blick (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2. Setup des immersiven Laufbandtrainings aus dem Blickwinkel der Versuchsleiterin. Das Bild zeigt eine Person während des Trainingsdurchgangs mit der immersiven VR-Darstellung. Sie trägt ein HMD und Kopfhörer und hält sich an den Handläufen des Laufbandes fest, wo sie die Geschwindigkeit des Laufbandes mit dem Daumen regulieren kann. Das HMD und die Fußtracker werden von zwei Trackingstationen erfasst, wovon eine auf dem Tisch stehend zu sehen ist. Die Versuchsleiterin kann über ihren Computer die aktuelle Position der Probandin in der virtuellen Umgebung einsehen. Vor dem Laufband ist der Monitor platziert, welche für die semi-immersive VR-Präsentation verwendet wurde.

Sobald der Proband das Ende der VR-Welt erreicht hatte, stoppte die Versuchsleiterin das Laufband manuell. Dem Versuchsteilnehmer wurden fünf Fragen zum virtuellen Erleben eingeblendet, die er verbal beantwortete (siehe 3.5.2). Nach jedem Trainingsdurchgang wurden die Teilnehmer gebeten, diverse Fragebögen (siehe 3.5.2) über einen Computer, der in der Ecke des Raumes aufgestellt war, digital zu bearbeiten.

3.3 Setup der Patientenstudie

Die Patientenstudie fand im Ganglabor der Rehaklinik Bavaria in Bad Kissingen statt. Alle drei Trainingseinheiten wurden auf einem elektrischen Laufband der Marke h/p/cosmos sports & medical GmbH (Nussdorf-Traunstein, Deutschland) durchgeführt. Jenes zeichnet sich dadurch aus, dass dessen Geschwindigkeit manuell in 0,1-km/h-Schritten angepasst werden kann und es mit einem speziellen Sicherheitsgurt ausgestattet ist, welcher den Trainierenden im Falle eines Sturzes auffängt (siehe Abbildung 3).



Abbildung 3. Sicherheitsvorrichtung in der Patientenstudie.

Das linke Bild zeigt eine Person, die zur Sturzverhütung in die Sicherheitsvorrichtung des Laufbandes eingespannt ist. Die Vorrichtung besteht aus einem Sicherheitsbügel, an dem eine Fallstopp-Zugleine befestigt ist, und einem Brustgeschirr, das mit der Zugleine verbunden wird und auf dem rechten Bild von vorne zu sehen ist.

Das restliche Setup der Patientenstudie glich im Wesentlichen dem Setup der Studie mit den gesunden Probanden (Monitorposition vor Laufband, Trackingstationen, Schreibtisch mit Computer für die Versuchsleiterin, Computer zur Beantwortung der Fragebögen; siehe Abbildung 4).



Abbildung 4. VR-Setup in der Patientenstudie.

Abgebildet ist das Laufband, auf dem ein Proband das semi-immersive Laufbandtraining absolviert, mit Sicherheitsbügel von der Seitansicht. Die virtuelle Welt wird dem Probanden über einen Monitor präsentiert, der vor dem Laufband aufgestellt ist.

Das HMD sowie die Handläufe der Laufbänder wurden in beiden Studien nach jeder Benutzung desinfiziert.

3.4 Die virtuelle Welt

Die virtuelle Welt, welche in den beiden Studien zum Einsatz kam, wurde in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Human-Computer Interaction der Universität Würzburg entwickelt (Kern et al., 2019). Hierfür wurden im Vorfeld einige Grundeigenschaften festgelegt, die bei der Gestaltung der Welt berücksichtigt werden sollten. Ziel war es, eine virtuelle Welt mit einem motivierenden Charakter zu schaffen, welche die Patienten als positive emotionale Erfahrung erleben. Durch das Eintauchen in die virtuelle Welt sollten die Patienten die Möglichkeit bekommen, von ihrer Gangstörung abgelenkt zu werden und ihre oft als Belastung empfundene Geheinschränkung für die Dauer des Trainings zu vergessen. Das Training sollte Spaß machen, das Interesse und damit in gewisser Weise auch den Ehrgeiz der Patienten

wecken. In diesem Zuge sollte untersucht werden, ob die Motivation der Patienten dadurch so weit gesteigert werden kann, dass die Teilnehmer in der vorgegebenen Zeit beim VR-gestützten Training eine längere Gehstrecke zurücklegen als beim Training ohne die Darbietung einer virtuellen Welt. Daneben ist es gerade bei neurologischen Patienten höchste Priorität, eine visuelle und kognitive Überforderung und damit Symptome einer Simulator Sickness zu vermeiden.

Um all diese Punkte in Einklang zu bringen, wurde bei der Gestaltung der Welt insbesondere auf die Selbstbestimmungstheorie von Ryan und Deci zurückgegriffen (Ryan & Deci, 2000). Dieser Theorie nach kann eine Erhöhung der intrinsischen Motivation besonders dann erreicht werden, wenn die drei psychologischen Grundbedürfnisse nach Autonomie, Kompetenz und sozialer Eingebundenheit befriedigt werden (siehe 5.1). Gleichzeitig gilt es, Frustration und Überforderung zu vermeiden, da diese einen negativen Einfluss auf die Motivation und das Verhalten des Menschen haben können. In der Welt „Homecoming“ wird der Patient in eine Geschichte eingebunden, die von einem Hund namens Max erzählt. Max‘ Zuhause wurde von einem Sturm zerstört und muss wiederaufgebaut werden, damit er und seine Freunde dort überleben können. Er bittet die Probanden, ihm dabei zu helfen, indem sie Max folgen und die Sterne, die ihnen auf dem Weg begegnen, einsammeln. Mit diesem Gamification-Element des Sternesammelns bekommt die Aufgabe zusätzlich einen spielerischen Charakter. Die Perspektive des Probanden ist die eines Avatars, der sich unmittelbar hinter Max auf dem geradeaus führenden Wanderweg fortbewegt. Der Weg beginnt in einer kargen Wüstenlandschaft ohne jegliches Anzeichen von Leben (siehe Abbildung 5).



Abbildung 5. Screenshot der virtuellen Umgebung zu Beginn des Durchgangs.

Mit jedem Stern, an dem Max und der Proband vorbeikommen, füllt sich eine Anzeige über Max' Kopf. Ist diese voll, beginnt sich die Welt zu verändern (siehe Abbildung 6). Zunächst wachsen Gräser und Sträucher, etwas später die ersten Blumen.

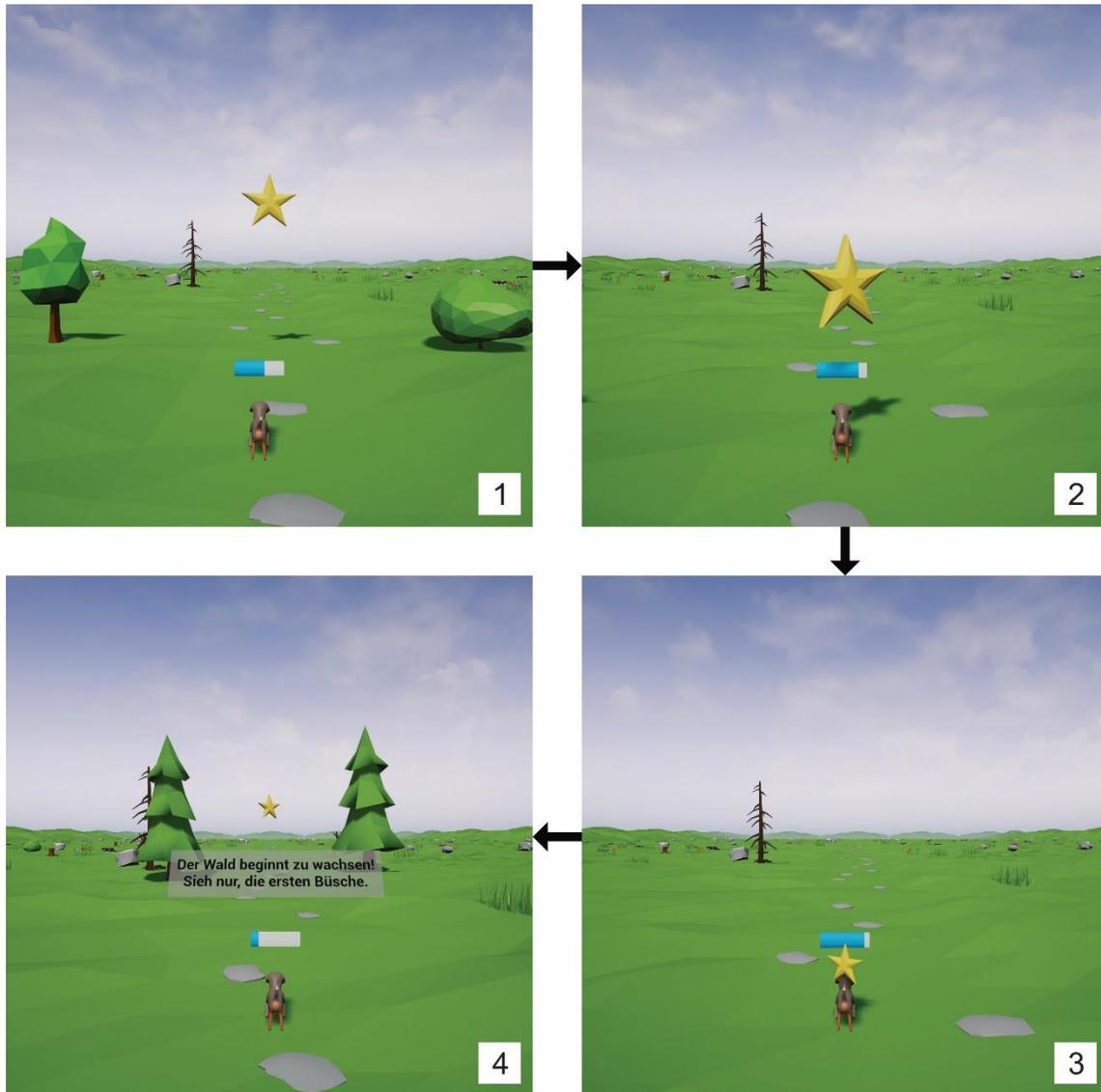


Abbildung 6. Veranschaulichung des Belohnungssystems in der virtuellen Umgebung.

Zunächst läuft der Proband auf den Stern zu (1). Gelangt er unter den Stern, fliegt der Stern zu Max und der blaue Balken in der Anzeige, der den Sammelfortschritt zeigt, wächst (2, 3). Ist die Anzeige voll, erscheinen neuen Elemente in der virtuellen Umgebung (z. B. Bäume), worauf der Proband auch von Max hingewiesen wird (4). Sobald die Anzeige wieder zurückgesetzt wurde, sieht der Patient bereits den nächsten Stern in der Ferne (4).

Je weiter der Patient läuft, desto bunter und fruchtbarer wird die Welt und desto glücklicher auch Max. Immer wieder bedankt sich der Hund beim Probanden und motiviert ihn damit, weiterzulaufen. Der Patient schafft Bäume, die den Tieren Schatten spenden, Seen, in denen die Tiere ihren Durst stillen können und schließlich Zelte, in denen sie nachts schlafen können. Nach einer gewissen Zeit erreicht der Patient ein Ziel, das durch drei Sterne gekennzeichnet ist und wird dort von Max' virtuellen Freunden

empfangen. Sie sprechen dem Probanden ihren großen Dank für seine Mithilfe beim erfolgreichen Wiederaufbau ihrer Welt aus und loben ihn für seine Leistung (siehe Abbildung 7).



Abbildung 7. Zieleinlauf der VR-Welt.

Mit Max wurde ein Hund der Rasse „Beagles“ gewählt, da diese zu den beliebtesten Hunderassen Deutschland gehört und als liebenswürdig und fröhlich gilt.

Die Beschaffenheit der Welt und ihrer Bewohner zielt darauf ab, den Probanden möglichst stark in die virtuelle Situation einzubinden (*social relatedness* nach Ryan und Deci, 2000). Seine Aufgabe, den Tieren beim Wiederaufbau ihres Lebensraums zu helfen, ist für die Bewohner der VR-Welt von großer Bedeutung und kann durch ein einfaches Mittel – nämlich das Laufen auf dem Laufband – bewältigt werden. Der Proband sieht durch die Veränderung der Welt unmittelbar den Erfolg seiner Arbeit (*competence*) und erhält dafür zusätzlich von seinem sozialen Kompagnon Max Lob und Dankbarkeit im Sinne eines positiven Feedbacks. Dadurch dass der Versuchsteilnehmer jederzeit selbst entscheiden kann, wie schnell er laufen oder ob er gar stehenbleiben möchte, wird seine Autonomie (*autonomy*) gewahrt.

Ein gewollter Nebeneffekt der Dynamik der virtuellen Welt war es, den Probanden möglichst effektiv von der Realität abzulenken, ihn gleichzeitig aber nicht zu überfordern. Deswegen wurde eine spielerische, realitätsferne Welt mit Objekten mit einer geringen Anzahl von Polygonen erstellt. Nach und nach erscheinen Naturelemente. Die Veränderung der Farben von Grautönen in der Wüstenlandschaft hin zu leuchtendem Grün in der Graslandschaft sollte die Stimmung der Probanden positiv beeinflussen. Um den visuellen Effekt etwas zu verstärken, wurde die Welt mit einer Klaviermusik untermalt, die über Kopfhörer dargeboten wurde.

Für die Patientenstudie kam dieselbe virtuelle Umgebung wie in der Pilotstudie zum Einsatz. Allerdings wurden vorher ein paar kleine technische Fehler beseitigt, die bei der ersten Studie aufgefallen waren. In diesem Zuge wurde auch eine neue Befestigungskonstruktion mit Klettverschlüssen für die Tracking-Sensoren an den Füßen entwickelt, wodurch die Sensoren auf dem Sportschuh nicht mehr so leicht verrutschen konnten und somit das Trackingsystem in der virtuellen Welt optimiert werden konnte (siehe Abbildung 8). Da bereits im Vorfeld erwartet wurde, dass die Patienten tendenziell eher langsamer laufen würden als die gesunden Versuchsteilnehmer, wurde dementsprechend die Geschwindigkeit, mit der die Bäume in der virtuellen Landschaft wachsen, etwas reduziert, damit die Patienten sich nicht erschrecken.



Abbildung 8. Befestigungskonstruktion der Tracking-Sensoren für die Füße mit Klettverschlusslösung.

3.5 Evaluationsinstrumente

Die Usability (Benutzerfreundlichkeit) eines Produkts, wie zum Beispiel die eines VR-Systems, lässt sich nicht mithilfe eines einzigen Fragebogens ermitteln. Nach der International Standards Organisation (ISO) umfasst die Usability mehrere Komponenten (Jordan, 1998), die einzeln untersucht werden müssen und erst in der Summe eine Aussage über die Usability eines Systems erlauben. Im Folgenden wird erläutert, wie die einzelnen Komponenten der Usability in der vorliegenden Studie erhoben und beurteilt wurden.

3.5.1 Kurzfristige Effekte

Eine Komponente der Usability, wie sie von der ISO beschrieben wird, ist die Wirksamkeit (*effectiveness*) eines Systems, also das Ausmaß, in dem ein Ziel erreicht wird. In der vorliegenden Studie wurde die Wirksamkeit des VR-Systems anhand der Laufgeschwindigkeit und Motivation der Studienteilnehmer untersucht.

In beiden Studien wurden die durchschnittliche Laufgeschwindigkeit sowie die Herzfrequenz der Versuchsteilnehmer als primäre Outcome-Maße definiert. Die durchschnittliche Laufgeschwindigkeit diente als Indikator für die kurzfristige Wirksamkeit der verschiedenen Laufbandtrainings. Sie wurde mithilfe der Angaben des Laufbands erfasst. Als zusätzliche objektive Messgröße wurde die Herzfrequenz der Versuchsteilnehmer in den drei Versuchsbedingungen jeweils eine Minute vor und eine

Minute nach den einzelnen Laufbandeinheiten anhand eines Pulssensors, das am Handgelenk des Probanden angebracht war, gemessen. Zur Beurteilung einer Herzfrequenzänderung wurde die Differenz zwischen der Prä- und Post-Messung berechnet und mit den Werten aus den anderen beiden Laufbandrunden verglichen.

3.5.2 Weitere Instrumente zur Beurteilung der Usability

Die folgenden sekundären Outcome-Maße dienen zur weiteren Evaluation der Usability der einzelnen Laufbandtrainingsformen. Sie wurden entweder mithilfe von numerischen Ratingskalen oder anhand von Fragebögen ermittelt, welche im Folgenden näher erläutert werden.

Borg-Skala und NASA Task Load Index (NASA TLX)

Eine weitere Komponente der Usability nach ISO stellt die Effizienz (*efficiency*) eines Systems, also der Aufwand dar, der zum Erreichen des Ziels erforderlich ist. Beim vorgestellten VR-System entspricht dieser Aufwand dem physischen und mentalen Einsatz, den die Patienten leisten müssen, um das Therapieziel, die Erhöhung ihrer Laufgeschwindigkeit und Verbesserung ihrer Lauffähigkeiten, zu erreichen. Der aufzuwendende Einsatz und damit das subjektive Belastungsempfinden der Probanden wurde mithilfe der Borg-Skala (Borg, 2001) und dem NASA Task Load Index (Hart, 2006; Hart & Staveland, 1988) abgeprüft. Die Borg-Skala ist eine leicht einsetzbare und valide Methode für die Bestimmung des Anstrengungsempfindens nach Erbringung einer bestimmten Leistung und umfasst die Werte 6 bis 20, wobei 6 einer nicht vorhandenen Anstrengung und 20 einer maximalen Anstrengung entspricht (Chen et al., 2002; Herman et al., 2006). Sie ist weltweit verbreitet und wird beispielsweise auch zur Abschätzung des Belastungsempfindens bei Leistungstests auf dem Ergometer verwendet (Borg, 2004). Die Studienergebnisse von Cleland et al. bestätigen die Validität und Reliabilität der Borg-Skala beim Einsatz bei mild bis mäßig betroffenen MS-Patienten im Rahmen von Radsportübungen (Cleland et al., 2016).

Mithilfe des NASA TLX sollten die Probanden ihr subjektives Belastungsempfinden anhand von den sechs Subskalen *Mental demand* (mentale Belastung), *Physical demand* (körperliche Belastung), *Temporal demand* (zeitliche Belastung), *Frustration* (Frustration), *Effort* (Aufwand) und *Performance* (Leistung) näher definieren (Hart, 2006; Hart & Staveland, 1988). Dabei wurde die weit verbreitete und häufig eingesetzte

Kurzversion des NASA-TLX, der sogenannte Raw TLX, verwendet, bei dem die Probanden die einzelnen Subskalen der Belastung auf einer 20-stufigen Skala von „Sehr gering“ bis „Sehr hoch“ bewerten sollen. Jede Stufe liegt dabei fünf Punkte von der nächsten entfernt. So kann in jeder Skala eine Maximalpunktzahl von 100 Punkten (20 x 5 = 100) angegeben werden.

Stimmung, Motivation und Zeitgefühl

Die Versuchsteilnehmer wurden jeweils vor und nach den einzelnen Laufbandtrainingseinheiten gebeten, ihre aktuelle Stimmung und Motivation auf einer sieben- bzw. elfstufigen Skala anzugeben, wobei „Null“ bzw. „Eins“ eine sehr schlechte/niedrige und „Sieben“ bzw. „Zehn“ eine sehr gute/hohe Stimmung bzw. Motivation bedeutete. Die Stimmung und Motivation der gesunden Versuchsteilnehmer wurden einmalig vor Beginn der Studie sowie nach jeder Laufbandeinheit erhoben. Bei den Patienten wurden diese vor und nach jedem Trainingsdurchgang erfragt.

Außerdem wurden die Versuchsteilnehmer nach jeder Laufbandeinheit gefragt, wie schnell ihrem Gefühl nach die Zeit während des Trainings vergangen sei (Skala von 0 „Sehr langsam“ bis 10 „Sehr schnell“).

Fragen zum VR-Erleben

Ebenfalls auf einer elfstufigen Skala sollten Fragen beantwortet werden, die den Versuchsteilnehmern nur nach den beiden VR-Laufbandeinheiten gestellt wurden. Sie enthielten folgende Fragen bzw. Aussagen zum virtuellen Erleben, welche den Teilnehmenden noch während sie sich in der VR-Welt befanden auf dem Monitor bzw. des HMD-Displays eingeblendet wurden: „Ich habe mich in der virtuellen Umgebung anwesend gefühlt.“, „Ich empfand die virtuelle Umgebung als motivierend.“, „Wie schnell ist die Zeit auf dem Laufband Ihrem Gefühl nach vergangen?“, „Ich habe während des Trainings auf meinen natürlichen Gang geachtet.“ und „Wie ist Ihre aktuelle Stimmung?“. Die Versuchsteilnehmenden bewerteten diese jeweils verbal auf einer Skala von null („Trifft überhaupt nicht zu“/ „Sehr langsam“/ „Sehr schlecht“) bis zehn („Trifft völlig zu“/ „Sehr schnell“/ „Sehr gut“) gegenüber der Versuchsleiterin. Außerdem sollten sie Aussagen zur Fußbewegung und sozialen Verbundenheit mit dem Hund in der virtuellen Welt, wie „Ich habe die Bewegung der Füße in der virtuellen Welt und die meiner realen Füße als synchron wahrgenommen.“ oder „Ich bin immer weitergelaufen,

weil ich den Tieren helfen wollte.“ auf einer siebenstufigen Ratingskala von eins („Trifft überhaupt nicht zu“) bis sieben („Trifft völlig zu“) bewerten. Bei den Patienten sollte mit der zusätzlichen Aussage „Ich habe das Gefühl, dass mein Gang während des Trainings flüssiger war als im Alltag.“ das Gangerleben genauer erfragt werden.

Intrinsische Motivation

Die intrinsische Motivation der Versuchsteilnehmer wurde mithilfe des Intrinsic Motivation Inventory (IMI; Ryan, 1982) genauer untersucht. Der IMI hat sich als Messinstrument im Sport- und Trainingsbereich seit der Veröffentlichung der Studienergebnisse von McAuley et al., die eine akzeptable Validität und Reliabilität für den Gebrauch berichten, durchgesetzt (Markland & Hardy, 1997; McAuley et al., 1989, 1991; McAuley & Tammen, 1989). Es gibt verschiedene Versionen mit unterschiedlich vielen, beliebig anpassbaren Items, aus denen sich sechs Subskalen ergeben: *Interest/Enjoyment* (Interesse/Freude), *Perceived Competence* (wahrgenommene Kompetenz), *Effort* (Anstrengung), *Value/Usefulness* (Wert/Nützlichkeit), *Pressure/Tension* (empfundener Druck/Spannung) und *Perceived Choice* (wahrgenommene Wahlmöglichkeit). Die Subskala *Interest/Enjoyment* gilt als Maßstab für den Selbstbericht von intrinsischer Motivation und enthält deshalb die meisten Items. Es wird davon ausgegangen, dass eine Aufgabe, die Interesse weckt und Freude bereitet mit einer höheren intrinsischen Motivation des Nutzers einhergeht. Ebenso werden eine hohe wahrgenommene Kompetenz und Wahlmöglichkeit als positive Prädiktoren für die intrinsische Motivation gesehen, ein empfundener hoher Druck dagegen als negativer Prädiktor. Für die vorliegende Studie wurde die Standard-, 22-Item-Version verwendet, bei der die Fragen zur Subskala *Value/Usefulness* nicht enthalten sind. Die Beantwortung der Items erfolgte auf einer 7-stufigen Skala von 1 („Trifft gar nicht zu“) bis 7 („Trifft voll zu“). Sechs Items müssen vor ihrer Auswertung umkodiert werden.

Präsenzerleben

Ein weiterer Faktor, der das Vergnügen in einer virtuellen Welt und damit auch die Motivation des Benutzers erhöhen kann, ist das Erleben von Präsenz. Der Grad des Präsenzerlebens der Probanden in der virtuellen Umgebung wurde mithilfe des Igroup Presence Questionnaire (IPQ; T. Schubert et al., 2001; T. W. Schubert, 2003) ermittelt. Dessen 14 Items umfassen die drei Präsenzkomponenten „räumliche Präsenz“ (*spatial*

presence), „Involviertheit“ (*involvement*) und „Realitätsurteil“ (*realness*). Als Items der „räumlichen Präsenz“ werden beispielsweise die Aussagen „Ich hatte nicht das Gefühl, in dem virtuellen Raum zu sein.“ oder „Ich hatte das Gefühl, im virtuellen Raum zu handeln statt etwas von außen zu bedienen.“ zur Bewertung gegeben. Sie bezieht sich dabei auf die Definition von VR als subjektives Gefühl, in einer virtuellen Umgebung zu sein, obwohl der Körper an einem anderen Ort ist (2.2.1). Die Items zur Subskala *Involvement* prüfen, inwieweit der Nutzer das Gefühl hat, sich auf die virtuelle anstatt auf die reale Welt zu konzentrieren. Sie beinhaltet beispielsweise die Aussage „Meine Aufmerksamkeit war von der virtuellen Welt völlig in den Bann gezogen.“. Items wie die Frage „Wie real erschien Ihnen die virtuelle Umgebung?“ oder „Wie sehr glich Ihr Erleben der virtuellen Umgebung dem Erleben einer realen Umgebung?“ gehören zur Subskala *Realness* und messen, wie real die virtuelle Welt dem Benutzer subjektiv erscheint. Für die Beantwortung der Items werden 7-Punkte-Likert-Skalen von -3 bis +3 verwendet, wobei die Benennung der Endpunkte von den jeweiligen Items abhängen. Der IPQ wurde in mehreren Studien als reliables, valides und sensitives Messinstrument zur Beurteilung des Präsenzerlebens in virtuellen Umgebungen anerkannt (Schubert et al., 2001).

Simulator Sickness

Eventuell auftretende Nebenwirkungen der VR wurden in dieser Studie mithilfe des Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) abgefragt. Der SSQ ist ein weltweit eingesetzter und validierter Fragebogen zur Erhebung einer Simulator Sickness (Balk et al., 2013; Kennedy et al., 1993). Er fragt 16 verschiedene Symptome ab, die als Nebenwirkungen bei der Benutzung eines virtuellen Szenarios im Rahmen einer Simulator Sickness auftreten können (Biernacki et al., 2016; R. S. Kennedy et al., 1993). Bei jedem dieser Symptome soll der Versuchsteilnehmer bewerten, ob sie bei ihm aufgetreten sind und wie stark deren Ausprägung war. Die Bewertung erfolgt auf einer Skala von 0 (keine Ausprägung), über 1 (leichte Ausprägung), 2 (mäßige Ausprägung) bis hin zu 3 (schwere Ausprägung). Zu den abgefragten Symptomen gehören beispielsweise allgemeines Unwohlsein, Kopfschmerzen, Müdigkeit, Übelkeit, Schwitzen, Schwindel oder verschwommenes Sehen. Sie werden in die Subskalen Übelkeit (*Nausea*), Desorientierung (*Disorientation*) und Okulomotorik (*Oculomotor*) unterteilt. Aus ihrer Summe kann der SSQ Total Score berechnet werden, wobei dieser Werte zwischen 0 und

168 annehmen kann. Je höher dabei der Total Score ist, desto ausgeprägter ist auch die Simulator Sickness und desto höher auch die Wahrscheinlichkeit, dass das Experiment aufgrund dieser abgebrochen wird (Balk et al., 2013). Ein Total Score mit einem Wert über 20 wird in einigen Studien als Grenzwert für eine signifikante Simulator Sickness betrachtet (Treleaven et al., 2015; Webb et al., 2009). Nach Überprüfung der Fragebögen aus der ersten Studie hatte man sich dazu entschieden, den SSQ nicht nur nach, sondern auch vor den VR-gestützten Laufbandeinheiten abzufragen. Damit sollten schon im Vorfeld bestehende Symptome erfasst werden, um positive wie auch negative Veränderungen durch das Laufbandtraining zu detektieren.

EDQ und SUS

Um weitere Aspekte der Usability des VR-Systems zu untersuchen, wurde die System-Usability-Scale (SUS; Brooke, 1996) und der Equipment and Display Questionnaire (EDQ; Nichols, 1999) verwendet. Die SUS ist ein weltweit eingesetzter und validierter Fragebogen mit einer hohen Reliabilität (Bangor et al., 2008; J. R. Lewis, 2018; Tullis & Stetson, 2004), anhand dessen ein Nutzer Aussagen zur Gebrauchstauglichkeit eines Systems bewerten kann. Die Antwortskala reicht von 1 („Stimme überhaupt nicht zu“) bis 5 („Stimme voll zu“). Hieraus wird eine Gesamtpunktzahl berechnet, die Werte von 0 bis maximal 100 annehmen kann, wobei ein höherer Wert eine höhere Usability anzeigt. Nach Bangor, Kortum und Miller (2008) weist ein System mit einem SUS-Score unter 50 auf eine „nicht akzeptable“ Gebrauchstauglichkeit, ein System mit einem SUS-Score von 75 auf eine „gute“ Usability und mit einem SUS-Score von 85 auf eine „exzellente“ Usability hin (Bangor et al., 2008).

Der EDQ dagegen ist weniger verbreitet, da er ausschließlich für die Untersuchung der Gebrauchstauglichkeit von HMDs zu finden ist (Nichols, 1999; Pugnetti et al., 1999). Der EDQ prüft die ergonomischen Aspekte wie beispielsweise den Tragekomfort eines HMDs, indem Fragen zu drei Kategorien gestellt werden: Das Auftreten von körperlichem Unbehagen durch die HMD-Benutzung, VR-bedingten Haltungsschwierigkeiten und Problemen in Bezug auf das visuelle Display. So wird unter anderem danach gefragt, ob das Gewicht des HMDs exzessiv zu hoch war, ob Kopfbewegungen durch das HMD eingeschränkt waren, ob die Qualität des Displays ausreichend war und ob ein Flackern des Displays wahrgenommen wurde. Alle Items können mit „Ja“ oder „Nein“ beantwortet werden.

3.5.3 Akzeptanz und Zufriedenheit

Die dritte Komponente, die laut ISO zur Beurteilung der Usability benötigt wird, ist die Zufriedenheit (*satisfaction*) des Nutzers mit dem Produkt. Hierzu gehört die Frage, inwieweit eine Akzeptanz des Nutzers gegenüber dem Produkt gegeben ist und als wie komfortabel die Anwendung des Produkts eingestuft wird. Nach Absolvierung aller drei Laufbandeinheiten wurden die Versuchsteilnehmer gebeten, in einer geschlossenen Frage ihre Präferenz für eine der drei Trainingsformen abzugeben. Außerdem sollten sie die Aussagen „Gefallen hat mir...“ und „Nicht gefallen hat mir...“ in einem Freitextfeld vervollständigen. Schließlich bestand auch die Möglichkeit für die Teilnehmer, Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge zur Studie anzubringen.

3.6 Versuchsablauf

In Abbildung 9 ist der Versuchsablauf der Studie mit den gesunden Versuchsteilnehmern und mit den Patienten skizziert.

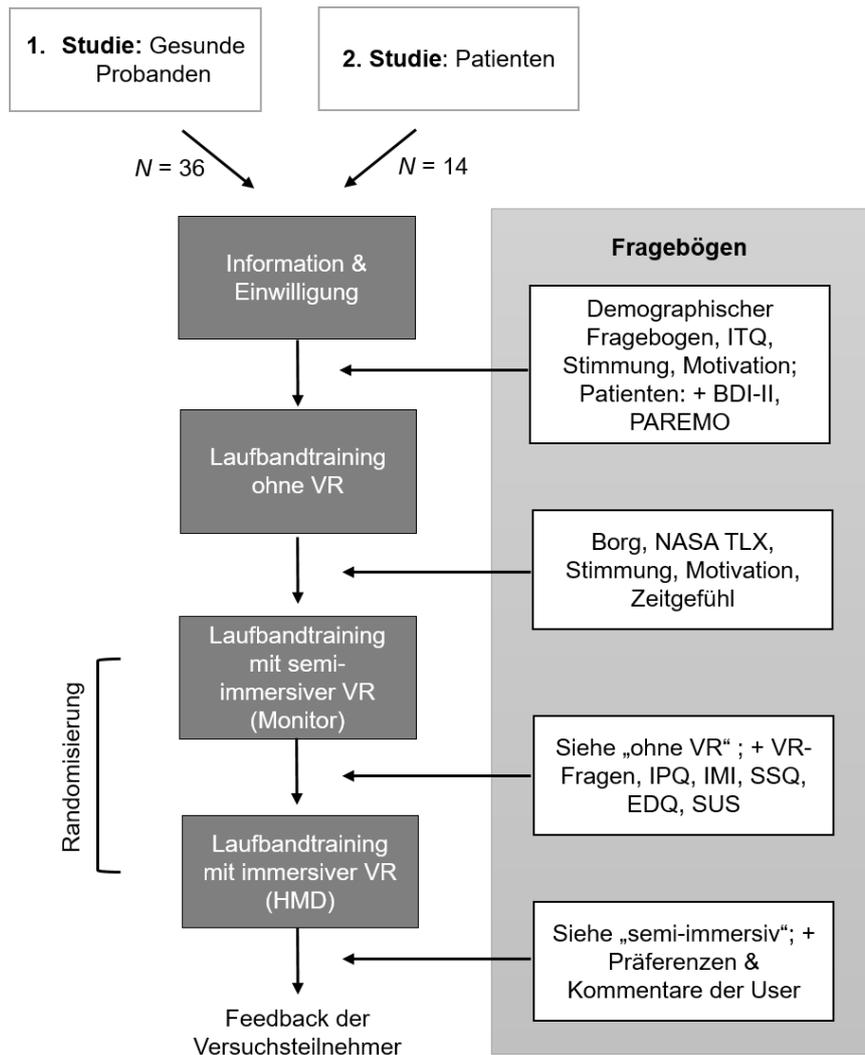


Abbildung 9. Versuchsablauf.

Die Studie folgte einem Versuchsdesign mit Messwiederholung. Sie bestand aus drei Trainingseinheiten auf dem Laufband, die sich in der Art der VR-Präsentation unterschieden (keine VR, semi-immersive VR und immersive VR). Zwischen den Trainingseinheiten beantworteten die Versuchsteilnehmer Fragebögen über ihre Erfahrungen bezüglich des Trainings. Während die gesunden Versuchsteilnehmer die Laufbandeinheiten an einem Tag (in pseudo-randomisierter Reihenfolge) absolvierten, wurde das Training für die Patienten auf zwei verschiedene Tage aufgeteilt, um Ermüdungseffekte zu vermeiden.

Nach dem Lesen der Probandenaufklärung und der Unterzeichnung der Einwilligungserklärung waren die Versuchsteilnehmer zunächst dazu aufgefordert, einen demographischen Fragebogen sowie den Immersive Tendencies Questionnaire (ITQ; Witmer & Singer, 1998) einmalig zu bearbeiten. Mit dem demographischen Fragebogen (siehe VII und VIII) wurden persönliche Informationen über die Versuchspersonen wie zum Beispiel das Alter, Geschlecht, die Händigkeit und Art der abgeschlossenen Schulbildung abgefragt. Außerdem wurden die Probanden gebeten, die schon vorab über

das Telefoninterview abgeprüften Kriterien (siehe 3.1) für die Studienteilnahme wie die Seh- und Hörfähigkeit, neurologische, psychische und kardiovaskuläre Erkrankungen sowie die regelmäßige Einnahme von Medikamenten nochmals schriftlich zu bestätigen. Bei den Patienten wurde darüber hinaus auch nach der Art und dem Manifestationszeitpunkt ihrer Gangstörung gefragt.

Der ITQ ist ein intern konsistenter Fragebogen mit einer hohen Reliabilität ($\alpha = 0.81$) (Witmer & Singer, 1998). Er dient zur Detektion individueller Unterschiede, die einen Einfluss darauf haben könnten, wie viel Präsenz eine Person in einer gegebenen Situation erleben könnte. Seine 18 Items erfassen die Tendenz der Probanden, sich von etwas ablenken zu lassen, in neue Umgebungen einzutauchen (zum Beispiel im Rahmen eines Films oder Computerspiels) oder sich an allgemeinen Aktivitäten zu beteiligen. Witmer und Singer fanden heraus, dass eine ausgeprägte Einbindung und ein hohes Engagement bei alltäglichen Dingen (wie einen Film schauen) mit einem stärkeren Eintauchen in eine immersive Umgebung korreliert. Diese Korrelation zwischen immersiver Tendenz und Präsenzerleben konnte auch in jüngeren Studien bestätigt werden (Kober & Neuper, 2013; Wallach et al., 2010). Johns et al. allerdings konnten diese Korrelation nur in virtuellen Umgebungen mit einer hohen Präsenz nachweisen und schränken die Aussage von Witmer und Singer dahingehend ein (Johns et al., 2000). Die ITQ-Items lassen sich in die drei Subskalen *Involvement*, *Focus* und *Games* unterteilen. Die sieben Items der Subskala *Involvement* erfragen die Neigung der Versuchsteilnehmer, sich an einer Aktivität, wie beispielsweise dem Bücherlesen, passiv zu beteiligen. Die sieben Fragen zur Subskala *Focus* behandeln die Fähigkeit, sich auf Aktivitäten zu konzentrieren. Die beiden *Games*-Items erfragen die Häufigkeit, wie oft Videospiele gespielt werden, und danach, ob die Probanden beim Spielen so vertieft sind, dass sie das Gefühl haben, direkt im Spiel zu sein. Die Versuchsteilnehmer geben ihre Antworten zu den einzelnen Items auf einer Skala von eins bis sieben an.

Zusätzlich zum demographischen Fragebogen und dem ITQ sollten die Versuchsteilnehmer in der Patientenstudie einen Fragebogen zu ihrer Reha-Motivation (PAREMO-20) sowie einen Depressionsfragebogen (Beck Depression-Inventar II, BDI-II) vor ihrer ersten Laufbandsitzung bearbeiten. Der PAREMO-20 prüft die Therapiemotivation, Ziele und Erwartungen der Patienten im Hinblick auf ihre Rehabilitationsbehandlung anhand von 20 Items (Thies et al., 2008). Die Antwortskala

reicht von eins („Stimmt nicht“) bis vier („Stimmt“), wobei hohe Werte eine hohe Ausprägung auf der jeweiligen Skala anzeigen. Die Items können den sechs Skalen „Seelischer Leidensdruck“, „Körperbedingte Einschränkungen“, „soziale Unterstützung und Krankheitsgewinn“, „Änderungsbereitschaft“, „Informationsstand bezüglich der Reha-Maßnahmen“ sowie „Skepsis“ zugeordnet werden, welche die sechs Dimensionen der Rehabilitationsmotivation darstellen (Kriz et al., 2006; Nübling et al., 2005). Bei den Items 4, 13, 17, 18 und 20 ist vor der Auswertung eine Umkodierung erforderlich. Bei allen Skalen außer der Skala „Skepsis“ werden hohe Werte als förderlich für die Behandlungsmotivation angesehen.

Da die Depression eine sehr häufige psychische Begleiterkrankung von Patienten mit einer MS ist (Feinstein et al., 2014; Siegert & Abernethy, 2005) und diese auch einen Einfluss auf die Therapiemotivation oder auf das Wohlbefinden der Patienten in der VR-Welt haben könnte, sollte mithilfe des Depressionsfragebogens BDI-II die Schwere einer eventuell vorhandenen Depression erfasst werden (Beck et al., 1996; Hautzinger et al., 2006). Der BDI-II gehört zu den am häufigsten verwendeten Selbstbewertungsskalen zur Detektion von depressiven Symptomen und hat sich als valides und reliables Tool mit hoher interner Konsistenz erwiesen (Dozois et al., 1998; Richter et al., 1998; Sacco et al., 2016; Storch et al., 2004). Er besteht aus 21 Items und fragt Symptome wie beispielsweise Traurigkeit, Schuldgefühle, Interessensverlust, Konzentrationsschwierigkeiten, Erschöpfung oder Selbstmordgedanken ab. Die Antwortskala reicht jeweils von null bis drei und soll danach bewertet werden, wie sich der Patient in den letzten zwei Wochen gefühlt hat. Die Summe der Antworten ergibt eine Gesamtpunktzahl, die Werte zwischen null und 63 annehmen kann. Eine höhere Punktzahl spiegelt dabei ein höheres Depressionsmaß wider. Als Cut-off-Werte für eine leichte Depression wird eine Gesamtpunktzahl von null bis 13 gesehen, für eine mittelschwere Depression eine Punktzahl von 20 bis 28 und für eine schwere Depression ein Wert von 29 bis 63 (Beck et al., 1996).

Im Anschluss daran wurden die Versuchsteilnehmer zu ihrer ersten Laufbandeinheit gebeten. Diese bestand bei allen Teilnehmern aus einem gewöhnlichen Laufbandtraining, wie es häufig in Fitnessstudios oder Rehabilitationseinrichtungen verwendet wird. Hierfür kam bei den gesunden Probanden ein elektrisches Laufband der Marke

cardiostrong (siehe 3.2) und bei den Patienten der Marke h/p/cosmos sports & medical GmbH (siehe 3.3) zum Einsatz.

Die Probanden waren aufgefordert, in einem für sie angenehmen Spaziertempo zu laufen - ohne die Stufe des Joggens oder Rennens zu erreichen. Dabei konnten sie eigenständig manuell die Geschwindigkeit über an den Haltegriffen des Laufbands installierte Knöpfe in 0,1-km/h-Schritten erhöhen oder reduzieren. Mit der anderen Hand konnten sie sich an den seitlichen Handläufen des Laufbands festhalten. Die Versuchsleiterin stand zur Beobachtung und Sicherheit des Teilnehmers während des gesamten Trainings neben dem Laufband. Die Laufbandanzeige wurde im Vorfeld abgedeckt, sodass die Trainierenden nicht sehen konnten, wie schnell und wie lange sie liefen. Nach 7,5 Minuten stoppte die Versuchsleiterin das Laufband und notierte die gelaufene Durchschnittsgeschwindigkeit. Aus diesem Richtwert wurde die Strecke berechnet, die der einzelne Teilnehmer in 7,5 Minuten mit dieser Geschwindigkeit potenziell auch bei den anderen beiden Laufbandeinheiten zurücklegen würde. Anhand dieser Berechnungen wurde die VR-Welt über einen Konfigurator in ihrer Länge angepasst, sodass sichergestellt war, dass jeder Versuchsteilnehmer das Ziel der VR-Welt in ungefähr 7,5 Minuten erreicht. Dadurch sollte eine Vergleichbarkeit der einzelnen Bedingungen geschaffen und Frustrationserlebnisse durch eventuelles Nichterreichen des Ziels vermieden werden. Der erste Trainingsdurchgang diente demnach dazu, sich mit dem Laufband vertraut zu machen und die durchschnittlicher Laufgeschwindigkeit der Teilnehmer zu ermitteln.

Die Darstellung der virtuellen Realität erfolgte, je nach Bedingung, entweder über einen Monitor, der vor dem Laufband positioniert war, oder eine HTC VIVE als HMD (siehe 3.2). Bei den beiden VR-gestützten Laufbandeinheiten entsprach das Erreichen des Ziels der VR-Welt dem Ende des Trainings. Dabei konnte es vorkommen, dass das Ziel früher oder später als nach 7,5 Minuten erreicht wurde, wenn der Proband im Durchschnitt schneller oder langsamer als bei seinem Probedurchgang gelaufen war. Die Darbietungsreihenfolge der beiden VR-gestützten Trainingsarten (Laufband plus Monitor oder Laufband plus HMD) erfolgte pseudo-randomisiert, sodass sie über alle Versuchsteilnehmer hinweg ausbalanciert war.

Nach den einzelnen Laufbandeinheiten hatten die Probanden Erholungspausen von ca. zehn Minuten, in denen sie ihre Erfahrungen mittels der unter Abschnitt 3.5.2 genannten Fragebögen am Computer bewerten sollten. Die Dauer der Durchführung des gesamten Versuchs betrug ca. eine Stunde pro Versuchsteilnehmer.

Der Studienablauf für die Patienten erfolgte ähnlich wie der für die gesunden Versuchsteilnehmer (siehe Abbildung 9). Im Gegensatz zu den gesunden Probanden absolvierten die Patienten die drei unterschiedlichen Laufbandtrainings an zwei verschiedenen Tagen im Abstand von mindestens einem Tag, um unerwünschte Ermüdungseffekte, bedingt durch eine Fatigue (siehe 3.1), zu vermeiden.

Der erste Termin beinhaltete die Aufklärung der Patienten, das Ausfüllen der ersten Fragebögen (siehe oben) sowie das Laufbandtraining ohne VR. Beim zweiten Termin erfolgten die beiden VR-Laufbandeinheiten und die Abschlusseinschätzung. Optional wurde eine Videoaufnahme der Beinbewegungen während der Laufbandeinheit aufgezeichnet, hierfür gaben 13 von 14 Patienten ihr schriftliches Einverständnis. Diese wurden nicht im Rahmen der vorliegenden Arbeit ausgewertet.

3.7 Beschreibung der Datenanalyse

Die statistische Auswertung der Daten wurde mithilfe des Softwareprogramms SPSS Statistics 23 von IBM vorgenommen. Um festzustellen, ob die Laufbandtrainingsart (kein VR, Bildschirm, HMD) einen Einfluss auf die abhängigen Variablen wie beispielsweise die Laufgeschwindigkeit hat, wurden einfaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung (ANOVA) durchgeführt. Im Fall von signifikanten Haupteffekten wurden paarweise post-hoc Vergleiche angestellt (mit Bonferroni-Korrektur). Zur Prüfung eines Effekts der Darbietungsreihenfolge auf die abhängige Variable oder zur Aufdeckung eines Interaktionseffekts wurde ebenfalls eine ANOVA eingesetzt. Um Effekte zwischen den beiden VR-Bedingungen, wie z. B. den unterschiedlichen Einfluss auf das Präsenzerleben zu untersuchen, wurden t-Tests für verbundene Stichproben angewendet. Für alle Tests lag das a-priori festgelegte Signifikanzniveau bei $p < .05$.

3.8 Hypothesen

Für die Kurzzeiteffekte der Laufbandtrainings wurden folgende Hypothesen aufgestellt:

- Die Versuchsteilnehmer erreichen in der HMD-Bedingung eine höhere Laufgeschwindigkeit als in der Monitor-Bedingung oder der Bedingung ohne VR.

- Aufgrund der Neuartigkeit der VR-Erfahrung ist ein Anstieg der Herzfrequenz durch Angst oder Stress in der HMD-Bedingung zu erwarten.

Für die weiteren Usability-Parameter wurden folgende Effekte erwartet:

- Die Bewertung der Stimmung und Motivation nach den VR-Laufbandeinheiten fällt besser aus als vor dem Laufbandtraining. Sie ist nach den VR-Laufbandeinheiten auch besser als nach der Laufbandeinheit ohne VR.
- Die Ausprägung von Simulator-Sickness-Symptomen ist in der HMD-Bedingung höher als in der Monitor-Bedingung.
- Das Präsenzerleben und die intrinsische Motivation der Probanden sind in der HMD-Bedingung höher als in der Monitor-Bedingung.
- Die VR-gestützten Laufbandtrainingseinheiten werden auf der Borg-Skala und im Raw Task Load Index als weniger anstrengend empfunden als das Training ohne VR-Darbietung.
- Die Probanden präferieren das HMD-gestützte VR-Training gegenüber den anderen beiden Bedingungen.

4 Ergebnisse

4.1 Studie mit gesunden Versuchsteilnehmern

4.1.1 Laufgeschwindigkeit

Die durchschnittlichen Laufgeschwindigkeiten der Teilnehmer für die einzelnen Bedingungen sind in Abbildung 10 dargestellt.

Zunächst konnte ein Effekt der Laufbandtrainingsart auf die Laufgeschwindigkeit der Teilnehmer festgestellt werden, $F_{(1.59, 55.56)} = 56.52$, $p < .001$ (GG-korrigiert), partielles $\eta^2 = .62$. In der HMD-Bedingung war die durchschnittliche Laufgeschwindigkeit ($M = 3.87$ km/h, $SD = 0.96$) höher als in der Monitor-Bedingung ($M = 3.70$ km/h, $SD = 1.03$, $p = .025$) und höher als in der Bedingung ohne VR ($M = 2.99$ km/h, $SD = 0.77$, $p < .001$). Die durchschnittliche Laufgeschwindigkeit in der Monitor-Bedingung war höher verglichen mit der durchschnittlichen Geschwindigkeit beim herkömmlichen Laufbandtraining ohne VR ($p < .001$).

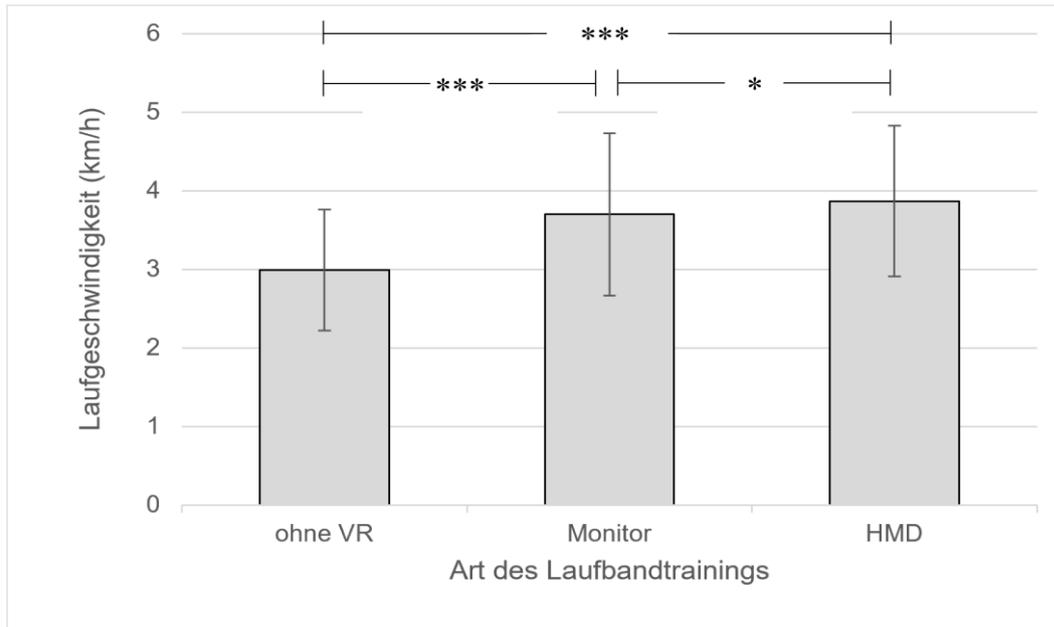


Abbildung 10. Durchschnittliche Laufgeschwindigkeit (\pm SD) der Versuchsteilnehmer in den einzelnen Bedingungen. Signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Bedingungen sind durch Sternchen gekennzeichnet (* $p < .05$, *** $p < .001$).

Jeder Versuchsteilnehmer absolvierte zu Beginn das Laufbandtraining ohne VR. Im Vorfeld war per Pseudo-Randomisierung die Reihenfolge der VR-Darbietung für die beiden anderen Durchgänge festgelegt worden; dementsprechend durchliefen einige Probanden anschließend zuerst die HMD- und einige zuerst die Monitor-Bedingung. Es gab weder einen Effekt der Darbietungsreihenfolge auf die Laufgeschwindigkeit der Versuchsteilnehmer in den VR-Bedingungen, $F_{(1, 34)} = 1.81$, $p = .188$, partielles $\eta^2 = .051$, noch einen Interaktionseffekt zwischen der Darbietungsart und der Darbietungsreihenfolge, $F_{(1, 34)} = 0.07$, $p = .791$, partielles $\eta^2 = .002$. Die durchschnittlichen Laufgeschwindigkeiten für die einzelnen Bedingungen sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4 *Durchschnittliche Laufgeschwindigkeit (km/h) der Versuchsteilnehmer dargestellt in Abhängigkeit von der Durchführungsreihenfolge der beiden VR-Bedingungen*

Reihenfolge	<i>n</i>	Darbietungsart der VR	<i>M</i> (<i>SD</i>)	95 % KI
Monitor - HMD	18	Monitor	3.47 (1.04)	[2.98, 3.96]
		HMD	3.66 (1.00)	[3.21, 4.12]
HMD - Monitor	18	Monitor	3.92 (1.00)	[3.43, 4.41]
		HMD	4.08 (0.90)	[3.63, 4.53]

KI = Konfidenzintervall.

4.1.2 Herzfrequenz

Um zu ermitteln, inwieweit sich die Herzfrequenz der Probanden von der Prä- zur Post-Messung durch das Laufbandtraining verändert hat, wurde für die drei Bedingungen jeweils ein t-Test für verbundene Stichproben durchgeführt.

In der Bedingung ohne VR war eine signifikante Zunahme der Herzfrequenz von der Prä- zur Post-Messung um durchschnittlich acht Schläge pro Minute zu erkennen ($p = .001$). Sowohl in der Monitor-Bedingung ($p = .122$) als auch in der HMD-Bedingung ($p = .432$) gab es keine signifikante Veränderung (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5 *Mittelwerte (und Standardabweichungen) der gemessenen Herzfrequenzen vor und nach den einzelnen Bedingungen*

Bedingung	Prä	Post	Differenz	95 % KI der Differenz	$t_{(35)}$	p
Ohne VR	87 (9)	95 (9)	8 (13)	[12, 4]	3.7	.001
Monitor	88 (10)	91 (11)	3 (13)	[8, -1]	1.6	.122
HMD	89 (8)	91 (14)	2 (15)	[7, -3]	0.8	.432

Differenz = Herzfrequenz Post – Herzfrequenz Prä; KI = Konfidenzintervall.

Um die Auswirkung der Laufbandtrainingsart auf die Veränderung der Herzfrequenz zu untersuchen, wurden zunächst für jede Trainingsform jeweils die Differenzen zwischen der Prä- und der Postmessung der Herzfrequenz gebildet und anschließend anhand einer ANOVA mit Messwiederholung miteinander verglichen. Hierbei wurden keine Unterschiede zwischen den einzelnen Laufbandtrainings festgestellt, $F_{(2, 70)} = 1.58$, $p =$

.214, partielles $\eta^2 = .04$. Demnach hatte die Art des Laufbandtrainings keinen Einfluss auf die Veränderung der Herzfrequenz.

4.1.3 Stimmung und Motivation

In der Studie mit den gesunden Probanden wurde die Stimmung und Motivation der Teilnehmer einmal zu Beginn der gesamten Untersuchung sowie nach den einzelnen Laufbandtrainings erhoben. Die Ergebnisse zur Stimmung sind in Abbildung 11 und die zur Motivation in Abbildung 12 dargestellt. Es konnte gezeigt werden, dass die Art des Laufbandtrainings einen Einfluss auf die Stimmung nach den drei Laufbandtrainings hatte, $F(2, 70) = 21.38, p < .001$, partielles $\eta^2 = .38$. Die Bewertung der Stimmung nach der HMD-Variante ($M = 8.39, SD = 1.15$) war höher als in der Monitor-Bedingung ($M = 7.61, SD = 1.25, p < .001$) und höher als in der Bedingung ohne VR ($M = 7.00, SD = 1.66, p < .001$). Die Stimmung in der Monitor-Bedingung war höher als in der Bedingung ohne VR ($p = .05$).

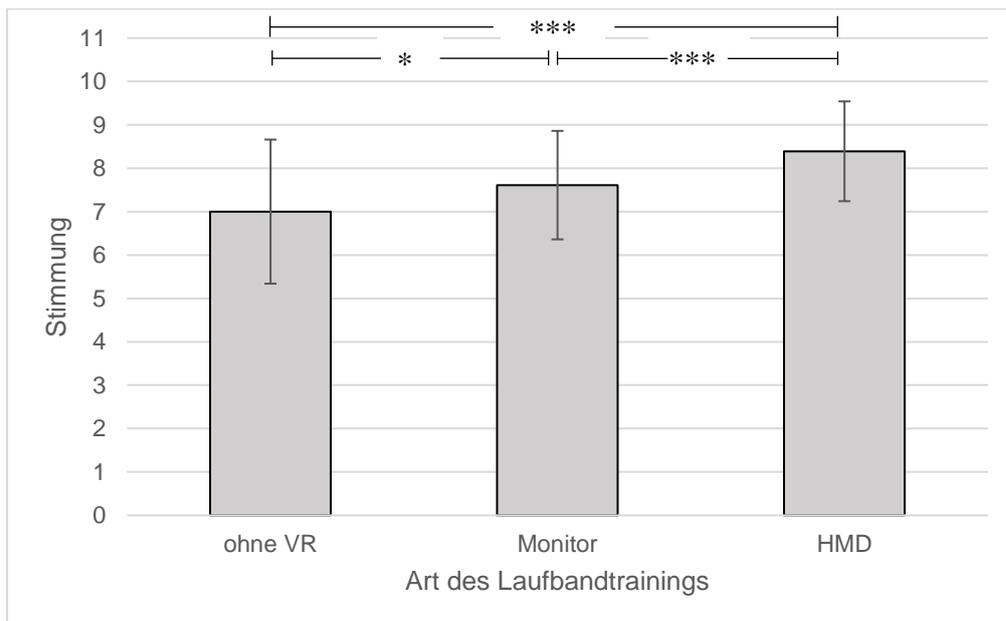


Abbildung 11. Durchschnittliche Stimmung (\pm SD) der Versuchsteilnehmer nach den einzelnen Laufbandtrainings.

Signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Bedingungen sind durch Sternchen gekennzeichnet (* $p = .05$, *** $p < .001$).

Die Art des Laufbandtrainings hatte zudem einen Einfluss auf die Motivation der Teilnehmer, $F(2, 70) = 11.98, p < .001$, partielles $\eta^2 = .26$. Die jeweils nach den einzelnen Laufbandeinheiten angegebene Motivation fiel bei der HMD-Bedingung ($M = 8.42, SD = 1.38$) höher aus als in der Monitor-Bedingung ($M = 7.28, SD = 1.78, p < .001$) und

höher als in der Bedingung ohne VR ($M = 6.89, SD = 2.29, p < .001$). Die Motivation der Probanden nach der Monitor-Bedingung unterschied sich nicht von der Motivation nach der Bedingung ohne VR ($p = .942$).

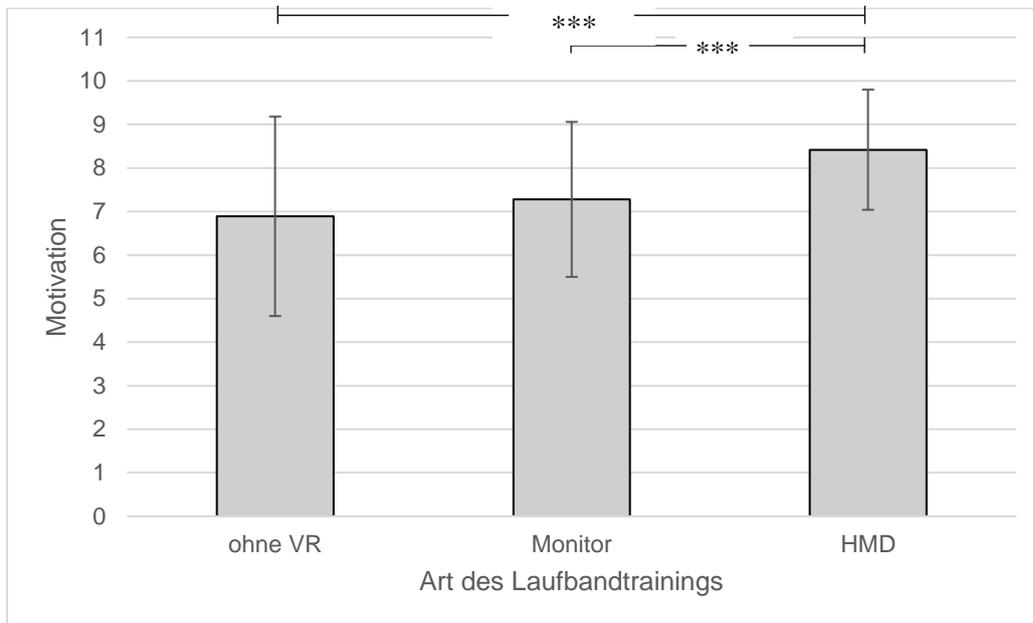


Abbildung 12. Durchschnittliche Motivation (\pm SD) der Versuchsteilnehmer nach den einzelnen Laufbandtrainings.

Signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Bedingungen sind durch Sternchen gekennzeichnet (***) $p < .001$).

Das Ausmaß der Zustimmung zur Aussage „Ich empfand die virtuelle Umgebung als motivierend.“ war in der HMD-Bedingung ($M = 8.53, SD = 1.36$) höher als in der Monitor-Bedingung ($M = 7.5, SD = 1.65, t_{(35)} = -4.67, p < .001, d = 0.78$).

4.1.4 Zeitgefühl

Die Art des Laufbandtrainings hatte einen Einfluss auf das von den Probanden empfundene Zeitgefühl während des Laufbandtrainings, $F_{(1.48, 51.74)} = 52.15, p < .001$ (GG-korrigiert), partielles $\eta^2 = .60$. Subjektiv gesehen ist die Zeit in der HMD-Bedingung ($M = 7.89, SD = 1.33$) laut den Probanden schneller vergangen als in der Monitor-Bedingung ($M = 6.64, SD = 1.57, p < .001$) und schneller als in der Bedingung ohne VR ($M = 4.25, SD = 2.38, p = .001$). Die Zeit verging dem Gefühl der Probanden nach in der Monitor-Bedingung zudem schneller als in der Bedingung ohne VR ($p < .001$).

4.1.5 Gangerleben

Ein t-Test für verbundene Stichproben ergab, dass die Art der VR-Darbietung keinen Einfluss darauf hatte, wie sehr die Probanden während des Laufbandtrainings bewusst auf ihren natürlichen Gang geachtet haben, $t_{(35)} = .96$, $p = .344$, $d = 0.16$. In der Monitor-Bedingung wurde die Aussage „Ich habe während des Laufbandtrainings auf meinen natürlichen Gang geachtet.“ auf einer Skala von null bis zehn mit durchschnittlich $M = 5.64$ Punkten ($SD = 2.38$) bewertet, in der HMD-Bedingung mit $M = 5.28$ Punkten ($SD = 2.17$).

4.1.6 Simulator Sickness (SSQ)

Beim Vergleich der nach den Laufbandtrainings erhobenen SSQ-Punkten wurden im *Total Score* und in den Subskalen *Oculomotor* und *Disorientation* keine Unterschiede zwischen der Monitor- und der HMD-Bedingung Bedingungen erfasst (siehe Tabelle 6). In der Subskala *Nausea* dagegen war ein Unterschied zwischen der Monitor- und der HMD-Bedingung festzustellen, $t_{(35)} = -2.57$, $p = .014$, $d = 0.43$. Hier wurden in der HMD-Bedingung höhere Werte angegeben als in der Monitor-Bedingung.

Tabelle 6 Vergleich der angegebenen SSQ-Bewertungen nach der Monitor- und der HMD-Bedingung

SSQ-Subskala	Monitor		HMD		Differenz		
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Nausea	10.34	11.49	15.37	11.47	5.03	11.74	.014
Oculomotor	12.63	14.61	12.84	19.58	0.21	9.50	.895
Disorientation	10.83	17.00	17.40	26.07	6.57	20.37	.061
Total	13.19	13.34	17.04	18.46	3.84	12.24	.068

Nach der Monitor-Bedingung berichtete kein Versuchsteilnehmer sehr stark ausgeprägte Symptome (NRS 3). Eine Person gab deutliche Müdigkeit, überanstrengte Augen, Schwierigkeiten beim Scharfsehen und getrübbtes Sehen an. Dieselbe Person klagte in der HMD-Bedingung über sehr starken Speichelfluss und sehr stark getrübbtes Sehen. Drei Teilnehmer meldeten nach der Monitor-Bedingung und fünf nach der HMD-Bedingung

deutliches Schwitzen. Alle anderen hatten in beiden Bedingungen keine oder vereinzelt nur sehr schwach ausgeprägte Symptome.

4.1.7 Präsenzerleben (IPQ)

Die Werte für die IPQ-Subskalen *Spatial Presence* ($t_{(35)} = -12.01, p < .001, d = 2.00$), *Involvement* ($t_{(35)} = -8.58, p < .001, d = 1.43$), *Experienced Realism* ($t_{(35)} = -6.33, p < .001, d = 1.06$) und *General* ($t_{(35)} = -8.26, p < .001, d = 1.37$) waren in der HMD-Bedingung höher als in der Monitor-Bedingung (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7 Vergleich der IPQ-Subskalen zwischen Monitor- und HMD-Bedingung

IPQ-Subskala	Monitor		HMD		Differenz		
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Spatial Presence	-0.58	0.88	1.11	0.53	1.68	0.84	< .001
Involvement	-0.39	0.78	0.78	0.56	1.12	0.82	< .001
Experienced Realism	-1.31	0.87	-0.24	1.71	1.06	1.01	< .001
General	-1.00	1.71	1.47	1.21	2.47	1.80	< .001

Ähnliche Ergebnisse zeigten sich auch bei der Evaluation des generellen Präsenzerlebens. Die Zustimmung zur Aussage „Ich habe mich in der virtuellen Welt anwesend gefühlt.“ war in der HMD-Bedingung ($M = 8.06, SD = 1.37$) höher als in der Monitor-Bedingung ($M = 5.72, SD = 1.95$), $t_{(35)} = -6.59, p < .001, d = 1.10$.

4.1.8 Intrinsische Motivation (IMI)

In Tabelle 8 sind die Werte für die einzelnen Subskalen des IMI für die Monitor- und HMD-Bedingung aufgeführt. In der HMD-Bedingung wurden für die Subskalen *Interest* ($t_{(35)} = -7.73, p < .001, d = 1.29$), *Competence* ($t_{(35)} = -3.42, p = .002, d = 0.42$) und *Effort* ($t_{(35)} = -2.12, p = .041, d = 0.36$) höhere Werte beobachtet als in der Monitor-Bedingung. Für die Subskala *Pressure* gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Bedingungen, $t_{(35)} = 1.63, p = .113, d = 0.27$.

Tabelle 8 Vergleich der IMI-Subskalen zwischen Monitor- und HMD-Bedingung

IMI-Subskala	Monitor		HMD		Differenz		
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Interest/ Enjoyment	4.63	1.15	5.78	0.96	1.15	0.89	< .001
Perceived Competence	4.81	0.85	5.18	0.78	0.37	0.65	.002
Effort/ Importance	3.89	1.29	4.24	1.20	0.36	1.01	.041
Pressure/ Tension	2.01	0.69	1.84	0.84	-0.17	0.62	.113

4.1.9 Subjektive Belastung (NASA TLX und Borg-Skala)

In Tabelle 9 sind die Ergebnisse für die Subskalen des NASA-TLX aufgelistet. Die Art des Laufbandtrainings hatte einen Einfluss auf die Bewertung der Subskala *Mental demand* [mentale Belastung] des NASA-TLX, $F_{(2, 70)} = 15.75$, $p < .001$, partielles $\eta^2 = .31$. Die mentale Belastung war in der HMD-Bedingung höher als in der Monitor-Bedingung ($p = .043$) und höher als in der Bedingung ohne VR ($p < .001$). Außerdem erreichte sie in der Monitor-Bedingung höhere Werte als in der Bedingung ohne VR ($p = .004$). Die ANOVA ergab, dass die angegebenen Werte für die Subskala *Physical demand* [körperliche Belastung] in der HMD-Bedingung höher als in den beiden anderen Bedingungen waren ($F_{(2, 70)} = 3.35$, $p = .041$, partielles $\eta^2 = .09$). Allerdings waren die paarweisen post-hoc-Vergleiche mit der Monitor-Bedingung ($p = 1.00$) bzw. der Bedingung ohne VR ($p = .105$) nicht signifikant. Die körperliche Belastung in der Monitor-Bedingung unterschied sich nicht von der in der Bedingung ohne VR ($p = .191$).

In den Subskalen *Temporal demand* ($F_{(2, 70)} = 1.91$, $p = .156$, partielles $\eta^2 = .05$), *Effort* ($F_{(2, 70)} = .29$, $p = .752$, partielles $\eta^2 = .01$), *Performance* ($F_{(2, 70)} = 2.63$, $p = .080$, partielles $\eta^2 = .07$) und *Frustration* ($F_{(2, 70)} = 2.58$, $p = .083$, partielles $\eta^2 = .07$) wurden keine Unterschiede zwischen den drei Bedingungen detektiert.

Tabelle 9 Mittelwerte (und Standardabweichungen) der NASA-TLX-Subskalen in den einzelnen Bedingungen

NASA TLX Subskala	Ohne VR	Monitor	HMD
Mental demand	3.19 (4.95)	7.78 (7.79)	12.08 (11.17)
Physical demand	10.69 (9.80)	13.61 (12.91)	15.00 (14.19)
Temporal demand	6.53 (7.82)	10.83 (14.12)	9.44 (15.30)
Effort	17.36 (23.89)	15.14 (21.40)	15.69 (26.68)
Performance	9.72 (9.02)	13.19 (13.48)	12.50 (14.47)
Frustration	6.67 (8.62)	6.11 (9.42)	3.19 (7.09)

Auf das subjektive Belastungsempfinden, welches die Versuchsteilnehmer anhand der Borg-Skala bewerten sollten, hatte die Art des Laufbandtrainings keinen Einfluss, $F_{(2, 70)} = 1.61$, $p = .207$, partielles $\eta^2 = .04$. Die Probanden gaben hierzu dem Laufbandtraining auf der Skala von 6 („überhaupt nicht anstrengend“) bis 20 („maximal anstrengend“) in der HMD-Bedingung $M = 8.92$ Punkte ($SD = 2.17$), in der Monitor-Bedingung $M = 9.08$ Punkte ($SD = 1.81$) und in der Bedingung ohne VR $M = 8.47$ Punkte ($SD = 1.63$).

4.1.10 Usability (EDQ und SUS)

Im Rahmen des EDQ gaben 13 % ($n = 5$) der Versuchsteilnehmer an, während der HMD-Benutzung ein körperliches Unbehagen verspürt zu haben. Außerdem berichteten 10 % ($n = 4$) der Teilnehmer VR-bedingten Haltungsschwierigkeiten und 8 % ($n = 3$) Probleme in Bezug auf das visuelle Display der VR-Brille.

Der mittlere SUS-Totalscore fiel in der HMD-Bedingung ($M = 83.75$, $SD = 10.03$) nicht höher aus als in der Monitor-Bedingung ($M = 83.68$, $SD = 9.36$), $t_{(35)} = -.05$, $p = .965$, $d < 0.01$).

4.1.11 Präferenzen und Kritik der gesunden Probanden

Insgesamt gaben 89 % ($n = 32$) der Versuchsteilnehmer an, dass ihnen das Laufbandtraining mit dem HMD am besten gefallen hat. 11 % ($n = 4$) bevorzugten das Laufbandtraining mit dem Monitor. Am wenigsten gefallen hat 78 % ($n = 28$) der Probanden das Laufbandtraining ohne VR, 19 % ($n = 7$) das Laufbandtraining mit dem Monitor und 3 % ($n = 1$) das Laufbandtraining mit HMD. 67 % ($n = 24$) könnten sich

vorstellen, das Laufbandtraining mit dem HMD in Zukunft häufiger zu nutzen. 22 % ($n = 8$) würden eher das Laufbandtraining mit dem Monitor nutzen, 3 % ($n = 1$) das Laufbandtraining ohne VR.

Von den Probanden könnten sich 81 % ($n = 29$) vorstellen, dass Patienten mit Gangstörungen vom Laufbandtraining mit einem HMD profitieren. Beim Laufbandtraining mit dem Monitor sind es 17 % ($n = 6$) und beim Laufbandtraining ohne VR 3 % ($n = 1$).

Am Ende des Versuchs konnten die Probanden ihr Feedback zur Studie abzugeben. Ihre positiven und negativen Rückmeldungen sind in Tabelle 10 und Tabelle 11 zusammengestellt. Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge der Versuchsteilnehmer sind in Tabelle 12 zu finden.

Tabelle 10 *Positive Rückmeldungen der Probanden zur Studie gegliedert nach Themenbereich*

Bereich	Probandenaussagen („Gefallen hat mir...“)
<i>Bildgestaltung</i>	„Der Aufbau der Umgebung mit Erreichen bestimmter Ziele.“ „auch wenn die VR-Welt nicht zu 100% real war, hat man sich mit der VR-Brille so gefühlt, als wäre man dort. Die VR-Welt war sehr liebevoll gestaltet.“
<i>Story</i>	„Die Geschichte war ansprechend und motivierend.“ „Dass der Hund einen immer wieder motiviert hat, weil man auf ein Ziel hinarbeiten konnte. Auch die Anzeige, wie lang es bis zum nächsten Stern noch ist, fand ich motivierend.“ „[...] der helfende Aspekt in der Welt, dass ich ein Ziel hatte, um jemand anderem zu helfen. [F]riedliche Atmosphäre und dass man die Welt erkunden konnte, dass man sogar beim Zurückschauen noch alles erkennen konnte.“
<i>Musik</i>	„Die Animation und der stimmungsvolle Soundtrack der VR Umgebung.“
<i>Ablenkung</i>	„Man ist während dem Laufen nicht nur mit seinen Gedanken beschäftigt und hat etwas Ablenkung.“
<i>Trainingsform</i>	„die Trainingsart mit der VR-Brille.“

Tabelle 11 *Kritik der Probanden an der Studie gegliedert nach Themenbereich*

Bereich	Probandenaussagen („Nicht gefallen hat mir...“)
<i>Bildqualität</i>	„Bildauflösung“ „Die VR durch den HMD war leider etwas unscharf.“
<i>Bildgestaltung</i>	„Was noch schön gewesen wäre und mir das Gefühl gegeben hätte mehr in der Welt zu sein, wäre wenn man mehr vom eigenen Körper gesehen hätte z.B. Arme, Hände oder ähnliches.“ „Die Welt wirkte von ihrer Darstellung her nicht sehr real auf mich.“
<i>Simulator</i>	„VR Brille war sehr anstrengend für die Augen und führte zu
<i>Sickness</i>	leichten Kopfschmerzen.“
<i>Aufgabe</i>	„Die sich wiederholenden aufgaben, also immer die selbe Strecke laufen mit ähnlicher Belohnung.“ „Da man beim zweiten Mal schon wusste was passiert, war man weniger neugierig bzw. wollte schneller ans Ende kommen.“
<i>Usability</i>	„Dass die Brille mit der Zeit schwerer wurde, war die Aufgabe anstrengender machte bzw. ein bisschen ablenkend gewirkt hatte.“ „Das[s] die VR-Brille und meine Brille etwas unbequem zusammen wären.“
<i>Trainingsform</i>	„das normale Laufbandtraining ohne VR ist eintönig.“

Tabelle 12 *Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge der Probanden zur Studie gegliedert nach Themenbereich*

Bereich	Probandenaussagen
<i>Gangerleben</i>	„ich hatte das Gefühl, dass meine Art zu gehen in der Version mit VR Brille am ehesten meinem natürlichen Gang entsprochen hat am schwersten war der natürliche Gang beim Training ohne VR.“
<i>Bildgestaltung</i>	„noch interessantere Veränderungen der Umwelt zeigen (Wasserfälle, allgemein komplexere Umgebungen)“

<i>Usability</i>	<p>„D[er] Umgang mit der VR Brille war super und selbige Geschichte fand ich mit dem Bildschirm etwas langweilig.“</p> <p>„[...] die Gummiränder der VR Brille führten schnell zu Wärme und Schweiß auf der Stirn.“</p>
<i>Trainingsform</i>	<p>„Man hatte deutlich den Unterschied beim Durchgang mit und ohne Brille [= VR über Monitor] feststellen können. Die Motivation, dem Hund zu helfen, war zwar noch da, aber man hatte erkannt, dass es "nur" ein Videospiele ist und aus diesem Grund sich nicht 100 % angestrengt und alles gegeben. Man wurde auch viel leichter abgelenkt von der realen Welt und hatte sich mehr auf seinen Körper konzentriert (ob man richtig atmet, wie lange es noch gehen wird, ob meine Füße schon weh tun, was ich später noch erledigen muss...). Es [= VR über Monitor] war im Vergleich zwar noch besser als die erste Runde [= ohne VR], bei der gar nichts gezeigt wurde, aber dennoch hatte ich auch den meisten Spaß mit der Brille.“</p> <p>„Ich bezweifle, ob sich ältere Menschen auf neue Technologie einlassen, die nicht ihrer Gewöhnung entspricht.“</p>
<i>Erweiterung der VR-Welt</i>	<p>„Bei einem interessanteren "Spiel" wo man selbst interagieren kann, wäre es nicht so langweilig-->sehr eintönig nach paar Minuten.“</p> <p>„VR in realerer Umgebung, verschiedene Geschichten und Aufgaben.“</p> <p>„Vielleicht richtige Umgebungsgeräusche um VR noch überzeugender zu gestalten.“</p>

4.2 Patientenstudie

4.2.1 Laufgeschwindigkeit

Die ANOVA mit Messwiederholung deckte einen Effekt der Art des Laufbandtrainings auf die durchschnittliche Laufgeschwindigkeit auf, $F_{(2, 26)} = 10.25, p < .001$, partielles $\eta^2 = .44$ (siehe Abbildung 13). Die durchschnittliche Laufgeschwindigkeit war in der HMD-Bedingung höher ($M = 2.71, SD = 1.42$) als in der Monitor-Bedingung ($M = 2.39, SD =$

1.18, $p = .043$) und höher als in der Bedingung ohne VR ($M = 1.99$, $SD = 0.84$, $p = .009$). Die durchschnittliche Laufgeschwindigkeit in der Monitor-Bedingung unterschied sich nicht von der durchschnittlichen Geschwindigkeit beim herkömmlichen Laufbandtraining ohne VR ($p = .068$).

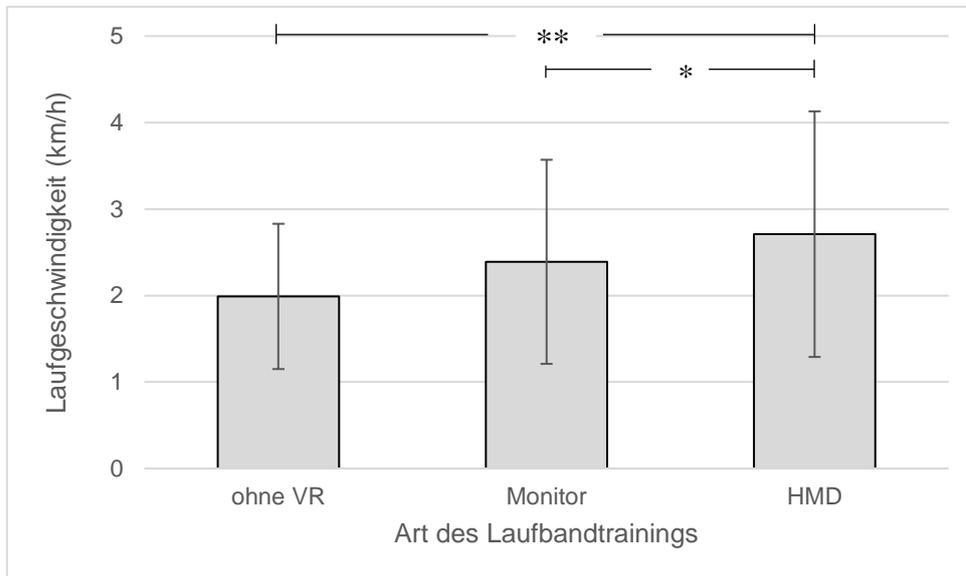


Abbildung 13. Durchschnittliche Laufgeschwindigkeit (\pm SD) der Patienten in den einzelnen Bedingungen. Signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Bedingungen sind durch Sternchen gekennzeichnet (* $p < .05$; ** $p < .01$).

Der erste Durchgang der Versuchsteilnehmer bestand immer aus dem Laufbandtraining ohne VR. Im zweiten Durchgang wurde den Patienten dann je nach vorheriger pseudo-randomisierter Zuteilung entweder die VR-Welt zuerst über den Monitor oder zuerst über das HMD präsentiert. Die Darbietungsreihenfolge der VR hatte keinen Effekt auf die Laufgeschwindigkeit der Patienten in den VR-Bedingungen, $F_{(1, 12)} = .64$, $p = .440$, partielles $\eta^2 = .05$. Außerdem gab es keinen Interaktionseffekt zwischen der Darbietungsart und der Darbietungsreihenfolge, $F_{(1, 12)} = 0.13$, $p = .728$, partielles $\eta^2 = .01$. Die durchschnittlichen Laufgeschwindigkeiten für die einzelnen Bedingungen sind in Tabelle 13 gelistet.

Tabelle 13 *Durchschnittliche Laufgeschwindigkeit (km/h) der Patienten dargestellt in Abhängigkeit von der Durchführungsreihenfolge der beiden VR-Bedingungen*

Reihenfolge	<i>n</i>	Darbietungsart der VR	<i>M (SD)</i>	95% KI
Monitor - HMD	7	Monitor	2.13 (1.22)	[1.14, 3.12]
		HMD	2.41 (1.57)	[1.23, 3.60]
HMD - Monitor	7	Monitor	2.64 (1.17)	[1.66, 3.63]
		HMD	3.01 (1.29)	[1.83, 4.20]

KI = Konfidenzintervall.

4.2.2 Herzfrequenz

Um zu ermitteln, inwieweit sich die Herzfrequenz der Probanden von der Prä- zur Post-Messung durch das Laufbandtraining verändert hat, wurde für die drei Bedingungen jeweils ein t-Test für verbundene Stichproben durchgeführt.

Es stellte sich heraus, dass es bei keiner der drei Bedingungen zu einer signifikanten Zunahme der Herzfrequenz nach den Laufbandeinheiten im Vergleich zur Herzfrequenz vor den Laufbandeinheiten kam (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14 *Mittelwerte (und Standardabweichungen) der gemessenen Herzfrequenzen vor und nach den einzelnen Bedingungen*

Bedingung	Prä	Post	Differenz	95 % KI der Differenz	$t_{(13)}$	<i>p</i>
Ohne VR	75 (17)	84 (18)	9 (18)	[-1, 19]	1.9	.082
Monitor	74 (17)	77 (23)	3 (18)	[-7, 13]	0.7	.524
HMD	79 (21)	77 (13)	-2 (19)	[-12, 9]	-0.3	.747

Differenz = Herzfrequenz Post – Herzfrequenz Prä; KI = Konfidenzintervall.

Um die Auswirkung der Laufbandtrainingsart auf die Veränderung der Herzfrequenz während des Trainings zu untersuchen, wurden zunächst für jede Trainingsform jeweils die Differenzen zwischen der Prä- und der Postmessung der Herzfrequenz berechnet. Die Art des Laufbandtrainings hatte keinen Einfluss auf die Prä-Post Differenz der Herzfrequenz, $F_{(2, 26)} = 1.21$, $p = .314$, partielles $\eta^2 = .09$.

4.2.3 Zeitgefühl

Die Art des Laufbandtrainings hatte keinen Einfluss auf das von den Patienten empfundene Zeitgefühl während des Laufbandtrainings, $F_{(2, 26)} = .23$, $p = .800$, partielles $\eta^2 = .02$. Auf einer Skala von null („sehr langsam“) bis zehn („sehr schnell“) antworteten die Patienten auf die Frage „Wie schnell ist die Zeit auf dem Laufband Ihrem Gefühl nach vergangen?“ in der Bedingung ohne VR mit $M = 8.43$ Punkten ($SD = 1.99$), in der Monitor-Bedingung mit $M = 8.00$ Punkten ($SD = 2.88$) und in der HMD-Bedingung mit $M = 8.00$ Punkten ($SD = 1.92$).

4.2.4 Stimmung und Motivation

Die Stimmung und Motivation der Patienten wurde jeweils vor und nach jedem Laufbandtraining erfragt, sodass ein Prä-Post-Vergleich mithilfe eines t-Tests für verbundene Stichproben erfolgen konnte. Dieser deckte in keiner der drei Bedingungen einen Unterschied der nach dem Laufbandtraining erhobenen Patientenstimmung zu deren Stimmung vor dem Laufbandtraining auf (siehe Tabelle 15). Die Stimmung nach den Laufbandeinheiten unterschied sich nicht zwischen den Bedingungen, $F_{(2, 26)} = 0.56$, $p = .580$, partielles $\eta^2 = .04$.

Tabelle 15 Vergleich der Stimmung vor (Prä) mit der Stimmung nach (Post) den einzelnen Laufbandeinheiten

Bedingung	Prä ^a	Post ^a	<i>p</i>
Ohne VR	8.07 (1.77)	8.29 (1.20)	.664
Monitor	8.69 (1.18)	8.38 (1.61)	.392
HMD	8.21 (1.58)	8.71 (1.49)	.236

^a Mittelwert (Standardabweichung); Ratingskala von 0 bis 10.

Bei Betrachtung der Motivation wurde lediglich ein Unterschied in der Monitor-Bedingung von der Prä- zu Post-Messung festgestellt ($t_{(12)} = 2.42$, $p = .032$, $d = 0.67$), wobei hier aufgrund eines technischen Defekts nur 13 von 14 Patienten eine Bewertung abgeben konnten (siehe Tabelle 16). Es gab keinen Unterschied in der Motivation der Teilnehmer nach den Laufbandtrainings zwischen den drei Bedingungen, $F_{(2, 26)} = 0.49$, $p = .618$, partielles $\eta^2 = .04$.

Tabelle 16 Vergleich der Motivation vor (Prä) mit der Motivation nach (Post) den einzelnen Laufbandeinheiten

Bedingung	Prä ^a	Post ^a	<i>p</i>
Ohne VR	8.43 (1.45)	8.36 (1.15)	.844
Monitor	8.77 (1.24)	8.08 (1.32)	.032 ^b
HMD	8.14 (1.79)	8.50 (2.31)	.602

^a Mittelwert (Standardabweichung); Ratingskala von 0 bis 10.

^b *n* = 13.

Die Zustimmung zur Aussage „Ich empfand die virtuelle Umgebung als motivierend.“ war in der HMD-Bedingung ($M = 8.43$, $SD = 2.31$) nicht höher als in der Monitor-Bedingung ($M = 7.50$, $SD = 2.93$), $t_{(13)} = -1.34$, $p = .202$, $d = 0.36$.

4.2.5 Gangerleben

Die Art des Laufbandtrainings hatte keinen Einfluss darauf, wie sehr die Patienten nach eigener Angabe während den einzelnen Laufbandeinheiten auf ihren natürlichen Gang geachtet haben, $F_{(2, 26)} = 1.33$, $p = .281$, partielles $\eta^2 = .09$. Auf einer Skala von null („Trifft überhaupt nicht zu“) bis zehn („Trifft völlig zu“) wurde die Aussage „Ich habe während des Laufbandtrainings auf meinen natürlichen Gang geachtet.“ in der HMD-Bedingung mit durchschnittlich $M = 5.93$ Punkten ($SD = 3.67$), in der Monitor-Bedingung mit $M = 4.79$ Punkten ($SD = 3.04$) und in der Bedingung ohne VR mit $M = 4.50$ Punkten ($SD = 3.61$) bewertet.

Es gab keinen Effekt der Laufbandtrainingsart auf das Sicherheitsempfinden während des Laufbandtrainings, $F_{(1.23, 15.93)} = 1.53$, $p = .240$ (GG-korrigiert), partielles $\eta^2 = .11$. Der Aussage „Ich habe mich beim Gehen auf dem Laufband sicher gefühlt.“ stimmten die Patienten in der HMD-Bedingung mit durchschnittlich $M = 8.79$ Punkten ($SD = 2.16$), in der Monitor-Bedingung mit $M = 9.36$ Punkten ($SD = 0.84$) und in der Bedingung ohne VR mit $M = 9.64$ Punkten ($SD = 0.63$) zu.

Ebenfalls keinen Haupteffekt der Art des Laufbandtrainings gab es auf die Bewertung der Aussage „Ich habe das Gefühl, dass mein Gang während des Trainings flüssiger war als sonst.“, $F_{(2, 26)} = 3$, $p = .067$, partielles $\eta^2 = .19$. Die Mittelwerte hierfür betragen in der

HMD-Bedingung 6.71 Punkte ($SD = 2.89$), in der Monitor-Bedingung 5.71 Punkte ($SD = 2.95$) und in der Bedingung ohne VR 4 Punkte ($SD = 2.80$).

4.2.6 Simulator Sickness (SSQ)

Die Werte des SSQ sind für die HMD und die Monitorbedingung in Tabelle 17 dargestellt. In der Monitor-Bedingung zeigte sich eine Punkteabnahme von der Prä- zur Post-Messung in allen Subskalen. In der HMD-Bedingung zeigte sich nur im Subscore *Oculomotor* eine Punkteabnahme ($F_{(1, 13)} = 5.66, p = .033$, partielles $\eta^2 = .30$), für die Subscores *Nausea*, *Disorientation* und *Total* ließen sich keine Unterschiede detektieren.

Tabelle 17 Prä-Post-Vergleich der SSQ-Werte in der Monitor- und HMD-Bedingung

SSQ-Subskala	Monitor			HMD			Differenz	
	Prä ^a	Post ^a	<i>p</i>	Prä ^a	Post ^a	<i>p</i>	M^{ab}	<i>p</i>
Nausea	14.99 (16.61)	7.50 (8.52)	.043	16.35 (16.91)	10.90 (12.88)	.179	-2.04 (17.22)	.664
Oculomotor	16.24 (15.97)	10.29 (14.45)	.015	19.49 (19.66)	11.37 (11.80)	.033	2.17 (12.76)	.537
Disorientation	10.94 (13.57)	5.97 (10.52)	.019	11.93 (23.71)	10.94 (14.63)	.873	-3.98 (22.13)	.513
Total	16.83 (15.51)	9.62 (12.16)	.010	19.23 (20.42)	12.82 (11.98)	.154	-0.80 (15.54)	.850

Differenz = Differenz zwischen Prä- und Postmessung.

^a Mittelwert (Standardabweichung).

^b $M_{\text{Differenz Monitor}} - M_{\text{Differenz HMD}}$

Um die Auswirkung der VR-Darbietungsart auf die Ausprägung der im SSQ abgefragten Symptome im Testverlauf zu untersuchen, wurden zunächst für die beiden Trainingsformen die Differenzen zwischen den Prä- und den Post-Messungen der einzelnen SSQ-Subskalen gebildet und anschließend anhand eines t-Tests miteinander verglichen. Hierbei wurde in keiner SSQ-Subskala ein Unterschied der jeweiligen Differenzen zwischen den beiden Bedingungen festgestellt. Demnach hatte die VR-

Darbietungsart keinen Einfluss auf die Ausprägung der Simulator-Sickness-Symptome der Patienten.

Insgesamt gaben die Patienten überwiegend keine oder nur sehr schwach ausgeprägte Symptome nach den beiden VR-Laufbandtrainingseinheiten an. Ein Patient hatte nach beiden Bedingungen deutliche Kopfschmerzen, welche aber schon vor dem Training bestanden hätten. Nach der HMD-Bedingung berichtete ein Patient über deutliches Unwohlsein, ein anderer über deutlichen Schwindel.

4.2.7 Präsenzerleben (IPQ)

Die Werte für die IPQ-Subskalen *Spatial Presence* ($t_{(13)} = -3.12, p = .008, d = 0.83$), *Involvement* ($t_{(13)} = -3.06, p = .009, d = 0.81$), *Experienced Realism* ($t_{(13)} = -4.39, p = .001, d = 1.18$) und *General* ($t_{(13)} = -3.67, p = .003, d = 0.98$) waren in der HMD-Bedingung höher als in der Monitor-Bedingung (siehe Tabelle 18).

Tabelle 18 *Vergleich der IPQ-Subskalenwerte zwischen Monitor- und HMD-Bedingung*

IPQ-Subskala	Monitor		HMD		Differenz		
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Spatial Presence	-0.44	1.44	1.03	0.94	1.47	1.77	.008
Involvement	-0.34	0.85	0.63	0.84	0.96	1.18	.009
Experienced Realism	-0.70	1.01	0.07	1.15	0.77	0.65	.001
General	-1.21	2.01	0.79	2.12	2.00	2.04	.003

Die Zustimmung zur Aussage „Ich habe mich in der virtuellen Welt anwesend gefühlt.“ war in der HMD-Bedingung ($M = 7.64, SD = 2.10$) höher als in der Monitor-Bedingung ($M = 5.86, SD = 3.11$), $t_{(13)} = -2.41, p = .032, d = 0.64$.

4.2.8 Intrinsische Motivation (IMI)

In Tabelle 19 sind die Werte der einzelnen Subskalen des IMI für die Monitor- und HMD-Bedingung dargestellt. Hier wiesen die Subskalen *Interest* ($t_{(13)} = -1.31, p = .212, d = 0.35$), *Competence*, ($t_{(13)} = -1, p = .336, d = -0.27$), *Effort* ($t_{(13)} = -0.48, p = .637, d = 0.13$) und *Pressure* ($t_{(13)} = -0.38, p = .708, d = 0.10$) in der HMD-Bedingung keine signifikant höheren Werte auf verglichen mit der Monitor-Bedingung.

Tabelle 19 Vergleich der IMI-Subskalenwerte zwischen Monitor- und HMD-Bedingung

IMI-Subskala	Monitor		HMD		Differenz		
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
Interest/Enjoyment	4.38	0.89	4.76	0.49	-0.38	1.01	.212
Perceived Competence	4.36	0.96	4.57	1.33	-0.21	0.80	.336
Effort/Importance	3.26	1.41	3.47	1.10	-0.21	1.66	.637
Pressure/Tension	3.34	0.56	3.43	0.51	-0.09	0.84	.708

4.2.9 Subjektive Belastung (NASA TLX und Borg-Skala)

Auf das subjektive Belastungsempfinden der Patienten, welches anhand der Borg-Skala bewertet wurde, hatte die Art des Laufbandtrainings keinen Einfluss, $F_{(2, 26)} = 2.86, p = .075$, partielles $\eta^2 = .18$. Die Patienten gaben hierzu dem Laufbandtraining auf der Skala von 6 („überhaupt nicht anstrengend“) bis 20 („maximal anstrengend“) in der HMD-Bedingung $M = 9.71$ Punkte ($SD = 2.73$), in der Monitor-Bedingung $M = 9.79$ Punkte ($SD = 2.55$) und in der Bedingung ohne VR $M = 8.57$ Punkte ($SD = 1.60$).

Beim Raw TLX dagegen zeigte die Betrachtung der Subskalen *Mental demand* [mentale Belastung] ($F_{(2, 26)} = 5.06, p = .014$, partielles $\eta^2 = .28$) und *Physical demand* [körperliche Belastung] ($F_{(2, 26)} = 4.05, p = .030$, partielles $\eta^2 = .24$), dass es einen Effekt der Laufbandtrainingsart auf die mentale und körperliche Belastung der Patienten gab.

Sowohl in der Subskala *Mental demand* ($p = .039$) als auch *Physical demand* ($p = .062$) wurden in der HMD-Bedingung verglichen mit der Bedingung ohne VR höhere Werte angegeben. Zwischen der Monitor- und der HMD-Bedingung bzw. der Monitor-Bedingung und der Bedingung ohne VR gab es in den genannten Subskalen keinen derartigen Effekt (siehe Tabelle 20).

Die Art des Laufbandtrainings hatte keinen Einfluss auf die Subskalen *Temporal demand* ($F_{(2, 26)} = 3.20, p = .057$, partielles $\eta^2 = .20$), *Effort* ($F_{(2, 26)} = 0.31, p = .737$, partielles $\eta^2 = .02$), *Performance* ($F_{(2, 26)} = 2.36, p = .114$, partielles $\eta^2 = .15$) und *Frustration* ($F_{(1.23, 15.95)} = 1.23, p = .295$ (GG-korrigiert), partielles $\eta^2 = .09$).

Tabelle 20 Mittelwerte (und Standardabweichungen) der NASA-TLX-Subskalen in den einzelnen Bedingungen

NASA TLX Subskala	Ohne VR	Monitor	HMD
Mental demand	5.71 (8.29)	10.00 (15.57)	17.14 (18.37)
Physical demand	10.36 (13.79)	20.71 (17.31)	21.79 (20.53)
Temporal demand	6.43 (12.16)	12.86 (15.53)	11.43 (11.10)
Effort	15.71 (17.64)	18.21 (20.90)	19.29 (21.91)
Performance	11.07 (13.47)	21.43 (21.16)	21.43 (22.82)
Frustration	2.14 (5.79)	5.36 (8.87)	4.29 (7.30)

4.2.10 Usability (EDQ und SUS)

Bei keinem Patienten trat körperliches Unbehagen im Rahmen der Benutzung des HMD auf. Einer (5 %) berichtete VR-bedingte Haltungsschwierigkeiten, zwei weitere (12 %) hatten Probleme in Bezug auf das visuelle Display, wobei in erster Linie dessen Detailgrad und Auflösung bemängelt wurde.

Der SUS-Totalscore erreichte in der HMD-Bedingung ($M = 83.21, SD = 18.28$) keine höheren Werte als in der Monitor-Bedingung ($M = 84.29, SD = 14.29$), $t_{(13)} = .22, p = .830, d = .06$.

4.2.11 Präferenzen und Kritik der Patienten

71 % der Patienten ($n = 10$) gaben an, dass ihnen das Laufbandtraining mit dem HMD von den drei Darbietungsformen am besten und das Laufbandtraining ohne VR am wenigsten gefallen hat. Ebenfalls 71 % Versuchsteilnehmer könnten sich vorstellen, das Laufbandtraining mit dem HMD in Zukunft häufiger zu nutzen. 21 % ($n = 3$) präferierten das Laufbandtraining mit dem Monitor, ein Patient das Training ohne VR-Darbietung. Das Laufbandtraining mit dem Monitor sehen nur 14 % ($n = 2$) der Patienten als mögliche zukünftige Trainingsvariante im Rahmen ihrer Therapie, ebenso wie das Laufbandtraining ohne VR. 64 % ($n = 9$) könnten sich vorstellen, dass andere Patienten mit einer Gangstörung von einem HMD-gestützten Laufbandtraining profitieren.

Am Ende des Versuchs hatten die Patienten die Möglichkeit, ein Feedback zur Studie abzugeben. Positive und negative Rückmeldungen sind in Tabelle 21 und Tabelle 22 zusammengestellt. Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge der Patienten zur Studie sind in Tabelle 23 zu finden.

Tabelle 21 *Positive Rückmeldungen der Patienten zur Studie gegliedert nach Themenbereich*

Bereich	Patientenaussagen („Gefallen hat mir...“)
<i>Bildgestaltung</i>	„Angenehme Bilder“ „VR-[U]mgebung“
<i>Story</i>	„Die Motivation, den Tieren zu helfen.“ „Die unterbewusste Motivation durch den vorauslaufenden Hund.“
<i>Musik</i>	„En[t]spannende Musik“
<i>Gangerleben</i>	„[...] das[s] man über die VR-Brille seine Gangunsicherheit vergessen kann und sich komplett auf die Aufgabe konzentrieren kann. Man ist in einer virtuellen Welt und denkt nicht über seine eigenen Schwierigkeiten (beim Laufen) nach.“
<i>Trainingsform</i>	„Absolut das laufen mit der Brille“ „Das Laufbandtraining mit VR-Brille“ „VR über VR-Brille“

„Laufband-Training mit VR-Brille, weil man sich nicht auf die Umgebung konzentriert, sondern einfach instinktiv losläuft.“

Tabelle 22 *Kritik der Patienten an der Studie gegliedert nach Themenbereich*

Bereich	Patientenaussagen („Nicht gefallen hat mir...“)
<i>Bildqualität</i>	„die unscharfe [sic] der Bilder“
<i>Bildgestaltung</i>	„die noch nicht ganz ausgereifte Virtuelle Welt.“
<i>Fragebögen</i>	„Die vielen Computerfragen [sic]“ „Sehr viele Fragen“
<i>Trainingsform</i>	„der zweite Durchlauf ohne VR-Brille, nur mit dem Monitor.“ „Das laufen vorm Display“ „das gängige Laufband[training], langweilig un[d] leicht ablenkbar“

Tabelle 23 *Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge der Patienten zur Studie gegliedert nach Themenbereich*

Bereich	Patientenaussagen
<i>Fragebögen</i>	„Die gestellten Fragen teilweise anders formulieren, speziell beim laufen mit der Brille und dann die Fragen zum laufen vorm Display“
<i>Bildgestaltung</i>	„In die Brille reale Bilder einspielen“
<i>Usability</i>	„Bei den Brillenträgern etwas mehr auf die Brillenart zu achten.“
<i>Trainingsform</i>	„Toll, ich kann mir gut vorstellen, dass das Training eine Verbesserung der Gangfähigkeit bewirkt.“ „VR Training ausweiten auf Handicaps wie Arm- und Hand Tätigkeiten“
<i>Versuchsablauf</i>	„gute Organisation, sehr nette Menschen, gute Einweisung“ „Könnte öfters sein“

5 Diskussion

Die vorliegende Proof-of-Concept-Studie hat die Machbarkeit und Akzeptanz eines immersiven VR-basierten Laufbandtrainings als alternative Rehabilitationsmethode für MS- und Schlaganfallpatienten mit Gangstörungen aufgezeigt. Dabei wurden die Usability und der Therapieeffekt des immersiven VR-Laufbandtrainings mit einer semi-immersiven Darstellung der VR (via Monitor) sowie einem herkömmlichen Laufbandtraining ohne VR verglichen. Da die Verbesserung der Laufgeschwindigkeit ein wichtiges therapeutisches Ziel der Rehabilitation von neurologischen Patienten ist (Fritz & Lusardi, 2009; Langhorne et al., 2009), wurde diese Variable als primäres Maß für die Effektivität der einzelnen Trainingsformen herangezogen.

5.1 Laufgeschwindigkeit, Motivation und Stimmung

In beiden vorliegenden Studien war die Laufgeschwindigkeit in den VR-Bedingungen höher als in der Bedingung ohne VR. Die gesunden Probanden liefen im Schnitt in der HMD-Bedingung ca. 0,9 km/h und in der Monitor-Bedingung 0,7 km/h schneller als im Durchgang ohne VR. Die Patienten liefen in der HMD-Bedingung im Schnitt 0,7 km/h schneller als im Durchgang ohne VR und auch 0,3 km/h schneller als in der Monitor-Bedingung. Die Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz einer VR einen positiven Einfluss auf die Laufgeschwindigkeit der Probanden haben kann. Gleichzeitig kann diese Steigerung bei einer immersiven VR-Darstellung über ein HMD größer sein als bei einer semi-immersiven VR-Darstellung, was unter anderem daran zu sehen ist, dass sich die Laufgeschwindigkeit bei den Patienten in der Monitor-Bedingung nicht von der in der Bedingung ohne VR unterschied (siehe 4.2.1). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass bei regelmäßigem Training in VR eine Erhöhung der Laufgeschwindigkeit der Patienten erreicht werden könnte. Für die höhere Laufgeschwindigkeit in den VR-Bedingungen können mehrere Gründe diskutiert werden:

Zunächst liegt nahe, dass ein VR-gestütztes Laufbandtraining mehr Spaß macht und spannender ist als ein herkömmliches Laufbandtraining ohne VR. Letzteres kennen Patienten meist bereits aus einem Fitnessstudio oder aus ihrer Physiotherapie, wo sie es oftmals seit Jahren in wenig abwechslungsreicher Form absolvieren. Ein herkömmliches Laufband hat an sich neben der Möglichkeit der Geschwindigkeitsanpassung oder der Einstellung einer Steigung kaum Gestaltungsspielraum zur Modellierung des Trainings. Die Ergänzung eines Laufbandtrainings um eine virtuelle Welt dagegen bringt einen

Unterhaltungsaspekt mit sich und bietet den Patienten eine neue Trainingsumgebung mit unbekanntem Objekten und Details, die sie während des Trainings entdecken können. Dieser Unterhaltungsaspekt spiegelt sich wahrscheinlich auch in den Ergebnissen zur Stimmungslage nach den Laufbandeinheiten wider: Die Stimmung war bei den gesunden Probanden nach den VR-Einheiten besser als nach dem Laufbandtraining ohne VR. Dieser positive Einfluss auf die Stimmung war außerdem bei der immersiven VR-Darstellung größer als bei der semi-immersiven Darstellung (siehe 4.1.3). Den Probanden machte vermutlich das Training mit dem HMD mehr Spaß als das Training mit dem Monitor, darauf deuten auch die Ergebnisse der Subskala *Interest/Enjoyment* des IMI hin (siehe 4.1.8). Bei den Patienten war die Stimmung zumindest deskriptiv höher (siehe 4.2.4). Zur besseren Stimmung in den VR-Bedingungen könnte die Gestaltung der VR-Welt „Homecoming“ beigetragen haben. Mit ihr wurde eine fiktive, spielerische Welt im Low-Poly-Stil erstellt, welche die Patienten in dieser Form nicht kennen und nicht mit der Natur in der Realität vergleichen können. Die Veränderung der Farben von Grautönen in der Wüstenlandschaft hin zu kräftigen Farben wie das Grün der Graslandschaft sollten zusätzlich die Hebung der Stimmung unterstützen. Neben den visuellen Effekten wurde die Welt mit einer Klaviermusik untermalt und den Probanden über Kopfhörer wiedergegeben, um sie einerseits von Störgeräuschen der realen Umgebung abzuschirmen und andererseits eine entspannende Atmosphäre zu schaffen. Sowohl die Kommentare der Probanden als auch der Patienten deuten darauf hin, dass die Konzeption der virtuellen Umgebung positiv aufgenommen wurde (siehe 4.1.11 und 4.2.11).

Ein weiterer Grund für die höhere Laufgeschwindigkeit bei der immersiven VR-Darstellung könnte in der Motivation der Probanden liegen. Die nach den Laufbandeinheiten erhobene Motivation der gesunden Probanden war bei der HMD-Bedingung verglichen mit den anderen beiden Bedingungen höher, ebenso die Zustimmung zur Aussage „Ich empfand die virtuelle Umgebung als motivierend.“ (siehe 4.1.3). Auch die Auswertung des IMI ergab einen Unterschied in der Motivation zwischen der immersiven und der semi-immersiven Darstellung. So fielen die Werte für die Subskalen *Interest*, *Competence* und *Effort* in der HMD-Bedingung höher aus als in der Monitor-Bedingung (siehe 4.1.8). Die Ergebnisse zur Motivation der Patienten waren zwar nicht signifikant, was darin begründet sein könnte, dass die Patienten bereits sehr motiviert die Studienuntersuchungen angetreten haben (siehe Tabelle 3), wodurch eine

noch weitere Motivationssteigerung erschwert und somit ein gewisser „ceiling effect“ vorhanden gewesen sein könnte. Allerdings zeigte sich ein vergleichbares Muster dahingehend, dass die Patienten in den VR-Bedingungen angaben, motivierter gewesen zu sein (siehe 4.2.4). Bekräftigt wird dies durch die Patientenanmerkungen zur Studie, welchen auch ein möglicher Grund für die Motivationssteigerung entnommen werden kann: So schrieb beispielsweise ein Patient, ihm habe „die Motivation, den Tieren zu helfen“ gefallen, ein anderer formulierte es als „unterbewusste Motivation durch den vorauslaufenden Hund.“ (siehe 4.2.11).

Diese Motivationssteigerung war die Intention der VR-Welt „Homecoming“. Bei der Gestaltung der Welt wurde insbesondere auf die Selbstbestimmungstheorie von Ryan und Deci zurückgegriffen (Ryan & Deci, 2000). Jene beruft sich auf die Differenzierung zwischen intrinsischer und extrinsischer Motivation, wie sie DeCharms 1968 bereits beschrieben hatte (De Charms, 2013). Extrinsisch motiviertes Verhalten folgt einer Aufforderung und tritt selten spontan auf. Intrinsisch motiviertes Verhalten dagegen ist bestimmt von Interesse und Freude und bedarf keiner Impulse von außen. Damit seien intrinsisch motivierte Handlungen der Inbegriff selbstbestimmten Verhaltens, welches nicht nur für die Entwicklung des individuellen Selbst essenziell ist, sondern auch die Effektivität einer durchzuführenden Aktion fördern kann. Ryan und Deci postulieren, dass für die Entstehung intrinsischer Motivation drei psychologische Grundbedürfnisse befriedigt werden müssen: Das Bedürfnis nach Kompetenz oder Wirksamkeit (*competence*), das Bedürfnis nach Autonomie oder Selbstbestimmung (*autonomy*) und das Bedürfnis nach sozialer Eingebundenheit bzw. Zugehörigkeit (*social relatedness*). Mit „Kompetenz“ ist das Gefühl gemeint, die Kontrolle über eine Aufgabe und die Fähigkeit zu haben, sie erfolgreich zu bewerkstelligen. „Autonom“ ist ein Mensch dann, wenn seine Handlungen aus eigener Initiative und eigenem Willen heraus entstehen. Und schließlich strebt jeder Mensch von Natur aus danach, sich in ein soziales Umfeld eingebunden zu fühlen, in dem er Zugehörigkeit und Anerkennung erfährt und Fürsorge zurückgeben kann. Um einen Patienten dazu zu bringen, eine höhere Leistung beim Laufbandtraining zu erbringen, ist es also notwendig, ihn konstant über die Dauer des Trainings intrinsisch zu motivieren. Demnach musste die virtuelle Welt so gestaltet werden, dass sie die oben genannten psychologischen Bedürfnisse berücksichtigt und

erfüllt. Dazu muss der Patient in eine Welt eintauchen, in der er eine Aufgabe bekommt, die er bewerkstelligen kann, zu der er einen Bezug hat und die zwanglos ist.

In der Welt „Homecoming“ wird der Proband direkt in die Storyline miteingebunden, indem er die Möglichkeit erhält, den virtuellen Tieren beim Wiederaufbau ihres Lebensraums zu helfen (*social relatedness*). Gerade dieser Aspekt der sozialen Eingebundenheit des Probanden als Akteur in einer Geschichte wurde in den bisherigen Rehabilitationsstudien mit VR nicht umgesetzt (Calabro et al., 2017; Massetti et al., 2016; Peruzzi et al., 2016; Yang et al., 2008). Damit die Motivation für die Aufgabe nicht extrinsischer, sondern intrinsischer Natur ist, erhält der Proband keine direkte Aufforderung, wie z. B. „Sammle die Sterne ein!“, sondern wird vom Sturmpfer Max selbst über die unglückliche Situation der Tiere informiert und im gleichen Zuge darüber aufgeklärt, wie er den Tieren helfen könnte. Beim Probanden soll dadurch nicht nur Mitleid, sondern auch ein gewisses Verantwortungsgefühl geweckt werden, das ihn intrinsisch dazu motivieren soll, Max auf dem Wanderweg zu folgen. Aufgrund der Tatsache, dass die Umsetzung der Hilfe simpel ist (Vorwärtslaufen) und der Erfolg seiner Hilfe anhand der stetigen Veränderung der Welt unmittelbar sichtbar ist, soll der Proband Kompetenz über diese Aufgabe empfinden (*competence*). Zusätzlich vermittelt der soziale Kompagnon Max dem Probanden durch intermittierendes Bellen Lob und Dankbarkeit, wodurch seine Motivation über die gesamte Dauer des Spiels aufrechterhalten werden soll. Die Autonomie (*autonomy*) wird dem Probanden gewährt, indem er die Befugnis hat, selbst zu entscheiden, wann er losläuft, wie schnell oder langsam er die Aufgabe erledigt, also wie schnell er auf dem Laufband geht oder ob er zwischendurch eine Pause einlegen möchte. Dies konnten die Versuchsteilnehmer über die Geschwindigkeitsknöpfe an den seitlichen Haltegriffen des Laufbands eigenständig regulieren.

Um die Motivation der Nutzer von VR zu steigern, werden oft Gamification-Elemente eingesetzt (Deterding et al., 2011; Sailer et al., 2014, 2017). Beliebt ist dabei der Einbau eines Belohnungssystems, bei dem der Patient für das Erreichen eines definierten Ziels in Form von Punkten belohnt wird. Bei „Homecoming“ baut jedes Belohnungselement (= Stern) auf dem vorherigen auf (Sternesammeln füllt Anzeige). Denn das Ziel dieser VR-Welt ist nicht, einzelne Etappen zu erreichen, sondern die gesamte Welt bis zum Ziel zu durchlaufen. Es wurde bewusst auf ein konkretes Punktesystem verzichtet, da in jedem

Fall eine Frustration, wie sie z. B. beim Nichterreichen des vorgegebenen Ziels eintreten könnte, vermieden werden sollte. Während der Proband auf dem Wanderweg die Sterne sammelt, werden ihm nicht angezeigt, wie viele Sterne er schon gesammelt hat oder wie viele er noch für das Erreichen des Gesamtziels sammeln muss, er sieht nur, dass sich über Max' Kopf immer wieder eine Anzeige füllt, sich die Welt daraufhin verändert und Max freudig bellt. Zwei Probanden beschrieben explizit das Hinarbeiten auf ein Ziel (den Tieren helfen), die Kommunikation des Hundes sowie die Anzeige, wie lang es bis zum nächsten Stern ist, als motivierend (siehe 4.1.11).

Als weiterer Grund für die Motivationssteigerung kann erörtert werden, dass die Patienten in der Welt „Homecoming“ möglicherweise eine Abhängigkeitsumkehr erfahren: Durch das aktive Mithelfen beim Wiederaufbau des zerstörten Lebensraums von Max und seinen Freunden nimmt der Patient kurzzeitig eine Art Helferrolle ein. Der Patient, der aufgrund seiner Krankheit in der realen Welt mitunter stetig auf die Hilfe von Therapeuten, Ärzten und Angehörigen angewiesen ist, erhält nun die Kompetenz, selbst anderen – in dem Fall den Tieren in der VR-Welt - zu helfen. Das Gefühl der Abhängigkeit von anderen und das eigene körperliche Handicap gelangen kurzzeitig in den Hintergrund, was auch die Motivation und Stimmung des Patienten positiv beeinflussen kann.

Letztlich wurde die VR-Welt so gestaltet, dass der Patient auf der einen Seite möglichst effektiv von der Realität und damit seiner Gangstörung für die Zeit seines Aufenthalts in der virtuellen Umgebung abgelenkt wird. Auf der anderen Seite sollte diese Ablenkung nicht überfordernd oder beängstigend sein. Die Rückmeldung der Patienten zeigt, dass die Ablenkung bei einigen Teilnehmern erfolgreich war. So schrieb beispielsweise ein Patient, ihm habe an dem Training mit der VR-Brille besonders gefallen, dass man seine Gangunsicherheit vergessen und sich komplett auf die Aufgabe konzentrieren könne (siehe 4.2.11).

Die Hypothese, dass die Versuchsteilnehmer während des Laufbandtrainings mit dem HMD weniger auf ihren natürlichen Gang geachtet haben als in den anderen beiden Bedingungen, konnte allerdings weder in der Studie mit den gesunden Probanden noch mit den Patienten hinreichend bestätigt werden (siehe 4.1.5 und 4.2.5). Hierzu muss ergänzt werden, dass die Aussage „Ich habe während des Trainings auf meinen

natürlichen Gang geachtet.“ in beiden Studien vielen Versuchsteilnehmern beim ersten Lesen unklar schien und demzufolge oft missverstanden wurde. Die Aussage „Ich habe das Gefühl, dass mein Gang während des Trainings flüssiger war als sonst.“ wurde von den Patienten ohne Nachfrage beantwortet und demnach wahrscheinlich besser verstanden. Hier ließ sich zwar auch kein eindeutiger Unterschied zwischen den Laufbandeinheiten, jedoch eine Tendenz zur Signifikanz dahingehend detektieren, dass die Patienten ihren Gang in der HMD-Bedingung als flüssiger wahrgenommen haben als in der Monitor- oder der Bedingung ohne VR (siehe 4.2.5), was auch auf die höhere Ablenkung bei der immersiven Darstellung zurückgeführt werden könnte.

5.2 Präsenzerleben

Wie aufgrund der Ergebnisse vorausgegangener Studien erwartet (Cummings & Bailenson, 2016; Slater et al., 1994), wurde auch in dieser Studie bei der immersiven VR-Präsentation ein höheres Präsenzerleben berichtet als bei der semi-immersiven VR-Darstellung (siehe 4.1.7 und 4.2.7). Sowohl von den gesunden Probanden als auch von den Patienten wurden in allen Subskalen des IPQ (*Spatial Presence, Involvement, Experienced Realism and General Presence*) in der HMD-Bedingung höhere Werte angegeben als in der Monitor-Bedingung. Genauso stimmten die Teilnehmer der Aussage, dass sie sich in der VR-Welt anwesend fühlten, in der HMD-Bedingung mehr zu als in der Monitor-Bedingung (siehe 4.1.7 und 4.2.7).

Somit wurde auch in dieser Studie die These zahlreicher Studien bekräftigt, dass eine höhere Immersion (360-Grad-Sichtfeld und 3D-Darstellung durch das HMD) auch ein höheres Präsenzerleben generiert (Slater & Wilbur, 1997; Witmer & Singer, 1998). Ein HMD erleichtert das Eintauchen in die virtuelle und die Ablenkung von der realen Welt (Biocca & Delaney, 1995; Cummings & Bailenson, 2016). Bei der Präsentation der VR-Welt über einen Monitor ist die Immersion geringer, da der Proband zwar den Monitor im zentralen Blickfeld hat, aber auch die reale Umgebung um den Monitor herum sieht. So nimmt er beispielsweise Gegenstände des Versuchsraumes oder Bewegungen anwesender Personen, wie die der Versuchsleiterin, zusätzlich wahr. Dies kann das Präsenzerleben erheblich stören und die Konzentration des Probanden auf die virtuelle Welt und seine Aufgabe erschweren. Der hohe Immersionsgrad in der HMD-Bedingung könnte aufgrund der Distanz zur realen Welt auch ein Grund für die höhere intrinsische Motivation der gesunden Versuchsteilnehmer in dieser Bedingung sein (Kim & Biocca,

2018). Außerdem könnte dieser eine Erklärung dafür sein, dass die Zeit in der HMD-Bedingung für die Probanden subjektiv schneller vergangen ist als in der Monitor-Bedingung (siehe 4.1.4).

5.3 Belastungserleben

Das Laufbandtraining wurde in allen drei Bedingungen auf der Borg-Skala mit Werten unter 10 beurteilt, was auf der Skala von 6 („überhaupt nicht anstrengend“) bis 20 („maximal anstrengend“) als „sehr leichte“ Anstrengung zu deuten ist (Borg, 2001). Dabei unterschied sich das Belastungserleben nicht zwischen den drei Bedingungen. Die von den Patienten angegebenen Werte (siehe 4.2.9) waren ähnlich zu den Werten der gesunden Teilnehmer (siehe 4.1.9) und das obwohl bereits das Gehen auf ebenem Boden für einige Patienten je nach Ausprägung ihrer Erkrankung und Tagesform eine Herausforderung darstellen kann (Chaudhuri & Behan, 2004b; Krupp et al., 1988). Vor Beginn der Studie gaben 43 % der Patienten an, im Rahmen ihrer Erkrankung unter einer Fatigue zu leiden. Aber selbst diese Patienten bewerteten alle drei Laufbandtrainings im Schnitt mit Werten unter 12 Punkten, was einer leichten Anstrengung gleichkommt.

Die Auswertung des NASA-TLX ergab weder bei den gesunden Probanden noch bei den Patienten einen Unterschied in der erlebten Anstrengung (Subskala *Effort*) zwischen den einzelnen Bedingungen (siehe 4.1.9 und 4.2.9). Gleiches gilt für die Bewertung der zeitlichen Anforderung (*Temporal demand*), der Leistung (*Performance*) sowie der Frustration (*Frustration*). Allerdings war in beiden Studien die mentale Belastung (*Mental demand*) der Versuchsteilnehmer in der HMD-Bedingung am höchsten. Bei den gesunden Probanden war die mentale Belastung in der HMD-Bedingung höher als in den beiden anderen Bedingungen, bei den Patienten nur höher als in der Bedingung ohne VR.

Insgesamt lassen die Ergebnisse zum Belastungserleben vermuten, dass die immersive Präsentation einer VR-Welt eine gewisse kognitive Leistung und Aufmerksamkeit erfordert, die für die Nutzer belastend sein kann, insbesondere wenn sie das System - wie die Studienteilnehmer - zum ersten Mal nutzen. Bei neurologischen Patienten kann im Rahmen der Erkrankung das kognitive oder optische System mitbetroffen sein, was Auswirkungen auf die Aufnahmefähigkeit und Verarbeitung von Informationen aus der Umwelt hat (Chiaravalloti & DeLuca, 2008b; Jasse et al., 2013b; Sand et al., 2013; Tatemichi et al., 1994b). So ist beispielsweise die Prävalenz anhaltender Sehbeschwerden

unter MS-Patienten mit knapp 35 % sehr hoch (Jasse et al., 2013b). Zu ihnen gehören unter anderem die Optikusneuritis, die gleichzeitig auch eine der häufigsten Erstmanifestationen der MS darstellt (Confavreux et al., 2003), die bilaterale internukleäre Ophthalmoplegie und zentral okulär-motorische Dysfunktionen wie abnorme Sakkaden oder ein Nystagmus (Barnes & McDonald, 1992; Downey et al., 2002; Müri & Meienberg, 1985). Obwohl sich die meisten Patienten von den akuten Symptomen einer Optikusneuritis wie einem Skotom, einer visuellen Fatigue oder Farbsehstörungen erholen, können die Sehbeschwerden auch persistieren (Keltner et al., 1994, 2010). Ähnliches gilt für die Symptome einer internukleären Ophthalmoplegie und Störungen der Augenmotorik wie das Sehen von Doppelbildern, wobei hier die Rate an persistierenden visuellen Beeinträchtigungen höher ist (Bolanos et al., 2004). All diese Sehbeschwerden können in einer eingeschränkten visuellen Aufnahmefähigkeit resultieren, weshalb der Einsatz von immersiver VR bei dieser Gruppe MS-Patienten schwierig oder sogar ungeeignet sein könnte. Patienten, die beispielsweise einen Gesichtsfelddefekt haben, nehmen gegebenenfalls einzelne Bereiche der virtuellen Umgebung nicht wahr. Erscheinen diese aber nach einer Kopfdrehung des Patienten plötzlich, da sie nun in sein Gesichtsfeld gerückt sind, könnte das den Patienten verunsichern oder sogar erschrecken. Hinzu kommt, dass die immersive Präsentation ein reibungsloses Zusammenspiel aller Elemente der virtuellen Umgebung aufweisen muss. Fehlt eines dieser Elemente oder können nicht alle wahrgenommen werden, könnte eine Diskrepanz zwischen den Informationen des auditorischen, visuellen und vestibularen Systems auftreten, die bis zur Entwicklung einer Simulator Sickness führen kann. Zu Symptomen einer Simulator Sickness kann es auch dann kommen, wenn die Menge der Informationen einer virtuellen Welt die Aufnahmefähigkeit des Patienten beispielsweise aufgrund einer visuellen Fatigue übersteigt und dadurch eine mentale Überforderung droht. Ähnliches ist auch bei Patienten zu erwarten, die unter kognitive Einschränkungen wie einer Störung der Aufmerksamkeit oder Informationsverarbeitung leiden (Chiaravalloti & DeLuca, 2008b; Rao et al., 1991), und somit auch bei Schlaganfallpatienten zu finden (Cumming et al., 2013; Mok et al., 2004; Nys et al., 2007). Aufgrund der hohen Prävalenz kognitiver und visueller Begleiterkrankungen und den damit verbundenen Risiken sollte demnach vor der Anwendung einer immersiven VR bei neurologischen Patienten der visuelle und kognitive Status überprüft und z. B. bei

schweren Sehstörungen - wie ausgedehnten Gesichtsfelddefekten, Doppelbildern oder einer ausgeprägten visuellen Fatigue – oder kognitiven Beeinträchtigungen von der Nutzung eines HMDs abgeraten werden. Diesen Patienten wäre eher das herkömmliche Laufbandtraining zu empfehlen. Da in der Patientenstudie kein Unterschied in der mentalen Belastung zwischen der Monitor-Bedingung und der Bedingung ohne VR detektiert wurde (siehe 4.2.9), kann im Einzelfall getestet werden, ob die semi-immersive VR-Darstellung eventuell eine risikoarme Option für den Patienten wäre.

Des Weiteren sollte beachtet werden, dass die meisten Patienten bisher in ihrem Leben noch keine Berührungspunkte mit der Technik der VR hatten (siehe 3.1) und somit auch noch nie ein HMD aufgesetzt haben. Die Tatsache, dass das HMD das gesamte Gesichtsfeld des Benutzers einnimmt und ihn damit visuell von der Realität abschottet, ist der Mehrheit der Patienten fremd. Die Manipulation mehrerer Sinne gleichzeitig und nicht zuletzt der Sprung von Realität in Fiktion und wieder zurück bedarf auch bei gesunden Nutzern einer gewissen Gewöhnung. Da in der vorliegenden Studie das VR-basierte Laufbandtraining eine neue Erfahrung für alle Patienten war, wurde ein Anstieg der Herzfrequenz vor der HMD-Bedingung als Ausdruck der Nervosität der Patienten erwartet. Dieser ließ sich allerdings nicht detektieren (siehe 4.2.2). Die Herzfrequenz der Versuchsteilnehmer unterschied sich nicht zwischen den Bedingungen. Lediglich in der Bedingung ohne VR wurde bei den Patienten ein leichter Anstieg der Herzfrequenz verzeichnet, was darauf zurückgeführt werden könnte, dass es für die Patienten die jeweils erste Laufbandeinheit in der Studie war.

Im Hinblick auf oben genannte Punkte muss das oberste Ziel beim Einsatz einer VR sein, sowohl eine körperliche als auch eine kognitive Überforderung der Patienten zu vermeiden (Lewis & Griffin, 1997), damit nicht das Training frühzeitig abgebrochen wird oder Nebenwirkungen wie beispielsweise Symptome einer Simulator Sickness auftreten (siehe 2.2.3). Deshalb wurde unter anderem auch darauf geachtet, dass jeder Patient unabhängig von seinen Lauffähigkeiten das Ziel in der VR-Welt erreicht. Hierzu wurde eine Funktion eingebaut, mit dem die Länge der Strecke in der VR-Umgebung an die Lauffähigkeiten des Patienten individuell angepasst werden konnte. Beim ersten Durchgang, dem Laufbandtraining ohne VR, wurde die Durchschnittsgeschwindigkeit des Patienten ermittelt und mit ihr als Richtwert die Strecke berechnet, die der Patient in 7,5 Minuten zurücklegt. Auf diese Strecke wurde dann die VR-Welt für die anderen

beiden Trainingsdurchgänge gestreckt bzw. gestaucht, sodass garantiert war, dass jeder Patient die gesamte VR-Welt bis zum Ziel durchläuft. Abhängig davon, ob und wie die Patienten ihre Laufgeschwindigkeiten in den VR-Bedingungen manuell über die Knöpfe an den seitlichen Handgriffen regulierten, haben einige Patienten etwas früher und einige etwas später als nach 7,5 Minuten das Ziel der VR-Welt erreicht. Die Patienten wurden bewusst nicht darüber informiert, wie schnell oder wie lange sie auf dem Laufband gelaufen sind, damit diese Angaben nicht die Antworten der Patienten bei den Fragebögen beeinflussen. Mit dem Tool der Streckenanpassung konnte eine körperliche Überforderung und eine Frustration der Studienteilnehmer vermieden werden, wie auch die Ergebnisse der Skala *Frustration* des NASA-TLX zeigen (siehe 4.2.9).

5.4 Nebenwirkungen

Die Auswertung des SSQ hat ergeben, dass die VR-Welt „Homecoming“ keine Simulator Sickness induziert. Sowohl in der Studie mit den gesunden Probanden als auch in der Studie mit den Patienten blieben die Werte des Total Scores für beide VR-Laufbandeinheiten unter 20 (siehe Tabelle 6 und Tabelle 17), also unterhalb des Grenzwertes für eine signifikante Simulator Sickness (siehe 3.5.2). Bei den Patienten wurde in keiner Subskala eine Zunahme der Werte von der Messung vor zu der Messung nach den Laufbandeinheiten beobachtet (siehe 4.2.6).

Wie eingangs beschrieben entsteht eine Simulator Sickness insbesondere dann, wenn eine Diskrepanz zwischen den Bewegungen des Körpers und den Bewegungen besteht, die in der virtuellen Umgebung suggeriert werden (siehe 2.2.3; LaViola Jr., 2000). Das Gehirn erhält von den Sinnessystemen unterschiedliche Informationen, die nicht übereinstimmen, wodurch ein sensorischer Konflikt entsteht. Um diesen Konflikt so gering wie möglich zu halten, wurden zum einen die Probanden in der vorliegenden Studie durch den Einsatz eines Laufbandes in eine realistische Bewegung versetzt. Außerdem wurde bei der Erstellung der virtuellen Umgebung „Homecoming“ darauf geachtet, ein möglichst exaktes Tracking von Kopf und Füßen des Probanden zu erreichen. Die Bewegung der Füße und des Kopfes wurden ohne merkliche Verzögerung an den Computer weitergegeben und dann 1:1 in die virtuelle Umgebung übertragen. Die Laufgeschwindigkeit der Probanden in der virtuellen Welt entsprach zu jedem Zeitpunkt der Laufgeschwindigkeit in der realen Welt. Die Welt wurde so programmiert, dass das Vorbeiziehen der virtuellen Landschaft beim Laufen im zur aktuellen

Laufgeschwindigkeit passenden Tempo erfolgt. Entschied sich ein Proband dazu, während des Trainings die Geschwindigkeit herunter oder hoch zu regulieren, wurde diese Änderung von den Trackern erfasst und unmittelbar in die virtuelle Umgebung umgesetzt.

In der Monitor-Bedingung zeigte sich eine Punkteabnahme von der Prä- zur Post-Messung in allen Subskalen. In der HMD-Bedingung war nur in der Subskala *Oculomotor* eine Punkteabnahme zu beobachten. Die Reduktion der Symptome scheint auf den ersten Blick ungewöhnlich, könnte aber damit erklärt werden, dass die Patienten während des Laufbandtrainings ganz auf die VR-Welt und ihre Erkundung konzentriert waren und dadurch eventuell vorher bestandenen Symptomen wie beispielsweise einem allgemeinen Unwohlsein keine allzu große Aufmerksamkeit mehr beigemessen wurde. Die anfängliche Übelkeit einiger weniger Patienten könnte als Ausdruck der Nervosität vor den VR-Laufbandeinheiten gesehen werden. Sobald sich die Patienten in die virtuelle Umgebung begaben und die Atmosphäre dort als angenehm empfanden, nahm die Nervosität und damit auch die Übelkeit ab. Die Reduktion der Symptome aus der Subskala *Oculomotor* (verschwommenes Sehen, Schwierigkeiten zu fokussieren etc.) könnte einerseits in Zusammenhang mit der hohen Bildqualität des Monitors (Ultra High Definition Television) stehen. Andererseits wird der Blick des Benutzers beim Durchlaufen der virtuellen Welt „Homecoming“ durch das Anzeigen des Wanderweges bis zum Horizont immer wieder in die virtuelle Ferne der weitläufigen Landschaft gelenkt. Da für diese Fernakkommodation eine flache Augenlinse und demzufolge ein entspannter Musculus ciliaris benötigt wird, kann dies als muskulärer Ruhezustand der Augen bezeichnet werden (Drexler et al., 1997; Toates, 1972). Diese intermittierende Entspannung der Augen könnte auch einen positiven Einfluss auf Symptome der Skala *Oculomotor* bewirkt haben.

Es wurde außerdem kein Unterschied der SSQ-Werte zwischen der Monitor-Bedingung und der HMD-Bedingung festgestellt, woraus geschlossen werden kann, dass die immersive Präsentation der VR-Welt genauso wenig Symptome einer Simulator Sickness hervorruft wie die semi-immersive Präsentation. Traten dennoch Symptome auf, waren diese nur sehr schwach ausgeprägt (siehe 4.2.6). Lediglich zwei Patienten berichteten nach der HMD-Bedingung über deutlich ausgeprägte Symptome: Einer klagte über deutliches Unwohlsein, der andere über deutlichen Schwindel. Beide Patienten erholten

sich von dieser Symptomatik innerhalb weniger Minuten nach Beendigung des Laufbandtrainings.

Bei den gesunden Probanden wurde der SSQ nur einmal nach der Monitor- und einmal nach der HMD-Bedingung erhoben, sodass kein Prä-Post-Vergleich der SSQ-Werte für die einzelnen Laufbandeinheiten erfolgen konnte. Der Vergleich der SSQ-Werte nach den Laufbandeinheiten ergab keine Unterschiede in den Subskalen *Oculomotor*, *Disorientation* und im *Total Score* zwischen den beiden VR-Bedingungen (siehe 4.1.6). Die Werte für die Subskala *Nausea* fielen allerdings in der HMD-Bedingung höher aus als in der Monitor-Bedingung, waren aber mit einem durchschnittlichen Wert von $M = 15.37$ immer noch verglichen mit *Nausea*-Ergebnissen anderer Studien mit immersiven virtuellen Umgebungen niedrig. Bei einer Studie von Kim et al. beispielsweise, in der Parkinson-Patienten 20 Minuten mit einem HMD auf einem Laufband laufen sollten, wurde ein durchschnittlicher *Nausea*-Wert von $M = 20.8$ erhoben (Kim et al., 2017). In der vorliegenden Untersuchung wurde vereinzelt über Müdigkeit, überanstrengte Augen und Schwierigkeiten beim Scharfsehen sowie über starken Speichelfluss geklagt. Die meisten Probanden berichteten keine oder über nur sehr schwach ausgeprägte Symptome (siehe 4.1.6).

Um die Schwere der erhobenen Simulator Sickness einzustufen, wurde ein Vergleich mit den Ergebnissen anderer Studien angestrebt. Dies gestaltete sich allerdings schwierig, da es kaum Studien zu VR in der Gangrehabilitation gibt, welche neben den positiven Effekten auch die Nebenwirkungen des eingesetzten VR-Systems mithilfe des SSQ untersuchten. Eine der wenigen Studien, die zum Vergleich herangezogen werden können, stammt von Hamzeheinejad et al. Sie entwickelten eine vom Prinzip her ähnliche VR-Welt mit motivierendem Charakter zur Gangrehabilitation bei neurologischen Patienten (Hamzeheinejad et al., 2018). Während in deren Vorstudie mit gesunden Probanden der Total Score des SSQ nach dem HMD-gestützten Laufbandtraining bei $M = 33.30$ ($SD = 36.54$) lag, betrug er in der hier vorliegenden Untersuchung mit gesunden Probanden nur 17.04 ($SD = 18.46$). Die geringere Nebenwirkungsrate könnte darin begründet sein, dass in der vorliegenden Studie kein Crosstrainer wie bei Hamzeheinejad et al., sondern ein Laufband verwendet wurde. Das Laufband gibt nicht wie der Crosstrainer die Bewegungen der Extremitäten vor, sondern ermöglicht dem Probanden, seinen natürlichen, gewohnten Gang auszuüben. Ein weiterer Grund für die geringere

Ausprägung der Nebenwirkung könnte sein, dass mit „Homecoming“ keine fotorealistische Welt, sondern eine Low-Poly-Welt erstellt wurde. Einige Patienten machten zwar den Vorschlag, für zukünftige Anwendungen eine fotorealistische Welt zu simulieren (siehe 4.2.11), davon wurde allerdings bei der Erstellung von „Homecoming“ aus folgendem Grund bewusst abgesehen: Wird dem Benutzer eine VR-Welt aus realen Bildern über ein HMD präsentiert, könnte er dazu neigen, diese mit der ihm bekannten Welt aus der Realität zu vergleichen. Problematisch wird es, wenn sich Objekte in der virtuellen Welt nicht exakt nach dem Muster wie dieselben Objekte in der realen Welt bewegen (z. B. die Bewegungen eines realen vs. virtuellen Baums). Dann könnte dies theoretisch so weit führen, dass der Nutzer Symptome einer Simulator Sickness wie zum Beispiel Schwindel oder Unwohlsein entwickelt.

Auch wenn die Low-Poly-Welt „Homecoming“ unrealistisch und mit der realen Welt nicht vergleichbar ist, scheint sie dennoch mit ihren wenigen, abstrakten Formen plausibel und ihre zugrundeliegende Story kohärent. Slater erwähnt in seinen Veröffentlichungen diese Plausibilität einer virtuellen Umgebung als eine wichtige Voraussetzung für das Gefühl der Präsenz (Slater et al., 1994, 1996; Slater & Wilbur, 1997).

Auch bei Betrachtung anderer Studien, die VR für weitere Rehabilitationsformen oder andere Patientengruppen verwendeten, scheint das Laufbandtraining mit der Welt „Homecoming“ vergleichsweise nebenwirkungsarm zu sein (Janeh et al., 2019; Lambert et al., 2017; Treleaven et al., 2015). Während beispielsweise bei Janeh et al. der *Total SSQ*-Score nach der Benutzung des HMDs bei $M = 15.21$ ($SD = 17.04$) lag, wobei einzelne Patienten Werte bis zu 52.36 angaben (Janeh et al., 2019), wurde in der vorliegenden Untersuchung ein durchschnittlicher Score von $M = 12.82$ ($SD = 11.98$) erhoben. Der höchste hierbei gemessene Wert eines Patienten betrug 41.14 (VP Nr. 6). Allerdings muss angemerkt werden, dass die Patienten bei Janeh et al. mehr Zeit in der virtuellen Welt verbracht haben.

5.5 Usability

Das VR-System wurde in der vorliegenden Studie in Hinblick auf die von der ISO definierten Komponenten der Usability - Wirksamkeit (*effectiveness*), Effizienz (*efficiency*) und Zufriedenheit (*satisfaction*) - untersucht (siehe 3.5; Jordan, 1998).

Die Wirksamkeit (*effectiveness*) des VR-Systems wurde anhand der Ergebnisse zur Laufgeschwindigkeit und Motivation der Studienteilnehmer bestätigt (siehe 5.1). Die Laufgeschwindigkeit und Motivation waren in den VR-Bedingungen höher als beim Laufbandtraining ohne Einsatz eines VR-Systems. Der aufzuwendende Einsatz, aus dem sich die Effizienz (*efficiency*) des Systems ableitet, wurde mithilfe des NASA TLX und der Borg-Skala abgeprüft und kann insgesamt als eher gering eingestuft werden (siehe 5.3).

Die Gebrauchstauglichkeit und Bedienbarkeit des VR-Systems wurde mithilfe der Fragebögen SUS und EDQ ermittelt. Die Erhebung des EDQ in der Studie mit den gesunden Probanden diente dazu, Probleme und technische Fehler des VR-Systems aufzudecken, damit diese bis zur Patientenstudie behoben werden konnten. Die gesunden Probanden berichteten vorwiegend über Probleme in den Kategorien „Körperliches Unbehagen“ und „Visuelles Display“. So hatten beispielsweise neun Probanden unangenehme Empfindungen durch das Tragen des HMDs (siehe 4.1.10). Bei drei Probanden sei das HMD während der Benutzung verrutscht, bei vier Probanden drückte es auf bestimmte Kopfreionen, vor allem auf die Wangenknochen sowie bei den Brillenträgern auf die Nasenwurzel. Wiederum drei Probanden empfanden die Qualität des Displays nicht ausreichend, fünf bemängelten den visuellen Detailgrad. Außerdem berichteten drei Probanden ein Flackern des Bildschirms und weitere drei ein kurzes Ruckeln des Bildes. Gerade das Bildschirmflackern musste vor der Anwendung bei Patienten behoben werden, um der Entstehung einer Simulator Sickness vorzubeugen (siehe 2.2.3). Dass diese Behebung erfolgreich war, zeigt der Vergleich mit den EDQ-Ergebnissen der Patienten. Es gab kein Patient an, ein Flackern des Displays bemerkt zu haben. Genau wie in der Studie mit den gesunden Probanden empfanden aber auch hier drei Patienten (21 %) die Qualität des visuellen Displays nicht ausreichend (siehe 4.2.10). Das könnte darauf zurückgeführt werden, dass die Bildschirmqualität eines HMDs, wie der HTC Vive, beispielsweise nicht mit der Bildschirmqualität eines High-Definition (HD)-Fernsehers, über den die Versuchsteilnehmer zuhause oder im Kino Filme sehen, vergleichbar ist. Durch die Weiterentwicklung der HMDs in den letzten Jahren ist jedoch nun die nächste Generation von HMDs mit einer deutlich besseren Auflösung als die der HTC Vive verfügbar und könnte eine Lösung dieses Problems darstellen. Des Weiteren berichtete ein Patient über Schwierigkeiten beim Fokussieren. Er musste seinen Kopf

immer etwas anheben, um das Bild klar zu sehen. Als Grund hierfür wurde seine Gleitsichtbrille identifiziert, dessen Brillengläser unterschiedliche Sehbereiche für die Fern- und Nahsicht abdecken. Aus den Ergebnissen des EDQ kann geschlossen werden, dass ein HMD für Brillenträger unkomfortabel sein und gerade bei Trägern einer Gleitsichtbrille die Sicht in der VR-Umgebung beeinträchtigen kann. Dieses Problem ist bei der hohen Rate an Brillenträgern unter Patienten (79 % in dieser Studie; siehe 3.1) nicht zu unterschätzen und könnte bei ungenügender Anpassung ebenfalls ein Risikofaktor für die Entwicklung einer Simulator Sickness sein. Allerdings trat insgesamt bei den Patienten im Gegensatz zu den gesunden Versuchsteilnehmern bei keinem ein körperliches Unbehagen beim immersiven Laufbandtraining auf (siehe 4.2.10), obwohl sie nicht vertraut mit dem Gebrauch eines HMDs waren (siehe 3.1).

Die Auswertung des SUS ergab, dass sowohl bei den gesunden Probanden als auch bei den Patienten keine Unterschiede in der Gebrauchstauglichkeit der immersiven und der semi-immersiven VR-Präsentation zu verzeichnen sind. Allerdings waren die Total Scores mit durchschnittlich 83 von 100 möglichen Punkten für beide VR-Darstellungsformen sehr hoch. Gemäß der von Bangor, Kortum und Miller festgelegten Akzeptanzbereiche zeigt dieser Punktwert eine „exzellente“ Usability an (Bangor et al., 2008). Wenn das VR-Setup aufgebaut und kalibriert ist, sind beide in dieser Studie verwendete VR-Darstellungsformen so einfach in der Bedienung wie beispielsweise ein Geldautomat (Kortum & Bangor, 2013). Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die VR-Produkte auch ohne professionelle Hilfe eigenständig bedient werden könnten. Voraussetzung hierfür wäre allerdings, dass der Aufbau von Trackingstationen nur einmalig durch einen technischen Experten oder gar nicht mehr nötig ist. Letzteres könnte durch die Verwendung eines All-in-one-HMDs (siehe 5.7) erreicht werden. Das würde den Patienten die Möglichkeit eröffnen, VR nicht nur beim geführten Training in einer Rehabilitationseinrichtung, sondern auch im privaten Rahmen für ihr Laufbandtraining zuhause zu nutzen.

Unter dem Aspekt, dass es den Patienten freigestellt werden soll, ob sie in Zukunft ihre Rehabilitation mit dem herkömmlichen Laufbandtraining um ein VR-System erweitern möchten, und der Patientenwille oberste Priorität hat, stellte die dritte Komponente der Usability, die Zufriedenheit (*satisfaction*) der Nutzer, in dieser Studie die zentrale Komponente dar. Da der Großteil der Patienten (71 %) und der gesunden

Versuchsteilnehmer (89 %) angaben, dass ihnen das immersive Laufbandtraining am besten gefallen habe und sich 64 % der Patienten vorstellen könnten, das HMD-basierte Laufbandtraining in Zukunft häufiger zu nutzen, kann davon ausgegangen werden, dass die Mehrheit der Nutzer zufrieden mit dem Gebrauch des HMDs waren. Dies bestätigen auch die positiven Rückmeldungen der Versuchsteilnehmer nach Vollendung der Studie (siehe 4.1.11 und 4.2.11).

Bei Betrachtung aller Ergebnisse, insbesondere unter Berücksichtigung der Usability-Komponenten *effectiveness*, *efficiency* und *satisfaction*, kann der immersiven VR-Darstellung über ein HMD insgesamt eine hohe Usability zugeschrieben werden, die außerdem der Usability der semi-immersiven VR-Darstellung in den Bereichen Wirksamkeit und Zufriedenheit überlegen ist. In beiden Gruppen haben die Versuchsteilnehmer in der HMD-Bedingung die höchste Laufgeschwindigkeit erzielt sowie das HMD-gestützte Laufbandtraining unter allen Trainingsformen präferiert. Hinzu kommt die Bestätigung der einfachen Bedienung des HMDs, was das HMD-Training zu einer denkbaren Trainingsform auch für den häuslichen Gebrauch macht. Dies kann Patienten eine gewisse Unabhängigkeit von Therapeuten oder lokalen Rehabilitationseinrichtungen und damit die Option eines selbstständigen Trainings verleihen. Die damit gewonnene örtliche und zeitliche Unabhängigkeit könnte dazu führen, dass Patienten das Laufbandtraining häufiger durchführen, was sich langfristig positiv auf ihren Therapieerfolg auswirken könnte. Dennoch sollte bei einzelnen Patienten, wie beispielsweise bei Brillenträgern, die Passform und Einstellung des HMDs vor der Benutzung individuell geprüft und gegebenenfalls optimiert werden.

5.6 Limitationen der Studie

Die vorliegende Proof-of-concept-Studie hat die Machbarkeit und Akzeptanz einer immersiven VR-Präsentation als Ergänzung zum herkömmlichen Laufbandtraining an einer kleinen Gruppe von gesunden Studenten sowie von MS- und Schlaganfallpatienten gezeigt. Obwohl die Leistungen nur über kurze Sitzungen hinweg verglichen wurden, zeigte sich eine höhere Laufgeschwindigkeit in der HMD-Bedingung, was darauf hindeutet, dass eine immersive VR das therapeutische Ergebnis der Gangrehabilitation verbessern könnte. Während bei der Studie mit den gesunden Teilnehmern der anfangs berechnete optimale Stichprobenumfang erreicht wurde ($N = 36$; siehe 3.1), konnten für die Patientenstudie lediglich zehn MS- und vier Schlaganfallpatienten rekrutiert werden.

Ein Grund hierfür waren kurzfristige Absagen aus gesundheitlichen Gründen, wie einem grippalen Infekt, einem akuten Schub der MS oder einer ausgeprägten Fatigue am Studientag, die zu mehreren Drop-outs geführt haben. Die nötige statistische Power zur Aufdeckung eines Effekts war zwar immer noch ausreichend, dennoch wäre eine höhere Anzahl an Teilnehmenden wünschenswert gewesen, um die Generalisierbarkeit der Ergebnisse zu erhöhen.

Während diese Studie ein wichtiger erster Schritt ist, müssen in kommenden Untersuchungen die Nutzung und Trainingseffekte über einen längeren Zeitraum hinweg evaluiert werden. Hierzu müsste beispielsweise die VR-basierte Trainingsform als fester Bestandteil in den bereits vorhandenen Rehabilitationsplan der Patienten eingebaut und mit einem herkömmlichen Therapieschema verglichen werden.

Ferner muss betont werden, dass in dieser Studie die Ergebnisse von einer kleinen und heterogenen Gruppe von Patienten mit MS und Schlaganfall zusammengefasst wurden, weshalb sie weder spezifisch für die einzelnen Erkrankungen noch auf alle Patienten mit MS oder Schlaganfall oder anderen neurologischen Erkrankungen verallgemeinerbar sind.

Die Ergebnisse des EDQ und des NASA-TLX deuten darauf hin, dass das immersive VR-basierte Laufbandtraining für Patienten mit visuellen oder kognitiven Defiziten weniger geeignet sein könnte. Es bleibt zu prüfen, ob somatosensorische Defizite der unteren Extremitäten, insbesondere propriozeptive Defizite, eine Kontraindikation für den Einsatz eines HMDs darstellen. Jene sind bei Patienten mit MS häufig und können die Gleichgewichtsfähigkeit der Patienten negativ beeinflussen (Jamali et al., 2017).

Außerdem trugen die Studienteilnehmer das HMD jeweils nur für eine kurze Zeit (ca. 7,5 Minuten), sodass die Gebrauchstauglichkeit und Nebenwirkungsrate für längere Trainingseinheiten noch untersucht werden muss.

Schließlich wurde den drei experimentellen Bedingungen keine Gewöhnungseinheit auf dem Laufband vorangestellt. Die Laufbandeinheit ohne VR war immer die erste Einheit für alle Teilnehmer. Daher müssen die Vergleiche mit der klassischen Laufbandeinheit (ohne VR) mit Vorsicht interpretiert werden. Die Ergebnisse könnten möglicherweise durch die Akklimationierung verfälscht sein. Obwohl der Fokus der vorliegenden Studie

auf dem Vergleich zwischen den beiden VR-Laufbandbedingungen lag, könnte es für zukünftige Studien empfehlenswert sein, den Haupttrainingseinheiten mindestens eine, bei neurologischen Patienten möglicherweise mehrere Einheiten zur Gewöhnung auf dem Laufband voranzustellen (Godi et al., 2020; Meyer et al., 2019).

5.7 Fazit und Ausblick

Mit dem direkten Vergleich zwischen immersiver und semi-immersiver Präsentation einer VR hat diese Studie einen wichtigen ersten Schritt zur Evaluation der Verwendung von VR als Ergänzung zum herkömmlichen Laufbandtraining in der Rehabilitation von MS- und Schlaganfallpatienten geleistet. Sie hat gezeigt, dass die immersive Präsentation einer VR von den Patienten nicht nur akzeptiert, sondern auch unter den drei getesteten Trainingsformen (herkömmliches Training ohne VR, VR über Monitor und VR über HMD) präferiert wird (siehe 4.2.11). Aufgrund der hohen Usability (siehe 5.5) und der geringen Nebenwirkungen (siehe 5.4) scheint das HMD-basierte Trainingsformat eine denkbare Alternative zum herkömmlichen Laufbandtraining in der Gangrehabilitation zu sein. Dass die immersive VR-Präsentation außerdem das Potenzial hat, den Trainingserfolg der Patienten zu steigern, verdeutlichen die Ergebnisse zur Laufgeschwindigkeit und Motivation der Versuchsteilnehmer (siehe 4.1.1, 4.1.3, 4.2.1).

Um die langfristige Wirkung des VR-basierten Laufbandtrainings zu untersuchen, wäre nun der nächste Schritt, dieses in einem strukturierten Rehabilitations-Setting zu testen. Dies sollte dann mit einer höheren Trainingsfrequenz - beispielsweise eingebaut in den Therapieplan der Patienten - über einen Zeitraum von mehreren Wochen oder Monaten von den Testpersonen absolviert werden. Dabei wäre allerdings zu erwarten, dass der motivierende Faktor der VR-Welt „Homecoming“ aufgrund ihrer mangelnden Abwechslung nach einigen Trainingssitzungen abnimmt. Die VR-Welt „Homecoming“, die für die vorliegende Studie konzipiert wurde, kann als Prototyp angesehen werden. Ihre Struktur und Gestaltung wurden relativ simpel gehalten. Sie ist auf ein einmaliges, kurzes Laufbandtraining ausgelegt und setzt den Fokus auf die Geschichte, die sie erzählt. Für den mehrfachen Einsatz dieser VR-Welt wäre eine Erweiterung der Software sinnvoll. So könnte beispielsweise eine Staffelung der Welt in mehrere Levels vorgenommen werden. Zum Vorrücken in ein höheres Level ist dann das Absolvieren einer definierten, an die Gehfähigkeit des Patienten angepassten Strecke erforderlich. Erreicht der Nutzer dieses Ziel, beginnt er beim nächsten Training im nächsthöheren

Level. Erreicht er es nicht, wiederholt er das zuletzt begonnene Level bis er die geforderte Strecke zurücklegt. Alternativ könnte der Trainingserfolg auch anhand der Laufgeschwindigkeit ermittelt und dementsprechend eine höhere Geschwindigkeit mit dem Einstieg in das nächste Level belohnt werden. Neben der Einteilung in Levels können auch verschiedene Welten mit unterschiedlichen Landschaften erstellt werden, sodass der Patient vor Beginn des Trainings auswählen kann, in welcher Welt er heute laufen möchte.

Um den Trainingseffekt der Patienten noch weiter auszubauen, könnte das Training auch um das Üben sogenannter Dual-Task-Fähigkeiten erweitert werden. Als Dual-Task-Fähigkeit wird die Fähigkeit einer Person bezeichnet, zwei Aufgaben gleichzeitig auszuführen, ohne dass die Leistung geringer ausfällt als beim separaten Ausführen der Aufgaben. Zu den klinisch relevanten Dual-Task-Fähigkeiten gehört unter anderem das Absolvieren kognitiver oder motorischer Aufgaben während des Gehens. Ein Beispiel für eine gestörte Interaktion zwischen Kognition und Gang ist das Stehenbleiben beim Reden („stop walking while talking“), das bei Patienten, die unter neurologischen Erkrankungen wie einer Demenz, Depression oder einem Schlaganfall leiden, beobachtet werden kann (Camicoli et al., 1997; Lundin-Olsson et al., 1997). Gerade das Gehen in komplexen Umgebungen erfordert die Integration kognitiver Funktionen wie Aufmerksamkeit und Set-Shifting, also das flexible Wechseln zwischen unterschiedlichen Aufgaben (Springer et al., 2006; Srygley et al., 2009; Woollacott & Shumway-Cook, 2002; Yogev-Seligmann et al., 2008). Studien haben gezeigt, dass durch das Verbessern von Dual-Task-Fähigkeiten in Bevölkerungsgruppen mit hohem Sturzrisiko, wie zum Beispiel Parkinson- oder Schlaganfall-Patienten, die Gehfähigkeiten wie die Laufgeschwindigkeit oder das Gleichgewicht verbessert und somit auch die Fallneigung der Betroffenen verringert werden können (Canning et al., 2008; Mirelman et al., 2011; Silsupadol et al., 2009; Woollacott & Shumway-Cook, 2002; Yang et al., 2007; You et al., 2009). Demzufolge wäre es sinnvoll, auch in die Welt „Homecoming“ Dual-Task-Elemente zu implementieren. Basierend auf der Geschichte der Welt könnte dem Benutzer beispielsweise die Aufgabe gestellt werden, ein Haus für die Lebewesen als Schutz vor dem nächsten Sturm zu bauen. Hierzu müsse der Benutzer neben den Sternen Werkzeuge oder Materialien, die für den Bau eines Hauses benötigt werden und auf dem Wanderweg liegen, einsammeln. Dies könnte durch aktives Greifen nach den virtuellen Gegenständen

oder durch Zeigebewegungen auf diese mithilfe von Controllern umgesetzt werden. Je nachdem, wie viele Werkzeuge der Proband schon erworben hat, wird ihm am Horizont der aktuelle Baufortschritt des Hauses angezeigt. So lässt sich die VR-Welt um unterschiedlichste Aufgaben erweitern und die Dual-Task-Fähigkeiten der Patienten während des Gehens auf dem Laufband trainieren.

Da das immersive Training universell einsetzbar ist und die meisten Patienten in der vorliegenden Studie der Meinung sind, dass auch andere Patienten mit Gangstörungen von einem VR-basierten Laufbandtraining profitieren würden (siehe 4.2.11), könnte das Patientenkollektiv für künftige Untersuchungen ausgeweitet werden. Neben MS- und Schlaganfallpatienten könnte demnach das VR-basierte Laufbandtraining auch mit anderen neurologischen Patienten wie beispielsweise Parkinson-Patienten, bei denen vor allem die reduzierte Schrittlänge und Laufgeschwindigkeit und die daraus resultierende Gangunsicherheit und -instabilität im Vordergrund steht (Blin et al., 1990; Morris et al., 2001), untersucht werden. Auch orthopädische Patienten, die nach einer Verletzung oder Operation eine Gangstörung davongetragen haben, könnten für diese Art des Gangtrainings infrage kommen. Je nachdem, wie ausgeprägt die Gangstörung der genannten Patienten ist, kann das in dieser Studie vorgestellte VR-Laufbandtraining gegebenenfalls auch mit einem körpergewichtsentlastenden Gurtsystem („Body-weight-supported treadmill training, BWSTT“) kombiniert werden (Moseley et al., 2005). Hiermit könnten dann auch Patienten mit einer schlechteren Gehfähigkeit, beispielsweise mit einem EDSS-Score bis 7 (Kurtzke, 1983) oder einem FAC-Score ≥ 3 (Holden et al., 1984), die VR-Trainingsform nutzen.

Bei der Ausweitung der Untersuchung auf andere Patienten, muss erneut eruiert werden, ob und welche Form der VR-Präsentation für die einzelnen Patientengruppen am besten geeignet ist. Der Fokus sollte auch hier auf der Evaluation der Akzeptanz der Patienten sowie des Trainingserfolgs und dem Vergleich mit der herkömmlichen Trainingsmethode liegen. Während bei orthopädischen Patienten eher keine kognitiven Defizite zu erwarten sind, sollten diese bei neurologischen Patienten Berücksichtigung finden und die Kompatibilität mit der immersiven VR-Darstellung genau überprüft werden. Dies hat insbesondere für diejenigen Patienten Relevanz, die Defizite in der Verarbeitung von Informationen aus der Umwelt haben, wie beispielsweise Parkinson-Patienten (Dubois & Pillon, 1996). Ähnliches gilt für die Anwendung bei Patienten höheren Alters (Cherniack,

2011), bei denen noch eine gewisse Skepsis und gegebenenfalls Angst gegenüber der für sie ungewohnten Trainingsform hinzu kommen könnte.

Könnten weitere Studien die Effektivität des immersiven VR-Trainings zeigen, wäre in Zukunft eine Anwendung des Trainings zuhause denkbar, da die benötigte Technik bereits heute im Bereich der Unterhaltungselektronik (Consumer Electronic) auch für Privatkunden erwerbbar und erschwinglich ist.

Auch wenn dieses Forschungsgebiet in der Medizin ein noch sehr junges ist, zeigen Studien wie diese vielversprechende Ergebnisse zur Nutzung von VR in der Therapie und Rehabilitation von chronischen Erkrankungen. VR kann ein sinnvolles technisches Hilfsmittel zur Aufwertung alter wie auch neuer Therapiemethoden sein und birgt durch seine fast grenzenlosen Gestaltungsmöglichkeiten ein nicht zu unterschätzendes Potenzial für die Rehabilitation der Zukunft – sofern ihr Einsatz auf die Bedürfnisse der Patienten abgestimmt ist.

6 Zusammenfassung

Die Rehabilitation von Gangstörungen bei Patienten mit MS und Schlaganfall erfolgt häufig mithilfe eines konventionellen Laufbandtrainings. Einige Studien haben bereits gezeigt, dass durch eine Erweiterung dieses Trainings um eine virtuelle Realität die Motivation der Patienten gesteigert und die Therapieergebnisse verbessert werden können.

In der vorliegenden Studie wurde eine immersive VR-Anwendung (unter Verwendung eines HMD) für die Gangrehabilitation von Patienten evaluiert. Hierbei wurden ihre Anwendbarkeit und Akzeptanz geprüft sowie ihre Kurzzeiteffekte mit einer semi-immersiven Präsentation (unter Verwendung eines Monitors) und mit einem konventionellen Laufbandtraining ohne VR verglichen. Der Fokus lag insbesondere auf der Untersuchung der Anwendbarkeit beider Systeme und der Auswirkungen auf die Laufgeschwindigkeit und Motivation der Benutzer.

Im Rahmen einer Studie mit Innersubjekt-Design nahmen zunächst 36 gesunde Teilnehmer und anschließend 14 Patienten mit MS oder Schlaganfall an drei experimentellen Bedingungen (VR über HMD, VR über Monitor, Laufbandtraining ohne VR) teil.

Sowohl in der Studie mit gesunden Teilnehmern als auch in der Patientenstudie zeigte sich in der HMD-Bedingung eine höhere Laufgeschwindigkeit als beim Laufbandtraining ohne VR und in der Monitor-Bedingung. Die gesunden Studienteilnehmer berichteten über eine höhere Motivation nach der HMD-Bedingung als nach den anderen Bedingungen. Es traten in beiden Gruppen keine Nebenwirkungen im Sinne einer Simulator Sickness auf und es wurden auch keine Erhöhungen der Herzfrequenzen nach den VR-Bedingungen detektiert. Die Bewertungen des Präsenzerlebens waren in beiden Gruppen in der HMD-Bedingung höher als in der Monitor-Bedingung. Beide VR-Bedingungen erhielten hohe Bewertungen für die Benutzerfreundlichkeit. Die meisten der gesunden Teilnehmer (89 %) und Patienten (71 %) präferierten das HMD-basierte Laufbandtraining unter den drei Trainingsformen und die meisten Patienten könnten sich vorstellen, es häufiger zu nutzen.

Mit der vorliegenden Studie wurde eine strukturierte Evaluation der Anwendbarkeit eines immersiven VR-Systems für die Gangrehabilitation geprüft und dieses erstmals in den direkten Vergleich zu einem semi-immersiven System und einem konventionellen Training ohne VR gesetzt. Die Studie bestätigte die Praktikabilität der Kombination eines Laufbandtrainings mit immersiver VR. Aufgrund ihrer hohen Benutzerfreundlichkeit und der geringen Nebenwirkungen scheint diese Trainingsform besonders für Patienten geeignet zu sein, um deren Trainingsmotivation und Trainingserfolge, wie z. B. die Laufgeschwindigkeit, zu steigern. Da immersive VR-Systeme allerdings nach wie vor spezifische technische Installationsprozeduren erfordern, sollte für die spezifische klinische Anwendung eine Kosten-Nutzen-Bewertung erfolgen.

7 Literaturverzeichnis

- Alaker, M., Wynn, G. R., & Arulampalam, T. (2016). Virtual reality training in laparoscopic surgery: A systematic review & meta-analysis. *International Journal of Surgery*, 29, 85–94.
- Alfalah, S. F., Falah, J. F., Alfalah, T., Elfalah, M., Muhaidat, N., & Falah, O. (2019). A comparative study between a virtual reality heart anatomy system and traditional medical teaching modalities. *Virtual Reality*, 23(3), 229–234.
- Andersson, Å. G., Kamwendo, K., & Appelros, P. (2008). Fear of falling in stroke patients: Relationship with previous falls and functional characteristics. *International Journal of Rehabilitation Research*, 31(3). https://journals.lww.com/intjrehabilres/Fulltext/2008/09000/Fear_of_falling_in_stroke_patients__relationship.11.aspx
- Armutlu, K., Karabudak, R., & Nurlu, G. (2001). Physiotherapy approaches in the treatment of ataxic multiple sclerosis: A pilot study. *NEUROREHABILITATION AND NEURAL REPAIR*, 15(3), 203–211. <https://doi.org/10.1177/154596830101500308>
- Balk, S. A., Bertola, M. A., & Inman, V. W. (2013). *Simulator sickness questionnaire: Twenty years later*.
- Bangor, A., Kortum, P. T., & Miller, J. T. (2008). An empirical evaluation of the system usability scale. *Intl. Journal of Human–Computer Interaction*, 24(6), 574–594.
- Barnes, D., & McDonald, W. (1992). The ocular manifestations of multiple sclerosis. 2. Abnormalities of eye movements. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 55(10), 863.
- Beck, A. T., Steer, R. A., & Brown, G. K. (1996). Beck depression inventory II. *The Psychological Corporation, San Antonio, TX*.
- Béjot, Y., Bailly, H., Durier, J., & Giroud, M. (2016). Epidemiology of stroke in Europe and trends for the 21st century. *QMR Stroke*, 45(12, Part 2), e391–e398. <https://doi.org/10.1016/j.lpm.2016.10.003>
- Benedetti, M., Piperno, R., Simoncini, L., Bonato, P., Tonini, A., & Giannini, S. (1999). Gait abnormalities in minimally impaired multiple sclerosis patients. *Multiple Sclerosis Journal*, 5(5), 363–368.

- Benjamin, E. J., Muntner, P., & Bittencourt, M. S. (2019). Heart disease and stroke statistics-2019 update: A report from the American Heart Association. *Circulation, 139*(10), e56–e528.
- Biernacki, M. P., Kennedy, R. S., & Dziuda, L. (2016). SIMULATOR SICKNESS AND ITS MEASUREMENT WITH SIMULATOR SICKNESS QUESTIONNAIRE (SSQ). *MEDYCYNA PRACY, 67*(4), 545–555. <https://doi.org/10.13075/mp.5893.00512>
- Biocca, F. (1992). Will simulation sickness slow down the diffusion of virtual environment technology? *Presence: Teleoperators & Virtual Environments, 1*(3), 334–343.
- Biocca, F., & Delaney, B. (1995). Immersive virtual reality technology. *Communication in the age of virtual reality, 15*, 32.
- Blin, O., Ferrandez, A.-M., & Serratrice, G. (1990). Quantitative analysis of gait in Parkinson patients: Increased variability of stride length. *Journal of the neurological sciences, 98*(1), 91–97.
- Boerio, D., Lefaucheur, J., Hogrel, J., & Creange, A. (2006). Pathophysiology and treatment of fatigue in multiple sclerosis. *REVUE NEUROLOGIQUE, 162*(3), 311–320. [https://doi.org/10.1016/S0035-3787\(06\)75017-2](https://doi.org/10.1016/S0035-3787(06)75017-2)
- Boff, K. R., & Lincoln, J. E. (1988). *Engineering data compendium: Human perception and performance* (Bd. 2). Harry G. Armstrong Aerospace Medical Research Laboratory.
- Bohil, C. J., Alicea, B., & Biocca, F. A. (2011). Virtual reality in neuroscience research and therapy. *Nature reviews neuroscience, 12*(12), 752–762.
- Bolanos, I., Lozano, D., & Cantu, C. (2004). Internuclear ophthalmoplegia: Causes and long-term follow-up in 65 patients. *Acta neurologica scandinavica, 110*(3), 161–165.
- Borg, G. (2001). Borg's range model and scales. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SPORT PSYCHOLOGY, 32*(2), 110–126.
- Borg, G. (2004). Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. *Deutsches Ärzteblatt, 101*(15), 1016–1021.
- Brooke, J. (1996). SUS: a „quick and dirty“ usability scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, & I. L. McClelland, *Usability evaluation in industry*. Taylor

and Francis.
https://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=IfUsRmzAqvEC&oi=fnd&pg=PA189&dq=a+quick+and+dirty+usability+scale+brooke+&ots=GaktE9qq4m&sig=157rx9JMy_od7JUuszqcqVuiZHfE#v=onepage&q=a%20quick%20and%20dirty%20usability%20scale%20brooke&f=false

- Burschka, J. M., Keune, P. M., Oy, U. H., Oschmann, P., & Kuhn, P. (2014). Mindfulness-based interventions in multiple sclerosis: Beneficial effects of Tai Chi on balance, coordination, fatigue and depression. *BMC Neurology*, *14*(1), 165. <https://doi.org/10.1186/s12883-014-0165-4>
- C. Yildirim, M. Carroll, D. Hufnal, T. Johnson, & S. Pericles. (2018). Video Game User Experience: To VR, or Not to VR? *2018 IEEE Games, Entertainment, Media Conference (GEM)*, 1–9. <https://doi.org/10.1109/GEM.2018.8516542>
- Calabro, R. S., Russo, M., Naro, A., De Luca, R., Leo, A., Tomasello, P., Molonia, F., Dattola, V., Bramanti, A., & Bramanti, P. (2017). Robotic gait training in multiple sclerosis rehabilitation: Can virtual reality make the difference? Findings from a randomized controlled trial. *JOURNAL OF THE NEUROLOGICAL SCIENCES*, *377*, 25–30. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2017.03.047>
- Camicioli, R., Howieson, D., Lehman, S., & Kaye, J. (1997). Talking while walking. *Neurology*, *48*(4), 955. <https://doi.org/10.1212/WNL.48.4.955>
- Canning, C. G., Ada, L., & Woodhouse, E. (2008). Multiple-task walking training in people with mild to moderate Parkinson's disease: A pilot study. *Clinical rehabilitation*, *22*(3), 226–233.
- Chaudhuri, A., & Behan, P. O. (2004a). Fatigue in neurological disorders. *The lancet*, *363*(9413), 978–988.
- Chaudhuri, A., & Behan, P. O. (2004b). Fatigue in neurological disorders. *The lancet*, *363*(9413), 978–988.
- Chen, M. J., Fan, X., & Moe, S. T. (2002). Criterion-related validity of the Borg ratings of perceived exertion scale in healthy individuals: A meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, *20*(11), 873–899. <https://doi.org/10.1080/026404102320761787>
- Cherniack, E. P. (2011). Not just fun and games: Applications of virtual reality in the identification and rehabilitation of cognitive disorders of the elderly. *Disability and rehabilitation: Assistive technology*, *6*(4), 283–289.

- Chiaravalloti, N. D., & DeLuca, J. (2008a). Cognitive impairment in multiple sclerosis. *The Lancet Neurology*, 7(12), 1139–1151.
- Chiaravalloti, N. D., & DeLuca, J. (2008b). Cognitive impairment in multiple sclerosis. *The Lancet Neurology*, 7(12), 1139–1151.
- Cleland, B. T., Ingraham, B. A., Pitluck, M. C., Woo, D., & Ng, A. V. (2016). Reliability and Validity of Ratings of Perceived Exertion in Persons With Multiple Sclerosis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 97(6), 974–982. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.01.013>
- Confavreux, C., Vukusic, S., & Adeleine, P. (2003). Early clinical predictors and progression of irreversible disability in multiple sclerosis: An amnesic process. *Brain*, 126(4), 770–782.
- Cosman, F., Nieves, J., Komar, L., Ferrer, G., Herbert, J., Formica, C., Shen, V., & Lindsay, R. (1998). Fracture history and bone loss in patients with MS. *Neurology*, 51(4), 1161. <https://doi.org/10.1212/WNL.51.4.1161>
- Cumming, T. B., Marshall, R. S., & Lazar, R. M. (2013). Stroke, cognitive deficits, and rehabilitation: Still an incomplete picture. *International Journal of stroke*, 8(1), 38–45.
- Cummings, J. J., & Bailenson, J. N. (2016). How immersive is enough? A meta-analysis of the effect of immersive technology on user presence. *Media Psychology*, 19(2), 272–309.
- Czerwinski, M., Tan, D. S., & Robertson, G. G. (2002). *Women take a wider view*. 195–202.
- Dalgas, U., Stenager, E., & Ingemann-Hansen, T. (2008). Multiple sclerosis and physical exercise: Recommendations for the application of resistance-, endurance-and combined training. *Multiple Sclerosis Journal*, 14(1), 35–53.
- De Charms, R. (2013). *Personal causation: The internal affective determinants of behavior*. Routledge.
- de Rooij, I., van de Port, I., & Meijer, J. (2017). Feasibility and effectiveness of virtual reality training on balance and gait recovery early after stroke: A pilot study. *Int J Phys Med Rehabil*, 5(417), 2.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). *From game design elements to gamefulness: Defining "gamification"*. 9–15.

- Dettmers, C., Sulzmann, M., Ruchay-Plössl, A., Gütler, R., & Vieten, M. (2009). Endurance exercise improves walking distance in MS patients with fatigue. *Acta Neurologica Scandinavica*, *120*(4), 251–257.
- Deutsche Gesellschaft für Neurologie. (2014). *Diagnose und Therapie der Multiplen Sklerose*. http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/030-050l_S2e_Multiple_Sklerose_Diagnostik_Therapie_2014-08_abgelaufen.pdf
- Downey, D. L., Stahl, J. S., Asiri, R., Derwenskus, J., Adams, N. L., & Ruff, R. L. (2002). Saccadic and vestibular abnormalities in multiple sclerosis. *Ann NY Acad Sci*, *956*, 438–440.
- Dozois, D. J., Dobson, K. S., & Ahnberg, J. L. (1998). A psychometric evaluation of the Beck Depression Inventory–II. *Psychological assessment*, *10*(2), 83.
- Drexler, W., Baumgartner, A., Findl, O., Hitzenberger, C. K., & Fercher, A. F. (1997). Biometric investigation of changes in the anterior eye segment during accommodation. *Vision Research*, *37*(19), 2789–2800.
- Dubois, B., & Pillon, B. (1996). Cognitive deficits in Parkinson's disease. *Journal of neurology*, *244*(1), 2–8.
- Duncan, P. W., Sullivan, K. J., Behrman, A. L., Azen, S. P., Wu, S. S., Nadeau, S. E., Dobkin, B. H., Rose, D. K., Tilson, J. K., Cen, S., & Hayden, S. K. (2011). Body-Weight-Supported Treadmill Rehabilitation after Stroke. *New England Journal of Medicine*, *364*(21), 2026–2036.
- Dunn, J. (2010). Impact of mobility impairment on the burden of caregiving in individuals with multiple sclerosis. *Expert review of pharmacoeconomics & outcomes research*, *10*(4), 433–440.
- Emmelkamp, P. M., Krijn, M., Hulsbosch, A., De Vries, S., Schuemie, M. J., & van der Mast, C. A. (2002). Virtual reality treatment versus exposure in vivo: A comparative evaluation in acrophobia. *Behaviour research and therapy*, *40*(5), 509–516.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, *39*(2), 175–191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>

- Feinstein, A., Magalhaes, S., Richard, J.-F., Audet, B., & Moore, C. (2014). The link between multiple sclerosis and depression. *Nature Reviews Neurology*, *10*(9), 507.
- Finlayson, M., & Van Denend, T. (2003). Experiencing the loss of mobility: Perspectives of older adults with MS. *Disability and rehabilitation*, *25*(20), 1168–1180.
- Foerch, C., Misselwitz, B., Sitzler, M., Steinmetz, H., & Neumann-Haefelin, T. (2008). Die Schlaganfallzahlen bis zum Jahr 2050. *Dtsch Arztebl International*, *105*(26), 467–473. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2008.0467>
- Forster, A., & Young, J. (1995). Incidence and consequences of falls due to stroke: A systematic inquiry. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, *311*(6997), 83–86. PubMed. <https://doi.org/10.1136/bmj.311.6997.83>
- Fritz, S., & Lusardi, M. (2009). White paper: “walking speed: The sixth vital sign”. *Journal of geriatric physical therapy*, *32*(2), 2–5.
- Ghai, S., Ghai, I., & Lamontagne, A. (2020). Virtual reality training enhances gait poststroke: A systematic review and meta-analysis. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1478*(1), 18–42. <https://doi.org/10.1111/nyas.14420>
- Godi, M., Giardini, M., Arcolin, I., & Corna, S. (2020). The dark side of the treadmill walking test. *Physiotherapy*, *109*, 121–122.
- Guclu-Gunduz, A., Citaker, S., Irkec, C., Nazliel, B., & Batur-Caglayan, H. Z. (2014). The effects of pilates on balance, mobility and strength in patients with multiple sclerosis. *NeuroRehabilitation*, *34*(2), 337–342.
- Hamzeheinejad, N., Straka, S., Gall, D., Weilbach, F., & Latoschik, M. E. (2018). *Immersive robot-assisted virtual reality therapy for neurologically-caused gait impairments*. 565–566.
- Harris-Love, M. L., Forrester, L. W., Macko, R. F., Silver, K. H., & Smith, G. V. (2001). Hemiparetic gait parameters in overground versus treadmill walking. *Neurorehabilitation and neural repair*, *15*(2), 105–112.
- Hart, S. G. (2006). Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *50*(9), 904–908. <https://doi.org/10.1177/154193120605000909>

- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In *Advances in psychology* (Bd. 52, S. 139–183). Elsevier.
- Hartmann, E., Lachenmayr, B., & Brettel, H. (1979). The peripheral critical flicker frequency. *Vision Research*, *19*(9), 1019–1023.
- Harwood, K., & Foley, P. (1987). Temporal resolution: An insight into the video display terminal (VDT)“problem”. *Human Factors*, *29*(4), 447–452.
- Hautzinger, M., Keller, F., & Kühner, C. (2006). BDI-II. Beck Depressions Inventar Revision – Manual. *Harcourt Test Services Frankfurt*.
- Heilbrun, A., & Stacks, B. (1989). Virtual Reality: An Interview with Jaron Lanier. *Whole Earth Review*, *48*, 108–119.
- Hein, T., & Hopfenmüller, W. (2000). Hochrechnung der zahl an multiple sklerose erkrankten patienten in Deutschland. *Der Nervenarzt*, *71*(4), 288–294.
- Herman, L., Foster, C., Maher, M., Mikat, R., & Porcari, J. (2006). Validity and reliability of the session RPE method for monitoring exercise training intensity. *South African Journal of Sports Medicine*, *18*(1), 14–17.
- Hesse, S., & Werner, C. (2003). Poststroke motor dysfunction and spasticity. *CNS drugs*, *17*(15), 1093–1107.
- Hoffman, H. G., Doctor, J. N., Patterson, D. R., Carrougher, G. J., & Furness III, T. A. (2000). Virtual reality as an adjunctive pain control during burn wound care in adolescent patients. *Pain*, *85*(1–2), 305–309.
- Holden, M. K. (2005). Virtual environments for motor rehabilitation. *Cyberpsychology & behavior*, *8*(3), 187–211.
- Holden, M. K., Gill, K. M., Nathan, J., Piehl-Baker, L., & Magliozzi, M. R. (1984). Clinical Gait Assessment in the Neurologically Impaired: Reliability and Meaningfulness. *Physical Therapy*, *64*(1), 35–40. <https://doi.org/10.1093/ptj/64.1.35>
- Jamali, A., Sadeghi-Demneh, E., Fereshtenajad, N., & Hillier, S. (2017). Somatosensory impairment and its association with balance limitation in people with multiple sclerosis. *Gait & posture*, *57*, 224–229.
- Janeh, O., Fründt, O., Schönwald, B., Gulberti, A., Buhmann, C., Gerloff, C., Steinicke, F., & Pötter-Nerger, M. (2019). Gait Training in Virtual Reality: Short-Term

- Effects of Different Virtual Manipulation Techniques in Parkinson's Disease. *Cells*, 8(5), 419.
- Jasse, L., Vukusic, S., Durand-Dubief, F., Vartin, C., Piras, C., Bernard, M., Péliesson, D., Confavreux, C., Vighetto, A., & Tilikete, C. (2013a). Persistent visual impairment in multiple sclerosis: Prevalence, mechanisms and resulting disability. *Multiple Sclerosis Journal*, 19(12), 1618–1626.
- Jasse, L., Vukusic, S., Durand-Dubief, F., Vartin, C., Piras, C., Bernard, M., Péliesson, D., Confavreux, C., Vighetto, A., & Tilikete, C. (2013b). Persistent visual impairment in multiple sclerosis: Prevalence, mechanisms and resulting disability. *Multiple Sclerosis Journal*, 19(12), 1618–1626.
- Johns, C., Nunez, D., Daya, M., Sellars, D., Casanueva, J., & Blake, E. (2000). The interaction between individuals' immersive tendencies and the sensation of presence in a virtual environment. In *Virtual Environments 2000* (S. 65–74). Springer.
- Jordan, P. W. (1998). *An introduction to usability*. CRC Press.
- Jung, J., Yu, J., & Kang, H. (2012). Effects of Virtual Reality Treadmill Training on Balance and Balance Self-efficacy in Stroke Patients with a History of Falling. *Journal of Physical Therapy Science*, 24(11), 1133–1136. <https://doi.org/10.1589/jpts.24.1133>
- Kang, H.-K., Kim, Y., Chung, Y., & Hwang, S. (2012). Effects of treadmill training with optic flow on balance and gait in individuals following stroke: Randomized controlled trials. *Clinical Rehabilitation*, 26(3), 246–255. <https://doi.org/10.1177/0269215511419383>
- Keltner, J. L., Johnson, C. A., Cello, K. E., Dontchev, M., Gal, R. L., & Beck, R. W. (2010). Visual field profile of optic neuritis: A final follow-up report from the optic neuritis treatment trial from baseline through 15 years. *Archives of Ophthalmology*, 128(3), 330–337.
- Keltner, J. L., Johnson, C. A., Spurr, J. O., & Beck, R. W. (1994). Visual field profile of optic neuritis: One-year follow-up in the Optic Neuritis Treatment Trial. *Archives of Ophthalmology*, 112(7), 946–953.

- Kennedy, R., Berbaum, K., Lilienthal, M., Dunlap, W., & Mulligan, B. (1987). *Guidelines for alleviation of simulator sickness symptomatology*. NAVAL TRAINING SYSTEMS CENTER ORLANDO FL.
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The international journal of aviation psychology*, 3(3), 203–220.
- Kern, F., Gall, D., Winter, C., Käthner, I., Pauli, P., & Latoschik, M. E. (2018). *Usability Test (Preliminary Report)*.
- Kern, F., Winter, C., Gall, D., Käthner, I., Pauli, P., & Latoschik, M. E. (2019). Immersive Virtual Reality and Gamification Within Procedurally Generated Environments to Increase Motivation During Gait Rehabilitation. *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 500–509.
- Kim, A., Darakjian, N., & Finley, J. M. (2017). Walking in fully immersive virtual environments: An evaluation of potential adverse effects in older adults and individuals with Parkinson's disease. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 14(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0225-2>
- Kim, G., & Biocca, F. (2018). Immersion in virtual reality can increase exercise motivation and physical performance. *International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality*, 94–102.
- Kobelt, G., Berg, J., Lindgren, P., Elias, W., Flachenecker, P., Freidel, M., König, N., Limmroth, V., & Straube, E. (2006). Costs and quality of life of multiple sclerosis in Germany. *The European journal of health economics*, 7(2), 34–44.
- Kober, S. E., & Neuper, C. (2013). Personality and presence in virtual reality: Does their relationship depend on the used presence measure? *International Journal of Human-Computer Interaction*, 29(1), 13–25.
- Koch-Henriksen, N., & Sørensen, P. S. (2010). The changing demographic pattern of multiple sclerosis epidemiology. *The Lancet Neurology*, 9(5), 520–532.
- Kolominsky-Rabas, P. L., Sarti, C., Heuschmann, P. U., Graf, C., Siemonsen, S., Neundoerfer, B., Katalinic, A., Lang, E., Gassmann, K.-G., & von Stockert, T. R. (1998). A prospective community-based study of stroke in Germany—The Erlangen Stroke Project (ESPRO) incidence and case fatality at 1, 3, and 12 months. *Stroke*, 29(12), 2501–2506.

- Kortum, P. T., & Bangor, A. (2013). Usability ratings for everyday products measured with the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 29(2), 67–76.
- Krijn, M., Emmelkamp, P. M. G., & Olafsson, R. P. (2004). Virtual reality exposure therapy of anxiety disorders: A review. *Clinical Psychology Review*, 24, 259–281.
- Kriz, D., Herwig, J., Wirtz, M., Töns, N., Hafen, K., Nübling, R., & Bengel, J. (2006). Entwicklung und Validierung des PAREMO-20. *Huber, Bern: Reha-Motivation und Behandlungserwartung*, 161, 77.
- Krupp, L. B., Alvarez, L. A., LaRocca, N. G., & Scheinberg, L. C. (1988). Fatigue in multiple sclerosis. *Archives of neurology*, 45(4), 435–437.
- KURTZKE, J. (1983). RATING NEUROLOGIC IMPAIRMENT IN MULTIPLE-SCLEROSIS - AN EXPANDED DISABILITY STATUS SCALE (EDSS). *NEUROLOGY*, 33(11), 1444–1452. <https://doi.org/10.1212/WNL.33.11.1444>
- Lamb, S., Ferrucci, L., Volapto, S., Fried, L., & Guralnik, J. (2003). Risk factors for falling in home-dwelling older women with stroke. *Stroke*, 34(2), 494–501.
- Lambert, A.-M., Sinitski, E. H., & Bridgewater, C. (2017). *Virtual reality treatment for complicated mild traumatic brain injury: A case study*. 1–2.
- Langhorne, P., Coupar, F., & Pollock, A. (2009). Motor recovery after stroke: A systematic review. *The Lancet Neurology*, 8(8), 741–754.
- Lanier, J., & Biocca, F. (1992). An insider's view of the future of virtual reality. *Journal of communication*, 42(4), 150–172.
- Latimer-Cheung, A. E., Pilutti, L. A., Hicks, A. L., Ginis, K. A. M., Fenuta, A. M., MacKibbin, K. A., & Motl, R. W. (2013). Effects of exercise training on fitness, mobility, fatigue, and health-related quality of life among adults with multiple sclerosis: A systematic review to inform guideline development. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 94(9), 1800–1828.
- LaViola Jr., J. J. (2000). *A discussion of cybersickness in virtual environments* (32(1), 47-56). ACM SIGCHI Bulletin. <http://graphics.cs.brown.edu/~jjl/pubs/cybersick.pdf>
- Lewis, C. H., & Griffin, M. J. (1997). Human factors consideration in clinical applications of virtual reality. *Studies in health technology and informatics*, 35–58.

- Lewis, J. R. (2018). The System Usability Scale: Past, Present, and Future. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 34(7), 577–590. <https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1455307>
- Lim, S., & Reeves, B. (2010). Computer agents versus avatars: Responses to interactive game characters controlled by a computer or other player. *International Journal of Human-Computer Studies*, 68(1–2), 57–68.
- Lindner, S., Latoschik, M., & Rittner, H. (2020). Use of Virtual Reality as a Component of Acute and Chronic Pain Treatment. *Anesthesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie : AINS*, 55, 549–561. <https://doi.org/10.1055/a-1022-3038>
- Lundin-Olsson, L., Nyberg, L., & Gustafson, Y. (1997). Stops walking when talking as a predictor of falls in elderly people. *Lancet*, 349(9052), 617.
- Manning, C., & Pomeroy, V. (2003). Effectiveness of treadmill retraining on gait of hemiparetic stroke patients: Systematic review of current evidence. *Physiotherapy*, 89(6), 337–349.
- Markland, D., & Hardy, L. (1997). On the Factorial and Construct Validity of the Intrinsic Motivation Inventory: Conceptual and Operational Concerns. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 68(1), 20–32. <https://doi.org/10.1080/02701367.1997.10608863>
- Martin, C. L., Phillips, B. A., Kilpatrick, T., Butzkueven, H., Tubridy, N., McDonald, E., & Galea, M. (2006). Gait and balance impairment in early multiple sclerosis in the absence of clinical disability. *Multiple Sclerosis Journal*, 12(5), 620–628.
- Massetti, T., da Silva, T. D., Crocetta, T. B., Guarnieri, R., de Freitas, B. L., Bianchi Lopes, P., Watson, S., Tonks, J., & de Mello Monteiro, C. B. (2018). The Clinical Utility of Virtual Reality in Neurorehabilitation: A Systematic Review. *Journal of Central Nervous System Disease*, 10, 1179573518813541. <https://doi.org/10.1177/1179573518813541>
- Massetti, T., Trevizan, I. L., Arab, C., Favero, F. M., Ribeiro-Papa, D. C., & de Mello Monteiro, C. B. (2016). Virtual reality in multiple sclerosis—A systematic review. *MULTIPLE SCLEROSIS AND RELATED DISORDERS*, 8, 107–112. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2016.05.014>

- McAuley, E., Duncan, T., & Tammen, V. V. (1989). Psychometric properties of the Intrinsic Motivation Inventory in a competitive sport setting: A confirmatory factor analysis. *Research quarterly for exercise and sport*, *60*(1), 48–58.
- McAuley, E., & Tammen, V. V. (1989). The effects of subjective and objective competitive outcomes on intrinsic motivation. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *11*(1), 84–93.
- McAuley, E., Wraith, S., & Duncan, T. E. (1991). Self-Efficacy, Perceptions of Success, and Intrinsic Motivation for Exercise 1. *Journal of applied social psychology*, *21*(2), 139–155.
- Mekbib, D. B., Han, J., Zhang, L., Fang, S., Jiang, H., Zhu, J., Roe, A. W., & Xu, D. (2020). Virtual reality therapy for upper limb rehabilitation in patients with stroke: A meta-analysis of randomized clinical trials. *Brain Injury*, *34*(4), 456–465.
- Merians, A. S., Jack, D., Boian, R., Tremaine, M., Burdea, G. C., Adamovich, S. V., Recce, M., & Poizner, H. (2002). Virtual reality–augmented rehabilitation for patients following stroke. *Physical therapy*, *82*(9), 898–915.
- Meyer, C., Killeen, T., Easthope, C. S., Curt, A., Bolliger, M., Linnebank, M., Zörner, B., & Filli, L. (2019). Familiarization with treadmill walking: How much is enough? *Scientific reports*, *9*(1), 1–10.
- Michael, K. M., Allen, J. K., & Macko, R. F. (2005). Reduced ambulatory activity after stroke: The role of balance, gait, and cardiovascular fitness. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, *86*(8), 1552–1556.
- Mirelman, A., Maidan, I., Herman, T., Deutsch, J. E., Giladi, N., & Hausdorff, J. M. (2011). Virtual reality for gait training: Can it induce motor learning to enhance complex walking and reduce fall risk in patients with Parkinson’s disease? *The Journals of Gerontology: Series A*, *66*(2), 234–240.
- Mok, V., Wong, A., Lam, W., Fan, Y., Tang, W., Kwok, T., Hui, A., & Wong, K. (2004). Cognitive impairment and functional outcome after stroke associated with small vessel disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *75*(4), 560–566.
- Morris, L. D., Louw, Q. A., & Grimmer-Somers, K. (2009). The Effectiveness of Virtual Reality on Reducing Pain and Anxiety in Burn Injury Patients: A Systematic Review. *The Clinical Journal of Pain*, *25*(9).

- https://journals.lww.com/clinicalpain/Fulltext/2009/11000/The_Effectiveness_of_Virtual_Reality_on_Reducing.12.aspx
- Morris, M. E., Huxham, F., McGinley, J., Dodd, K., & Iansek, R. (2001). The biomechanics and motor control of gait in Parkinson disease. *Clinical biomechanics*, *16*(6), 459–470.
- Moseley, A. M., Stark, A., Cameron, I. D., & Pollock, A. (2005). Treadmill training and body weight support for walking after stroke. *Cochrane database of systematic reviews*, *4*.
- Mühlberger, A., Bühlhoff, H. H., Wiedemann, G., & Pauli, P. (2007). Virtual reality for the psychophysiological assessment of phobic fear: Responses during virtual tunnel driving. *Psychological assessment*, *19*(3), 340.
- Mühlberger, A., & Pauli, P. (2011). Virtuelle Realität in der Psychotherapie. *PiD - Psychotherapie im Dialog*, *12*(02), 143–147. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1276816>
- Muhlberger, A., Wiedemann, G., & Pauli, P. (2003). Efficacy of a one-session virtual reality exposure treatment for fear of flying. *Psychotherapy Research*, *13*(3), 323–336.
- Müri, R. M., & Meienberg, O. (1985). The clinical spectrum of internuclear ophthalmoplegia in multiple sclerosis. *Archives of neurology*, *42*(9), 851–855.
- Murray, C. J. L., Vos, T., Lozano, R., Naghavi, M., Flaxman, A. D., Michaud, C., Ezzati, M., Shibuya, K., Salomon, J. A., Abdalla, S., Aboyans, V., Abraham, J., Ackerman, I., Aggarwal, R., Ahn, S. Y., Ali, M. K., AlMazroa, M. A., Alvarado, M., Anderson, H. R., ... Lopez, A. D. (2012). Disability-adjusted life years (DALYs) for 291 diseases and injuries in 21 regions, 1990–2010: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The Lancet*, *380*(9859), 2197–2223. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61689-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61689-4)
- Myhr, K. M., Riise, T., Vedeler, C., Nortvedt, M. W., Grønning, M., Midgard, R., & Nyland, H. I. (2001). Disability and prognosis in multiple sclerosis: Demographic and clinical variables important for the ability to walk and awarding of disability pension. *Multiple Sclerosis Journal*, *7*(1), 59–65. <https://doi.org/10.1177/135245850100700110>

- Nichols, S. (1999). Physical ergonomics of virtual environment use. *Applied Ergonomics*, 30(1), 79–90. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(98\)00045-3](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(98)00045-3)
- Nübling, R., Kriz, D., Herwig, J., Wirtz, M., Fuchs, S., Hafen, K., Töns, N., & Bengel, J. (2005). Patientenfragebogen zur Erfassung der Reha-Motivation (PAREMO-20). *Freiburg/Bad Säckingen: Rehabilitationswissenschaftlicher Forschungsverbund (RFV)*.
- Nyberg, L., & Gustafson, Y. (1995). Patient falls in stroke rehabilitation: A challenge to rehabilitation strategies. *Stroke*, 26(5), 838–842.
- Nys, G., Van Zandvoort, M., De Kort, P., Jansen, B., De Haan, E., & Kappelle, L. (2007). Cognitive disorders in acute stroke: Prevalence and clinical determinants. *Cerebrovascular Diseases*, 23(5–6), 408–416.
- Oken, B. S., Kishiyama, S., Zajdel, D., Bourdette, D., Carlsen, J., Haas, M., Hugos, C., Kraemer, D. F., Lawrence, J., & Mass, M. (2004). Randomized controlled trial of yoga and exercise in multiple sclerosis. *Neurology*, 62(11), 2058. <https://doi.org/10.1212/01.WNL.0000129534.88602.5C>
- Olesen, J., Gustavsson, A., Svensson, M., Wittchen, H., Jönsson, B., CDBE2010 Study Group, & European Brain Council. (2012). The economic cost of brain disorders in Europe. *European journal of neurology*, 19(1), 155–162.
- Palm, F., Urbanek, C., Rose, S., Buggle, F., Bode, B., Hennerici, M. G., Schmieder, K., Inselmann, G., Reiter, R., & Fleischer, R. (2010). Stroke incidence and survival in Ludwigshafen am Rhein, Germany: The Ludwigshafen stroke study (LuSSt). *Stroke*, 41(9), 1865–1870.
- Pausch, R., Crea, T., & Conway, M. (1992). A literature survey for virtual environments: Military flight simulator visual systems and simulator sickness. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 1(3), 344–363.
- Peruzzi, A., Cereatti, A., Croce, U. D., & Mirelman, A. (2016). Effects of a virtual reality and treadmill training on gait of subjects with multiple sclerosis: A pilot study. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 5, 91–96. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2015.11.002>
- Peruzzi, A., Cereatti, A., Mirelman, A., & Della Croce, U. (2013). Feasibility and acceptance of a virtual reality system for gait training of individuals with multiple

- sclerosis. *European International Journal of Science and Technology*, 2(6), 171–181.
- Petersen, G., Wittmann, R., Arndt, V., & Göppfarth, D. (2014). Epidemiologie der Multiplen Sklerose in Deutschland. *Der Nervenarzt*, 85(8), 990–998. <https://doi.org/10.1007/s00115-014-4097-4>
- Pugnetti, L., Mendozzi, L., Barbieri, E., Alpini, D., Attree, E. A., Brooks, B. M., Rose, F. D., & Motta, A. (1999). Developments of Collaborative Research on VR Applications for Mental Health. Focus on Cybersickness and Memory Testing. *International Journal of Virtual Reality*, 4(1), 39–46. <https://doi.org/10.20870/IJVR.1999.4.1.2640>
- Rao, S. M., Leo, G. J., Bernardin, L., & Unverzagt, F. (1991). Cognitive dysfunction in multiple sclerosis. *Neurology*, 41(5), 685. <https://doi.org/10.1212/WNL.41.5.685>
- Richter, P., Werner, J., Heerlein, A., Kraus, A., & Sauer, H. (1998). On the validity of the Beck Depression Inventory. *Psychopathology*, 31(3), 160–168.
- Riva, G. (2003). Applications of virtual environments in medicine. *Methods of information in medicine*, 42(05), 524–534.
- Rosamond, W., Flegal, K., Friday, G., Furie, K., Go, A., Greenlund, K., Haase, N., Ho, M., Howard, V., Kissela, B., Kittner, S., Lloyd-Jones, D., McDermott, M., Meigs, J., Moy, C., Nichol, G., O'Donnell, C. J., Roger, V., Rumsfeld, J., ... Hong, Y. (2007). Heart Disease and Stroke Statistics—2007 Update. *Circulation*, 115(5), e69–e171. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.179918>
- Ryan, R. M. (1982). Control and information in the intrapersonal sphere: An extension of cognitive evaluation theory. *Journal of personality and social psychology*, 43(3), 450.
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American psychologist*, 55(1), 68.
- Sacco, R., Santangelo, G., Stamenova, S., Bisecco, A., Bonavita, S., Lavorgna, L., Trojano, L., D'Ambrosio, A., Tedeschi, G., & Gallo, A. (2016). Psychometric properties and validity of Beck Depression Inventory II in multiple sclerosis. *European Journal of Neurology*, 23(4), 744–750. <https://doi.org/10.1111/ene.12932>

- Sailer, M., Hense, J., Mandl, J., & Klevers, M. (2014). Psychological perspectives on motivation through gamification. *Interaction Design and Architecture Journal*, *19*, 28–37.
- Sailer, M., Hense, J. U., Mayr, S. K., & Mandl, H. (2017). How gamification motivates: An experimental study of the effects of specific game design elements on psychological need satisfaction. *Computers in Human Behavior*, *69*, 371–380.
- Sánchez-Lastra, M. A., Martínez-Aldao, D., Molina, A. J., & Ayán, C. (2019). Pilates for people with multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, *28*, 199–212. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2019.01.006>
- Sand, K. M., Midelfart, A., Thomassen, L., Melms, A., Wilhelm, H., & Hoff, J. M. (2013). Visual impairment in stroke patients—a review. *Acta Neurologica Scandinavica*, *127*, 52–56.
- Schubert, T., Friedmann, F., & Regenbrecht, H. (1999). Embodied presence in virtual environments. In *Visual representations and interpretations* (S. 269–278). Springer.
- Schubert, T., Friedmann, F., & Regenbrecht, H. (2001). The Experience of Presence: Factor Analytic Insights. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *10*(3), 266–281. <https://doi.org/10.1162/105474601300343603>
- Schubert, T. W. (2003). The sense of presence in virtual environments: *Zeitschrift für Medienpsychologie*, *15*(2), 69–71. <https://doi.org/10.1026//1617-6383.15.2.69>
- Seiple, W., & Holopigian, K. (1996). Outer-retina locus of increased flicker sensitivity of the peripheral retina. *JOSA A*, *13*(3), 658–666.
- Shepherd, R., & Carr, J. (1999). Treadmill walking in neurorehabilitation. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, *13*(3), 171–173.
- Sherman, W. R., & Craig, A. B. (2002). *Understanding virtual reality: Interface, application, and design*. Elsevier.
- Siebert, R., & Abernethy, D. (2005). Depression in multiple sclerosis: A review. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *76*(4), 469–475.
- Silsupadol, P., Shumway-Cook, A., Lugade, V., van Donkelaar, P., Chou, L.-S., Mayr, U., & Woollacott, M. H. (2009). Effects of single-task versus dual-task training

- on balance performance in older adults: A double-blind, randomized controlled trial. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 90(3), 381–387.
- Silver, K. H., Macko, R. F., Forrester, L. W., Goldberg, A. P., & Smith, G. V. (2000). Effects of aerobic treadmill training on gait velocity, cadence, and gait symmetry in chronic hemiparetic stroke: A preliminary report. *Neurorehabilitation and neural repair*, 14(1), 65–71.
- Skarbez, R., Brooks, J., & Whitton, M. C. (2017). A survey of presence and related concepts. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 50(6), 1–39.
- Slater, M., Linakis, V., Usoh, M., & Kooper, R. (1996). *Immersion, presence and performance in virtual environments: An experiment with tri-dimensional chess*. 163–172.
- Slater, M., Usoh, M., & Steed, A. (1994). Depth of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 3(2), 130–144.
- Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(6), 603–616.
- Snook, E. M., & Motl, R. W. (2009). Effect of exercise training on walking mobility in multiple sclerosis: A meta-analysis. *Neurorehabilitation and neural repair*, 23(2), 108–116.
- Springer, S., Giladi, N., Peretz, C., Yogev, G., Simon, E. S., & Hausdorff, J. M. (2006). Dual-tasking effects on gait variability: The role of aging, falls, and executive function. *Movement disorders: official journal of the Movement Disorder Society*, 21(7), 950–957.
- Srygley, J. M., Mirelman, A., Herman, T., Giladi, N., & Hausdorff, J. M. (2009). When does walking alter thinking? Age and task associated findings. *Brain research*, 1253, 92–99.
- Storch, E. A., Roberti, J. W., & Roth, D. A. (2004). Factor structure, concurrent validity, and internal consistency of the beck depression inventory—Second edition in a sample of college students. *Depression and Anxiety*, 19(3), 187–189. <https://doi.org/10.1002/da.20002>
- Sutherland, I. E. (1968). *A head-mounted three dimensional display*. 757–764.

- Sveistrup, H. (2004). Motor rehabilitation using virtual reality. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 1(1), 10. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-1-10>
- Tatemichi, T. K., Desmond, D. W., Stern, Y., Paik, M., Sano, M., & Bagiella, E. (1994a). Cognitive impairment after stroke: Frequency, patterns, and relationship to functional abilities. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 57(2), 202. <https://doi.org/10.1136/jnnp.57.2.202>
- Tatemichi, T. K., Desmond, D. W., Stern, Y., Paik, M., Sano, M., & Bagiella, E. (1994b). Cognitive impairment after stroke: Frequency, patterns, and relationship to functional abilities. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 57(2), 202. <https://doi.org/10.1136/jnnp.57.2.202>
- The European Stroke Organisation (ESO) Executive Committee and the ESO Writing Committee. (2008). Guidelines for Management of Ischaemic Stroke and Transient Ischaemic Attack 2008. *Cerebrovascular Diseases*, 25(5), 457–507. <https://doi.org/10.1159/000131083>
- Thies, S., Lehmann, C., Kriz, D., Nuebling, R., & Mehnert, A. (2008). Patient Questionnaire for Assessment of Rehabilitation Motivation (PAREMO-20)—Psychometric Evaluation and Validation in a Sample of Cancer Patients with Different Tumour Sites. *REHABILITATION*, 47(5), 308–318. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1076709>
- Tholen, R., Dettmers, C., & Henze, T. (2019). Bewegungstherapie zur Verbesserung der Mobilität von Patienten mit Multipler Sklerose. *Konsensusfassung für die S2e-Leitlinie der DGNR in Zusammenarbeit mit Physio Deutschland–Deutscher Verband für Physiotherapie (ZVK) e. V. Neurologie & Rehabilitation*, 25, 3–40.
- Toates, F. (1972). Accommodation function of the human eye. *Physiological Reviews*, 52(4), 828–863.
- Treleaven, J., Battershill, J., Cole, D., Fadelli, C., Freestone, S., Lang, K., & Sarig-Bahat, H. (2015). Simulator sickness incidence and susceptibility during neck motion-controlled virtual reality tasks. *Virtual Reality*, 19(3), 267–275. <https://doi.org/10.1007/s10055-015-0266-4>
- Triegaardt, J., Han, T. S., Sada, C., Sharma, S., & Sharma, P. (2020). The role of virtual reality on outcomes in rehabilitation of Parkinson’s disease: Meta-analysis and

- systematic review in 1031 participants. *Neurological Sciences*, 41(3), 529–536.
<https://doi.org/10.1007/s10072-019-04144-3>
- Truelsen, T., Piechowski-Józwiak, B., Bonita, R., Mathers, C., Bogousslavsky, J., & Boysen, G. (2006). Stroke incidence and prevalence in Europe: A review of available data. *European journal of neurology*, 13(6), 581–598.
- Tsur, A., & Segal, Z. (2010). Falls in stroke patients: Risk factors and risk management. *IMAJ-Israel Medical Association Journal*, 12(4), 216.
- Tullis, T. S., & Stetson, J. N. (2004). *A comparison of questionnaires for assessing website usability. 1.*
- Tutuarima, J., Van der Meulen, J., De Haan, R., Van Straten, A., & Limburg, M. (1997). Risk factors for falls of hospitalized stroke patients. *Stroke*, 28(2), 297–301.
- Wallach, H. S., Safir, M. P., & Samana, R. (2010). Personality variables and presence. *Virtual Reality*, 14(1), 3–13. <https://doi.org/10.1007/s10055-009-0124-3>
- Webb, C. M., Bass, J. M., Johnson, D. M., Kelley, A. M., Martin, C. R., & Wildzunas, R. M. (2009). Simulator sickness in a helicopter flight training school. *Aviation, space, and environmental medicine*, 80(6), 541–545.
- Witmer, B., & Singer, M. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *PRESENCE-TELEOPERATORS AND VIRTUAL ENVIRONMENTS*, 7(3), 225–240. <https://doi.org/10.1162/105474698565686>
- Woollacott, M., & Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait: A review of an emerging area of research. *Gait & posture*, 16(1), 1–14.
- World Health Organization. (2018). *Global Health Estimates 2016 Summary Tables: Global Deaths By Cause, Age and Sex, 2000-2016.*
https://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/estimates/en/
- Wu, X., & Zhai, G. (2012). Temporal psychovisual modulation: A new paradigm of information display [exploratory dsp]. *IEEE signal processing magazine*, 30(1), 136–141.
- Yang, Y.-R., Tsai, M.-P., Chuang, T.-Y., Sung, W.-H., & Wang, R.-Y. (2008). Virtual reality-based training improves community ambulation in individuals with stroke: A randomized controlled trial. *Gait & Posture*, 28(2), 201–206.
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.11.007>

- Yang, Y.-R., Wang, R.-Y., Chen, Y.-C., & Kao, M.-J. (2007). Dual-task exercise improves walking ability in chronic stroke: A randomized controlled trial. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 88(10), 1236–1240.
- Yogev-Seligmann, G., Hausdorff, J. M., & Giladi, N. (2008). The role of executive function and attention in gait. *Movement disorders: official journal of the Movement Disorder Society*, 23(3), 329–342.
- You, J. H., Shetty, A., Jones, T., Shields, K., Belay, Y., & Brown, D. (2009). Effects of dual-task cognitive-gait intervention on memory and gait dynamics in older adults with a history of falls: A preliminary investigation. *NeuroRehabilitation*, 24(2), 193–198.
- Zou, L., Wang, H., Xiao, Z., Fang, Q., Zhang, M., Li, T., Du, G., & Liu, Y. (2017). Tai chi for health benefits in patients with multiple sclerosis: A systematic review. *PLOS ONE*, 12(2), e0170212. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170212>

Appendix

I Abkürzungsverzeichnis

6MWT	Six-Minute-Walking-Test
ABC	Activities-Specific Balance Confidence
BDI-II	Beck-Depressions-Inventar-II
BWSTT	Body-weight-supported treadmill training
EDQ.....	Equipment and Display Questionnaire
EDSS.....	Expanded-Disability-Status-Scale
FAC.....	Functional Ambulation Categories-Score
HMD	Head-Mounted-Display
IMI	Intrinsic Motivation Inventory
IPQ.....	Igroup Presence Questionnaire
ITQ.....	Immersive Tendencies Questionnaire
KI	Konfidenzintervall
MS.....	Multiple Sklerose
NASA TLX	NASA Task Load Index
NRS	Numerische Ratingskala
PAREMO	Patientenfragebogen zur Erfassung der Reha-Motivation
RAGT.....	Robot-assisted gait training
SSQ	Simulator Sickness Questionnaire
SUS.....	System-Usability-Scale
VR.....	Virtuelle Realität
WAQ.....	Walking Ability Questionnaire

II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Kalibriervorgang.	24
Abbildung 2. Setup des immersiven Laufbandtrainings aus dem Blickwinkel der Versuchsleiterin.	25
Abbildung 3. Sicherheitsvorrichtung in der Patientenstudie.	26
Abbildung 4. VR-Setup in der Patientenstudie.	27
Abbildung 5. Screenshot der virtuellen Umgebung zu Beginn des Durchgangs.	29
Abbildung 6. Veranschaulichung des Belohnungssystems in der virtuellen Umgebung.	30

Abbildung 7. Zieleinlauf der VR-Welt.....	31
Abbildung 8. Befestigungsstruktur der Tracking-Sensoren für die Füße mit Klettverschlusslösung.....	33
Abbildung 9. Versuchsablauf.....	40
Abbildung 10. Durchschnittliche Laufgeschwindigkeit (\pm SD) der Versuchsteilnehmer in den einzelnen Bedingungen.....	46
Abbildung 11. Durchschnittliche Stimmung (\pm SD) der Versuchsteilnehmer nach den einzelnen Laufbandtrainings.....	48
Abbildung 12. Durchschnittliche Motivation (\pm SD) der Versuchsteilnehmer nach den einzelnen Laufbandtrainings.....	49
Abbildung 13. Durchschnittliche Laufgeschwindigkeit (\pm SD) der Patienten in den einzelnen Bedingungen.....	57

III Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Bisherige Studien zu VR-gestütztem Laufbandtraining mit MS-, Schlaganfall oder Parkinsonpatienten.	15
Tabelle 2 Patientencharakteristiken.....	22
Tabelle 3 Fortsetzung Patientencharakteristiken.....	23
Tabelle 4 Durchschnittliche Laufgeschwindigkeit (km/h) der Versuchsteilnehmer dargestellt in Abhängigkeit von der Durchführungsreihenfolge der beiden VR-Bedingungen.....	47
Tabelle 5 Mittelwerte (und Standardabweichungen) der gemessenen Herzfrequenzen vor und nach den einzelnen Bedingungen.....	47
Tabelle 6 Vergleich der angegebenen SSQ-Bewertungen nach der Monitor- und der HMD-Bedingung.....	50
Tabelle 7 Vergleich der IPQ-Subskalen zwischen Monitor- und HMD-Bedingung.....	51
Tabelle 8 Vergleich der IMI-Subskalen zwischen Monitor- und HMD-Bedingung.....	52
Tabelle 9 Mittelwerte (und Standardabweichungen) der NASA-TLX-Subskalen in den einzelnen Bedingungen.....	53
Tabelle 10 Positive Rückmeldungen der Probanden zur Studie gegliedert nach Themenbereich.....	54
Tabelle 11 Kritik der Probanden an der Studie gegliedert nach Themenbereich.....	55

Tabelle 12 Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge der Probanden zur Studie gegliedert nach Themenbereich.....	55
Tabelle 13 Durchschnittliche Laufgeschwindigkeit (km/h) der Patienten dargestellt in Abhängigkeit von der Durchführungsreihenfolge der beiden VR-Bedingungen.....	58
Tabelle 14 Mittelwerte (und Standardabweichungen) der gemessenen Herzfrequenzen vor und nach den einzelnen Bedingungen.....	58
Tabelle 15 Vergleich der Stimmung vor (Prä) mit der Stimmung nach (Post) den einzelnen Laufbandeinheiten.....	59
Tabelle 16 Vergleich der Motivation vor (Prä) mit der Motivation nach (Post) den einzelnen Laufbandeinheiten.....	60
Tabelle 17 Prä-Post-Vergleich der SSQ-Werte in der Monitor- und HMD-Bedingung	61
Tabelle 18 Vergleich der IPQ-Subskalenwerte zwischen Monitor- und HMD-Bedingung	62
Tabelle 19 Vergleich der IMI-Subskalenwerte zwischen Monitor- und HMD-Bedingung	63
Tabelle 20 Mittelwerte (und Standardabweichungen) der NASA-TLX-Subskalen in den einzelnen Bedingungen.....	64
Tabelle 21 Positive Rückmeldungen der Patienten zur Studie gegliedert nach Themenbereich	65
Tabelle 22 Kritik der Patienten an der Studie gegliedert nach Themenbereich	66
Tabelle 23 Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge der Patienten zur Studie gegliedert nach Themenbereich.....	66

IV Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich allen beteiligten Personen bedanken, die mich bei der Vorbereitung, Durchführung und Anfertigung meiner Dissertation unterstützt haben.

Zunächst möchte ich mich bei Herrn Professor Pauli, dem langjährigen Leiter des Instituts für Psychologie I der Universität Würzburg bedanken, der mir überhaupt die Möglichkeit gegeben hat, meine Projektidee unter seiner Leitung auszuarbeiten und durchzuführen. Außerdem gilt mein Dank Herrn Professor Latoschik, dem Leiter des Instituts für Human-Computer Interaction der Universität Würzburg, für die professionelle, konstruktive und sehr angenehme, interdisziplinäre Zusammenarbeit sowie die Bereitstellung des für die Studie benötigten technischen Equipments. Ihm verdanke ich auch die Vermittlung des damaligen Masteranden Florian Kern, dem Software-Entwickler hinter „Homecoming“, der mich sowohl mit seinen Ideen als auch seiner Begeisterung bei der Konstruktion und praktischen Durchführung der Studie zur Seite stand. Aus dieser Zusammenarbeit ist nicht nur seine Masterarbeit entstanden, sondern auch eine wertvolle Freundschaft.

Besonders dankbar bin ich meinem Betreuer Dr. Ivo Käthner, der mich von der Ursprungsidee bis zur Finalisierung der Dissertation unermüdlich mit wichtigen Anregungen, sehr großer Hilfsbereitschaft und viel Geduld begleitet hat – von ihm habe ich unglaublich viel gelernt und ich bin überzeugt, dass ich mir keinen besseren Betreuer hätte wünschen können.

Zum Schluss möchte ich meiner Familie und meinen Freunden für den Zuspruch und das Vertrauen danken, welches sie mir von der Idee dieses Vorhabens bis zu ihrer Umsetzung auf dem Weg meines Studiums entgegengebracht haben.

V Eigene Veröffentlichungen und Kongressteilnahme

- 05/2021 **Winter, C.**, Kern, F., Gall, D., Latoschik, M. E., Pauli, P., Käthner, I. (2021). “Immersive virtual reality during gait rehabilitation increases walking speed and motivation: A usability evaluation with healthy participants and patients with multiple sclerosis and stroke” *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 18, 68 (2021).
<https://doi.org/10.1186/s12984-021-00848-w>
- 10/2019 **Winter, C.**, Kern, F., Käthner, I., Gall, D., Latoschik, M. E., & Pauli, P. (2019). „Laufbandtraining in Virtual Reality – die Rehaform der Zukunft?“ [Konferenzbeitrag]. *Kongress der Deutschen Gesellschaft für Verhaltensmedizin und Verhaltensmodifikation e.V.*, Würzburg.
- 03/2019 Kern, F., **Winter, C.**, Gall, D., Käthner, I., Pauli, P., & Latoschik, M. E. (2019). „Immersive Virtual Reality and Gamification Within Procedurally Generated Environments to Increase Motivation During Gait Rehabilitation.” *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 500–509.
<https://doi.org/10.1109/VR.2019.8797828>

_____ Stunden pro Woche

4. **Sind jemals bei Ihnen während der Benutzung von Computer- oder Videospiele körperliche oder seelische Probleme aufgetreten?**

Ja Nein

Falls ja, welcher Art?

5. **Wie würden Sie Ihre Anfälligkeit für Reisekrankheit (z. B. beim Autofahren), Seekrankheit oder Übelkeit bei Tätigkeiten wie Schaukeln/ Achterbahnfahren beurteilen?**

() 1 () 2 () 3 () 4 () 5 () 6

Sehr stark

Sehr schwach

6. **Leiden Sie unter Beeinträchtigungen im Rahmen der visuellen/akustischen Wahrnehmung?**

(z. B. Hörschädigung, Sehschwäche, etc.)

Ja Nein

Falls ja, welcher Art?

Tragen Sie ein Hörgerät? Ja Nein

Tragen Sie eine Brille/Kontaktlinsen? Ja Nein

7. **Haben Sie in den letzten 12 Stunden Alkohol konsumiert?**

Ja Nein

Falls ja, welche Menge?

8. Haben Sie eine neurologische oder psychische Störung?

Ja Nein

Wenn ja, welche?

9. Nehmen Sie Medikamente mit Wirkung auf das Zentralnervensystem ein?

Ja Nein

Wenn ja, welche Medikamente nehmen Sie ein?

10. Sind bei Ihnen Krankheiten des Herz-Kreislauf-Systems bekannt (z. B. Klappenfehler, Bluthochdruck, Herzinsuffizienz, Herzrhythmusstörungen etc.)?

Ja Nein

Wenn ja, welche?

11. Fühlen Sie sich heute krank oder in einem anderen als Ihrem normalen Fitnesszustand?

Ja Nein

Wenn ja, wie viele Stunden in der Woche?

_____ Stunden pro Woche

- 4. Sind jemals bei Ihnen während der Benutzung von Computer- oder Videospiele körperliche oder seelische Probleme aufgetreten?**

Ja Nein

Falls ja, welcher Art?

- 5. Wie würden Sie Ihre Anfälligkeit für Reisekrankheit (z. B. beim Autofahren), Seekrankheit oder Übelkeit bei Tätigkeiten wie Schaukeln/ Achterbahnfahren beurteilen?**

() 1 () 2 () 3 () 4 () 5 () 6

Sehr stark

Sehr schwach

- 6. Leiden Sie unter Beeinträchtigungen im Rahmen der visuellen/akustischen Wahrnehmung?**

(z. B. Hörschädigung, Sehschwäche, etc.)

Ja Nein

Falls ja, welcher Art?

Tragen Sie ein Hörgerät? Ja Nein

Tragen Sie eine Brille/Kontaktlinsen? Ja Nein

- 7. Haben Sie in den letzten 12 Stunden Alkohol konsumiert?**

Ja Nein

Falls ja, welche Menge?

8. Leiden Sie unter einer psychischen Störung?

Ja Nein

Wenn ja, unter welcher?

9. Haben Sie eine neurologische Erkrankung?

Ja Nein

Wenn ja, welche?

Wann wurde diese Erkrankung bei Ihnen erstmals diagnostiziert?

10. Nehmen Sie Medikamente mit Wirkung auf das Zentralnervensystem ein?

Ja Nein

Wenn ja, welche Medikamente nehmen Sie ein?

11. Wie äußert sich Ihre Gangstörung (Humpeln, Hinken etc.)?

Seit wann haben Sie diese Gangstörung ungefähr?

12. Leiden Sie unter einem chronischen Erschöpfungssyndrom?

Ja Nein

13. Leiden Sie unter chronischem Schwindel?

Ja Nein

14. Sehen Sie häufiger Doppelbilder?

Ja Nein

15. Sind bei Ihnen Krankheiten des Herz-Kreislauf-Systems bekannt

**(z. B. Klappenfehler, Bluthochdruck, Herzinsuffizienz,
Herzrhythmusstörungen etc.)?**

Ja Nein

Wenn ja, welche?

**16. Fühlen Sie sich heute krank oder in einem anderen als Ihrem
normalen Fitnesszustand?**

Ja Nein

VIII Checkliste für Telefoninterviews mit Patienten

Checkliste für Patientenrückruf

- Diagnose Multiple Sklerose (anhand Poser-Kriterien) oder Schlaganfall (hämorrhagischer oder ischämischer Insult)
- **Alter:** 18 bis 60 Jahre
- Gangstörung aufgrund der oben genannten Diagnose
- Functional Ambulation Categories (FAC) 4 bis 5

Tab.: Functional Ambulation Categories (FAC)		
Stufe	Bezeichnung	Beschreibung
0	Nicht funktionell (nicht möglich)	PatientIn kann nicht gehen oder benötigt die Hilfe von zwei oder mehr Personen.
1	abhängig – Stufe 2	PatientIn benötigt sichere, ständige Unterstützung von einer Person, die hilft, das Gewicht zu tragen und das Gleichgewicht zu halten.
2	abhängig – Stufe 1	PatientIn benötigt ständige oder intermittierende Unterstützung einer Person für Gleichgewicht oder Koordination.
3	abhängig – Aufsicht	PatientIn benötigt verbale Anleitung oder Stand-by-Hilfe einer Person ohne physischen Kontakt.
4	unabhängig – auf ebenem Boden	PatientIn kann unabhängig auf ebenem Boden gehen, benötigt aber Hilfe bei Treppen, Hängen oder unebenen Oberflächen.
5	unabhängig	PatientIn kann überall unabhängig gehen.

- Expanded Disability Status Scale (EDSS) unter 6,0

Für MS-Patienten:

1. Hatten Sie in den letzten 30 Tagen einen akuten Schub?

Ja Nein

2. Haben Sie in den letzten 30 Tagen eine Kortisontherapie erhalten?

Ja Nein

Für beide Patientengruppen:

3. Leiden Sie unter einer psychischen Störung?

Ja Nein

Wenn ja, unter welcher?

4. Haben Sie noch eine andere neurologische Erkrankung (Epilepsie etc.)?

Ja Nein

Wenn ja, welche?

Wann wurde diese Erkrankung bei Ihnen erstmals diagnostiziert?

5. Nehmen Sie Medikamente mit Wirkung auf das Zentralnervensystem ein?

Ja Nein

Wenn ja, welche Medikamente nehmen Sie ein?

6. Wie äußert sich Ihre Gangstörung (Humpeln, Hinken etc.)?

Seit wann haben Sie diese Gangstörung ungefähr?

7. Leiden Sie unter einem chronischen Erschöpfungssyndrom?

Ja Nein

Leiden Sie unter einer Muskelschwäche, Spastizität oder sensorischen Ataxie?

Ja Nein

8. Leiden Sie unter chronischem Schwindel?

Ja Nein

9. Sehen Sie häufiger Doppelbilder?

Ja Nein

10. Sind bei Ihnen Krankheiten des Herz-Kreislauf-Systems bekannt (z. B. Klappenfehler, Bluthochdruck, Herzinsuffizienz, Herzrhythmusstörungen etc.)?

Ja Nein

Wenn ja, welche?

11. Wieviel wiegen Sie derzeit ungefähr (< 150 kg)?

_____ kg

Anmerkungen:

- Adresse: Ganglabor der Rehaklinik Bavaria in Bad Kissingen (Von-der-Tann-Straße 18-22, 97688 Bad Kissingen)
- Bitte Sportschuhe mitbringen!
- Zeitaufwand ca. 1 Stunde pro Termin.