



BACHELORARBEIT

Herr
Felix Kreisig

**Einfluss einer VR-Brille auf die
Fortbewegung des Menschen im freien
Raum**

Mittweida, Juli 2024

Fakultät **Angewandte Computer- und Biowissenschaften**

BACHELORARBEIT

Einfluss einer VR-Brille auf die Fortbewegung des Menschen im freien Raum

Autor:

Felix Kreisig

Studiengang:

Medieninformatik und Interaktives Entertainment

Seminargruppe:

MI19w1-B

Erstprüfer:

Prof. Dr. rer. nat. Tobias Czauderna

Zweitprüfer:

Manuel Heinzig, M.Sc.

Einreichung:

Mittweida, 08.07.2024

Verteidigung/Bewertung:

Mittweida, 2024

Faculty of **Applied Computer Sciences and Biosciences**

BACHELOR THESIS

Influence of VR on human locomotion in free space

Author:

Felix Kreisig

Course of Study:

Applied Computer Sciences Biosciences

Seminar Group:

MI19w1-B

First Examiner:

Prof. Dr. rer. nat. Tobias Czuderna

Second Examiner:

Manuel Heintzig, M.Sc.

Submission:

Mittweida, 08.07.2024

Defense/Evaluation:

Mittweida, 2024

Bibliografische Beschreibung

Kreisig, Felix:

Einfluss einer VR-Brille auf die Fortbewegung des Menschen im freien Raum. – 2024. – 53 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida – University of Applied Sciences, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften, Bachelorarbeit, 2024.

Referat

Das Ziel dieser Arbeit war es, zu klären, ob das Tragen einer VR-Brille einen Einfluss auf die Fortbewegung des Menschen im freien Raum hat. Dazu wurde ein Versuch auf einer Freifläche aufgebaut, bei der die Teilnehmer einen Parcours ablaufen, in VR und in Real je einmal. Der Parcours war in unterschiedliche Aufgaben unterteilt. Der Teilnehmer musste dabei um eine Wand laufen, auf Trittsteine treten, einen Slalom absolvieren und anschließend zurück zum Startpunkt laufen. Am Ende sollen Fragebögen sowie während der Durchführung aufgezeichnete Bewegungsdaten darüber Aufschluss geben, ob das Tragen einer VR-Brille einen Unterschied auf die Fortbewegung des Menschen hat. Die Ergebnisse zeigten, dass Menschen in VR deutlich langsamer und fehleranfälliger waren. Sie warfen deutlich mehr Slalomständer um. Eine Auswertung der Aufgabe "Trittsteine" war wegen einer Überlappung von verschiedenen Ungenauigkeiten zu ungenau und daher nicht möglich. Die Ergebnisse konnten nicht näher betrachtet werden. Die Studie zeigt dennoch, dass Menschen in VR dazu tendieren, langsamer zu laufen. Auch haben sie einen größeren Wendekreis als in der Realität. Die in dieser Studie gesammelten Erkenntnisse zeigen Verhaltensweisen, die bei zukünftigen VR Anwendungen, in denen sich frei bewegt werden kann, zu berücksichtigen sind.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	3
2.1 Hintergrund	3
2.2 Wichtige Begriffe	4
2.3 Virtuelle Bewegung	8
2.4 Bisherige Kenntnisse	9
2.5 Zusammenfassung für den Versuchsaufbau	10
3 Konzeption	11
3.1 Anforderungen des DLR	11
3.2 Virtueller Aufbau	12
3.3 Aufgabenteile der Studie	12
3.4 Aufzeichnung der Daten	15
3.4.1 Automatisierte Aufzeichnung	15
3.4.2 Fragebogen	16
3.5 VR-Brille und Tracker	17
3.6 Bewertungskriterien	18
4 Umsetzung und Studiendurchführung	19
4.1 Implementierung	20
4.1.1 3D-Modelle	20
4.1.2 Datenaufzeichnung	21
4.1.3 Programmierung	22
4.2 Erstversuch Studie	24
4.2.1 Aufbau des Raumes	24
4.2.2 Erkenntnisse und Lösungsansatz	25
4.3 Zweitversuch Studie	26
4.4 Studienablauf	27
5 Erkenntnisse	29
5.1 Auswertung der Fragebögen	29
5.1.1 Immersion und Präsenz	29
5.1.2 Simulation Sickness	33
5.1.3 Laufgeschwindigkeit	35
5.1.4 Fragen über die Aufgaben	36
5.1.5 Fragen über das subjektive Gefühl	39
5.2 Auswertung der aufgezeichneten Daten	40
5.2.1 Präzision der Bewegungen	41
5.2.2 Geschwindigkeit	45
5.2.3 Korrelation	48

5.3	Zusammenfassung	49
6	Fazit und Ausblick	51
	Anhang	55
A	Konzeption	55
B	Umsetzung und Studiendurchführung	59
C	Ausführliche Erklärung: Blender	63
D	Erkenntnisse	67
	Literaturverzeichnis	73
	Eidesstattliche Erklärung	77

Abbildungsverzeichnis

2.1	Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum nach Milgram und Kishino (1994) [12]	4
3.1	Tabelle der möglichen Variationen	13
3.2	Schema Slalom	13
3.3	Schema Kurven	14
3.4	Schema Trittsteine	14
3.5	Schema Komplex	15
3.6	Referenzebene der HTC nach [43]	17
4.1	Raummaße mit Spielfeldbereich	19
4.2	Befehle in der Kommandozeile	22
4.3	Innen- und Außenansicht des Szenarios	23
4.4	Genauigkeit der Tracker	26
4.5	Spielfeldbereich nach dem zweiten Aufbau	27
5.1	Angabe der Probanden zu Spiel- und VR-Erfahrung	29
5.2	Fragen nach der Immersion der HTC VIVE	30
5.3	Fragen zu Präsenz	31
5.4	Frage zur Ablenkung der visuellen Darstellung	31
5.5	Fragen zum Fußmodell	32
5.6	Angaben zu Simulation Sickness Symptomen nach dem Durchführen der Aufgaben im realen Umfeld	33
5.7	Angaben zu Simulation Sickness Symptomen nach dem Durchführen der Aufgaben im virtuellen Umfeld	34
5.8	Fragen in Bezug auf die Laufgeschwindigkeit der Probanden	35
5.9	Fragen zur Laufbewegung in VR	36
5.10	Bewertung der Aufgaben nach der persönlichen Schwierigkeit	37
5.11	Fragen über die Nützlichkeit des Trainings	38
5.12	Fragen über die Schwierigkeit des Parcours	39
5.13	Fragen in Bezug auf Konzentration, auffallende Unterschiede sowie der persönlichen Angst, zu fallen	40
5.14	Aufteilung des Parcours in die einzelnen Abschnitte	41
5.15	Höhenprofil beim Laufen	41
5.16	Hindernis "Wand" und Bereich der Berechnung	42
5.17	durchschnittlicher Abstand zur Wand pro Versuch	43
5.18	Bereich der Berechnung beim Slalom	44
5.19	durchschnittlicher Abstand zum Slalom pro Versuch	44
5.20	Benötigte Zeit im Parcours nach Durchlauf	45
5.21	Benötigte Zeit der Probanden am Hindernis	46
5.22	Benötigte Zeit der Probanden bei den Trittsteinen	46
5.23	Benötigte Zeit der Probanden beim Slalom	47
5.24	Benötigte Zeit der Probanden beim zurücklaufen zur Startposition	47
5.25	Korrelationsdiagramm Hindernis	48
5.26	Korrelationsdiagramm Slalom	49
A.1	Fragebogen nach dem Szenariodurchlauf	55
A.2	Fragebogen nach der Studie	56

B.1	Nodes für ein Material in der Unreal Engine 5	59
B.2	Bild der Elemente in Unreal	60
B.3	Slalom finale Version	60
B.4	Kurvenlaufen finale Version	61
B.5	Trittsteine finale Version	61
B.6	Parcours finale Version	62
C.1	Standardansicht der Benutzeroberfläche von Blender	64
C.2	fertiges Modell in Blender	65
D.1	Benötigte Zeit der Probanden am Hindernis	68
D.2	Benötigte Zeit der Probanden bei den Trittsteinen	69
D.3	Benötigte Zeit der Probanden beim Slalom	70
D.4	Benötigte Zeit der Probanden beim zurücklaufen zum Startpunkt	71

1 Einleitung

Wer hatte als Kind nicht die Fantasie, in der Welt seiner Lieblingsgeschichte zu leben? Das Erleben von fremden Welten ist schon lange ein Traum vieler Menschen und seit der Veröffentlichung der Oculus Rift ist man diesem Traum ein gutes Stück näher gekommen. Diese Technologie ermöglicht es den Nutzern, in virtuelle Welten einzutauchen und interaktive Erfahrungen zu erleben. Doch längst ist die virtuelle Realität (VR) kein reines Spielthema mehr. Schon heute wird diese Technologie auch in anderen Bereichen eingesetzt. So etwa in der Psychologie, wo sie bereits seit längerem zur Bekämpfung von Phobien eingesetzt wird [1, 2]. Auch über eine Verwendung in der Bildung wird nachgedacht, insbesondere in der Schule [3, 4]. Doch auch in einer späteren Aus- und Weiterbildung kann sie Verwendung finden. Und wo Möglichkeiten existieren, gründen sich Unternehmen. So gibt es heute schon Firmen, die sich auf die Ausbildung mit VR fokussieren [5, 6]. Das Durchleben von Simulationen kann Menschen auf gefahrenfreie Art auf bestimmte Situationen vorbereiten. Dies ist ein großer Vorteil von VR, denn es eignet sich besonders in Bereichen, in denen spezialisiertes Training entweder teuer, gefährlich oder beides sein können [7].

Egal wohin man schaut, VR wird immer stärker in unser Leben integriert und es ist nicht abzusehen, dass dieser Trend endet. Doch nicht nur in der Praxis spielt VR eine immer größere Rolle. Auch in der Forschung macht man sich diesen Vorteil zunutze. So besitzt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) etwa eine Gruppe die sich mit Studien befasst, die die Interaktion von Menschen mit dem Straßenverkehr untersucht. Dabei wird nicht selten die Sicht eines Fußgängers eingenommen. Für solche Szenarien ist es jedoch vorteilhaft, zu wissen, ob das alleinige Tragen einer VR-Brille bereits einen Einfluss auf die natürliche Bewegung des Menschen im freien Raum hat. Dieser Einflussfaktor muss bei einer praktischen Anwendung berücksichtigt werden. Auch wenn man sich nur in einem begrenzten Bereich bewegen kann, etwa, wenn der vorhandene Platz für die benötigte VR Anwendung nicht ausreicht, spielt diese Frage indirekt eine Rolle. Bei bestimmten Studien könnte die Erwartung sein, dass die Probanden realistische Entscheidungen treffen, die sie auch in der realen Welt so getroffen hätten. Dafür muss auch die Bewegung realistisch sein. Um dies herauszufinden, stellt sich auch hier die grundlegende Frage, ob das Tragen einer VR-Brille bereits Auswirkungen hat.

Innerhalb dieser Arbeit wird sich darauf beschränkt, zu untersuchen, welchen Einfluss das Tragen einer VR-Brille auf die Fortbewegung des Menschen im freien Raum hat. Um dies herauszufinden, soll ein Vergleich zwischen dem Laufen in der Realität und dem Laufen in VR durchgeführt werden. Hierbei sollen die Teilnehmer einen Parcours ablaufen, einmal in der Realität und einmal in einer virtuellen Abbildung. Für diesen Zweck wird eine Freifläche in Form eines Raumes genutzt, sowie ein virtuelles Abbild desselben Raumes erschaffen. In beiden Welten werden anschließend die gleichen Aufgaben absolviert. Die Erkenntnis, ob das Tragen einer VR-Brille einen Unterschied macht, wird auf Grundlage zweier Datensätze gewonnen. Zum einen werden während der Durchführung Daten von den Teilnehmern gesammelt, die Rückschlüsse auf die Bewegung des Probanden zulassen. Aus diesen Daten sollen Abstände, zum Beispiel zu Hindernissen, und andere messbare Unterschiede, zum Beispiel die benötigte Zeit, ermittelt werden. Zum anderen werden weitere Daten erhoben, die das subjektive Gefühl der Teilnehmer widerspiegeln. In drei Fragebögen geben die Teilnehmer ihre Erfahrungen zu der Studie wieder. So soll eine Einsicht über das Empfinden der Probanden

gewonnen und damit mögliche mentale Einflüsse gefunden werden. Am Ende werden die Daten aus beiden Bereichen extrahiert und kombiniert. Auf diese Weise soll nachgewiesen werden, dass das Tragen einer VR-Brille einen Einfluss auf die Fortbewegung im freien Raum hat.

2 Grundlagen

Für die Verständlichkeit ist das Wissen um einige Begrifflichkeiten äußerst notwendig. In diesem Kapitel geht es daher zunächst um die Fundamente dieser Arbeit. Hierfür wird zunächst einmal die Geschichte der Virtuellen Realität thematisiert. Im Anschluss werden wichtige Begriffe wie VR erläutert. Des Weiteren wird dort beschrieben, wie man positive Zustände erhöhen und negative Auswirkungen von VR verringern kann. Im letzten Abschnitt wird sich speziell dem Thema der virtuellen Bewegung gewidmet. Hier wird zunächst kurz erklärt, wie die menschliche Bewegung abläuft. Zuletzt werden bisherige Studien in diesem Bereich zusammengefasst und es werden Hypothesen für diese Arbeit aufgestellt.

2.1 Hintergrund

Die Ursprünge der Idee reichen bis ins 19. Jahrhundert zurück. Im Jahre 1838 entdeckte Sir Charles Wheatstone die Stereoskopie. Er fand heraus, dass das Gehirn aus zwei Einzelbilder Tiefe lesen kann. Wenn man sich zwei Bilder desselben Objektes mit jeweils leicht unterschiedlichen Winkeln anschaut, kombiniert das Gehirn diese zu einem dreidimensionalen Objekt. Durch diese Erkenntnis konnte man mittels zweier Bilder dem Menschen eine künstliche Tiefe vortäuschen [8].

Die erste Idee einer virtuellen Umgebung folgte ein Jahrhundert später. 1935 beschrieb der amerikanische Science-Fiction Autor Stanley G. Weinbaum in seiner Kurzgeschichte „Pygmalion's Spectacles“ die erste Vision einer virtuellen Realität (VR), auch wenn diese Bezeichnung damals noch gar nicht existierte. In seiner Geschichte erfand ein Professor eine Filmbrille, welche nicht nur alle fünf Sinne einbezog, sondern bei der der Träger auch Teil der Handlung war [8].

Zwar nicht als Brille, aber als erste multisensorische Maschine kann das 1956 von Morton Heilig entwickelte Sensorama bezeichnet werden. Dabei handelt es sich um eine große Maschine mit einer Kabine, in welcher die Nutzer Filme möglichst realistisch erleben sollten. Dafür besaß es unter anderem einen vibrierenden Stuhl, Stereo-Lautsprecher und sogar eine Komponente, die passende Düfte produzierte. Morton Heilig entwickelte weiter und reichte wenige Jahre später sein Patent für das „*Stereoscopic-Television Apparatus for Individual Use*“ ein. Dieses, auch „Telesphere Mask“ genannte Gerät, kann als die erste am Kopf befestigte Displayanzeige, im englischen Head-Mounted Display (HMD) genannt, bezeichnet werden. Dies verfügte jedoch über keine Sensoren für die Kopfbewegungen, vielleicht auch deshalb, weil Heiligs Fokus auf dem Erleben von Filmen lag.

1965 beschrieb Ivan Sutherland seine Idee eines ultimativen Displays. Er beschreibt darin unter anderem eine computergenerierte Umgebung, die visuell realistisch und interaktiv sein soll. Seiner Vision nach würde dieses Ultimative Display am Ende jegliche Kontrolle über den virtuellen Raum haben [9, 10]. Dieses Konzept gilt bis heute als eines der Fundamente von VR. 1968 erschuf er mit Bob Sproull eine Art HMD und gleichzeitig die erste VR-Brille. Das „Damoklesschwert“ genannte System konnte allerdings nur primitive Räume und Objekte zeigen und war viel zu schwer zum Tragen, weshalb es an der Decke befestigt wurde [10].

Doch noch immer hatte das Forschungsfeld keinen allumfassenden Namen. Der Begriff der Virtuellen Realität entstand erst in den 1980er Jahren, genauer 1987 durch Jaron Lanie. Dieser war außerdem Gründer des Visuellen Programmierlabors (VPL). Das Unternehmen sollte kurze Zeit später auch als erstes Unternehmen VR-Brillen kommerziell verkaufen. In den folgenden Jahren wurden viele Entwicklungen angestoßen. Die NASA entwickelte eine VR Simulation für das Astronautentraining.

1993 kündigt SEGA eine VR-Brille an, 1995 folgte Nintendo mit dem Virtual Boy. Doch der große Erfolg blieb aus, sie alle scheiterten an den technischen Limitationen ihrer Zeit [8, 10].

Seitdem sind viele Jahre vergangen und die Technologie hat in dieser Zeit beträchtliche Fortschritte gemacht, insbesondere durch Verbesserungen in der Rechenleistung, Grafikkarten und Sensorik. Der heutige Erfolg startete im Jahr 2013, als die Oculus Rift angekündigt wurde. Zahlreiche Firmen, etwa HTC, Sony oder zuletzt Apple stiegen ein [8].

Heute kann man zwischen zwei Arten unterscheiden. Neben den stationären PC-VR Systemen, bei denen die Berechnung auf einem externen Computer stattfinden und entsprechend mit diesem verbunden werden müssen, gibt es auch kabellose Alternativen. Diese haben einen Prozessor integriert, der sich um die Berechnung kümmert, weshalb diese VR-Brillen auch schwerer sind. Seit den letzten Jahren werden neueste Modelle jedoch häufig als Hybrid VR-Systeme hergestellt, welche eigenständig funktionieren, jedoch auch mit dem PC verbunden werden können [11].

2.2 Wichtige Begriffe

Im Folgenden werden die wichtigsten Begriffe innerhalb der virtuellen Realität näher erläutert. Die Virtuelle Realität besitzt dabei keine alleinige Definition, weshalb hier zu Beginn Bezug auf existierende Definitionen genommen wird. Weiterhin wird kurz auf die allgemeine Verwendung dieser Technologie außerhalb der Entertainment Industrie eingegangen. Im Anschluss werden die Begrifflichkeiten Immersion und Präsenz näher beleuchtet. Im Zuge dessen soll auch kurz erklärt werden, wie beide verstärkt werden können. Zuletzt wird Bezug auf ein häufiges Phänomen innerhalb von VR Anwendungen genommen - die Simulation Sickness. Dabei wird der Ursprung erläutert, gängige Symptome benannt und schlussendlich auf wiederkehrende Beobachtungen in Bezug auf Simulation Sickness hingewiesen.

Virtuelle Realität

Nach der ersten Kommerzialisierungswelle verschwand die VR Brille zwar vom Markt, blieb aber in der Forschung weiterhin ein Thema. Von da an entwickelte sie sich in unterschiedliche Richtungen. Nicht zuletzt durch die Entwicklung der Erweiterten Realität (Augmented Reality, AR) brauchte es aber eine klare Definition und vor allem auch eine Abgrenzung zwischen den Begriffen. Milgram und Kishino lieferten eine erste Unterscheidung, in dem sie den neuen Begriff der vermischten Realität (Mixed Reality, MR) einführten. Dieser ist als Oberbegriff einer divergierenden Linie zu verstehen, an deren Ende jeweils die Reale und die Virtuelle Umgebung stehen (Abbildung 2.1). Ist die sichtbare Umgebung mehrheitlich real als virtuell, spricht man von AR. Ist hingegen die virtuelle Umgebung dominierend aber nicht ausschließlich virtuell, spricht man von Erweiterter Virtualität (AV). Die VR wäre auf dieser Skala damit gleichzusetzen mit dem Extrema der Virtuellen Umgebung (VU bzw. VE), da



Abbildung 2.1: Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum nach Milgram und Kishino (1994) [12]

ausschließlich virtuelle Objekte in einer virtuellen Umgebung zu sehen sind [13]. Auf dieser fließenden Skala aufbauend fand Jannis Vogel et al. [12] eine Definition, basierend auf 17 verschiedenen Definitionen aus den Bereichen Wirtschaftsinformatik, Rechtswissenschaften, Sozialwissenschaften und Psychologie. So beschäftigen sich die Definitionen aus der Psychologie hauptsächlich mit den Erfahrungen der Nutzer, wohingegen die Wirtschaftsinformatik vermehrt auf die Kombination verschiedener Ein- und Ausgabegeräte hinweist [12]. Er kommt zu dem Schluss, dass sich AR dadurch auszeichnet, virtuelle Elemente in die reale Umgebung zu integrieren und damit die reale Welt in Echtzeit mit zusätzlichen Infos zu erweitern. Die VR hingegen beschreibt die Ausblendung der realen Welt, zugunsten einer Interaktion mit einer dreidimensionalen, immersiven Computersimulationen [12].

Immersion und Präsenz

Der Begriff der Virtuellen Realität ist untrennbar mit dem Begriff der Immersion verbunden. So machten einige bereits früh die Immersion als tragendes Element der VR aus. Andere hingegen heben die Präsenz als ausschlaggebend hervor [12]. Häufig werden diese Begrifflichkeiten jedoch überschneidend verwendet. Michael Wilkinson et al. [14] hat in seiner Arbeit verschiedene Definitionen zusammengetragen. Er kommt zu dem Schluss, dass Immersion und Präsenz beides Begriffe für den Realismus einer virtuellen Welt sind, sich aber in der Ebene der Auslegung unterscheiden. Die Immersion beschreibt den technischen Zustand, die die Umgebung und die Interaktion mit dieser möglichst realistisch darstellt. Die Präsenz hingegen steht für das psychische Gefühl. Eine hohe Präsenz bedeutet, dass der Nutzer auch das Gefühl hat, sich innerhalb der Welt zu befinden, sodass die reale Welt in den Hintergrund rückt. Eine hohe Immersion kann somit auch zu einer starken Präsenz beitragen [14].

Eine perfekte Immersion und Präsenz würden demnach nah an die Idee von Sutherland ultimativen Display reichen. Entsprechend ist es auch ein Ziel, beide zu erhöhen. Eine Erhöhung der Immersion setzt vor allem auf die Verbesserung der Technologie, wie z.B. der Latenzreduzierung. Eine weitere Möglichkeit bietet die Inkludierung weiterer Sinne. Studien haben gezeigt, dass multisensorale Anwendungen eine erhöhte Präsenzwahrnehmung haben [15]. Die visuelle Immersion ist die grundlegendste und ausgebauteste in heutigen VR-Brillen. Dies liegt vermutlich nicht zuletzt auch daran, dass schon die erste Vision von Weinbaum vor allem auf einer sichtbaren virtuellen Realität aufbaute. Auch in vielen von Jannis Vogel et al. [12] zusammengetragenen Definition befinden sich einige, die besonders den visuellen Aspekt hervorheben. Dafür verwenden HMDs zwei kleine Bildschirme vor den Augen, um stereoskopische 3D-Bilder zu erzeugen. Zwischen den Bildschirmen und dem menschlichen Auge befinden sich Linsen, welche durch ihre Krümmung das Licht brechen und so die Bilder vergrößern. Moderne VR-Brillen sind außerdem mit Bewegungssensoren ausgestattet, die Kopfbewegungen in Echtzeit erfassen und die virtuelle Perspektive entsprechend anpassen. Es ist somit ein 360° Sichtfeld möglich. Für die auditive Wahrnehmung besitzen die meisten neuen VR-Brillen zusätzliche Kopfhörer. Die Forschung zeigt, dass auch das alleinige Hinzufügen von Audio die Präsenz positiv beeinflussen kann [16]. Andere Studien kommen jedoch zu dem Ergebnis, dass Audio keine wesentlichen Verbesserungen im Bezug auf die Präsenz ausmacht. Ein Grund dafür könnte jedoch der Mangel an Standardisierung darstellen [17]. Für das haptische Feedback existieren Handschuhe und Westen, die über Vibrationen oder elektrische Impulse einen Einfluss am Körper simulieren. Eine Studie von Gibbs et al. zeigt, dass haptisches Feedback die Präsenz stark

erhöhen kann, eventuell sogar höher als visuelles Feedback [18]. Riechen ist seit dem Sensorama weitgehend in den Hintergrund gerückt, schmecken wurde weitestgehend gar nicht berücksichtigt. Dies kann in Zukunft aber noch an Relevanz gewinnen.

Während die Immersion aufgrund seiner technischen Natur durch fortlaufende Entwicklungen quasi automatisch voranschreitet, ist die Frage, ob und wie Präsenz erhöht werden kann, komplexer. Die Forschung hat gezeigt, dass das Inkludieren von eigenen Körperteilen die Präsenz nur teilweise steigert. Allerdings beschränkt sich diese Steigerung dann meist auf Körperteile, die für die jeweilige Aufgabe wichtig sind. Stefan Pastel et al. [19] hat in seiner Studie dies anhand von Sportübungen erforscht. Die Probanden mussten jeweils über eine Planke balancieren, einen Ball aufheben und einen Ball in einen Korb werfen. Dabei gab es insgesamt vier Avatare. Ein Avatar war vollständig, ein Avatar hatte keinen Körper. Bei den anderen beiden Avataren fehlten jeweils die benötigten Extremitäten, also Arme und Hände bzw. Beine und Füße. Seine Auswertung ergab, dass das Zeigen der Körperteile keinen signifikanten Auswirkungen auf das Ergebnis hatte. Einige Teilnehmer gaben jedoch zusätzlich an, dass diese aufgrund des begrenzten Sichtfelds der VR-Brille die Körperteile nicht spürbar wahrgenommen haben. Er vermutet, dass dies einen Einfluss auf die Ergebnisse hatte. Auch gibt er an, dass die Präsenz nicht im Fokus stand, sondern der Vergleich der Leistungen. Sein Team empfiehlt daher, dass eine vollständige visuelle Repräsentation zwar nicht nötig ist, aufgabenspezifische Körperteile jedoch gezeigt werden sollten [19]. Auch die Studie von Jean-Luc Lugrin et al. kommt auf dieses Ergebnis. Seine Gruppe hat den Effekt eines Avatars in einem VR Action Game getestet. Entgegen ihrer Erwartung führte das Hinzufügen von Körperteilen zu keiner größeren Involviertheit der Spieler [20]. Um die Präsenz in einer Studie zu messen, wurde daher von Bob G. Witmer und Michael J. Singer [21] der Präsenzfragebogen (engl. Presence Questionnaire) erstellt. In diesem werden auf einer Likert-Skala verschiedene Fragen beantwortet zur Umgebung, der Darstellung, sowie der Miteinbeziehung von verschiedenen Sinnen. Dieser Fragebogen hat sich mittlerweile als Standard für Präsenzfragen etabliert [21].

Simulation Sickness

Allerdings gibt es auch Herausforderungen bei der Nutzung von VR-Brillen, unabhängig der Immersion und Präsenz. Ein bekanntes Problem ist die sogenannte Simulation Sickness, die durch eine Diskrepanz zwischen zwei sensorischen Sinnen hervorgerufen wird. Dabei erhält das Gehirn zwei konträre Informationen, zum Beispiel, wenn der Gleichgewichtssinn sagt, dass der Körper sich bewegt, die Augen jedoch einen Stillstand signalisieren. Dies kann passieren, wenn etwa das Bild der VR-Brille verzögert reagiert. Dieses Missverhältnis zwischen den sensorischen Inputs führt zu Verwirrung im Gehirn, das versucht, die widersprüchlichen Informationen zu verarbeiten. Die Begriffe VR-Sickness und Cybersickness werden häufig als Synonyme in Bezug auf VR verwendet. Als Standard zur Identifizierung von Unwohlsein hat sich dafür das Simulation Sickness Questionnaire (SSQ) etabliert [22, 23]. Dieser wurde ursprünglich für Simulationen erschaffen und von vielen auch für Virtuelle Simulationen übernommen. Zu den häufigsten Symptomen der Simulation Sickness gehören Übelkeit, Schwindel und Orientierungsverlust [22, 23]. Diese Symptome können bereits nach wenigen Minuten in einer virtuellen Umgebung auftreten. Damit haben sie auch einen negativen Einfluss auf die Präsenz zur Folge.

Jedoch gibt es auch Kritik an der Nutzung des SSQ für VR Anwendungen. Hirzle et al. bemängelt etwa, dass viele die Fragen übernehmen, ohne zu überprüfen, dass diese ursprünglich für Simulatoren gedacht waren. In VR können jedoch zusätzliche Symptome auftreten, die im ursprünglichen SSQ nicht berücksichtigt werden, etwa Schmerzen durch das Tragen einer VR-Brille oder eine zusätzliche Augenbelastung [24].

Dem Team um Eunhee Chang ist aufgefallen, dass viele Studien, das empfundene Unbehagen etwa durch bessere visuelle Aspekte zu verringern versuchten, jedoch meistens keine wirkliche Verbesserungen brachten. Sie haben daher verschiedene Studien in Bezug auf VR-Sickness in die Kategorien Hardware, Inhalt und Menschliche Unterschiede aufgeteilt und untersucht. Sie fanden jedoch heraus, dass die unterschiedlichen Faktoren im Zusammenspiel das menschliche Unbehagen hervorrufen. Allerdings deuten sie auch an, dass es heutzutage eine Vielzahl von Systemen gibt, weshalb diese schwer miteinander vergleichbar sind. Sie schlagen daher vor, einen standardisierten Aufbau zu etablieren [25].

Bei vielen der Studien gibt es wiederkehrende Charakteristika von Probanden in Bezug auf körperliche Eigenschaften. Im letzten Absatz soll daher kurz auf diese eingegangen und bisherige Erkenntnisse prägnant zusammengefasst werden. Einige Studien fanden heraus, dass die Dauer der Nachwirkungen proportional zur Zeit wächst, die die Person der VE ausgesetzt ist. Im Gegenzug ist die Dauer jedoch auch indirekt proportional zur Anzahl an Wiederholungen [26]. Eine Studie im Jahr 2022 kommt zu dem Ergebnis, dass zwar Probanden ohne vorherige Erfahrung und Probanden mit früherer VR Erfahrung etwa gleich häufig von Virtual Sickness betroffen waren, sich Personen mit VR Erfahrung jedoch deutlich schneller von auftretenden Symptomen erholten [27]. Eine Studie aus dem Jahre 2016 kommt jedoch auf ein leicht abgewandeltes Ergebnis. Bei dieser waren Menschen ohne vorherige VR Erfahrung nicht nur anfälliger für VR Sickness, sondern waren auch schlechter im Erledigen der Aufgaben [28].

Zu Geschlechtsunterschieden gibt es konträre Aussagen. Es existieren zwar Studien, die keine Unterschiede zwischen Männern und Frauen feststellen konnten, diese betonen jedoch selber, dass mehr Forschung nötig ist [29]. Die Mehrheit konnte jedoch Unterschiede bestätigen. Hierbei sind Frauen häufiger und zugleich stärker betroffen als Männer [25, 30].

Zuletzt gibt es auch für das Alter durchmischte Ergebnisse. Einige Studien zeigen eine erhöhte Anfälligkeit bei älteren Personen, andere wiederum das genaue Gegenteil. Da jedoch mehrheitlich junge Menschen an Forschungen teilnehmen, könnte es hier zu einem Bias kommen [25].

Bisher gibt es keine zuverlässige Lösung, VR Sickness vorzubeugen oder gänzlich zu verhindern. Die Forschung hat jedoch bereits erkannt, dass die Intensität der Symptome mit der Zeit innerhalb der VE positiv zu korrelieren scheint [25]. Auf Grundlage anderer Arbeiten kommt Natalia Dużmańska et al. zu der Theorie, dass eine längere Trainings- und Eingewöhnungszeit den Körper möglicherweise zunehmend an die VE anpasst. Dies würde auch in einer Reduzierung der Motion Sickness resultieren. Es braucht jedoch weitere Daten um diese Annahme auch zu bestätigen [31].

2.3 Virtuelle Bewegung

Ein Aspekt, der bei der Erhöhung der Präsenz bewusst nicht erwähnt wurde, ist die Bewegung der Probanden. Die Bewegung mit der höchsten Präsenz ist die natürliche, zweibeinige Bewegung des Menschen [32]. Zum kurzen Verständnis kann die Bewegung auf drei Bereiche heruntergebrochen werden. Diese sind:

- Schwungphase - Die Zeit, in der sich der Fuß in der Luft befindet
- Einfacher Halt - Die Zeit, die ein Mensch mit nur einem Bein auf dem Boden steht.
- Doppelter Halt - Die Zeit, während man mit beiden Füßen auf dem Boden steht.

Der einfache Halt des einen Fußes ist damit gleichbedeutend mit der Schwungphase des anderen Fußes. Der Prozess der Bewegung wird dabei in Gangphasen oder Gangzyklen eingeteilt. Ein Gangzyklus dauert immer zwei Schwungphasen. Demnach geht ein Zyklus vom Aufsetzen eines Fußes bis zum wiederholten Aufsetzen desselben Fußes. Bei weiteren Schritten wird dieser Zyklus beliebig oft wiederholt. Die zweibeinige Bewegung ist damit eine Abfolge von einzelnen Gangzyklen. Die Geschwindigkeit wird dabei in der Forschung häufig als Trittfrequenz angegeben und bezeichnet die getätigten Schritte pro Minute. Ein erwachsener Mensch läuft im Durchschnitt 91-138 Schritte pro Minute, kleine Menschen tendenziell mehr als größere [33].

Weiterhin gibt es Studien, die nahelegen, dass Menschen das Gefühl haben, sich in VR in einer anderen Geschwindigkeit zu bewegen, als in Real. Daraus entwickelten sich die Begriffe des isometrischen und nicht-isometrischen Gangs. Dabei wird die reale Bewegungsgeschwindigkeit mit einem "Translation Gait Parameter", also einer Variable, multipliziert und das Ergebnis für die virtuelle Bewegungsgeschwindigkeit verwendet. Ist dieser Parameter kleiner als eins, so bewegt sich der Nutzer virtuell eine kürzere Strecke. Ist die Variable größer als eins, bewegt sich der Nutzer virtuell im Vergleich zu Real weiter. In beiden Fällen spricht man von einem nicht isometrischen Gang. Bleibt die Variable bei eins, entspricht die virtuelle Bewegung also exakt der realen Bewegung, so spricht man von einem isometrischen Gang. Frühere Studien kamen zu der Einsicht, dass sich ein leicht erhöhter "Translation Gait Parameter" für die Probanden natürlicher anfühlte. Omar Janeh et al. [34] untersuchte daher den Einfluss der Variable in Bezug auf das freie Laufen. Dafür ließ sein Team Probanden einen geraden Weg mehrmals vor und zurück laufen. Sie kamen zu der Einsicht, dass für die freie Bewegung eine Translation von eins und damit ein isometrischer Gang am natürlichsten ist [34].

Für die Aufzeichnung von Bewegungen abseits des Kopfes, braucht man jedoch zusätzliche Hilfsmittel. Eine kostengünstige Möglichkeit ist dabei die Verwendung von Trackern. Tracker sind kleine Geräte, die sich meist über Klettverschlüsse an Körper oder anderen Objekten befestigen lassen und anschließend Positionskordinaten aufzeichnen. Da Tracker aber über keine Kabel verfügen, müssen die Daten anderweitig an das System gesendet werden. Dies erfolgt kabellos und lässt sich nach zwei Möglichkeiten unterscheiden, dem Inside-Out Tracking und dem Outside-In Tracking.

Bei dem Outside-In Tracking werden die Positionen von VR-Brille und Trackern mithilfe externer Infrarotquellen erfasst, etwa durch so genannte Lighthouses. Diese senden Infrarotlicht aus, welches von den Sensoren an der VR-Brille, den Controllern und den Trackern erkannt wird. Die Zeit, die das Licht bis zu den Sensoren der VR-Brille braucht, wird dann zur Berechnung der Position verwendet. Dafür muss die Position der Lighthouses zu Beginn einmal vom System erfasst werden.

Die VR-Brillen benutzen also das Infrarotlicht von außen, um ihre eigene Position zu bestimmen. Diese Art von VR-Brillen sind darauf angewiesen und müssen daher dauerhaft das Licht von mindestens einem der Lighthouses "sehen". Eine weitere Methode besteht hingegen aus dem Inside-Out Tracking. Bei dieser Methode wird die Position der Tracker durch Kameras erfasst, die sich an der VR-Brille befinden. Sie erkennen ihre Position also anhand von intern eingebauten Kameras. Vorteil ist dadurch, dass auf externe Komponenten verzichtet werden kann. Allerdings müssen die Tracker dafür immer im Sichtfeld der VR-Brille sein, da die Tracker sonst ihre Position verlieren. [35].

2.4 Bisherige Kenntnisse

Christos Mousas et al. [36] verglich verschiedene Bewegungsoptionen in Bezug auf die Umgehung eines Hindernisses. Seine vier beobachteten Elemente waren

- **natürliches Laufen** - Der Proband läuft physisch an dem Hindernis vorbei, welches er über die VR-Brille sieht
- **omnidirektes Laufband** - Der Proband lief auf dem Virtuix VR Omni Laufband um das Hindernis herum, während er die VR-Brille trägt.
- **Walking-In-Place** - Die Person erhält Tracker an die Beine und läuft mittels einer Auf- und Ab-Bewegung der Beine an dem virtuellen Hindernis vorbei.
- und **Joystick** - Die Person navigiert sich mittels eines Joysticks an dem Hindernis vorbei.

Zusätzlich beantworteten diese den SSQ Fragebogen. Sein Team fand heraus, dass die Teilnehmer mehr Platz zum Hindernis ließen, wenn diese natürlich oder mit Walking-in-Place (WIP) unterwegs waren. Weiterhin blieben die Teilnehmer bei WIP und dem omnidirektionalen Laufband häufig stehen um sich zu repositionieren. Zuletzt war auch die Kurve, die Menschen auf dem Laufband gelaufen sind, deutlich größer, als bei den anderen drei Versuchen. Viele der Teilnehmer empfanden das Omnidirektionale Laufband als anstrengend. In der Auswertung zeigt sich, dass kein aktueller Ansatz an das natürliche Laufen herankommt. Vielmehr noch war die größte Entwicklung, das omnidirektionale Laufband, das am schlechtesten bewertete. Allerdings werden zum Ende einige Limitationen der Studie genannt. So war die Studie unter anderem nur auf einen kleinen Bereich beschränkt. Weiterhin gaben sie im Nachhinein an, dass ein Fragebogen zur Natürlichkeit von Vorteil gewesen wäre. Als zukünftige Forschungspunkte machen sie das Bewegungsverhalten bei präzisen Aufgaben, im eingeschränkten und uneingeschränkten Umfeld, sowie zusätzliche Aufgaben, wie Ausweichen oder Treppensteigen, aus [36].

Andrea Canessa et al. [37] verglichen das Laufen in Real und VR anhand von Gangparametern. Dafür ließen sie die Teilnehmer auf einem geraden Weg vor und zurück laufen. Dies wurde jeweils zweimal in VR, einmal mit und ohne Avatar, und einmal in Real ohne VR-Brille ausgeführt. Zuerst kann angemerkt werden, dass der Avatar keinen Unterschied gebracht hat. Auffällig war, dass beide virtuellen Versuche eine höhere Trittfrequenz hatten und die Schritte deutlich langsamer als im realen Vergleich erfolgten. Dazu geben sie an, dass eine kabelgebundene VR-Brille verwendet wurde und dies Auswirkungen auf Schrittzahl und Schrittgeschwindigkeit gehabt haben könnte. Weiterhin wird angemerkt, dass es sich hierbei um ein kostengünstiges Modell zur Aufzeichnung von Daten handelt. Mit den VIVE Tracker sind demnach akkurate Aufzeichnungen möglich, sofern man nicht zu weit von den Lighthouses entfernt ist [37].

2.5 Zusammenfassung für den Versuchsaufbau

Aufgrund der hier beschriebenen Studien, wird daher folgendes für den Versuchsaufbau mitgenommen:

- **Es wird ein Versuch stattfinden, der den Einfluss einer kabellosen VR-Brille auf das Laufen auf einer freien Fläche bestimmen soll.**
- **Es werden verschiedene Aufgaben stattfinden, in denen der Proband unterschiedliche Aspekte des Laufens einnimmt. Zentral sind dabei Kurven und das präzise Steuern von Füßen.** Damit werden die von Christos Mousas et al. genannten präzisen Aufgaben einbezogen [36].
- **Aufgrund der Präzisionsaufgaben sollen Füße sichtbar sein,** da bei dieser Aufgabe die Füße in den Vordergrund fallen. Außerdem sollen die Füße bei der Aufgabe im Mittelpunkt stehen, sodass die Probanden diese wahrnehmen. Dadurch soll geklärt werden, ob diese bei der Aufgabe helfen [19].
- **Die Aufgaben sollen möglichst kurz (10-15 Minuten) anfallen, um die Gefahr von VR Sickness möglichst gering zu halten,** da nach Chang et al. bzw. Robert S. Kennedy et al. das Auftreten von Symptomen mit der Zeit steigt [25] [26].
- **Weiterhin wird eine kabellose VR-Brille verwendet.** So kann überprüft werden, ob die von Andrea Canessa et al. erlangten Daten mit der kabelgebundenen VR-Brille zusammenhängen [37].
- **Das SSQ wird für die Symptombefragung verwendet.** Obwohl Kritik an diesem Fragebogen gerechtfertigt ist, bietet er einen guten Überblick über die gängigsten Probleme, auch in Bezug auf VR. Dennoch werden weitere Fragen, etwa aus dem Presence Questionnaire, ebenfalls einbezogen [21].

3 Konzeption

Ziel dieser Arbeit ist es, den Einfluss einer VR-Brille auf die Bewegung eines Menschen zu ermitteln. Dafür sollen Probanden frei in einem Raum verschiedene Parcours laufen. In diesem Kapitel soll daher der Aufbau des Versuchs erläutert werden. Da es sich parallel um eine Studie des DLR handelt, wird zunächst die Vorbereitung als Studie kurz erläutert. Im Anschluss wird sich der Auswahl und Aufbau der einzelnen Elemente gewidmet. Außerdem wird sich auf die zu verwendende VR-Brille und die Tracker festgelegt.

Im letzten Teil geht es um die Datenakquise. Hier wird erklärt, welche Informationen aufgezeichnet werden. Die Daten ergeben sich dabei aus zwei Ursprüngen. Die ersten Daten handeln von der Bewegung der Probanden und werden während der Studie automatisch über ein DLR internes Unreal-Engine Plugin aufgezeichnet. Weiterhin wird hier ein Fragebogen beschrieben, welchen die Probanden nach Durchführung der Studie beantworten. Die Antworten aus diesem Fragebogen ergeben einen unterstützenden zweiten Datensatz.

3.1 Anforderungen des DLR

Um eine Studie in Kooperation mit dem DLR durchzuführen, muss ein gewisser Arbeitsfluss eingehalten werden. Als Stützhilfe dient dabei eine Checkliste, welche alle wichtigen Punkte, von der Vorbereitung bis zur Durchführung, beinhaltet. Im internen Wiki werden Inhalt und Fortschritt der Studie dokumentiert. Zu Beginn handelt es sich dabei meist um den aktuellen Kenntnisstand, sowie der grundlegenden Forschungsfrage. Außerdem werden die Mitarbeiter genannt, die am Projekt beteiligt sind. Im Verlauf der Entwicklung werden Meetings stichpunktartig zusammengefasst und dokumentiert, sodass zu jedem Zeitpunkt der aktuelle Stand ersichtlich ist.

Ist die Entwicklung weit genug voran geschritten und es ist ein konkreter Plan für die weitere Entwicklung ersichtlich, erfolgt ein Ethikantrag. In diesem wird dargelegt, wie die Studie durchgeführt wird, wie stark die Person körperlich wie geistig beansprucht wird und wer an der Studie teilnehmen darf. Da es sich um natürliche Bewegung handelt, wird der Proband nicht wesentlich beansprucht. Für die Teilnehmenden gibt es außerdem übliche Einschränkungen. Es dürfen nur volljährige Personen teilnehmen. Um den Fötus bei einem versehentlichen Sturz nicht zu verletzen, sind Schwangere jedoch ausgeschlossen. Ebenso sind Menschen von der Versuchsdurchführung ausgeschlossen, die unter Drogen stehen, da diese das Ergebnis verfälschen würden, sowie Menschen mit Krankheiten jeder Art, die den Test behindern könnten.

Zudem gibt es einige Konzepte, die während der Vorbereitung erarbeitet werden müssen. Bei einem Konzept handelt es sich um das Sicherheitskonzept. Dieses beschreibt diverse Sicherheitsrisiken innerhalb der Studie, kategorisiert diese und gibt an, wie diese vermieden werden. Im speziellen Fall dieser Studie beschränkt sich dies im Besonderen auf das Umlaufen der Lighthouses, sowie dem Stolpern über Kabel. Es muss an dieser Stelle auch das Laufen gegen Wände genannt werden. Dafür sollte im Versuchsaufbau genug Platz gelassen werden. Weiterhin sind zusätzlich Menschen vor Ort, die bei sichtbarer Gefahr den Probanden warnen können.

Als nächstes ist das Hygienekonzept zu nennen. Dieses beschreibt, wie ein Hygienestandard eingehalten werden soll. Die Tracker werden an einem Band über der Schuhzunge befestigt. Dadurch fehlt ein direkter Hautkontakt. Die VR-Brille wird zwischen den Versuchen in einer Box mit kurzweiligem, ultraviolettem Licht bestrahlt. So genanntes UV-C Licht tötet dabei Bakterien und Viren ab. Zusätzlich können die Linsen jederzeit mit einem Tuch von kleinem Schmutz, etwa Fingerabdrücken, gesäubert werden.

Zuletzt geht es um das Datenschutzkonzept. Darin sind alle datenschutzrechtlichen Bereiche hinterlegt, die bei der Anwendung zur Geltung kommen. Dabei wird beschrieben, welche Themenbereiche die Studie anschnidet, und wie die Durchführung mit geltenden europäischen und deutschen Gesetzen konform geht. Dieses ist von äußerster Wichtigkeit, wenn Studien mit Personen durchgeführt werden. Der Prozess ist langwierig, gewährleistet aber die korrekte Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften. Dafür findet ein enger Austausch mit dem internen Datenschutzteam statt. Erst bei vollständiger Unbedenklichkeit wird das Konzept zugelassen. Ist das Datenschutzkonzept akzeptiert, werden damit die Zustimmungen des Abteilungsleiters und des Geschäftsführers eingeholt. Erst mit beiden Unterschriften ist Beteiligung und Einladung von Probanden möglich. Zu Beginn der Studie erhalten die Probanden einen Probandenvertrag, mit dessen Unterschrift sie zustimmen, dass Ihre Daten für die nachfolgende Auswertung verwendet werden dürfen. Eine Verneinung kann auch im Nachhinein ganz oder teilweise durch den Probanden mitgeteilt werden.

3.2 Virtueller Aufbau

Um einen Einfluss zu messen, bedarf es eines Vergleichs. Dafür werden die Versuchspersonen Aufgaben in einem leeren Raum, aber auch in einer virtuellen Umgebung absolvieren. Damit die Probanden das Gefühl haben, weiterhin am selben Ort zu sein, wird die virtuelle Umgebung eine Nachbildung des realen Raumes sein. Jedoch gibt es zwei Unterschiede. Einige Gegenstände, bspw. Stühle, werden aus Platzgründen nicht aus dem realen Zimmer herausgeräumt werden können. Diese werden stattdessen an eine Wand gestellt. Virtuell werden diese jedoch nicht vorhanden sein. Dort wird der Raum wirklich "leer" sein. Der Aufbau ist daher so zu bewerkstelligen, dass die Probanden sowie die Aufgaben weit genug von restlichen Stühlen entfernt sind, damit diese nicht versehentlich dagegen laufen. Da virtuell theoretisch unbegrenzter Raum zur Verfügung steht, werden hier außerdem die einzelnen Aufgaben nicht in einem Raum stattfinden. Stattdessen werden fünf Räume erstellt und übereinander gelegt. In jedem dieser Räume wird jeweils eine Aufgabe zu absolvieren sein. Somit soll verhindert werden, dass sich Menschen überfordert fühlen, wenn sie die virtuellen Aufgaben sehen. Der Inhalt der einzelnen Aufgaben bleibt aber in der realen und der virtuellen Umgebung gleich. Dadurch, dass die virtuellen Räume vertikal übereinander angelegt werden, soll es einfacher sein, den Probanden in die jeweils nächste Aufgabe zu bringen.

3.3 Aufgabenteile der Studie

Die Arbeit soll sich mit dem Einfluss auf die Bewegung erfassen. Dabei soll außerdem getestet werden, ob es Unterschiede in verschiedenen Bewegungsmustern gibt. Um dies zu erreichen, werden verschiedene Aufgaben in der realen und in der virtuellen Umgebung durchlaufen. Das Risiko auf Motion Sickness, hervorgerufen durch Diskrepanzen von Informationen im Gehirn, bei neuen VR-Nutzern soll dabei möglichst gering gehalten werden, wobei erste Effekte bereits nach kurzer Zeit spürbar sein können [38, 39]. Es wird sich daher auf vier Aufgaben festgelegt, von denen es sich bei

drei um Trainingsaufgaben handelt. Diese sollen verschiedene Aspekte des Laufens beinhalten. Die vierte Aufgabe ist anschließend eine Kombination der drei Trainingsaufgaben. Des Weiteren sollen den Probanden in VR Schuhmodelle gezeigt werden, da diese für die Bewältigung der Trittsteine hilfreich sein könnten.

VP	Durchgang 1	Durchgang 2	Reihenfolge				✓
1	VR	Real	A	Kurven	Trittsteine	Slalom	
2	Real	VR	B	Kurven	Slalom	Trittsteine	
3	VR	Real	C	Slalom	Kurven	Trittsteine	
4	Real	VR	D	Slalom	Trittsteine	Kurven	
5	VR	Real	E	Trittsteine	Slalom	Kurven	
6	Real	VR	F	Trittsteine	Kurven	Slalom	
7	VR	Real	B	Kurven	Slalom	Trittsteine	
8	Real	VR	E	Trittsteine	Slalom	Kurven	
9	VR	Real	D	Slalom	Trittsteine	Kurven	
10	Real	VR	A	Kurven	Trittsteine	Slalom	
11	VR	Real	F	Trittsteine	Kurven	Slalom	
12	Real	VR	C	Slalom	Kurven	Trittsteine	

Abbildung 3.1: Tabelle der möglichen Variationen

Damit zuvor kein Lerneffekt auftritt, werden die drei Trainingsaufgaben in zufälliger Reihenfolge absolviert. Die vierte Aufgabe kommt jedoch immer zuletzt. Im Anschluss werden die Aufgaben in derselben Reihenfolge in der jeweils anderen Umgebung wiederholt. Ob die Versuchsperson (VP) in der virtuellen oder realen Umgebung startet, wurde im Voraus von den Versuchsleitern anhand einer Tabelle (Abbildung 3.1) festgelegt, sodass jeweils jede Reihenfolge der Aufgaben inklusive des Start szenarios bzw. der Startumgebung einmal vorkommt. Damit sind zwölf verschiedene Variationen möglich. Aus diesem Grund liegt die Mindestanzahl an Probanden ebenfalls bei zwölf Personen. Im folgenden werden nun die einzelnen Aufgaben erläutert.

Aufgabe 1 – Slalom

Beim Laufen versucht man möglichst effiziente Wege zu gehen. Dies trifft insbesondere zu, wenn man es eilig hat. Dabei versucht man, die Kurven möglichst eng zu schneiden, ohne sich selbst zu behindern, indem man bspw. hängen bleibt. Dieses Ziel wird auch beim Slalom verfolgt. Diese Aufgabe besteht daraus, zwei Slaloms abzulaufen, welche in Abbildung 3.2 zu sehen sind. Die Probanden haben dafür jedoch kein Zeitlimit. Zwischen den einzelnen Slalomstangen liegt einer von zwei Abständen. Ein Slalom besteht dabei aus jeweils sieben aufeinander folgenden Stangen. Die erste Reihe steht hintereinander angeordnet. Im zweiten Slalom sind diese horizontal versetzt, was darin resultiert, dass zwischen den Kurven eine gerade Strecke gelaufen wird. Zur besseren Erkennung färben sich die Stangen in VR rot, wenn sie berührt werden. Bei einer starken Berührung, etwa durch gegen laufen, fallen diese in beiden Umgebungen um oder werden sichtlich verschoben. Bei dieser Aufgabe wird darauf geach-

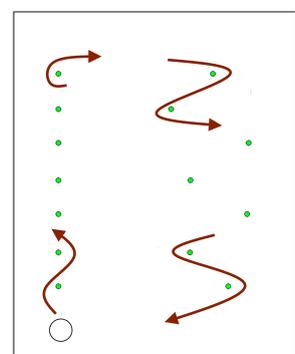


Abbildung 3.2: Schema Slalom

tet, wie sich die Probanden während des Laufens verhalten. Der Abstand, den sie zu den Stangen einhalten, wird aufgezeichnet und im Nachhinein gemessen. Ziel sollte es ebenso sein, keine Stange umzuwerfen.

Aufgabe 2 – Kurven laufen

Hierbei handelt es sich um das Ablaufen einer Linie, ähnlich der normalen Bewegung. Diese Linie ist in Abbildung 3.3 ersichtlich. Das normale Laufen besteht essenziell aus dem geradeaus und dem Kurven laufen. Diese sind auch die Bestandteile dieser Aufgabe. Zusätzlich geht es um die Spurtreue, dem genauen Ablaufen einer Linie. Diese Aufgabe soll mehrere Kurven beinhalten. Vor dem letzten Abschnitt endet die Linie. Hier sollen die Probanden ohne Hilfe geradeaus laufen. Zum Abschluss liegt eine Haltelinie, vor welcher die Probanden möglichst nah stehen bleiben sollen. Nach wenigen Sekunden darf sich weiter bewegt werden. Auch hierbei gibt es theoretisch kein Zeitlimit. Hierbei werden einige natürliche Elemente der Bewegung erfasst. Ziel soll es sein, der Linie möglichst genau zu folgen, d.h. eine möglichst geringe Abweichung zur vorgegebenen Linie einzuhalten. Im freien Bereich soll gezeigt werden, ob die Probanden auch ohne Vorgabe gerade laufen. An der Haltelinie wird getestet, wie genau die Probanden an einer Stelle stehen bleiben können.

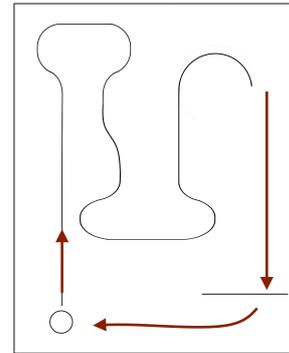


Abbildung 3.3: Schema Kurven

Aufgabe 3 – Trittsteine

Unsere natürliche Bewegung zielt nicht auf präzise Schritte ab. Dennoch kann dies relevant werden, etwa, wenn man versucht, über Steine einen Fluss trocken zu überqueren. Auch bei dem beliebten Spiel "Boden ist Lava" ist es Teil der Aufgabe, sich vorsichtig zu bewegen, um nicht den Boden zu berühren, wobei hier auch akrobatische Elemente Einzug finden. In beiden Mustern gibt es jedoch gewisse Formen, in die getreten werden muss, um das Ziel zu erreichen, ähnlich wie bei dieser Aufgabe. Hier gibt es quadratische Markierungen, welche folgend Trittsteine genannt werden. Dies ist in Abbildung 3.4 exemplarisch dargestellt. Ebenso existieren die Trittsteine in zwei Größen und sind verschiedenen rotiert. Aufgabe ist, diese einmal im Uhrzeigersinn abzulaufen. Ab dem detreten der ersten Markierung soll der Proband mit seinem Fuß immer in den jeweils nächsten freien Trittstein treten. Ebenso wie in den anderen beiden Trainingsaufgaben gibt es kein Zeitlimit. Die einzelnen Trittsteine variieren dabei in der Größe und dem Abstand zueinander. Hierbei wird getestet, wie präzise die Probanden ihre Füße platzieren können. Dabei wird der Punkt des Trackers aufgezeichnet, an dem später abgelesen werden kann, ob sich dieser innerhalb des markierten Bereichs befinden. Zur Hilfe sehen die Versuchspersonen ein paar standardisierte Füße. Diese sind bei allen Probanden gleich.

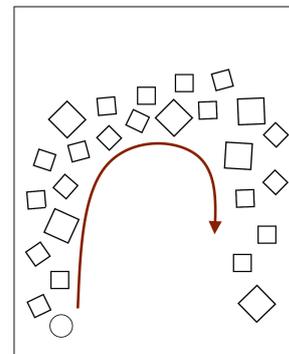


Abbildung 3.4: Schema Trittsteine

Aufgabe 4 - Parcours

Diese Aufgabe kombiniert die bisher genannten Aufgaben. Das Schema dazu ist in Abbildung 3.5 sichtbar. Zuerst jedoch sollen die Teilnehmer um eine Wand laufen. In der realen Umgebung wird sie lediglich mit einer Markierung auf dem Boden angezeigt. Im Anschluss werden eine Reihe von Trittsteinen abgelaufen. Auch hier ist das Ziel, mit dem Fuß möglichst vollständig innerhalb der Markierung zu landen. Am Ende der Trittsteine steht ein kurzer Slalom aus fünf Stangen an. Zuletzt sollen die Teilnehmer wieder zurück zum Startpunkt laufen, welcher im Schema als Kreis dargestellt ist. Dafür ist auf dem Rückweg eine Lücke in der Wand, durch die sie gehen sollen. Nachdem sie den Parcours gelaufen sind, folgt eine zweifache Wiederholung der Aufgabe. Dabei werden die Probanden gebeten, ihre jeweilige zuvor gebrauchte Zeit zu überbieten, ohne jedoch zu rennen. Dies soll den Menschen in einen leichten Stresszustand bringen, der darin resultiert, dass sich die Probanden mehr auf das Unterbieten der Zeit fokussieren, als auf das Laufen selbst. Neben der benötigten Zeit wird dabei gemessen, ob sie mit dem Tracker weiterhin innerhalb der Trittsteine sind, sowie die Abstände zu den einzelnen Slalomstangen. Sollte eine Stange berührt werden, bleibt diese für den Rest des Versuches gefärbt. Es wird also immer nur der Moment gespeichert, bei der sie das erste Mal berührt wurde.

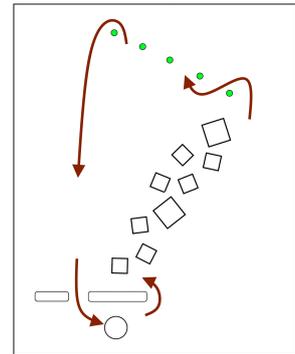


Abbildung 3.5: Schema Komplex

3.4 Aufzeichnung der Daten

Um die Frage zu beantworten, ob das Tragen eines VR-Headsets Auswirkungen auf die Bewegung hat, braucht es aussagekräftige Daten. Diese werden aus zwei verschiedenen Quellen gesammelt. Bei der ersten Quelle handelt es sich um automatisierte Aufnahmen, die während der Studiendurchführung im Hintergrund aufgezeichnet werden. Das zweite Datenpaket besteht aus drei Fragebögen, die jeweils nach dem Parcours und einmal abschließend nach der kompletten Durchführung beantwortet werden. Diese befassen sich mit dem Gefühl des Probanden und sollen die Selbsteinschätzung der Person aufzeigen.

3.4.1 Automatisierte Aufzeichnung

Im Gesamten geht es um die Frage, ob die Bewegung beeinflusst wird. Eine logische Folgerung daraus ist das Aufzeichnen der Positionen der beiden Tracker auf den jeweiligen Füßen. Die Koordinaten können später verwendet werden, um den Abstand zu einer Slalomstange zu messen. Weiterhin wird gezählt, wie häufig kalibriert wurde, sowie ein Counter, der für jeden Eintrag erhöht wird. Damit soll später die Auswertung des Parcours vereinfacht werden, indem bei der Auswertung die einzelnen Durchläufe des Parcours nach den Countern getrennt werden können. Auch wird notiert, welche Aufgabe der Proband aktuell erledigt, sowie spezifische Daten für die einzelnen Slalomstäbe und Trittsteine. Bei den Stäben handelt es sich um eine Abfrage, ob diese bisher berührt wurden. Bei den Trittsteinen handelt es sich um eine allgemeine Abfrage, ob ein Schuh diesen berührt, sowie einer Abfrage, welcher Teil des Fußes innerhalb der Markierung eines Trittsteins ist. Aufgeteilt ist der Fuß dabei in vier Teile. Diese sind Verse und Zehen, welche jeweils auf die linke und rechte Schuhseite aufgeteilt sind.

3.4.2 Fragebogen

Neben dem Erfüllen des Parcours werden die Probanden auch nach ihrem persönlichen Empfinden befragt. Die Fragen werden über das Probandentool SoSci gestellt [40]. Die Probanden erhalten dafür aus Anonymisierungsgründen ein Pseudonym. Die Teilnehmenden haben insgesamt drei Fragebögen zu beantworten. Zwei der Fragebögen beziehen sich auf die Aufgaben in einer der beiden Umgebungen und werden nach dem Ende des jeweiligen Parcours beantwortet. Beide Fragebögen bestehen dabei aus denselben Fragen. Der dritte Fragebogen wird am Ende der Durchführung beantwortet. Beide Fragebögen sind als Anhang A.1 bzw. A.2 eingebunden.

Nach dem jeweiligen Parcours werden Fragen zu den Aufgaben und zum Wohlbefinden der Person gestellt. Die Fragen in Bezug auf die Aufgaben gliedern sich dabei in Fragen zu den drei Trainings-szenarien und in Fragen zur Wahrnehmung der Aufgaben. Spezifisch sollen sich die ersten Fragen darauf richten, ob die Trainingsaufgaben als Vorbereitung geholfen haben. Dafür sollen drei Fragen in sieben Abstufungen von „*stimme ganz und gar nicht zu*“ bis „*stimme voll und ganz zu*“ angekreuzt werden. Die weiteren Fragen zur Wahrnehmung der Aufgaben geben Feedback über den subjektiven Eindruck der Aufgaben. Dabei soll etwa beantwortet werden, ob der Parcours Spaß gemacht hat oder herausfordernd war. Diese Fragen werden ebenfalls in der gleichen Abstufung angekreuzt. Der zweite Teil der Fragen bezieht sich auf gängige Symptome in Kombination mit VR und werden allgemein als Simulation Sickness Questionnaire (SSQ) bezeichnet [22]. Typische Symptome sind u.a. Übelkeit, gereizte Augen, Schwindel oder ein flaeses Gefühl im Magen. Dabei wird die Ausprägung jedes Symptoms während der Durchführung von „*gar nicht*“ bis „*schwer*“ bewertet.

Im letzten Fragebogen werden zuerst Alter und Geschlecht der Person abgefragt, zusammen mit den bisherigen Erfahrungen in Videospielen im Allgemeinen und VR-Spielen im Speziellen. Im weiteren Verlauf wird darauf eingegangen, wie realistisch die Simulation wahrgenommen wurde in Bezug auf Natürlichkeit, Immersion und Präsenz. Die Immersion und Präsenz sind beides Begriffe für den Realismus einer virtuellen Welt, unterscheiden sich aber in der Ebene der Auslegung. Die Immersion beschreibt den technischen Zustand, die die Umgebung und die Interaktion mit dieser möglichst realistisch darstellt. Die Präsenz hingegen steht für das psychische Gefühl. Eine hohe Präsenz bedeutet, dass der Nutzer auch das Gefühl hat, sich innerhalb der Welt zu befinden, sodass die reale Welt in den Hintergrund rückt [41]. Daher werden einige Fragen aus dem Präsenfragebogen von B. G. Witmer und M. J. Singer zum messen der Präsenz verwendet werden [21].

Weiterhin wird gefragt, ob die Bewegungsgeschwindigkeit, zu schnell, zu langsam, oder gleich zum eigenen Gefühl war. Im Anschluss werden die realen und virtuellen Szenarien anhand ihrer Schwierigkeit bewertet. Nachfolgend werden einige Aussagen getätigt, denen die Probanden zustimmen oder ablehnen sollen. Diese Aussagen beziehen sich auf einzelne Aspekte der Studie. Aussagen sind u.a., dass der Proband Angst hatte, in VR/Real zu stolpern oder dass der virtuelle Parcours einfacher war als der reale. Im nächsten Schritt, werden Wahrnehmung und Körpergefühl des Probanden abgefragt. Dabei wird auch gefragt, wie sich die Probanden während der Szenarien mit VR gefühlt haben und ob diese Angst hatten, dabei gegen ein Objekt in der realen Welt zu laufen. Zum Schluss hat jeder Proband die Möglichkeit, eigene Anmerkungen zu geben.

3.5 VR-Brille und Tracker

Es muss nun noch eine Entscheidung über die zu verwendende VR-Brille und die Tracker getroffen werden. Eine häufiger verwendete VR-Brille in Studien ist das HTC Pro von VIVE [36, 37, 42]. Diese besitzt eine geringe Latenz von 22 ms [43]. In einigen Studien kamen darüber hinaus auch die Tracker von VIVE zum Einsatz [36, 42].

Einige Arbeiten machen dabei auf das Problem der Lokalisierung von VIVE Trackern aufmerksam. G. Verdelet et al. beschreibt die VIVE Tracker als einfaches System, welches bis auf einen Zentimeter genaue Positionsangaben zulässt, solange die Verbindung aufrecht gehalten werden kann [44]. Auf ein ähnliches Ergebnis kommt das Team von Miguel Borges et al., welches sich näher mit den Trackern beschäftigte. Diese fanden heraus, dass die Tracker auf einen halben Millimeter genau sind, wenn sie sich in stehender Position befinden, jedoch große Unterschiede bei der Genauigkeit aufweisen, wenn die Tracker in Bewegung sind [42].

Eine weitere Studie aus dem Jahr 2017 geht genauer auf die HTC VR-Brille ein. Dafür haben Diederick C. Niehorster et al. [43] einen Raum mit zwei Lighthouses versehen und auf den Boden ein kartesisches Gitter gemalt. Anschließend haben sie die VR-Brille auf einem Standfuß befestigt und an die jeweiligen Punkte getragen. Die VR-Brille konnte bei ihrem ersten Versuch einige Male aufgrund der Positionierung kein infrarotes Licht von den Lighthouses empfangen, was zum Fehlen einiger Punkte führte. Bei einem zweiten Versuch, bei der sie diese Stellen exkludiert hatten, kamen sie zu recht akkuraten Ergebnissen. Allerdings fanden sie auch einen Nachteil am System. Sie fanden heraus, dass die VR-Brille eine Referenzebene verwendet, die leicht geneigt ist (siehe Abbildung 3.6). Auch fanden sie heraus, dass sich diese nach dem Verlust und Wiederfinden von Trackern verändern kann. Daher merken sie an, dass dieses System nur verwendet werden sollte, wenn der Verlust einer Verbindung eher unwahrscheinlich ist [43].

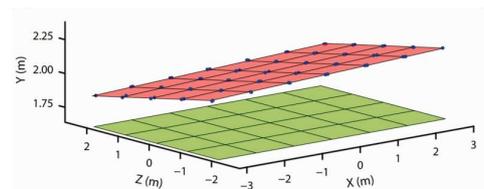


Abbildung 3.6: Referenzebene der HTC nach [43]

Da alle Störungsquellen im Raum abgedeckt werden sollen, das DLR einige Erfahrungen in der Verwendung der HTC Pro von VIVE hat und die eben genannten Studien mehrheitlich positive Ergebnisse aufweisen, wird es auch bei dieser Studie verwendet werden. Dasselbe trifft auf die VIVE Tracker zu, da diese ebenfalls mehrfach in Studien verwendet wurden. Diese werden für die Studie in der Modellversion 3.0 verwendet. Außerdem besitzt das DLR neben besagter VR-Brille und Tracker auch das passende Modul von VIVE für die kabellose Datenübertragung. VR-Brille und Tracker werden mit dem Outside-In Tracking betrieben. Dafür werden vier Lighthouses auf etwa zwei Meter hohe Füße gestellt, welche kurz vor den vier Ecken aufgebaut werden. Da das Headset über SteamVR verwendet wird, ergibt sich dabei auch eine Anzahl an verwendbaren Lighthouses. SteamVR kann maximal drei Lighthouses gleichzeitig nutzen. Sind mehr verbunden, so wechselt es zu den jeweils drei nächsten Lighthouses. Da davon ausgegangen wird, dass jedes weitere Lighthouse nur die Latenz erhöhen würde, werden nur vier Lighthouses, eines an jeder Ecke, verwendet.

3.6 Bewertungskriterien

Hier soll beantwortet werden, wie die Daten zur Entscheidungsfindung beitragen. Deutlich sind Unterschiede etwa, wenn mehr Platz zu einem Hindernis gelassen wird. Dafür werden die gespeicherten Koordinatenpunkte visualisiert. Anschließend wird die Entfernung der Punkte zum Hindernis berechnet. Beim Slalom kommen zusätzlich die einzelnen Stangen hinzu. Diese können in Real wie virtuell berührt werden. Sollte eine Stange vom Teilnehmer berührt werden, wird die Stange und Zeitpunkt der Berührung aufgezeichnet. Bei den Trittsteinen verhält es sich ähnlich, da in den Daten abgelesen werden kann, welche Bereiche des Fußes richtig platziert waren. Dadurch können Rückschlüsse auf mögliche Unterschiede bei präzisen Bewegungen geführt werden. Zusätzlich kann aus den zugehörigen Fragen auch auf die generelle Wahrnehmung der Probanden in Bezug auf die virtuellen Füße geschlossen werden.

Wichtig ist auch, für wie realistisch die Teilnehmenden beide Umgebungen empfinden. Sollten die Probanden den Parcours in der virtuellen Umgebung (Virtual Environment, VE) als nicht realistisch wahrnehmen, kann dies auch Unterschiede in der Bewegung hervorrufen. Diese sind dann allerdings nicht mehr allein auf das Tragen der VR-Brille zurückzuführen, sondern könnten auch auf eine unzureichende Immersion und Präsenz hinweisen. Folglich müssen die Fragen, die darauf abzielen, auch zeigen, dass Immersion und Präsenz hoch sind, da sonst keine eindeutigen Aussagen getroffen werden können. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass die Probanden langsamer laufen als in Real. Dies lässt sich anhand der letzten Aufgabe messen, bei der in allen drei Versuchen die Zeit gestoppt wird. Wenn sich die Probanden in der VE langsamer bewegen als in Real, kann dies allein jedoch kein ausschlaggebendes Kriterium sein, da nicht ersichtlich ist, ob die Person langsamer war aufgrund der Gefahr, gegen etwas zu laufen, oder weil die Aufgaben schwerer zu bewältigen waren. Dies lässt sich nur in Kombination mit einer hohen Präsenz und zusätzlichen Fragen beantworten, die u.a. darauf abzielen, ob der Proband diese Gefahr während des Durchlaufs auch wahrnahm. Letztlich stellt auch eine zusätzliche mentale Belastung einen Unterschied dar. Darüber sollen Fragen Auskunft geben, die auf das subjektive Gefühl abzielen, mental mehr gefordert zu sein, etwa durch eine höhere Konzentration. In diesem Sinne wäre auch eine geringe Ausprägung von Simulation Sickness wünschenswert,

Bereits einer der o.g. Unterschiede bei gleichzeitig hoher Präsenz kann auf einen Einfluss durch die getragene VR-Brille hinweisen. Im Gegenzug kann bei Abwesenheit aller Unterschiede, trotz hoher Präsenz, davon ausgegangen werden, dass das Tragen einer VR-Brille möglicherweise kaum bis keinen Einfluss auf die menschliche Bewegung ausübt.

4 Umsetzung und Studiendurchführung

Im folgenden Kapitel geht es um die Durchführung der Studie. Hier werden Entwicklung, Aufbau und Durchführung näher beleuchtet. Auch entsprechende Änderungen am Versuchsaufbau werden hier besprochen. Dafür wird zunächst auf die Entwicklung der einzelnen Komponenten eingegangen. Im zweiten Teil wird auf den ersten Versuch der Studie und die auftretenden Probleme eingegangen. Im letzten Abschnitt werden abschließend die aus dem ersten Aufbau gewonnenen Erkenntnisse für einen erneuten Versuchsaufbau genutzt. Hier wird auch beschrieben, welche Änderungen durchgeführt werden.

Für die Umsetzung wurde zunächst ein Raum gesucht. Die verwendeten Lighthouses sollen laut Hersteller maximal sieben Meter auseinander stehen, Da eine möglichst große Freifläche auch mehr Freiraum für die Bewegung bedeutet, soll der Raum auch mindestens in Länge oder Breite sieben Meter zur Verfügung stellen. Weiterhin sollten genug Steckdosen vorhanden sein, um alle Komponenten mit Strom zu versorgen. Da es sich um eine Studie handelt, die einen möglichst großen Platz braucht, kann dies nicht in den üblichen Studienräumen des DLR stattfinden, da diese zu klein sind. Um alle Anforderungen zu erfüllen, findet die Studie daher in einem Konferenzzimmer statt. Um die genauen Maße zu erhalten, wurde sich ein Laserentfernungsmessgerät ausgeliehen. Dieses bestimmt mittels des namensgebenden Lasers die Entfernung zu einem Punkt, indem es einen Lichtstrahl aussendet und wieder empfängt. Die Zeit, die das Licht bis zur Wand und zurück zum Sensor gebraucht hat, wird dann in die Entfernung umgerechnet. Bei zu langen oder zu kurzen Entfernungen wirft das Gerät hingegen eine Fehlermeldung. Die genauen Maße des Raumes sind in [Abbildung 4.1](#) zu sehen. Bei dem grünen Bereich handelt es sich um die nutzbare Fläche. Die Sterne sind die Positionen der Lighthouses. Der gelbe Kreis ist der Start- und Teleportationspunkt.

Das Zimmer bietet etwa acht Meter Breite und bis zu zwölf Meter Länge, was etwas größer ist als die empfohlene maximale Entfernung zwischen zwei Lighthouses.

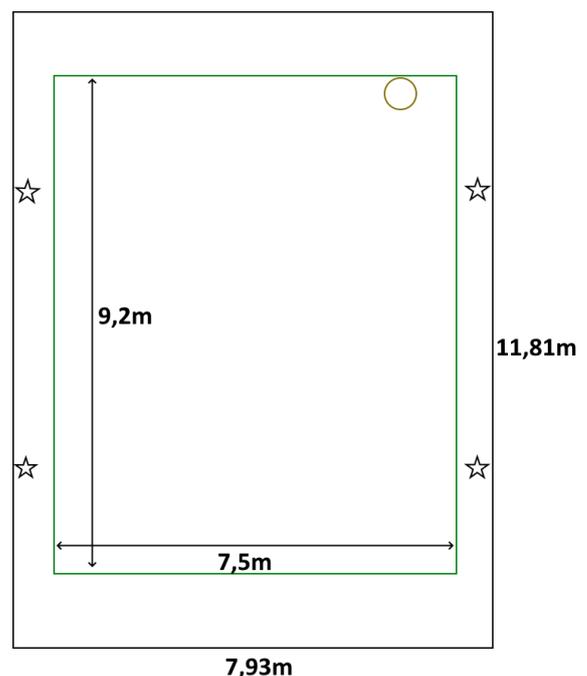


Abbildung 4.1: Raummaße mit Spielfeldbereich

4.1 Implementierung

In diesem Abschnitt werden die Vorarbeiten, die für die Durchführung nötig sind, dargelegt. Dabei wird zuerst auf die Erstellung des virtuellen Raumes eingegangen, gefolgt von den verwendeten Programmen. Zuletzt wird sich einem exemplarischem Ablauf gewidmet.

4.1.1 3D-Modelle

Um die Studie immersiv zu gestalten, muss der Raum, in dem die Probanden sich in der virtuellen Umgebung (VE) bewegen, dem Original möglichst nahe kommen. Wichtige Merkmale wie große Fenster, der Türbereich, das Gitter am Rand und die Wandtrennungen sollen in der virtuellen Version erkennbar sein. Decke und Höhe sind weniger wichtig, da meist geradeaus oder nach unten geschaut wird. Die Erstellung des Bodens beginnt mit dem Löschen des Standardwürfels und dem Einfügen einer 2D-Ebene, die auf die benötigte Länge skaliert wird. Im Editiermodus werden die Kanten der Ebene entlang der Z-Achse bewegt, um die gewünschte Höhe zu erreichen. Für eine bessere Bearbeitbarkeit wird die Fläche mittels der Option "Subdivide" unterteilt. Durch weitere Bearbeitung der Flächen werden Details hinzugefügt. Fensterbänke werden durch das Einfügen und Anpassen neuer Würfel erstellt. Die Lighthouses und Lampen folgen einem ähnlichen Prinzip. Lighthouses werden aus mehreren Zylindern erstellt. Eine Lampe wird modelliert und dann mittels Array Modifier vervielfältigt. Nachdem die Lampen in der richtigen Anzahl und Position angeordnet sind, wird der Modifier bestätigt. Alle erstellten Objekte werden schließlich zu einem einzigen Objekt verbunden, um die Handhabung in der Unreal Engine zu erleichtern.

Bevor das Modell beendet werden kann, braucht es noch eine UV-Map. Diese projiziert das 3D-Modell auf eine 2D Fläche, um auf diese z.B. eine Textur zu laden. Für das beste Ergebnis werden diese manuell angelegt. Dafür wird im oberen Bereich auf den Tab "UV Editing" gewechselt. Es öffnen sich zwei Fenster, davon links die UV Ansicht. Modelle können immer an Linien getrennt werden. Nachdem eine Linie ausgewählt wurde, wird mit Rechtsklick und "Erstelle Naht" eine Trennlinie erstellt. Nachdem mit der Taste A das gesamte Modell ausgewählt ist, wird mittels der Taste U nun das UV Mapping Menü geöffnet. Dort wird Unwrapping ausgewählt. Bei einem Zimmer bietet sich an, den Boden und die Vertiefungen, etwa durch Fenster oder Türen, von der Wand zu trennen. Diese können anschließend auf der UV Fläche verschoben werden.

Nachdem das Modell fertiggestellt ist, können Materialien hinzugefügt werden, um verschiedene Teile des Objekts zu färben. Diese Materialien können später in der Unreal Engine durch realistische Texturen ersetzt werden. Dazu wird in der rechten Leiste das Symbol eines roten Balls ausgewählt. Dort können Materialien hinzugefügt werden. Es ist wichtig, dass die Materialien farblich und namentlich klar unterscheidbar sind, um später in der Unreal Engine die richtigen Texturen zuweisen zu können. Im Edit Mode werden einzelne Flächen ausgewählt und durch Klick auf „Zuweisen“ mit Materialien belegt. Anschließend wird überprüft, ob alle Flächen nach innen zeigen, da sie sonst für den Spieler durchsichtig sind. Abschließend wird das fertige Objekt als .FBX Datei exportiert, da dieses Format am besten für 3D-Modelle geeignet ist. Eine genauere Anleitung befindet sich in Anhang C.

4.1.2 Datenaufzeichnung

Parallel zur Durchführung sollen im Hintergrund Daten aufgezeichnet werden, die Rückschlüsse auf das Verhalten des Probanden geben. Dies geschieht über ein Programm und zwei PlugIns. Das Programm und eines der PlugIns kümmern sich um die Kommunikation der Daten von den Trackern an die Unreal Engine. Beide befinden sich auf GitHub [45] [46]. GitHub ist eine Plattform, welche der Versionsverwaltungssoftware Git eine nutzerfreundlichere Oberfläche verschafft. Auf dieser können Nutzer selbst geschriebene Programmpakete, so genannte Repositories, hochladen, welche als Open Source von anderen heruntergeladen und verwendet werden können.

Das kleine Programm nimmt die Daten von OpenVR und gibt diese an die Unreal Engine über eine Verbindung namens "User Datagram Protocol" (UDP) weiter [45]. Bei einem UDP sendet das Programm die Informationspakete direkt an ein Zielprogramm, statt vorher eine Verbindung zwischen beiden herzustellen. Dies ist deutlich schneller als andere Verbindungen, hat jedoch den Nachteil, dass Pakete verloren gehen können, da nicht nachgeprüft wird, ob diese auch ankommen. Ein weiterer Nachteil ist die Tatsache, dass die Verbindung damit vulnerabel für Angriffe wird. Da es sich hier jedoch um keine Verbindung im Internet handelt, sondern einer innerhalb eines Rechners, hat dieses Problem für diese spezielle Anwendung keine Relevanz. Ein weiterer Vorteil dieses PlugIns besteht darin, dass zusätzliche Daten ausgelesen werden können, die SteamVR nicht ausgibt. So kann beispielsweise neben der Position und Rotation auch die Prozentanzeige der Batterie des Trackers erfasst werden.

Das erste PlugIn stellt das Gegenstück zum Programm, den UDP Receiver [46]. Dieser akzeptiert die UDP Daten von außerhalb und wandelt diese in das Blueprint System der Unreal Engine um, womit sie weiter verwendet werden können. Damit dies funktioniert muss das Programm in der Unreal Engine als PlugIn hinzugefügt werden.

Das zweite PlugIn ist ein DLR-internes PlugIn und erstellt eine .csv Datei. In diese werden während der Durchführung die in 3.4.1 genannten Daten geschrieben. Dafür wird ein Array erstellt, welches die Kopfzeile darstellt. Im Anschluss wird ein neues Array derselben Länge erstellt, wo die zu speichernden Daten eingefügt werden. Eine Limitation des PlugIns liegt darin, dass dieses zu Beginn erstellt wird und zur Laufzeit nicht beendet oder aktualisiert werden kann. Dies führt dazu, dass von Beginn an alle Trittsteine und Slalomstäbe geprüft werden, selbst, wenn die Aufgabe, in der sie vorkommen, aktuell nicht absolviert wird.

Da die Slalomstäbe statisch sind, braucht ihre Position nicht permanent aufgezeichnet werden. Stattdessen sind die Stäbe der Reihe nach nummeriert. Während der Laufzeit wird für jeden Stab einzeln über einen Boolean ermittelt, ob dieser berührt wurde. Dieser steht standardmäßig auf „false“. Sobald dieser „true“ ausgibt, bedeutet dies, dass der Stab mit einer Spieler Kollision überlappte. Auch die Trittsteine sind einzeln nummeriert und werden über mehrere Booleans beschrieben. Um zu erkennen, ob in einen Trittstein getreten wird, hat dieser eine Hitbox. Zusätzlich besitzen beide Schuhmodelle jeweils vier Hitboxen. Zwei befinden sich dabei bei den Zehen, während die anderen beiden an der Verse sitzen. Jeder Trittstein besitzt insgesamt vier Booleans, einer für jede Hitbox am Schuhmodell. Diese sind standardmäßig auf „false“. Sobald eine Hitbox vom Schuh mit der Hitbox eines Trittsteines überlappt, wird der jeweilige Boolean auf „true“ aktualisiert. Nach dem Verlassen der Hitbox wird dieser Boolean wieder auf „false“ gesetzt.

4.1.3 Programmierung

Hierfür sind primär zwei Programme zu nennen. Zum einen die Unreal Engine, in der die Studie durchgeführt wird, und das in 3.3 erwähnte Programm „VRTrackerReader“. Zunächst werden die Schritte erklärt, um den VRTrackerReader zu starten. Im zweiten Teil werden die Arbeiten erklärt, die in Unreal durchgeführt werden. Dabei handelt es sich zum einen um das Einbinden der Texturen und das Erstellen der Slalomstangen, sowie der Trittsteine. Zum anderen geht es um den Spielercharakter. Der Proband soll sich innerhalb des Raumes frei bewegen können. Zusätzlich soll er mit den Trittsteinen und den Slalomständern interagieren. Auch das Wechseln zwischen den Aufgaben wird hier beschrieben.

VRTrackerReader

```
C:\>G:  
G:\>cd G:\Unreal\Projekte\VRTrackerReader_ExtensionTest\x64\Release  
G:\Unreal\Projekte\VRTrackerReader_ExtensionTest\x64\Release>VRTrackerReader.exe -c  
G:\Unreal\Projekte\VRTrackerReader_ExtensionTest\x64\Release>VRTrackerReader.exe
```

Abbildung 4.2: Befehle in der Kommandozeile

Um das Programm zu starten, muss, wie in der Abbildung 4.2 ersichtlich, die Datei „VRTrackerReader.exe“ einmal mit dem Zusatz -c ausgeführt werden. Der Zusatz -c sorgt dafür, dass, statt der Ausführung des Programms, alle verbundenen VR-Komponenten in eine .ini Datei geschrieben werden. Nach Ausführung zeigt das Fenster auch an, welche Tracker aktuell in der .ini hinterlegt sind. Nun kann das Programm gestartet werden, indem noch einmal der Befehl „VRTrackerReader.exe“ ausgeführt wird, jedoch ohne den Zusatz. Wenn nun in der letzten Zeile „Currently Running“ steht, dann läuft das Programm. Durch das Drücken der Esc-Taste wird das Programm beendet. Zu beachten ist hierbei, dass sich das Programm immer bei dem Tastendruck beendet, selbst, wenn es nicht im Vordergrund ist.

Unreal-Engine

Aufgrund der Tatsache, dass das DLR einige Funktionalitäten und Kompetenzen für die Nutzung der Unreal Engine 5 besitzt, wird auch die Vorbereitung hier stattfinden. So wird der virtuelle Raum, in dem sich die Probanden während der Durchführung befinden, in Unreal vorbereitet. Auch die für die in der Auswertung verwendeten Positionsdaten werden über ein DLR-internes PlugIn gespeichert. Da der Proband sich nur innerhalb des virtuellen Raumes fortbewegen soll und sonst keine weiteren Fähigkeiten besitzt, braucht auch die Steuerung keine weitere Funktionalität. Daher reicht hierfür der Standard VR Player der Unreal Engine aus, der ausgewählt werden kann, wenn man ein neues Projekt startet.

Es wird folglich das Level erstellt, in der sich die Probanden später befinden. Dafür wird in der Engine eine neue Szene erstellt. Es empfiehlt sich, die Beispielszene zu nehmen und alle 3D Objekte zu löschen, da so das Licht bereits richtig eingestellt ist. Anschließend werden die Modelle

importiert. Nun werden die Texturen erstellt. Die in dieser Studie genutzten Texturen werden von der Webseite "ambientCG" bereitgestellt. Im Anschluss wird mit einem Rechtsklick ein neues Material erstellt. Dieses wird nun geöffnet und die jeweilige Textur hineingezogen. Anschließend werden die jeweiligen Nodes hinzugefügt. Dies kann auch in Anhang B.1 exemplarisch betrachtet werden. Dieser Vorgang wird für alle Texturen wiederholt. Anschließend wird das Modell in Unreal geöffnet. Hier können auf der rechten Seite die aktuellen Materials eingesehen und mit den eigenen ausgetauscht werden. Nachdem dies getan wurde, kann das Fenster wieder geschlossen werden. Nun wird das 3D-Modell in die Welt gezogen.

Im Anschluss werden die Aufgaben erstellt. Zur Vereinfachung wird jede Aufgabe in einem eigenen 3D-Modell des Zimmers stattfinden. Damit diese weiteren Zimmer für den Probanden jedoch nicht sichtbar sind, wenn man aus dem Fenster schaut, werden diese vertikal übereinander gesetzt, wie in Abbildung 4.3 zu sehen ist. Es werden so insgesamt fünf Räume erstellt. Der fünfte Raum ist leer und dient als Start- und Eingewöhnungszone, bevor der Proband bereit ist, mit den Aufgaben zu starten. Die Reihenfolge der Aufgaben orientiert sich an die Reihenfolge der Nennung in Abschnitt 3.3 und geht von unten nach oben.

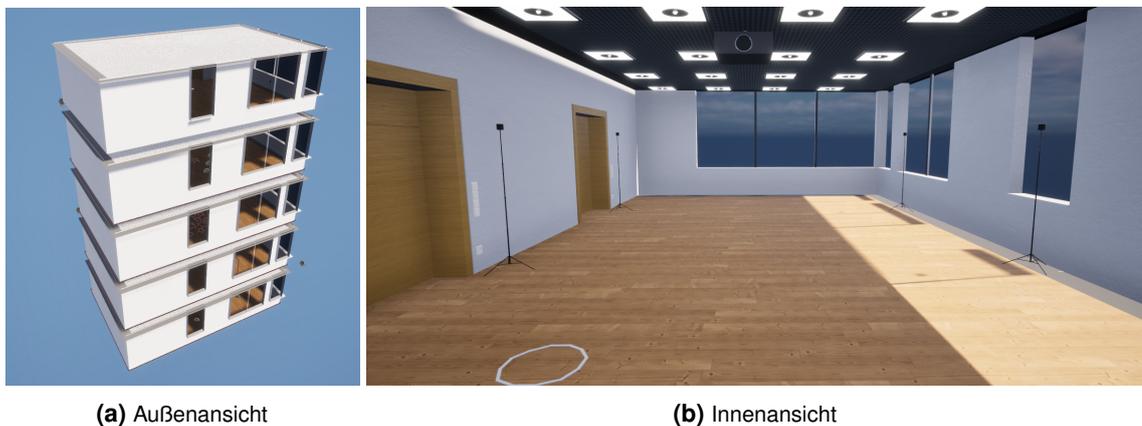


Abbildung 4.3: Innen- und Außenansicht des Szenarios

Der Slalom besteht aus grünen Zylindern. Diese haben einen Durchmesser von 10cm. Auf der linken Seite der Trainingsaufgabe Slalom beträgt die Distanz zwischen den Stangen 100 cm oder 75 cm. Die Abstände zwischen dem dritten und vierten, sowie dem sechsten und siebten sind 75cm, die anderen Abstände 100cm. Auf der rechten Seite beträgt der Standard 140 cm, wobei der Abstand zwischen dem zweiten und dritten Stab 180 cm beträgt. Diese werden standardmäßig grün angezeigt. Sobald eine Stange mit dem Spieler in Berührung kommt, verändert diese Stange ihre Farbe zu rot. Das Kurven laufen ist mit einer grünen Linie markiert. Um die Laufrichtung anzuzeigen, besitzt diese Linie Pfeile in die jeweilige Richtung. Die Trittsteine bestehen aus einem kleinen Viereck. Diese haben eine Fläche von 30cm x 30cm oder 60cm x 60cm. Außerdem erhalten diese eine Kollisionsbox, um zu erkennen, wenn der Spieler in diese tritt. Beim Parcours wird zuerst eine Wand erstellt. Dafür wird ein Standard Block der Unreal Engine hinzugefügt und auf eine Länge von einem Meter, einer Höhe von zwei Metern und einer Dicke von zehn Zentimetern verformt. Dieser wird dupliziert und anschließend nach links verschoben. Dabei entsteht eine Lücke von etwa 30 cm, durch die die Probanden später laufen sollen. Die Trittsteine haben diesselben Maße wie bei der Trainingsaufgabe. Bei den Slalomständern sind die Abstände jeweils 110cm zwischen den Stangen und verlaufen schräg durch den Raum. Für den Startpunkt, welcher auch als Teleportationspunkt zwischen den Räumen verwendet wird, wird ein Achteck erstellt. Die Bilder dazu sind als Anhang B.2 beigelegt.

Neben dem internen Plugin zum Aufzeichnen der Daten, sowie dem externen Plugin "VRTracker-Reader", benötigt es zwei eigene Methoden - einmal für das Bewegen zwischen den Räumen und einmal zur Kalibrierung der Füße. Die erste Methode kümmert sich um die Bewegung zwischen den Räumen. Dafür wird nach einem Tastendruck des Versuchsleiters der Bildschirm der VR-Brille schwarz. Sobald dies der Fall ist, wird der Spieler in eines der anderen Level teleportiert, indem seine Höhe mit einem Festwert multipliziert wird. In welches Level, hängt dabei von der gedrückten Taste ab. Die Reihenfolge der Tasten orientiert sich ebenfalls an der Reihenfolge der Nennung in Abschnitt 3.3, wobei hier noch die zusätzliche fünfte Etage existiert. Die gedrückte Zahl wird mit 400 multipliziert, da die Etagen 400 Unreal Units, umgerechnet vier Meter, auseinander liegen. Im Anschluss erhält der Proband langsam das Sichtfeld zurück.

Die zweite Methode kümmert sich um das Kalibrieren der Schuhe. Aufgrund der geneigten Ebene der VR-Brille können die Schuhe anfangs womöglich nicht richtig beim Spieler sitzen. Daher sollte eine Kalibrierung vorhanden sein. Da die Ebene während der Laufzeit sich nicht mehr verändert, reicht eine einmalige Kalibrierung am Anfang aus. Das zuständige Skript nimmt die Position des Spielers und richtet die Fußmodelle entlang der Y-Achse aus. Damit die Schuhe auf dem Boden stehen, nimmt es außerdem den Ursprungspunkt des VRActors, mit welchem sich der Spieler bewegt, als Z-Koordinate. Die Schuhmodelle werden vom DLR bereitgestellt.

4.2 Erstversuch Studie

4.2.1 Aufbau des Raumes

Auf der Freifläche werden im ersten Schritt die Lighthouses gegenüber voneinander an den jeweiligen Wänden auf etwa zwei Meter hohen Ständern befestigt. Dies soll gewährleisten, dass die von ihnen ausgesendeten Infrarotlichter den gesamten Bereich abdecken. Sie befinden sich damit etwa 7,5 m auseinander, was etwas über der maximalen angegebenen Weite von sieben Metern liegt.

Sind diese aufgestellt, erfolgt das Anbringen der Markierungen. Da es in Real im Vergleich zu virtuell höchst umständlich ist, mehrere Zimmer gleich auszustatten, werden diese alle in einen Raum verklebt. Damit die einzelnen Aufgaben voneinander unterscheidbar sind, werden die Aufgaben farblich getrennt. Um die Anzahl an Markierungen weiter zu verringern, werden einige der Trittsteine aus dem Training für die letzte Aufgabe verwendet. Diese werden jeweils in einer anderen Farbe als die übrigen Trittsteine markiert. Die Wand wurde mit einer gelb schraffierten Fläche markiert. Eine richtige Wand kann in der realen Durchführung nicht aufgestellt werden, da sonst das Risiko existiert, dass die Tracker nicht gesehen werden und somit keine Positionsverfolgung möglich ist. Der Slalom besteht aus grünen Kreuzen, auf die ein Hütchen gelegt wird, wenn der Proband diese Aufgabe in der realen Umgebung durchführt. Als Hütchen werden dabei Becher verwendet, die einen Durchmesser von 9 cm aufweisen. Im Parcours wird die Stelle der Slalomstangen mit gelben Kreuzen markiert. Die Trittsteine sind in blauer Farbe. Das Kurven Laufen wurde mit oranger und pinker Farbe realisiert. Um die Punkte möglichst genau zu kleben, betrachtet eine Person die virtuellen Punkte und markiert diese in der realen Welt, indem die Person mit der VR-Brille einen Tracker auf die Start- oder Endposition einer Linie legt. Häufig waren die Punkte jedoch nicht da, wo sie bei nachfolgendem Vergleich mit der virtuellen Position liegen sollten. Dies äußerte sich vor allem bei den Trittsteinen, da die meisten nicht quadratisch waren. Eine erste Fehlersuche ergab, dass

kurze Verbindungsabbrüche zwischen VR-Brille und Computer ein Grund für diese Diskrepanz sind. Diese entstehen, wenn das Signal der kabellosen VR-Brille nicht mehr vom Sensor, der an den PC angeschlossen ist, gefunden wird. Da es mit 60 Hz eine hohe Frequenz besitzt, kann das Signal nicht durch feste Körper, z.B. den menschlichen Körper, hindurch. Allerdings kann diese Feststellung die Ungenauigkeit nicht vollständig erklären, da selbst bei einem Neustart des Unreal Engine Projektes und ohne zwischenzeitliche Unterbrechung der Verbindung die Punkte nicht übereinstimmen.

Da weitere Anbringungen unter dieser Voraussetzung zu ungenau sind, wird sich folglich auf das Problem fokussiert. Um herauszufinden, ob diese Unstimmigkeit von den Trackern selbst kommt, wird ein weiterer Versuch aufgebaut. Dieser besteht aus einzelnen Messpunkten, die im Abstand von zwei Metern in jede Richtung ausgemessen und markiert sind. Somit entsteht ein Netz aus Quadraten auf der Freifläche, welche als rote Punkte in Abbildung 4.4 zu sehen sind. Auf diese Punkte werden die Tracker in mehreren Durchläufen nacheinander gesetzt und ihre virtuelle Position in Unreal erfasst. Während der Durchläufe werden dabei verschiedene Anpassungen vorgenommen. Insgesamt finden fünf Durchläufe pro Anpassung statt. Eine Auflistung der einzelnen Anpassungen lautet wie folgt:

- VIVE Controller anstelle der Tracker auf die Positionen legen
- Lighthouse werden 3mx5m aneinander gestellt
- die VR-Brille wird in die Mitte des Bereiches gelegt
- Nutzen des älteren VIVE Tracker Modell 2.0 anstatt der 3.0

4.2.2 Erkenntnisse und Lösungsansatz

Der zuvor beschriebene Aufbau wurde in mehreren Runden umgesetzt. Wie in Abbildung 4.4a zu sehen, variieren die Abstände zwischen erwarteter und tatsächlicher Position deutlich. In den ersten Punkten vor der VR-Brille ist der Unterschied minimal, während er in weiterer Entfernung deutlich zu erkennen ist. Es lässt sich ebenfalls eine kleiner „rotational Shift“ erkennen. Das Headset in die Mitte des Raumes zu legen verbessert die Performance deutlich, wie in 4.4b zu sehen ist. Während die Distanz zwischen Soll und Ist im Median bei der ursprünglichen Version bei 28,07cm liegt, ist dieser bei der neuen Position der VR-Brille mit 13,77cm deutlich geringer. Die einzelnen Verschiebungen sind immer noch präsent, jedoch bei weitem nicht mehr so stark. Weiterhin lässt sich erkennen, dass die Verschiebung jetzt diagonal ist, und diese Richtungsverschiebung weitgehend konform stattfindet.

Die anderen Versuche bringen hingegen keine Verbesserung. Die Controller, sowie die VIVE Tracker der 2. Generation erzeugen schlechtere Ergebnisse. Die Mediandistanz der Controller beträgt 24,46 cm und die der VIVE Tracker der 2. Generation bei 18,85 cm. Bei den Controllern muss jedoch angemerkt werden, dass diese aufgrund ihrer Form so gelegt wurden, dass die Mitte des Controllers auf den Positionen lag. Bei den Lighthouses, die enger zueinander gerückt wurden, werden die Tracker häufig nicht gefunden.

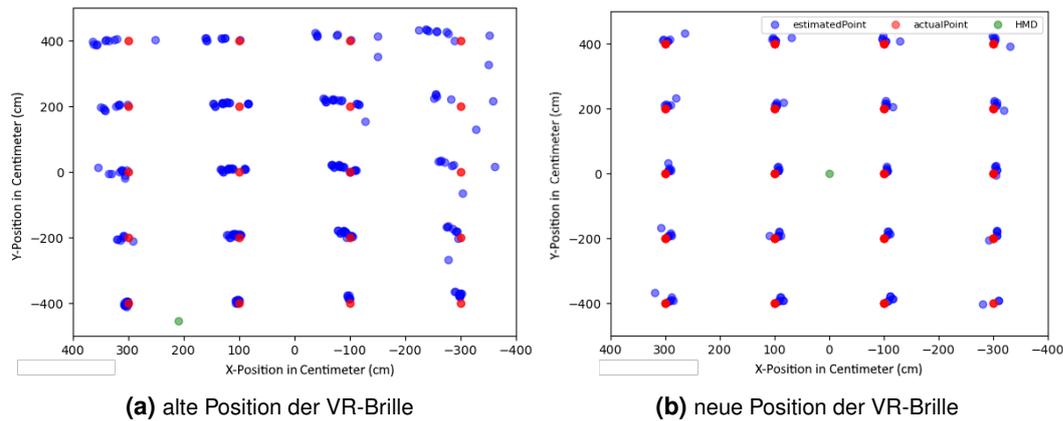


Abbildung 4.4: Genauigkeit der Tracker

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Verschiebung u.a. von der Position in Relation zur VR-Brille beeinflusst wird, jedoch nicht der alleinige Grund hierfür darstellt. Die Sichtbarkeit für die Lighthouses könnte ebenfalls ein Grund sein, der aus Zeitgründen jedoch nicht weiter erforscht wird. Weiterhin lässt sich sagen, dass die Tracker für genaue Positionsangaben außerhalb eines 100cm Radius um den Spieler eher ungenau und damit ungeeignet sind.

Da die Ergebnisse zeigen, dass eine zentral gelegene VR-Brille besser für die Genauigkeit ist, wird die Standardplatzierung für die VR-Brille in die Mitte des Raumes verlegt. Dafür muss sichergestellt sein, dass dieses entsprechend nicht im Weg liegt, wenn sich die Probanden in der realen Versuchsdurchführung befinden. Weiterhin werden die Tracker zwischen den Durchläufen mit Aufladestationen verbunden, sodass diese zu Beginn stets vollgeladen sind. Ebenso wurde unabhängig dazu die Entscheidung getroffen, die Anzahl an Markierungen zu reduzieren, um die Probanden nicht zu überfordern. Dafür werden einige der Trittsteine aus dem Training „Trittsteine“ für die letzte Aufgabe verwendet. Diese werden jeweils in einer anderen Farbe als die übrigen Trittsteine markiert.

Auf die Bewertungskriterien haben die Veränderungen aber keine direkten Auswirkungen, da die Aufgaben im Kern unberührt bleiben. Indirekt muss jedoch eine gewisse Ungenauigkeit bei der Platzierung der Tracker angenommen werden, wenn diese sich von der VR-Brille entfernen. Aufgrund der erfassten Daten, bei denen sich die VR-Brille in der Mitte des Raumes befand, wird diese Ungenauigkeit auf einen Umkreis von 14cm um den eigentlichen Punkt bestimmt, was bereits sehr ungenau ist. Allerdings wurde dabei nicht betrachtet, wie ungenau die Tracker sind, wenn diese sich direkt vor oder unter der VR-Brille befinden, so wie es während der Durchführung der Fall sein wird. Es kann daher nicht gesagt werden, ob diese Ungenauigkeit auch beim laufen auftritt. Es besteht daher die Möglichkeit, dass über die Präzision keine Aussage mehr getroffen werden kann.

4.3 Zweitversuch Studie

Da sich das Anbringen der Markierungen unter Verwendung der VR-Brille und den Trackern als untauglich herausgestellt hat, werden die Markierungen diesmal mittels der im letzten Abschnitt erstellen Messpunkte angebracht. Dies stellt sich als einfacher und deutlich zeitsparender heraus, wenn auch eine gewisse Restungenauigkeit nicht ausgeschlossen werden kann. Daher werden deutlich auffallende Unterschiede virtuell angepasst, da auch hier der Aufwand geringer ausfällt. Für die VR-Brille wird in der Mitte des Bereiches ein Rechteck aufgeklebt, in der es bei

Nichtbenutzung liegt. Dies wird der neue Startpunkt in die VE, wobei der Teleportationspunkt weiter an der alten Position verbleibt, um direkt vor den Aufgaben zu starten. Außerdem werden die Aufgaben in ihrer Länge etwas verkürzt, um so die Verbindungsabbrüche zu verhindern. Die neue Fläche ist als Abbildung 4.5 hinzugefügt. Zusätzlich zum bereits bekannten Aufbau befindet sich in der Mitte ein rotes Viereck. Hier befindet sich die VR-Brille, wenn der Proband den Versuch in Real durchführt. Der Slalom ist auf beiden Seiten von neun auf sieben Stangen reduziert. Die Trittsteine, die für beide Aufgaben verwendet werden, werden mit einem blauen Band aufgeklebt. Die restlichen erhalten eine grüne Farbe. Die anderen Farben ändern sich nicht. Zusätzlich werden zwei Kameras aufgestellt, welche im Zweifel nachprüfen können, ob der Proband bei der realen Durchführung innerhalb der Markierung war oder ein Hütchen berührt hat. Diese werden an beiden vertikalen Enden des Raumes aufgestellt, damit diese das komplette Spielfeld übersehen können. Der Aufbau ist somit – im Kontrast zum ersten Versuch – abgeschlossen. Während der Pilotstudie wurde jedoch ein neues Problem entdeckt. Die testende Person bemerkte, dass scheinbar durch die Kalibrierung der Füße der Spieler leicht versetzt wird. Dies war bei jedem Neustart und anschließender Kalibrierung der Fall, die Ausprägung jedoch unterschiedlich. Da der Proband danach aber keine plötzliche Änderung mitbekommt, steht die Vermutung im Raum, dass diese Verschiebung während des Durchlaufes konstant bleibt. Wenn sich dies bestätigt, kann diese im Nachgang bei der Auswertung berücksichtigt werden.

Da sich dieses Problem im Nachhinein mit einiger Wahrscheinlichkeit lösen lässt und der Raum nur eine begrenzte Verfügbarkeit aufweist, wird der Versuch weiter durchgeführt. Um den Testpersonen nicht die Immersion zu nehmen, wird in VR weiterhin kalibriert. Aus Sicherheitsgründen wird jedoch die Länge und Breite des Parcours gekürzt. Die damit finalen Szenarien sind im Anhang B.3 bis B.6 hinterlegt. Um sicher zu gehen, dass keine Person gegen die Wand, Lighthouses, oder Kameras läuft, wird zusätzlich eine weitere Person hinzugezogen, die bei entsprechender Gefahr dem Probanden Bescheid gibt.

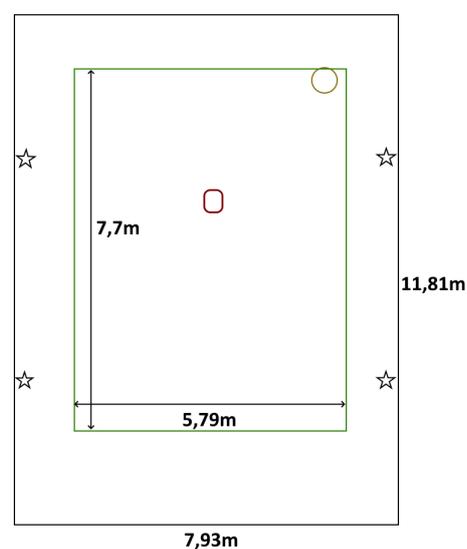


Abbildung 4.5: Spielfeldbereich nach dem zweiten Aufbau

In der Durchführung bestätigt sich die Vorsicht bezüglich der Sicherheit. Während einige Probanden in der VE keine Verschiebung trotz Kalibrierung haben, sind diese bei anderen deutlich zu erkennen. Insgesamt wurden zwei Probanden gewarnt, da diese sonst gegen ein Objekt gelaufen wären. Die Wand wurde kein einziges Mal erreicht.

4.4 Studienablauf

In diesem Abschnitt wird zunächst ein beispielhafter Ablauf der Durchführung erklärt. Im letzten Absatz folgt dabei eine Zusammenfassung der Studiendurchführung.

Nach der Begrüßung des Probanden, wird dieser gebeten, den Probandenvertrag zu unterschreiben. Währenddessen wird anhand der Nummer des Probanden die Abfolge der Aufgaben festgelegt. Die Nummern werden nach der Reihenfolge der Durchführung vergeben. Für das exemplarische Beispiel wurde Versuchsperson eins genommen. Diese VP beginnt mit der virtuellen Versuchsdurchführung. Zuerst werden die Tracker an den Füßen angebracht und es wird beim Aufsetzen der VR-Brille geholfen. Nachdem der Spieler steht, wird der VRTrackerReader und die virtuelle Szene über die Unreal Engine gestartet, sowie die Füße kalibriert. Der Proband startet in dem leeren Raum, um sich mit der virtuellen Umgebung vertraut zu machen. Sobald dieser bereit ist, zu starten, wird dieser gebeten, sich in den Startpunkt zu stellen. Danach werden die einzelnen Trainingsaufgaben in der definierten Reihenfolge durchgeführt.

Im Anschluss folgt der Parcours. Nachdem dieser einmal begangen wurde, wird die Person gebeten, die Runde zu wiederholen und dabei möglichst schneller zu sein als beim ersten Mal. Dies wird anschließend ein weiteres Mal getan, sodass der Proband den Parcours insgesamt dreimal abläuft. Im Anschluss wird die Unreal Engine beendet, damit das DLR-PlugIn eine .csv Datei generiert. Währenddessen wird dem Teilnehmer beim Absetzen der VR-Brille geholfen. Dieser füllt anschließend den ersten Fragebogen aus. Ist dies getan, wird die Unreal Engine und der VRTrackerReader erneut gestartet, damit die Bewegung der Tracker aufgezeichnet werden. Es folgt eine Wiederholung der Trainingsaufgaben in derselben Reihenfolge, diesmal aber in Real. Auch der Parcours wird im Anschluss dreimal abgelaufen. Ist die zweite Durchführung beendet, wird erneut der Fragebogen zu möglichen Symptomen gestellt, sowie ein letzter Fragebogen, der Bezug auf die Präsenz, die Schwierigkeit, sowie das subjektive Gefühl des Probanden während der Studie nimmt, beantwortet. Während der Proband diese Fragen beantwortet, werden ihm die Tracker abgenommen und bis zum nächsten Probanden an die Ladestation angeschlossen.

Insgesamt haben zwölf Probanden an der Studie teilgenommen. Unter den Teilnehmern befanden sich drei Frauen und neun Männer. Das Alter der Probanden lag im Schnitt bei 27,7 Jahren. Die Studie dauerte vom ersten bis zum letzten Teilnehmer vier Tage. Die Durchführung dauerte etwa 30 Minuten pro Person, wovon 15-20 Minuten für die Beantwortung der Fragebögen benötigt wurden. Die Zeit in den Trainingsaufgaben war zumeist etwas länger als die Durchführung des Parcours.

5 Erkenntnisse

In diesem Kapitel geht es um die Auswertung der erhobenen Daten. Zunächst geht es um die Fragebögen, die nach der Durchführung beantwortet wurden. Dabei wird auch auf die Schuhmodelle eingegangen. Im Anschluss werden einige Aspekte der aufgezeichneten Daten betrachtet, um so schlussendlich die Frage zu beantworten, ob das Tragen der VR-Brille einen Unterschied in der Bewegung hervorruft.

Zunächst einmal wird kurz auf die Probanden eingegangen. Die jüngste Person war 18 Jahre, die älteste 43 Jahre. Es ergab sich dabei ein Altersdurchschnitt von 27,7 Jahren. Die meisten Teilnehmer sind männlich. Neben acht Männern namen auch drei Frauen an der Studie teil. Einmal wurden keine Angaben zum Geschlecht gemacht. Aufgrund der geringen Teilnehmeranzahl muss bei den Erkenntnissen jedoch bedacht werden, dass es sich nur um eine kleine Testgruppe handelt. Allgemeine Aussagen lassen sich dadurch nicht feststellen. Es können jedoch Tendenzen gezeigt werden, die anschließend in Studien mit größerem Probandenpool weiter untersucht werden können.

5.1 Auswertung der Fragebögen

Die meisten Probanden haben bereits Spielerfahrung. Dies ist in Abbildung 5.1 ersichtlich. So gaben elf von zwölf Personen an, häufiger Computerspiele zu spielen. Die meisten geben jedoch ebenfalls an, keine oder nur selten VR-Spiele zu spielen. Eine Person gab in beiden Fällen an, noch nie gespielt zu haben.

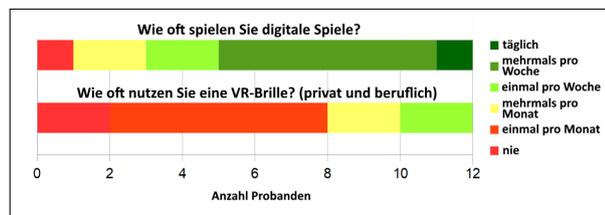


Abbildung 5.1: Angabe der Probanden zu Spiel- und VR-Erfahrung

Aufgrund der Wichtigkeit einer hohen Immersion und Präsenz, wird sich den Fragen aus dem PQ zuerst gewidmet. Im Anschluss wird der Einfluss der Schuhmodelle betrachtet. Weiterhin werden die Symptome aus dem SSQ ausgewertet. Zuletzt wird auf das Gefühl der Probanden über die einzelnen Aufgaben eingegangen. Außerhalb der standartisierten Fragen zur Simulation Sickness und dem Präsenzfragebogen, wurden alle weiteren Fragen innerhalb des Fragebogens mithilfe einer Likert-Skala beantwortet.

5.1.1 Immersion und Präsenz

Zuerst wird auf die Immersion und das Präsenzgefühl der Probanden eingegangen, da diese, wie bereits in Abschnitt 3.6 erwähnt, grundlegend für eine mögliche Vergleichbarkeit sind.

Da die Immersion im Sinne einer technischen Voraussetzung durch das Tragen einer VR-Brille gegeben ist, wird hier kurz auf zwei weitere, eher technische Aspekte eingegangen. Die Eingewöhnung kann auch als Präsenzfrage aufgeführt werden kann, wird hier jedoch als Immersion gesehen, da eine fehlende Eingewöhnung dem Nutzer die deutliche Information gibt, dass es sich bei dem Tragen der VR-Brille um einen nicht-natürlichen Zustand handelt. Dies könnte sich negativ auf das subjektive Gefühl des Probanden auswirken. Weiterhin wird die Verzögerung zwischen einer Aktion und deren Reaktion von den Probanden bewertet. Die Fragen sind in [Abbildung 5.2a](#) bzw. [5.2b](#) zu sehen.

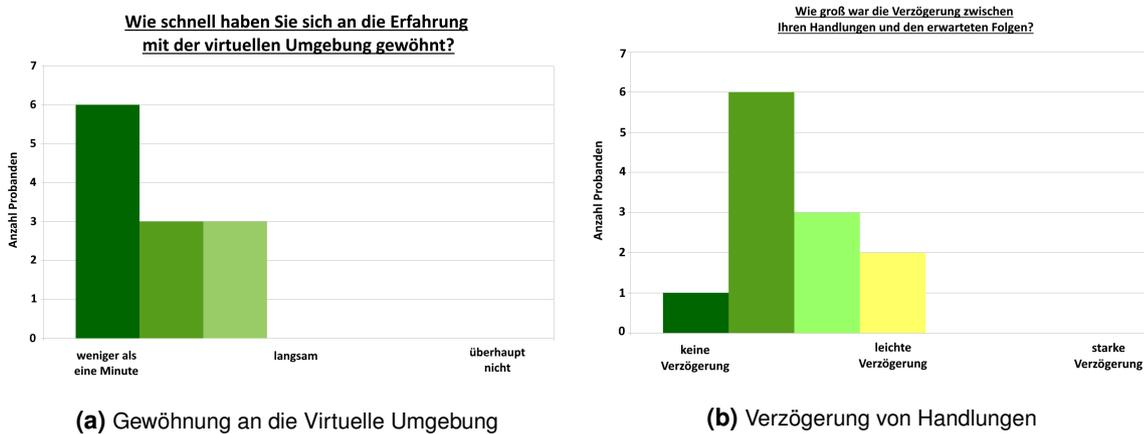


Abbildung 5.2: Fragen nach der Immersion der HTC VIVE

Die Ergebnisse sind in beiden Fällen positiv. Die Gewöhnung an die virtuelle Umgebung erfolgt für die Hälfte der Probanden nach weniger als einer Minute. Drei Teilnehmer haben sich nach ein bis zwei Minuten eingewöhnt, während drei weitere Probanden einige Minuten benötigten, um sich an die Umgebung zu gewöhnen. Ähnlich sieht bei der Verzögerung aus. Dort gibt die Hälfte der Teilnehmer an, nur minimale Verzögerungen zu spüren. Nur zwei würden sagen, dass es eine leichte Verzögerung gab. Eine Versuchsperson berichtet hingegen von keinen bemerkbaren Verzögerungen.

Präsenz in Bezug auf die virtuelle Umgebung

Für das Präsenzgefühl wurden einige Fragen mithilfe einer Likert-Skala von „sehr schwach“ bis „sehr stark“ beantwortet, welche in [Abbildung 5.3](#) zu sehen sind. So sind sich die Teilnehmer einig, dass sie die Ereignisse stark bis sehr stark kontrollieren konnten. Die Reaktionen auf eine getätigte Aktion des Probanden waren für zehn Personen eher bis sehr vorhersehbar, wobei zwei Personen dem nur teilweise zustimmen. Acht Personen sind der Ansicht, dass ihre Sinne eher oder sehr stark involviert waren. Zwei sind sich uneinig und weitere zwei Personen gaben an, dass ihre Sinne eher schwach involviert waren. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass nur der optische Sinn angesprochen wurde, da weder Geräusche zu hören waren, noch Berührungen übertragen werden konnten. Weiterhin waren elf Personen der Ansicht, dass sie sehr gut die Umgebung erfassen konnten. Auch das Gefühl, wie sich in der VE bewegt wird, war sehr natürlich. So waren elf Probanden der Ansicht, dass das Gefühl, sich in der virtuellen Umgebung zu bewegen, eher bis sehr überzeugend war. Nur eine Person ist sich uneinig. Einige fühlten sich sogar so präsent, dass sie minimal davon abgelenkt wurden, wie [Abbildung 5.4](#) Aufschluss gibt. Ebenfalls fühlten sich alle eher bis sehr stark durch die virtuellen Aspekte der Umgebung einbezogen. Elf von zwölf Personen gaben weiterhin an, stark bis sehr stark in das Geschehen in der virtuellen Welt hineingezogen worden zu sein. Nur eine Person fühlte sich eher schwach hineingezogen.

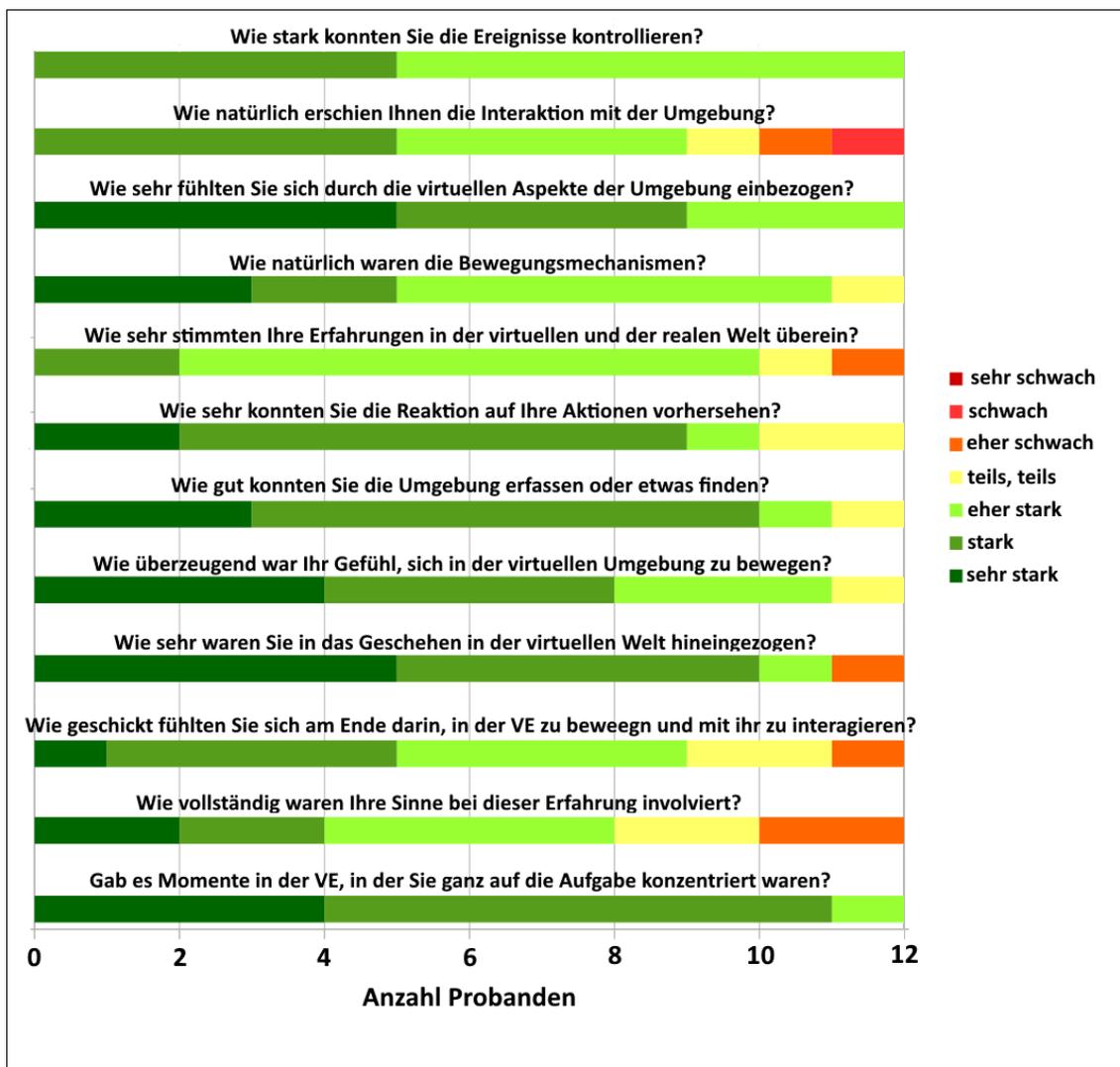


Abbildung 5.3: Fragen zu Präsenz

Die Fragen zeigen, dass der Raum insgesamt positiv zur Wahrnehmung beigetragen hat. Auch die Interaktion mit der virtuellen Umgebung erschien mehrheitlich natürlich, wenngleich eine Person sich unsicher ist und zwei die Interaktion als eher unnatürlich empfanden. Dies könnte entweder den Wunsch nach mehr Interaktion ausdrücken, oder aussagen, dass die Slalomstangen als unnatürlich wahrgenommen wurden, da diese die einzige Interaktion des Probanden mit der Umgebung darstellen. Es könnte damit allerdings auch Bezug auf die Schuhe in Kombination mit dem Slalom genommen worden sein.

Am Ende fühlten sich neun Personen eher bis sehr geschickt darin, sich in der virtuellen Umgebung zu bewegen und mit ihr zu interagieren. Auch gab es während der Durchführung Momente, in denen jeder Teilnehmer ganz auf eine Aufgabe konzentriert war. Für zehn Befragte stimmten die Erfahrungen in der virtuellen und realen Welt überein. Dafür war sich eine Person un-

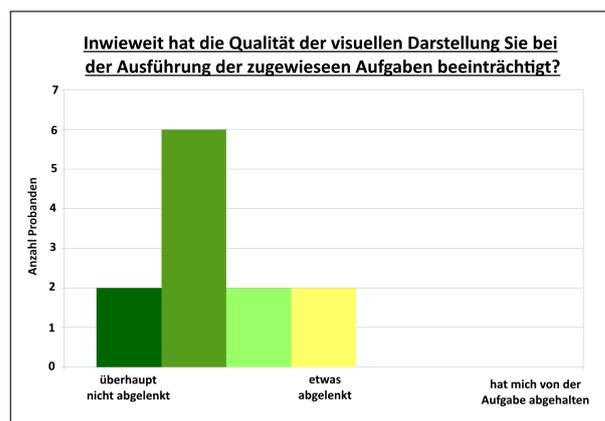


Abbildung 5.4: Frage zur Ablenkung der visuellen Darstellung

schlüssig und eine stimmte dem eher nicht zu. Dies könnte daran liegen, dass die Wand nur virtuell existierte. Auch könnte die Person Probleme mit den Fußmodellen gehabt haben.

Insgesamt sind die Ergebnisse recht positiv zu deuten. Ein Proband gab als zusätzliche Bemerkung an, dass dieser die reale Umgebung vollkommen vergessen hat, bis er einmal angehalten werden musste, da dieser fast gegen einen Lighthouse gelaufen wäre. Man kann davon ausgehen, dass die Immersion und Präsenz hoch ausgeprägt waren und eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse demnach möglich ist.

Einflussnahme der Schuhmodelle

Neben der Umgebung sind dabei jedoch auch die Schuhmodelle interessant. Da diese speziell für die Präzisionsaufgaben erforderlich waren, ist es interessant, zu wissen, wie die Probanden diese virtuellen Schuhe wahrnahmen. Dafür wurden den Probanden Fragen gestellt, die sich speziell auf die virtuellen Füße beziehen. Diese Aussagen konnten auf einer Likert-Skala von „stimme voll und ganz zu“ bis „stimme ganz und gar nicht zu“ eingestuft werden. Bei den Antworten zeigt sich jedoch, dass die virtuellen Schuhe ein großes Problem für die Bewältigung der Aufgaben waren. Die Fragen in Abbildung 5.5 verdeutlichen diese Probleme.

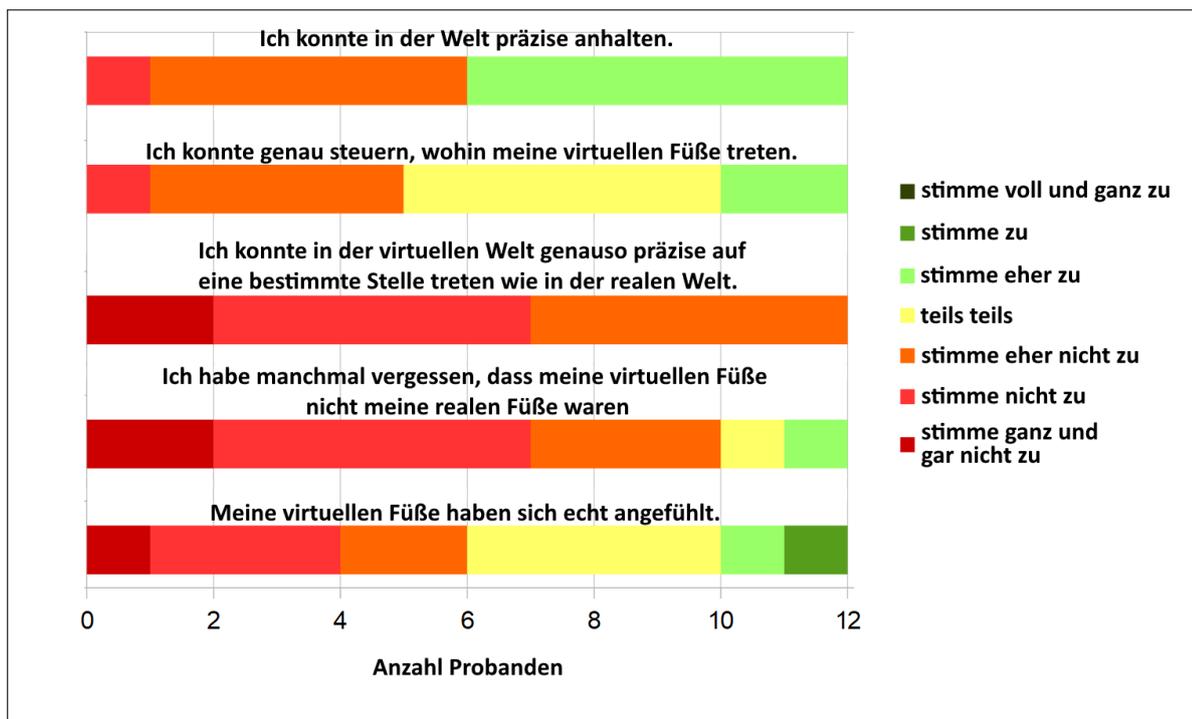


Abbildung 5.5: Fragen zum Fußmodell

So haben sich die virtuellen Schuhmodelle nur für zwei Teilnehmer echt angefühlt. Vier stimmen dem zumindest teilweise zu, sechs Personen sind hingegen anderer Meinung. Ebenfalls ist zehn von zwölf Personen permanent aufgefallen, dass die virtuellen Füße nicht die realen Füße sind. Dies kann damit zusammenhängen, dass alle die gleichen Schuhmodelle hatten, ungeachtet der

persönlichen Schuhgröße. Es kann jedoch auch dafür sprechen, dass sich die virtuellen Schuhe unnatürlich bewegt haben oder sich diese nicht an der richtigen Position befanden. Letzteres wäre dabei auf die Tracker zurückzuführen, da diese direkt auf der Schuhzunge sitzen und entsprechend die Position der Füße akkurat wiedergeben sollten.

Weiterhin sind sechs Probanden der Meinung, dass diese in der virtuellen Welt eher präzise anhalten konnten. Die anderen sechs widersprechen dem. Auch sind nur zwei Personen der Ansicht, dass sie eher genau steuern konnten, wo die virtuellen Füße auftreten. Ganze fünf Personen stimmen dem nur teilweise zu, weitere fünf fanden die Schuhe eher ungenau. Gleichzeitig sind alle Teilnehmer der Ansicht, dass sie in der Virtuellen Umgebung weniger präzise Bewegungen machen konnten als in der realen Umgebung. Ein Proband merkte zusätzlich an, dass die Füße gefühlt verzögert reagierten und deshalb ein akkurates Platzieren der Füße schwierig war.

Es lässt sich anhand der Bewertungen erkennen, dass die virtuellen Schuhmodelle mehr Hindernis als Hilfe waren. Besonders im Bereich der gefühlten Präzision, dem ursprünglichen Grund ihrer Implementation, waren diese sehr mangelhaft. Da die Schuhmodelle sehr negativ wahrgenommen wurden, könnten diese durchaus auch einen negativen Effekt auf die Präsenz ausgeübt haben. Außerdem könnten diese auch der Grund sein, warum eine Person das Gefühl hatte, sich eher ungeschickt in der VE zu bewegen. Ebenso könnten die Personen, die ganz oder teilweise dagegen waren, dass die Erfahrungen in der virtuellen und realen Welt nicht übereinstimmen, sich bei ihrer Antwort auf die virtuellen Schuhe bezogen haben. Aufgrund der hohen Zustimmung in Abbildung 5.3 wird jedoch davon ausgegangen, dass ein möglicher negativer Effekt auf die Präsenz zwar vorhanden sein kann, dieser aber nicht deutlich genug ausfällt, um die Ergebnisse maßgeblich zu beeinflussen. Dennoch sollte bei einer zukünftigen Studie, die Präzisionsaufgaben mit virtuellen Füßen beinhaltet, mehr Zeit in die Implementierung dieser fließen. So sollten einige Abstufungen der Fußgröße vorhanden sein,

5.1.2 Simulation Sickness

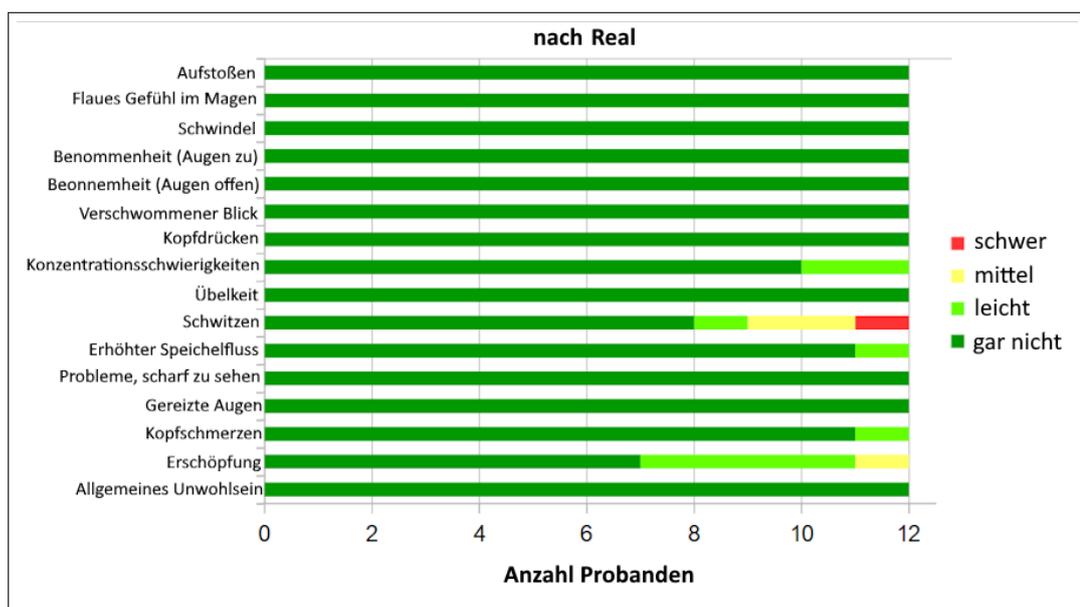


Abbildung 5.6: Angaben zu Simulation Sickness Symptomen nach dem Durchführen der Aufgaben im realen Umfeld

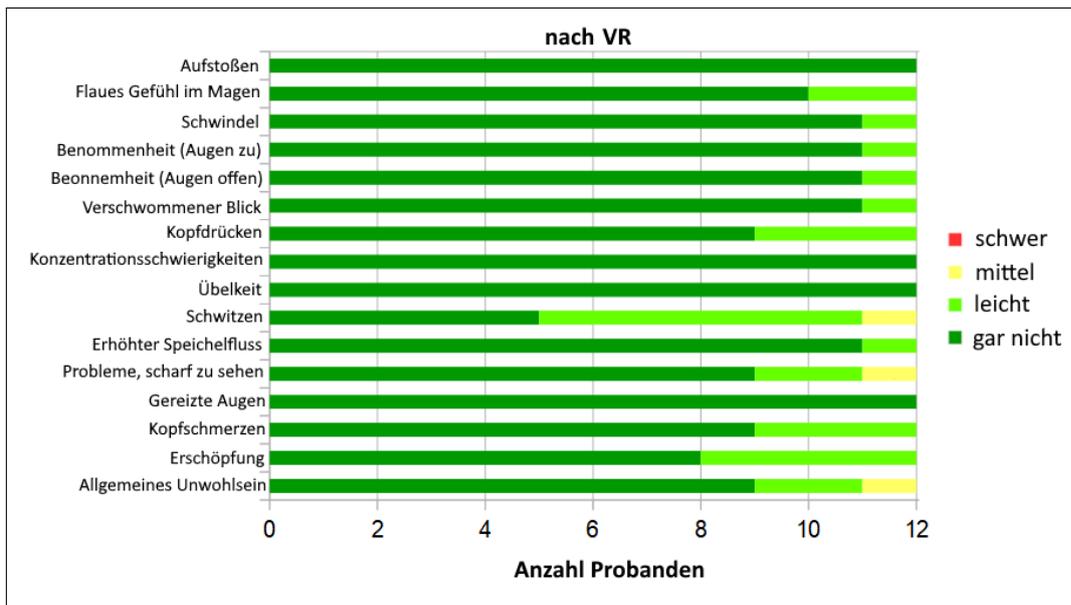


Abbildung 5.7: Angaben zu Simulation Sickness Symptomen nach dem Durchführen der Aufgaben im virtuellen Umfeld

Als nächstes wird Bezug auf die Fragen zur Simulation Sickness (SSQ) genommen. Diese wurden von allen nach jedem Durchlauf beantwortet. In Abbildung 5.6 bzw. Abbildung 5.7 sind alle auswählbaren Symptome in einem Balkendiagramm dargestellt. In beiden Szenarien gab es kaum Beschwerden. Bei 16 auswählbaren Symptomen wurden im Durchschnitt zwei bis drei Symptome pro Person angegeben. Trotz der Ähnlichkeit waren die besten Bewertungen mehrheitlich im realen Szenario zu finden, während in VR leichte Symptome häufiger auftraten. Am häufigsten trat Schwitzen mit zwölfmal (achtmal nach VR) auf, gefolgt von Erschöpfung mit zehnmal (fünfmal nach VR). Ebenso war Schwitzen das am stärksten ausgeprägte Symptom, in beiden Szenarien. Insgesamt gab es sieben leichte, vier mittlere und sogar einmal schwere Schweißausbrüche. Interessanterweise waren die schwere und zwei der mittelstarken Symptome nach dem realen Durchlauf gegeben worden. Es wird vermutet, dass diese von den Anstrengungen hervorgerufen wurden, auch in real möglichst schnell zu sein. Weiterhin trat nach VR ein allgemeines Unwohlsein sowie Probleme, scharf zu sehen einmal in mittlere Schwere auf. Insgesamt vier Personen fühlten eine leichte Erschöpfung nach VR, drei Probanden gaben leichtes Kopfdrücken an, ebenso wie drei Probanden leichte Kopfschmerzen hatten. Leichte Probleme mit dem scharf sehen hatten zwei Personen, ebenso wie ein Allgemeines Unwohlsein oder ein Flaues Gefühl im Magen. Schwindel, Benommenheit bei offenen und geschlossenen Augen, sowie erhöhter Speichelfluss traten bei jeweils einer Person leicht auf. Nach Real traten deutlich weniger Symptome auf. Neben Schwitzen und Erschöpfung wurden nach Real leichte Konzentrationsschwierigkeiten dreimal gemeldet, gefolgt von einmal leichten Kopfschmerzen und erhöhter Speichelfluss. Übelkeit und Aufstoßen traten hingegen kein einziges Mal auf. Erwähnenswert ist letztlich auch, dass die Person, die als einzige keine Erfahrung mit digitalen Spielen und dem Tragen von VR-Brillen angegeben hat, die meisten Probleme mit Simulation Sickness angab. Insgesamt gab sie bei nur sieben Möglichkeiten an, keine Ausprägung zu haben, jedoch fünfmal leichte und viermal sogar mittlere Stärke.

Insgesamt kann gesagt werden, dass viele Symptome nur leicht oder gar nicht auftraten. Dadurch wird die mentale Belastung durch Simulation Sickness als akzeptabel erachtet. Dabei lassen sich auch einige Studien bestätigen. So etwa die von S. Freitag et al. [28], da die Person, die weder

VR- noch allgemeine Spielerfahrung besitzt, die meisten Symptome von Simulation Sickness angab. Weiterhin unterstützt die geringe mentale Belastung die These von E. Chang et al. [25], dass eine kurze Dauer der virtuellen Beanspruchung auch zu weniger Simulation Sickness führt. Die hier durchgeführte Studie bestand aus einem realen und einem virtuell durchgeführten Teil, weshalb die Probanden nur etwa sechs Minuten mit VR-Brille verbrachten. Dennoch sind bereits einige Symptome erkennbar. Die 20 Minuten Marke, welche von Vlahovic et al. [39] genannt wurde, scheint daher eine gute Begrenzung zu sein, wobei die hier dargestellten Ergebnisse eine Nutzung von noch kürzeren Zeiten in VR befürworten.

5.1.3 Laufgeschwindigkeit

In diesem Abschnitt wird kurz auf das Laufempfinden eingegangen. Dabei wird zunächst untersucht, ob die Probanden das Gefühl hatten, sich virtuell mit der richtigen Geschwindigkeit zu bewegen. Dafür wurden den Probanden drei Fragen gestellt, die in Abbildung 5.8 abgebildet sind.

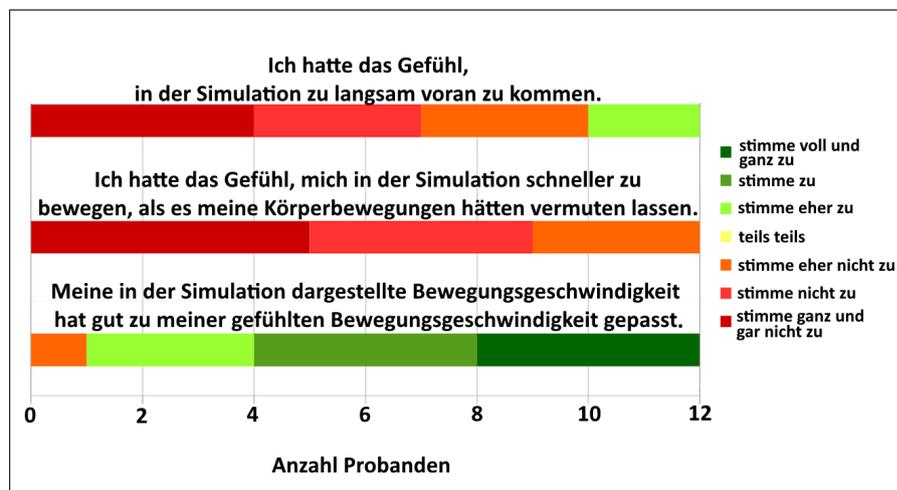


Abbildung 5.8: Fragen in Bezug auf die Laufgeschwindigkeit der Probanden

Dabei wurde gefragt, ob der Teilnehmer die virtuell dargestellte Bewegungsgeschwindigkeit als zu langsam, zu schnell oder genau richtig empfindet. Das Ergebnis zeigt, elf von zwölf Personen der Meinung sind, dass die Bewegungsgeschwindigkeit exakt gepasst hat. Nur eine Person stimmt dem nicht zu. Keiner der Probanden war der Ansicht, dass sie sich zu schnell in der VE bewegen. Auch stimmt die Mehrheit der Aussage, dass die Bewegung zu langsam war, nicht zu. Lediglich zwei Personen hatten das Gefühl, etwas zu langsam voran zu kommen.

Dies zeigt, dass eine direkte, isometrische Bewegung am natürlichsten wahrgenommen wird. Dies steht im Einklang mit der Studie von Omar Janeh et al. [34], wonach für eine freie Bewegung im Raum eine unveränderte Translation am natürlichsten wirkt.

Weiterhin wurden fünf Fragen gestellt, die auf das Laufen in der virtuellen Umgebung abzielen. Diese sind in 5.9 dargestellt. Dabei sind oberhalb die fünf Antwortmöglichkeiten farblich angegeben. An den Seiten steht jeweils die äußersten Antwortmöglichkeiten der Frage, welche sich zur farblichen Mitte hin annähern.

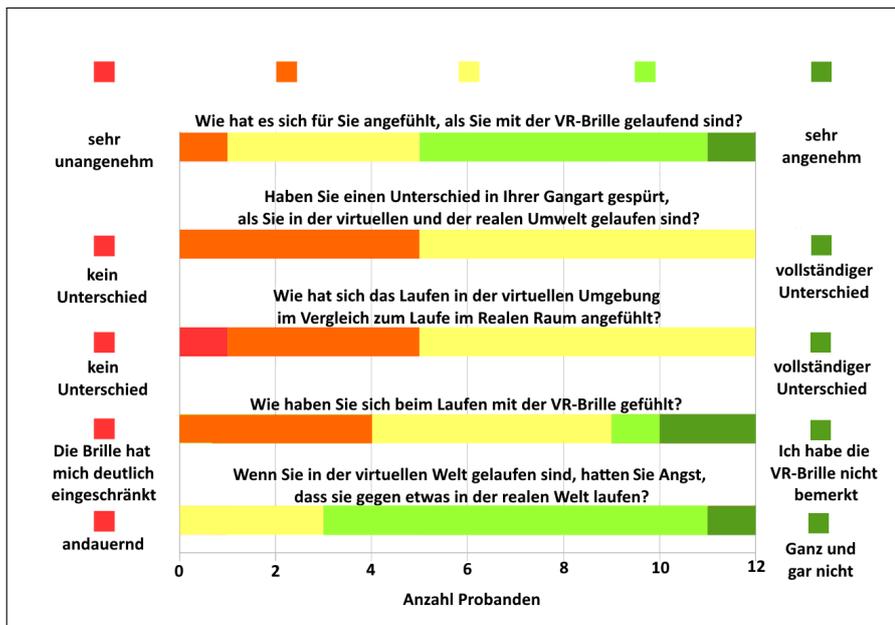


Abbildung 5.9: Fragen zur Laufbewegung in VR

Sieben von zwölf Teilnehmern sagen, dass die VR-Brille eher angenehm zum laufen war. Vier weitere fanden diese eher neutral. Lediglich eine Person fand diese recht unangenehm. Auch sind alle der Ansicht, dass das tragen der VR-Brille nur minimale bis kleine Unterschiede in der eigenen Bewegung hervorgerufen hat, auch im Vergleich zum laufen im realen Raum. Dennoch gaben fünf Probanden an, dass die VR-Brille sie leicht beeinflusst hat. Vier Probanden würden sogar von moderatem Einfluss sprechen. Zuletzt gaben die Probanden mehrheitlich an, kaum bis keine Angst zu haben, gegen etwas in der realen Welt zu laufen, während sie die VR-Brille tragen. Drei haben zumindest geringe Bedenken, dass dies passieren könnte.

Die Antworten zeigen, dass die Brille eine kleine, subjektiv spürbare Veränderung bei den Probanden hervorruft. Dies bedeutet, dass sich die Probanden einer gewissen Änderung bewusst sind, auch wenn diese anhand der Aussagen nur leicht bis moderat ausfällt.

5.1.4 Fragen über die Aufgaben

Des Weiteren wurden die Probanden im Fragebogen spezifisch über einzelne Aufgaben, sowie das Training als gesamte Einheit befragt. Zuerst geht es dabei um die empfundene Schwierigkeit der einzelnen Aufgaben

Die Ergebnisse sind in Abbildung 5.10 zu sehen. Den Antworten zufolge waren die Aufgaben in Real deutlich leichter zu erfüllen als in VR. Selbst das Kurven ablaufen empfand eine Person als eher schwierig. Die Trittsteine wurde sieben Mal als eher schwierig eingestuft. Der Slalom war für vier Teilnehmer eher schwierig, für zwei sogar schwer zu absolvieren. Der Parcours fiel ihnen vergleichsweise einfacher. Dennoch gaben auch hier fünf Personen an, dass dieser eher schwierig zu absolvieren war. So lässt sich für zukünftige Studien vermerken, dass Präzisionsaufgaben eher schwierig für die Probanden zu absolvieren sind. Allerdings empfanden auch vier Personen die Trittsteine in real eher schwierig zu absolvieren, es kann sich hierbei also um ein spezielles Problem

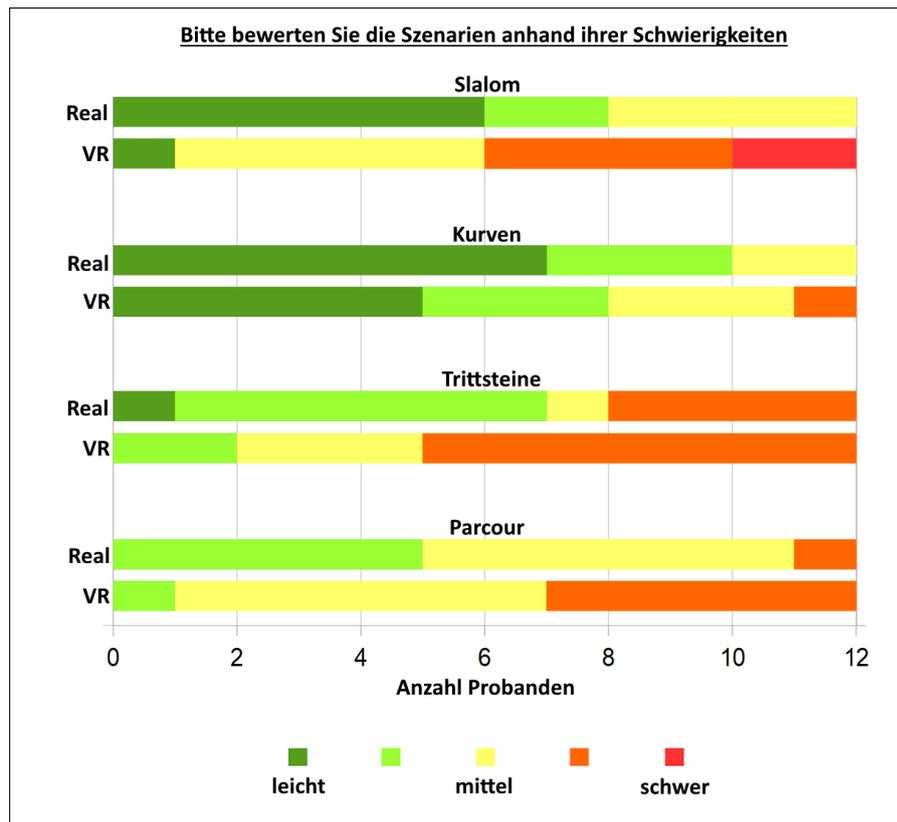


Abbildung 5.10: Bewertung der Aufgaben nach der persönlichen Schwierigkeit

handeln. Der Slalom wurde hingegen von der Hälfte der Teilnehmer in der realen Durchführung als leicht bewertet, zwei stimmen dem eher noch zu, während vier weitere diesen als vergleichsweise mittel empfanden.

Weiterhin wurden die Versuchspersonen näher dazu befragt, ob die Trainingsaufgaben für den Parcours überhaupt hilfreich waren.

Die Antworten in [Abbildung 5.11](#) zeigen, dass die Probanden die Aufgaben als nützlich empfanden. So sind in VR neun Personen der Ansicht, dass ihre Leistung ohne die Trainingsaufgaben anders ausgefallen wäre. Nur zwei sind der Meinung, dass sie die gleichen Ergebnisse erzielt hätten. In Real ist ebenfalls die Hälfte der Probanden der Ansicht, dass das Training die Leistung verändert hat. Allerdings stimmen hier auch sechs Personen ganz oder eher dagegen. Hierbei wäre es interessant zu wissen, ob die Personen, die in Real angaben, dass das Training keine Leistungsveränderung brachte, die reale Durchführung nach der virtuellen Durchführung hatten und demnach die Aufgaben bereits kannten. Dies könnte eine zukünftige Studie berücksichtigen.

Dennoch stimmen in VR und Real die Teilnehmer mehrheitlich zu, dass das Training die Effizienz der Bewegung verbessert hat. Nur eine Person stimmt in real dagegen, vier weitere stimmen dem nur teilweise zu. In der virtuellen Durchführung stimmt hingegen nur eine Person der Ansicht, dass das Training die Effizienz erhöht, lediglich teilweise zu. Alle weiteren stimmen dem eher zu. Insgesamt lässt sich sagen, dass das Training positiv aufgenommen wurde. In der virtuellen Durchführung ist sich nur eine Person unsicher, ob das Training nützlich war, während alle weiteren Probanden das

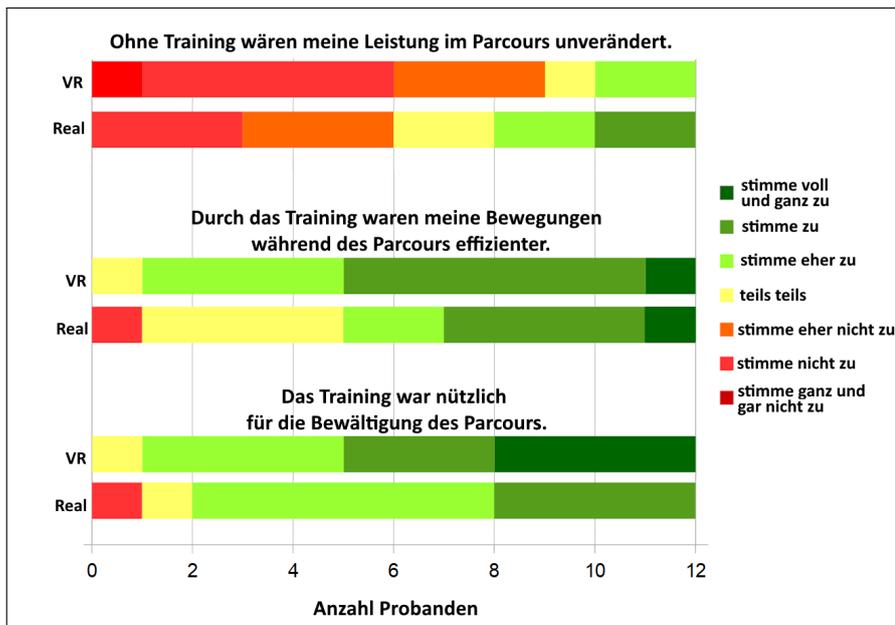


Abbildung 5.11: Fragen über die Nützlichkeit des Trainings

Training als nützlich bezeichnen würden. Bei der realen Durchführung ist sich ebenfalls eine Person unsicher. Daneben würde eine Person auch sagen, dass das Training nicht nützlich war. Zehn von zwölf Personen sagen aber auch hier, dass das Training eher nützlich war.

Dies zeigt, dass das Training zumindest in der persönlichen Empfindung einen positiven Eindruck bei den meisten Probanden hinterlassen hat. Es spricht daher nichts dagegen, zukünftig die Teilnehmer kurze Trainingsaufgaben absolvieren zu lassen, um sie so an die Aufgaben zu gewöhnen.

Abschließend wurden nach jedem Durchlauf auch gefragt, wie die Probanden jeweils den abschließenden Parcours wahrgenommen haben. Die Antworten sind in [Abbildung 5.12](#) aufgeführt.

Die Antworten zeigen, dass der Parcours als positiv aufgenommen wurde. So fanden alle Probanden den Parcours Spaßig. Weiterhin waren elf von zwölf Personen motiviert, ihr bestes zu geben. In VR stimmen dem sogar alle zu. Eine Person ist nach realen Durchführung der Ansicht, dass der Parcours eher langweilig war. Alle weiteren Teilnehmer widersprechen der Aussage jedoch ganz oder teilweise. In VR ist eine Person der Ansicht, dass der Parcours teilweise langweilig war, während alle weiteren elf Teilnehmer dieser Aussage widersprechen. Für diese Person könnte die dreifache Absolvierung vielleicht zu viel gewesen sein.

Während alle der Ansicht sind, dass der Parcours die eigenen Fähigkeiten nicht überstiegen hat, sind sich auch zehn Leute einig, dass dieser in VR eher herausfordernd war. Nur eine Person stimmt dem nicht zu, eine teilweise. In Real hingegen waren fünf Personen der Auffassung, dass der Parcours eher leicht zu absolvieren war. Drei weitere stimmen beiden Seiten teilweise zu.

Dies ist wenig überraschend, da der Parcours nicht das Ziel einer zu anspruchsvoll Herausforderung hatte. Somit sollte er, gerade im realen Durchlauf und ohne eine mögliche Beeinträchtigung durch die VR-Brille, einfach zu bewerkstelligen sein. Ebenfalls wenig überraschend ist, dass alle

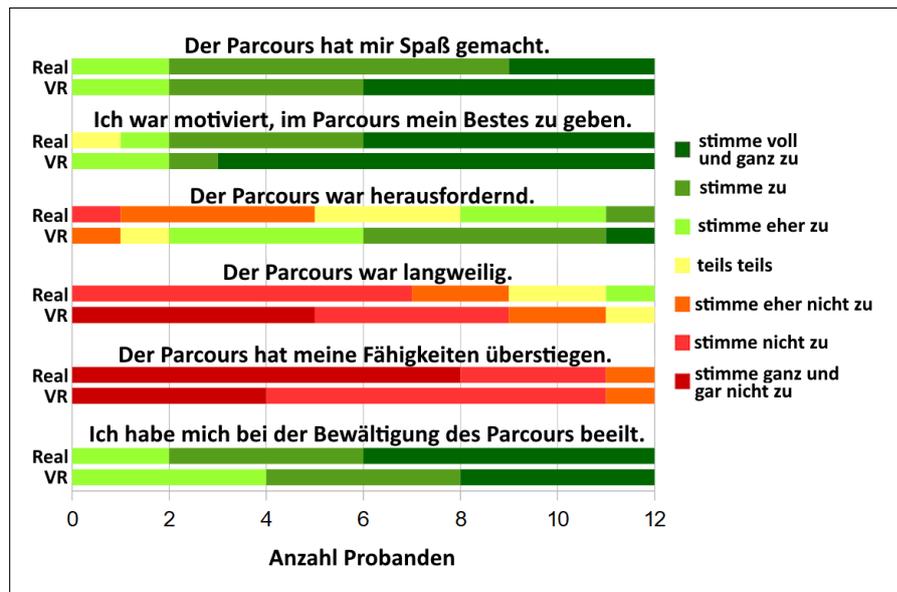


Abbildung 5.12: Fragen über die Schwierigkeit des Parcours

Probanden angaben, sich bei der Bewältigung beeilt zu haben, da dies auch Teil der Aufgabe war. Allerdings stimmen einige der Aussage mehr zu als andere, was bedeutet, dass es für die Teilnehmer unterschiedlich schwer war, ihre eigene Zeit zu unterbieten.

Insgesamt kann gesagt werden, dass die einzelnen Aufgaben des Parcours eine gute Wahl darstellen, da diese nicht durch langweiliges oder zu herausforderndes Design die Probanden von der natürlichen Bewegung abgelenkt haben.

5.1.5 Fragen über das subjektive Gefühl

Zuletzt wurden einige Fragen an die Probanden gestellt, hinsichtlich ihrer Konzentration und Aufmerksamkeit. Die Antworten wurden in Abbildung 5.13 dargestellt.

Acht stimmen dabei ganz oder eher zu, dass sie sich in der virtuellen Welt mehr konzentrieren mussten. Drei Teilnehmer stimmen dem hingegen nur teilweise zu und einer stimmt dem eher nicht zu. Dennoch hatten die meisten eher keine Hemmung, sich frei im Raum zu bewegen. Nur zwei würden dieser Aussage zustimmen. Auch wurde die erhöhte Konzentration mehrheitlich nicht aufgrund der Angst hervorgerufen, versehentlich während der virtuellen Durchführung zu stolpern. Dies haben nur zwei Personen eher bestätigt, wohingegen eine Person unentschieden ist und neun dem widersprechen. Wenig überraschend ist außerdem, dass während der Durchführung in der realen Welt niemand Angst hatte, zu stolpern. Dies passt zur weiter oben behandelten Aussage in Abbildung 5.9, dass die Probanden keine Angst, gegen etwas zu laufen, während sie die VR-Brille tragen.

Weiterhin geben drei Personen an, dass sie das Gefühl hatten, beim Laufen des Parcours in der realen Welt konzentrierter gewesen zu sein. Dies könnte jedoch darauf zurückzuführen sein, dass diese konzentriert darauf waren, den Parcours möglichst schnell zu absolvieren. Zwei weitere sind bei dieser Frage geteilter Meinung und sieben gaben an, nicht das Gefühl zu haben, im realen Parcours

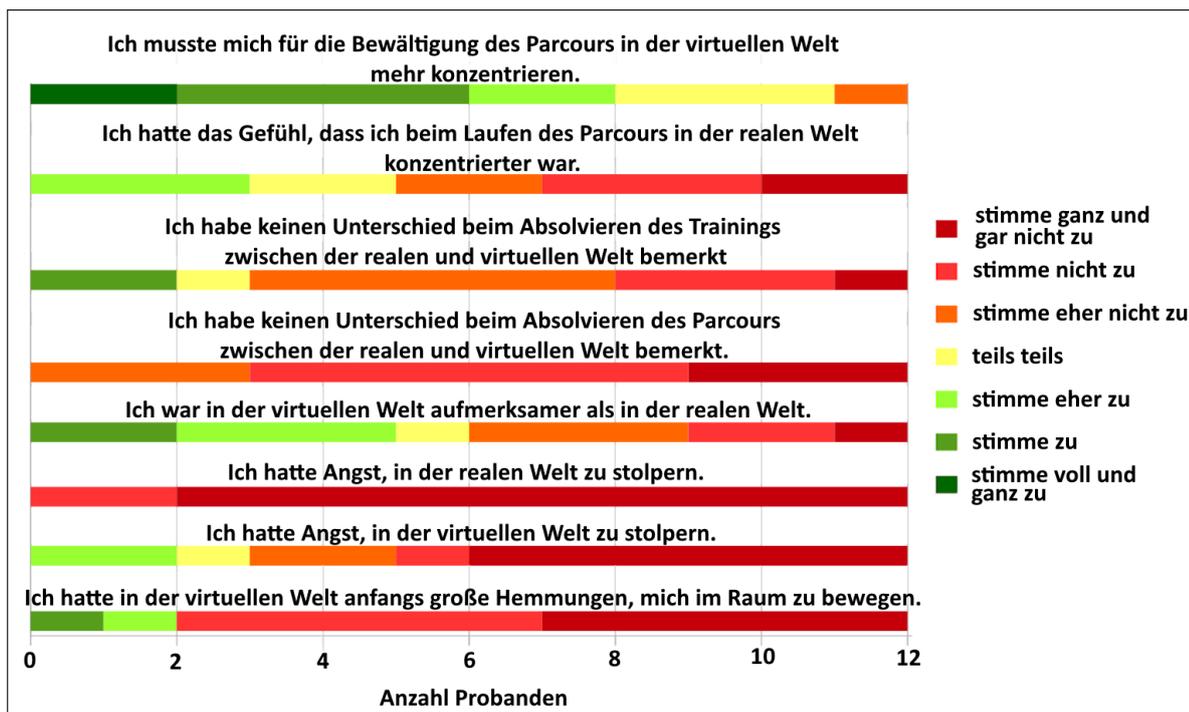


Abbildung 5.13: Fragen in Bezug auf Konzentration, auffallende Unterschiede sowie der persönlichen Angst, zu fallen

konzentrierter gewesen zu sein. Bei der Frage, ob die Probanden in der virtuellen Welt aufmerksamer waren als in der realen, herrschen geteilte Meinungen. So stimmen fünf Personen dieser Aussage zu, allerdings widersprechen auch sechs dieser. Ein Teilnehmer stimmt beiden Seiten teilweise zu.

Auch sind sich alle Personen einig, dass es einen bemerkbaren Unterschied beim Absolvieren des Parcours in der realen und virtuellen Welt gab. Beim Training sind sich jedoch nicht mehr alle einig. Dabei geben neun Personen weiterhin an, einen Unterschied bemerkt zu haben. Eine Person stimmt dem aber nur teilweise zu. Außerdem stimmen zwei Probanden zu, dass sie keinen Unterschied zwischen beiden Welten bemerkt hätten. Die Antworten könnten auf die optischen Komponenten zurückzuführen sein, da die Slalomständer in Real anders aussahen als in VR. Auch war das virtuelle Hindernis zu Beginn des Parcours in der realen Durchführung nur auf dem Boden markiert.

Eine leichte zusätzliche mentale Belastung ist anhand der Antworten durchaus erkennbar. Diese ist allerdings gering und schlägt nicht in der Angst aus, zu stolpern. Daher sollte die mentale Belastung das Ergebnis daher nicht wesentlich beeinflussen. Sie könnten jedoch dafür sorgen, dass der Körper schneller Erschöpfungserscheinungen zeigt.

5.2 Auswertung der aufgezeichneten Daten

Im zweiten Teil geht es um die aufgezeichneten Daten während der Durchführung. Zunächst wird dafür der Parcours in einzelne Abschnitte aufgeteilt. Diese sind in Abbildung 5.14 sichtbar. Insgesamt gibt es vier Abschnitte. Namentlich sind diese die Wand, die Trittsteine, der Slalom, sowie der Rückweg. Die Wand ist insofern eine Besonderheit, da es für sie kein Äquivalent in den Trainingsaufgaben gab.

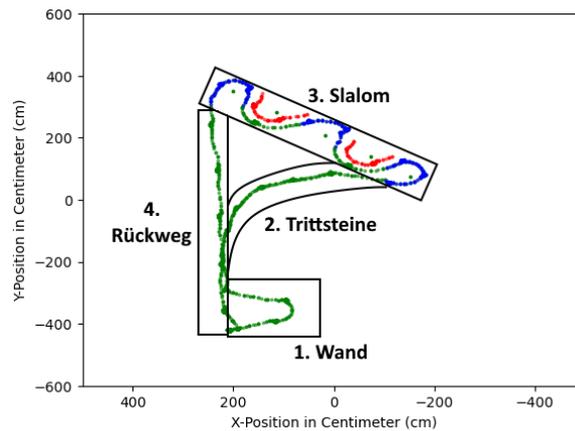


Abbildung 5.14: Aufteilung des Parcours in die einzelnen Abschnitte

Zuerst wird ausgewertet, wie präzise die Bewegungen waren. Darin geht es vor allem um die Abstände zwischen dem Fuß des Probanden sowie einem Objekt im Parcours. Im Zweiten Teil geht es anschließend um die benötigte Zeit für alle Abschnitte. Zum Schluss werden die Ergebnisse von Präzision und Geschwindigkeit in einem Diagramm verbunden, um so eventuelle Zusammenhänge zu finden.

5.2.1 Präzision der Bewegungen

Zunächst geht es um die präzisen Bewegungen innerhalb des Parcours. Dabei wird in zwei Arten von Präzision unterschieden. Zum einen die Präzision bei Trittsteinen, die angibt, wo der Fuß den Boden berührt. Zum anderen geht es um die Präzision beim Umlaufen von Hindernissen. Hierbei wird auf den Abstand zu Wand oder Slalom geachtet. Dabei wird der Abstand von der Position des Fußes gemessen, welcher näher an dem jeweiligen Objekt steht. Da der Rückweg keine Bedingung hatte, gibt es unter diesem Aspekt keine Betrachtung.

Trittsteine

Über die Präzision der Schritte in den Trittsteinen kann keine Aussage getroffen werden. Grund dafür ist, dass die Erkennung der Schritte zu ungenau ist, wodurch keine genaue Position festgemacht werden kann.

Dies hat mehrere Ursachen. Die erste Ursache kommt durch die in Abschnitt 3.5 erwähnte schräge Referenzebene der VR-Brille HTC. Aufgrund ihrer schrägen Position kommt es zu einem Problem, dass man genauer erkennt, wenn man sich das Höhenprofil der Füße anschaut. Dafür wird auf die Koordinaten der Tracker zurück gegriffen. Werden die Höhenkoordinaten der Füße visuell dargestellt, erhält man ein Muster wie in [Abbildung 5.15](#) beispielhaft zu sehen ist. Es lässt sich am Anfang eine Linie erkennen. Dabei handelt es sich um den Ruhezustand. Dies ist die Höhe, in der sich der Fuß befindet, wenn er auf dem Boden steht. Die negativen Werte unterhalb dieser Linie sind

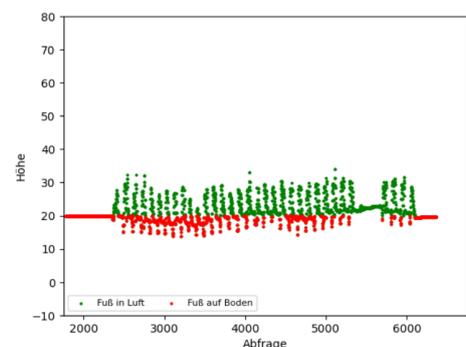


Abbildung 5.15: Höhenprofil beim Laufen

jedoch durch Ungenauigkeiten der Tracker und der schrägen Referenzebene entstanden. Dadurch können diese nicht mehr gefiltert werden, da nicht ersichtlich ist, an welchem Punkt der Teilnehmer nun wirklich mit dem Fuß auf dem Boden aufgetreten ist. Eine weitere Ursache ist die angesprochene Ungenauigkeit der Tracker. Wie eine in Abschnitt 3.5 erwähnte Studie herausfand, liefern die VIVE Tracker zwar während des Stehens gute Ergebnisse, werden bei Bewegung dafür wesentlich ungenauer [42]. Eine dritte Ursache ist, dass die Steine ebenfalls nicht genau übereinander liegen. Aufgrund von Ungenauigkeiten beim Aufkleben, liegen reale und virtuelle Trittsteine im Raum nicht vollständig übereinander. Dadurch kann aus den Kameraaufnahmen nicht die Position abgeleitet werden. Diese drei Probleme sorgen dafür, dass der Umriss der möglichen Position des Trackers so groß ist, dass in keinem Fall gesagt werden kann, ob sich der Fuß nun vollständig, teilweise oder gar nicht in dem jeweiligen Trittstein befindet.

Auch wenn die Probleme für diese Studie nicht gelöst werden konnten, bestehen Möglichkeiten. Das Problem mit der Referenzebene kann man umgehen. Da die Referenzebene konstant bleibt, solange das Signal nicht verloren geht, kann die Referenzebene zu Beginn erfasst und berechnet werden [43]. Von den VIVE Trackern Modell 3.0 wird jedoch abgeraten. Hierbei empfiehlt es sich, einen anderen Tracker zu verwenden. Alternativ hat VIVE mittlerweile selbst einen neuen Tracker veröffentlicht. Ob diese sich besser eignen, muss sich in Zukunft noch zeigen. Um Ungenauigkeiten bei dem Anbringen der Markierungen zu vermeiden, empfiehlt es sich, die Markierungen mittels genauerer Messtechnik, etwa einem Lasermessgerät, anzubringen.

Wand

Im nächsten Schritt wird auf die Abstände eingegangen, in denen die Probanden ein Hindernis passierten. Dafür wird zunächst die Wand betrachtet. Für die Bewertung wurde von allen Punkten hinter der Wand die Distanz zur Wand berechnet und anschließend der Durchschnitt ermittelt. Dieser Bereich wurde in Abbildung 5.16 rot markiert. Der Bereich wurde großzügig gewählt, um eventuelle große Bögen um das Hindernis herum ebenfalls zu erfassen. Der grüne Punkt ist die Stelle, mit der die Distanz zur Wand berechnet wird. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5.17 zu sehen. Die Abstände in den realen

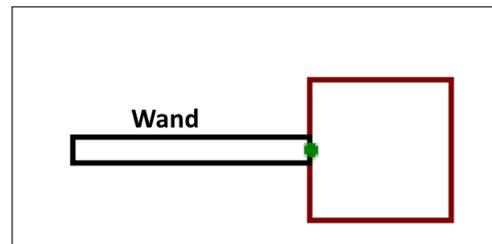


Abbildung 5.16: Hindernis "Wand" und Bereich der Berechnung

Versuchen sind in orangener, die virtuellen in blauer Farbe auf einem Balkendiagramm dargestellt. Die schwarzen Linien geben dabei die Standardabweichung an. So war im ersten Versuch in virtueller Umgebung der linke Fuß im Durchschnitt 45,16 cm vom Hindernis entfernt. Die Standardabweichung betrug dabei 7,76 cm. Im zweiten Versuch lag die Distanz leicht darüber mit 45,41 cm. Allerdings stieg auch die Standardabweichung auf 8,36 cm. Im dritten Versuch mit VR-Brille benötigten die Probanden im Schnitt 46,81 cm mit einer Standardabweichung von 9,06 cm.

Im realen Durchlauf sind die Teilnehmer deutlich enger um die Wand gelaufen. So war bereits im ersten Durchlauf in der realen Umgebung der Abstand zwischen Wand und linken Fuß im Durchschnitt nur 18,95 cm. Die Standardabweichung lag bei 5,1 cm. Dies steigerte sich im zweiten Durchgang auf 16,1 cm mit einer Standardabweichung von 4,07 cm. Im dritten Versuch benötigten die Probanden jedoch wieder etwas mehr Platz. Hier war der Durchschnitt 16,96 cm, jedoch bei einer noch geringeren Standardabweichung von 3,25 cm.

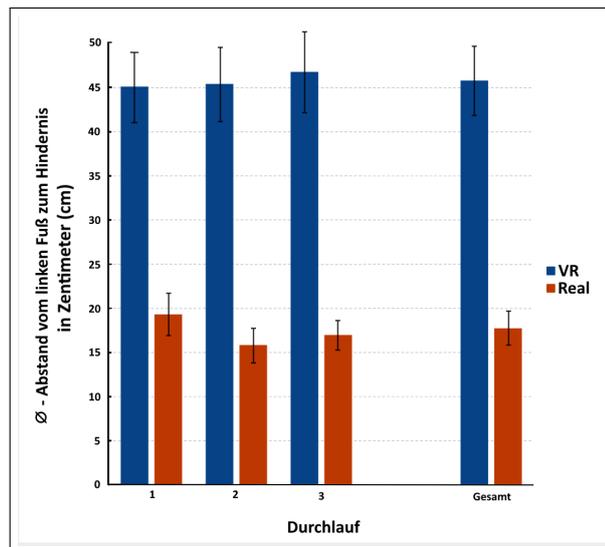


Abbildung 5.17: durchschnittlicher Abstand zur Wand pro Versuch

Insgesamt brauchten die Probanden bei der Durchführung mit VR-Brille im Durchschnitt 45,79 cm Abstand zur Wand, bei einer Standardabweichung von 8,2 cm. In Real benötigten sie hingegen im Durchschnitt 17,34 cm, bei einer Standardabweichung von lediglich 4,29 cm.

Es überrascht, dass der Abstand zwischen beiden Durchführungen so deutlich ausfällt. Auf den Kameraaufnahmen lässt sich jedoch ein möglicher Grund erkennen. Hier ist zu sehen, dass die Probanden sich in die Kurve lehnen. Dies ist bei der virtuellen, wie auch bei der realen Durchführung der Fall. Da in VR die Wand aber auch als solide Wand dargestellt wird, müssen die Probanden weiter außen herum gehen. In Real konnte jedoch keine Wand platziert werden, da sonst die Gefahr bestand, dass die Tracker die Verbindung verlieren. Daher wurde nur eine Markierung auf dem Boden angebracht. Dadurch konnten die Probanden sich jedoch in Real über die Wand in die Kurve lehnen, weshalb hier die Füße keinen so deutlichen Abstand zur Wand haben. Um dies zu umgehen, sollte eine Möglichkeit gefunden werden, dass die Tracker nicht die Verbindung verlieren würden. Dann könnte eine Wand aufgestellt werden, wodurch die Teilnehmer auch in real weiter um die Wand herum laufen müssten. Dies würde wahrscheinlich zu näheren Ergebnissen führen. Weiterhin muss erneut auf die Ungenauigkeit der Tracker hingewiesen werden, da diese Ungenauigkeit die Position und damit die Distanz ebenfalls negativ beeinflussen haben könnte. Dies trifft besonders auf die reale Durchführung zu, da bei dieser die VR-Brille in der Mitte des Raumes liegen bleibt und sich die Tracker somit weiter von dieser entfernen.

Dennoch lässt sich ein Muster ablesen. So ist die Standardabweichung in jedem realen Versuch geringer geworden, während sie in VR stieg. Auch erhöhte sich in VR jede Runde der benötigte, durchschnittliche Abstand. In Real sank der durchschnittliche Abstand nach dem ersten Versuch deutlich, während er im dritten Versuch wieder leicht anstieg.

Slalom

Als nächstes folgen die Daten zum Slalom. Errichtet man um diese Stäbe jeweils einen Bereich, kann man den Distanzdurchschnitt zur Slalomstange berechnen. Dies ist in [Abbildung 5.18](#) abgebildet. Die grünen Punkte sind dabei die einzelnen Slalomständer. Der Abstand aller Probanden pro Versuch ist in [Abbildung 5.19](#) zu sehen.

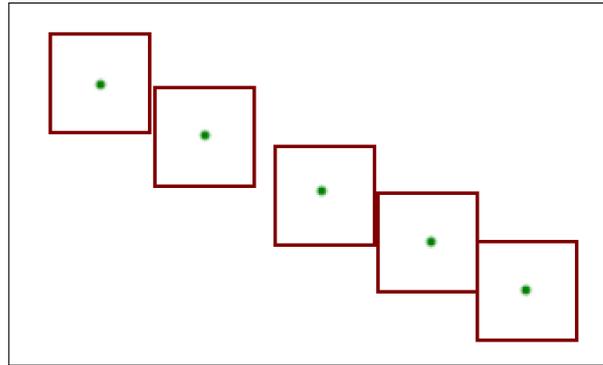


Abbildung 5.18: Bereich der Berechnung beim Slalom

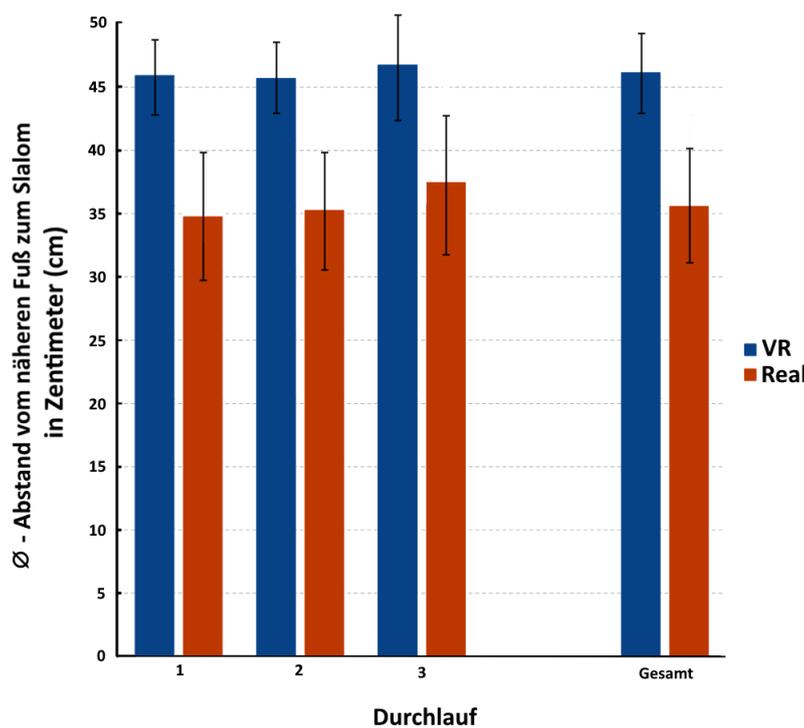


Abbildung 5.19: durchschnittlicher Abstand zum Slalom pro Versuch

Hier benötigten die Probanden im ersten Versuch in der VE im Durchschnitt 45,18 cm, bei einer Standardabweichung von 6,2 cm. Im zweiten Durchgang verbesserte sich das Ergebnis leicht, auf einen Abstand von 44,93 cm bei einer Standardabweichung von 6,1 cm. Im dritten Versuch hielten die Probanden nur einen Abstand von 45,9 cm, jedoch erhöhte sich die Standardabweichung auf 8,3 cm. In Real hielten die Teilnehmer während des ersten Versuches einen durchschnittlichen Abstand von 34,86 cm. Dabei hatten sie eine deutlich höhere Streuung, denn die Standardabweichung lag bei 10,5 cm. Im zweiten Versuch erhöhte sich der durchschnittliche Abstand auf 35,29 cm, jedoch verringerte sich die Standardabweichung auf 9,4 cm. Im letzten Versuch benötigten die Probanden erneut mehr Platz. Der durchschnittliche Abstand lag im letzten Durchgang bei 37,62 cm, mit einer ebenfalls erhöhten Standardabweichung von 10,9 cm. Insgesamt ließen die Probanden im Durchschnitt 45,53 cm mit einer Standardabweichung von 6,8 cm Abstand zur Slalomstange, während sie eine VR Brille trugen. In der realen Versuchsdurchführung ließen die Probanden hingegen einen Abstand von 36,58 cm mit einer Standardabweichung von 8,9 cm.

Hier zeigt sich ein etwas anderes Bild. Im Gegensatz zur Wand benötigten die Probanden bei jedem Versuch mehr Platz als in dem vorherigen Durchlauf. Ebenso erhöhte sich im letzten Versuch die Standardabweichung noch einmal deutlich. In VR bleiben die Versuche jedoch relativ nah beieinander. Aber auch hier steigt der Abstand im dritten Versuch. Ebenso ist die Streuung im dritten Versuch deutlich höher, als bei den vorherigen zwei Versuchen.

Eine mögliche Erklärung liegt darin, dass die Probanden mehr Platz ließen und damit die Geschwindigkeit auf Kosten der Präzision erhöhten. Dies wäre in beiden Umgebungen der Fall. Obwohl eine mögliche Ungenauigkeit der Tracker weiterhin vorhanden sein könnte, differieren die Ergebnisse deutlich, wenn auch nicht so stark wie bei der Wand.

Weiterhin muss erwähnt werden, dass in der realen Durchführung keine Slalomstange berührt wurde. In VR wurden hingegen fünf Stangen berührt und umgeworfen. Dabei handelte es sich in jedem Fall um eine der mittleren drei Stangen. Die äußeren wurden auch hier kein einziges Mal berührt.

5.2.2 Geschwindigkeit

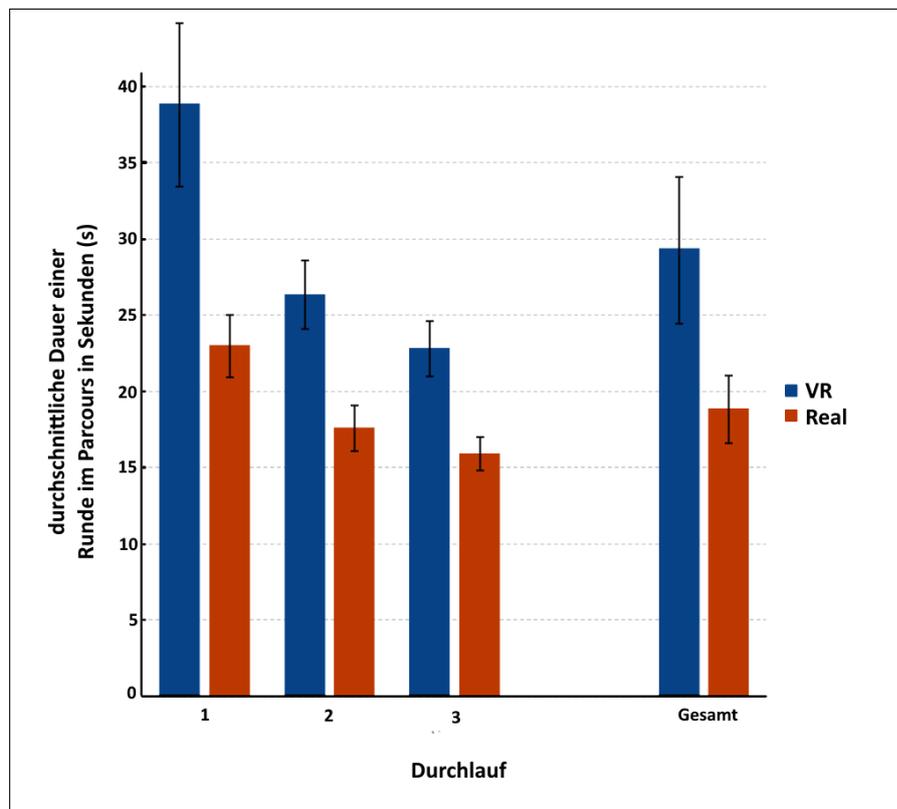


Abbildung 5.20: Benötigte Zeit im Parcours nach Durchlauf

Im nächsten Abschnitt geht es um die Zeit, die benötigt wird, um den Parcours zu beenden. Das Diagramm ist in Abbildung 5.20 zu finden. Die Gesamtlänge des Parcours beträgt 22,35 m.

Dabei benötigten die Probanden im ersten Durchgang in VR ganze 38,9 Sekunden. Die Standardabweichung liegt hier bei 11,01 s. Im ersten realen Durchlauf, benötigten die Probanden lediglich 23,07 Sekunden bei einer Standardabweichung von 3,7 s. Im zweiten Durchgang verbessern sich die Teilnehmer in beiden Szenarien. Hierbei benötigten die Probanden in VR 25,7 Sekunden, bei

einer Standardabweichung von 4,4 s. In Real benötigten sie im zweiten Durchlauf 17,69 Sekunden. Die Standardabweichung beträgt hierbei 2,81 s. Im letzten Durchlauf wurden die Zeiten erneut verbessert. So liegt die Durchschnittszeit in VR bei 22,12 Sekunden, mit einer Standardabweichung 3,4 s. In Real benötigten die Teilnehmer 15,95 Sekunden, bei einer Standardabweichung von 2,4 s. Durch die anfänglich benötigte Zeit liegt die Durchschnittsdauer aller Runden in VR bei 29,4 s. Die Standardabweichung beträgt hierbei 9,8 s. In Real benötigten die Probanden im Durchschnitt etwa 18,9 Sekunden, bei einer Standardabweichung von 4,2 s.

Es ist dabei deutlich zu erkennen, dass die Probanden sich in jeder Runde steigerten. Die durchschnittlich benötigte Zeit, als auch die Streuung verringerte sich jeden Durchgang. Dass in VR in der ersten Runde deutlich mehr Zeit benötigt wurde, könnte daran liegen, dass die Teilnehmer erst einmal vorsichtig gelaufen sind, um sich mit dem Parcours vertraut zu machen.

Dieser Trend zieht sich durch alle vier Einzelabschnitte des Parcours. Dies kann man in den Abbildungen 5.21, 5.22, 5.23 und 5.24 sehen. Größere Versionen der Diagramme sind als Anhänge D.1 bis D.4 enthalten. Beim Hindernis benötigten die Probanden im ersten Durchgang in VR im Schnitt 3,68

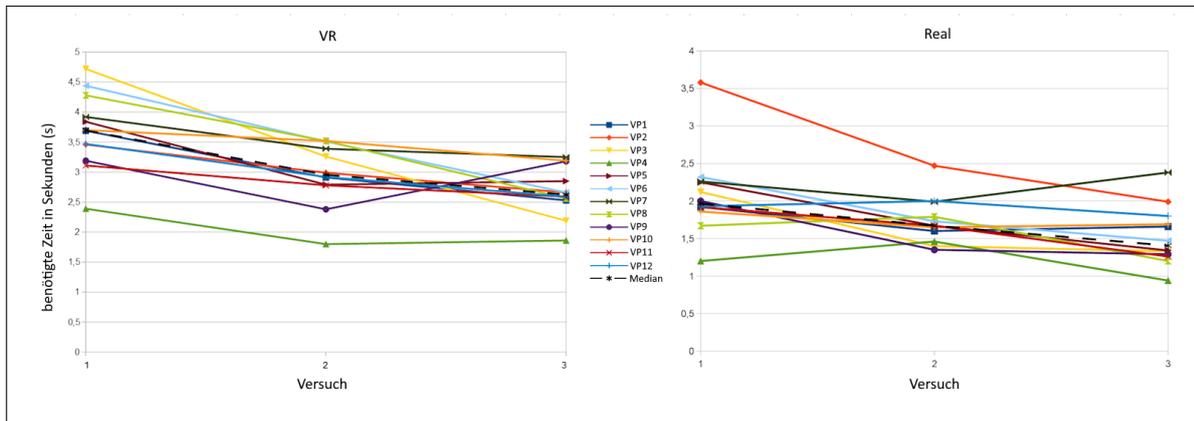


Abbildung 5.21: Benötigte Zeit der Probanden am Hindernis

Sekunden. Dies verbesserten sie im zweiten Durchgang auf eine Zeitspanne von durchschnittlich 2,98 Sekunden. Im dritten Versuch waren sie erneut besser, bei einer Durchschnittszeit von 2,67 Sekunden. In Real benötigten die Probanden bereits im ersten Versuch nur durchschnittlich 2,08 Sekunden. Im zweiten Versuch benötigten sie im Schnitt nur noch 1,73 Sekunden. Im dritten Versuch hingegen benötigten sie für das Hindernis im Mittel 1,52 Sekunden.

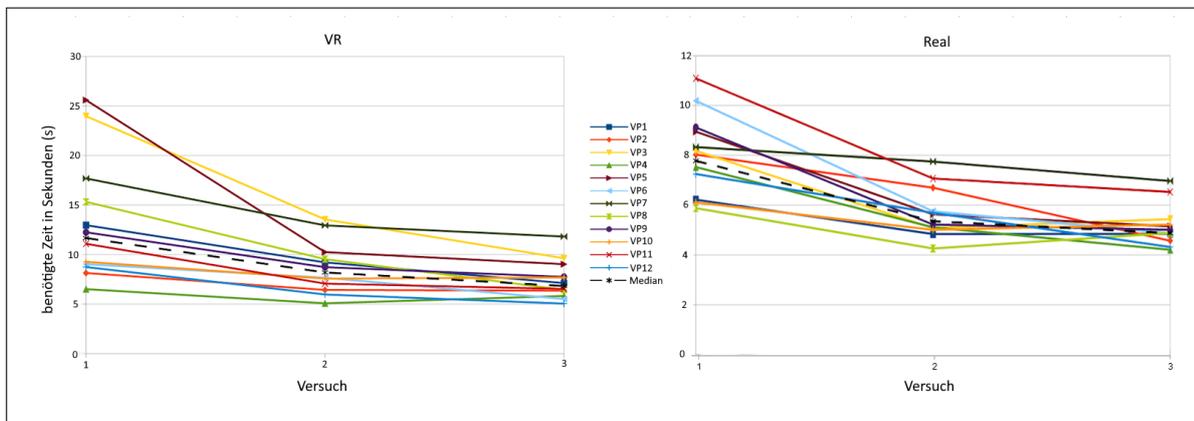


Abbildung 5.22: Benötigte Zeit der Probanden bei den Trittsteinen

Bei den Trittsteinen wurde deutlich mehr Zeit benötigt. So benötigten die Teilnehmer im ersten Versuch in VR 13,38 Sekunden. Dies konnten sie im zweiten Durchlauf auf einen Mittelwert von 8,66 Sekunden verbessern. Im dritten Versuch verbesserten sie sich erneut, auf einen Schnitt von 7,39 Sekunden. Auch hier waren die Teilnehmer in Real schneller. So benötigten sie im ersten Durchgang durchschnittlich 7,75 Sekunden. Auch hier verbesserten sie ihr Ergebnis fortwährend. Im zweiten Versuch benötigten sie im Durchschnitt nur 5,54 Sekunden, im dritten Versuch 4,98 Sekunden.

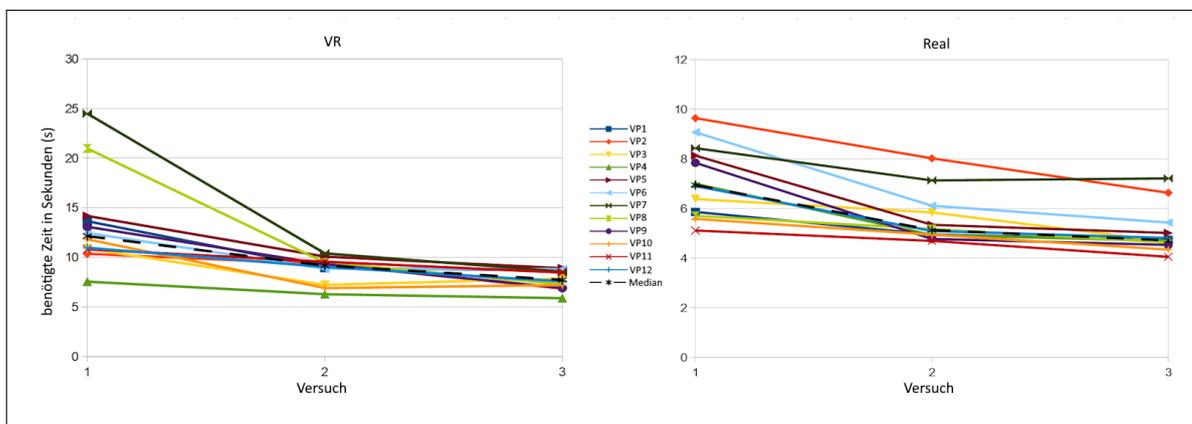


Abbildung 5.23: Benötigte Zeit der Probanden beim Slalom

Im Slalom verhält es sich ähnlich. Hierbei benötigten die Teilnehmer anfänglich durchschnittlich 13,44 Sekunden in VR. Dies konnten sie in den zwei folgenden Versuchen auf durchschnittlich 8,7 Sekunden im zweiten bzw. 7,75 Sekunden im dritten Lauf verbessern. In Real benötigten die Probanden anfänglich 7,13 Sekunden im Durchschnitt. Während der zweiten Runde konnten sie diesen Mittelwert auf 5,58 Sekunden verringern. Im dritten Versuch benötigten sie im Schnitt noch 5,06 Sekunden für den Slalom.

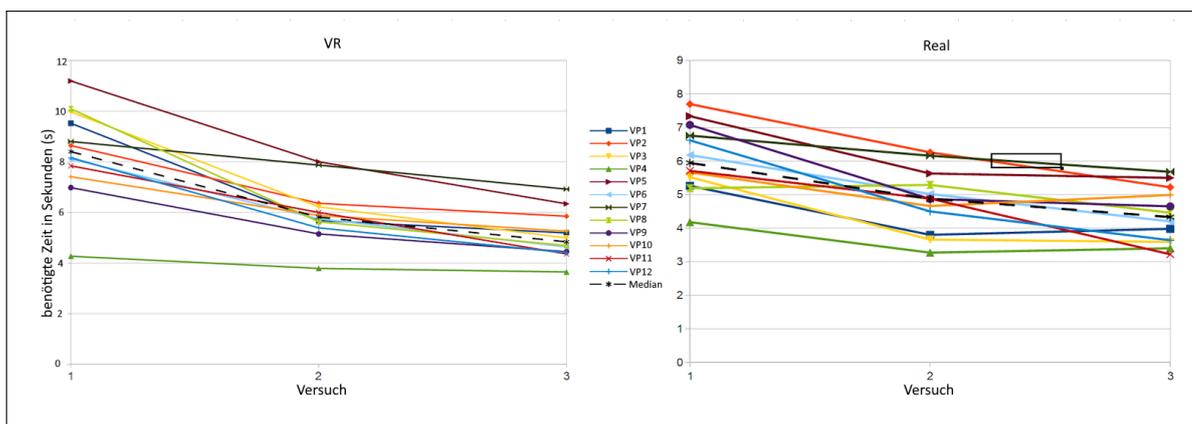


Abbildung 5.24: Benötigte Zeit der Probanden beim zurücklaufen zur Startposition

Auch beim zurücklaufen verhält es sich nicht groß anders. Hierbei benötigten die Testpersonen in VR im Schnitt 8,41 Sekunden. Im zweiten Versuch verbesserte sich der Durchschnitt auf 5,97 Sekunden und im dritten Versuch auf 5,06 Sekunden. Auch in Real verbesserten sie ihr Ergebnis erneut. Während sie im ersten Durchlauf noch durchschnittlich 6,1 Sekunden benötigten, waren es im zweiten Versuch im Mittel bereits 4,83 Sekunden. Im letzten Durchlauf benötigten sie im Durchschnitt 4,37 Sekunden.

Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass die Probanden im ersten Versuch den Test erst langsamer, dafür genauer ablaufen. Dies wird dadurch bestärkt, dass die Probanden bei der ersten Durchführung noch nicht wissen, dass sie den Parcours zwei weitere Male ablaufen sollen. Eine weitere Frage ist, warum die Probanden in VR deutlich mehr Zeit benötigen. Aufgrund der Ergebnisse im Abschnitt der Präzision, lässt sich vermuten, dass aufgrund der erhöhten Abstände auch mehr Zeit benötigt wird. Weiterhin existiert die Wand im realen Durchlauf nur als Markierung. Wie bereits bei der Präzision angemerkt wurde, konnten sich die Probanden in Real daher eher in die Kurve legen, wodurch ebenfalls etwas weniger Zeit benötigt wird.

5.2.3 Korrelation

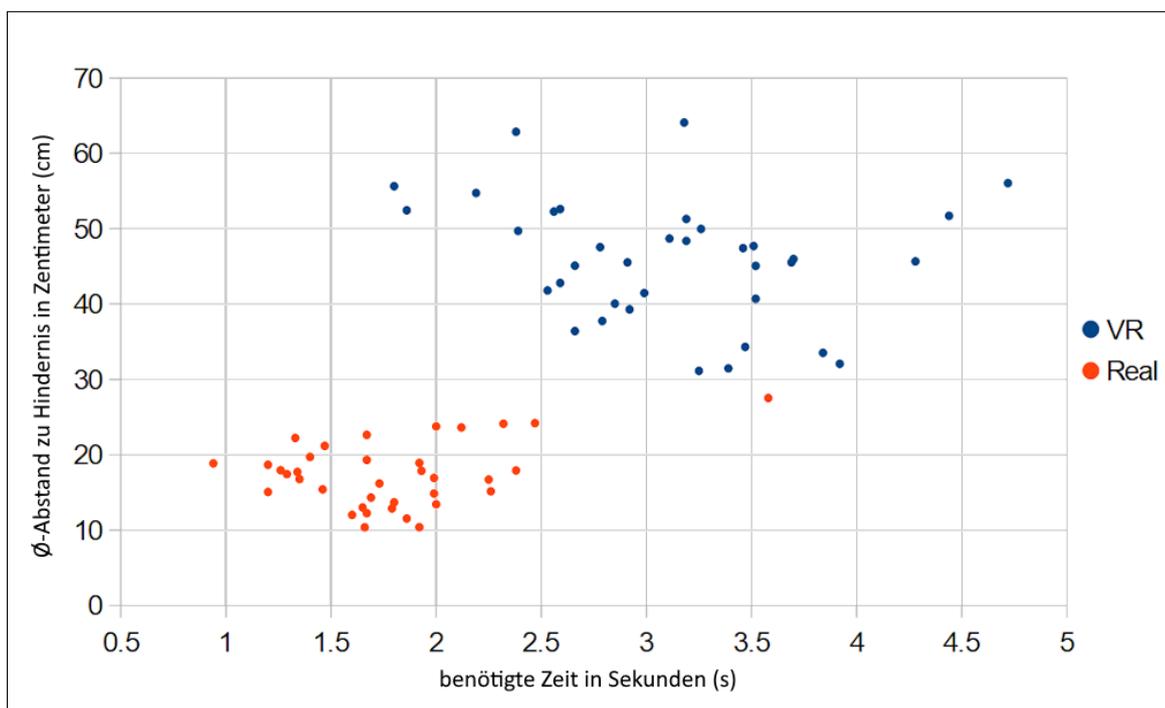
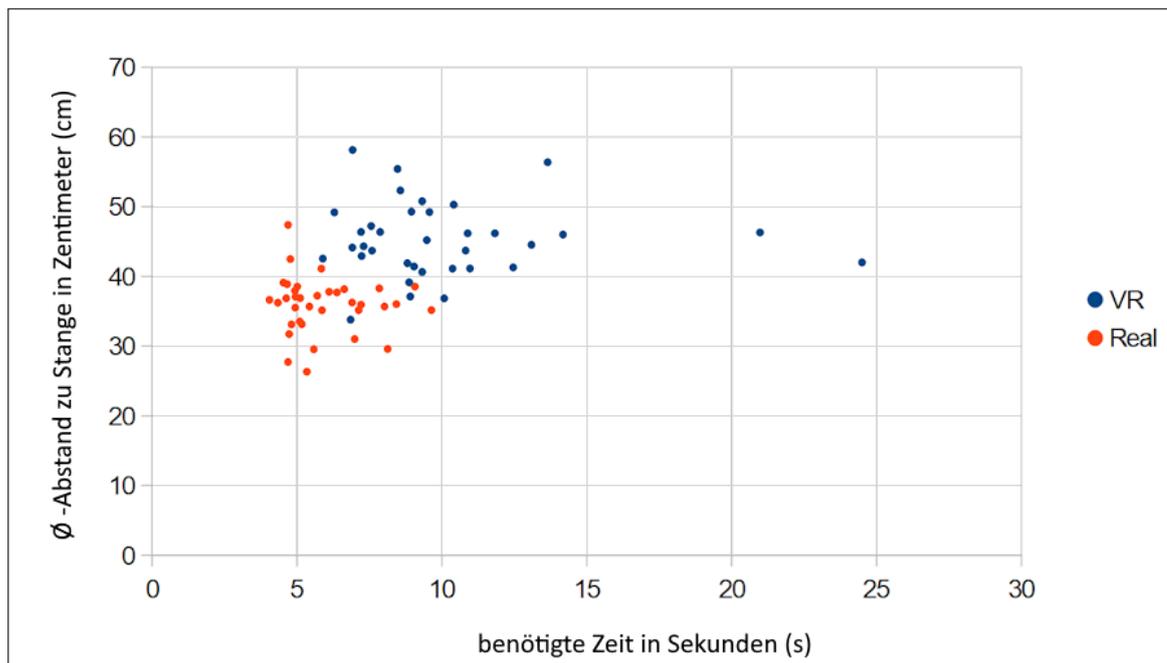


Abbildung 5.25: Korrelationsdiagramm Hindernis

Zuletzt wird in diesem Abschnitt die Frage beleuchtet, ob eine Korrelation zwischen der Geschwindigkeit und dem Abstand zu den Hindernissen existiert. Dies wird zunächst für die Wand und anschließend für den Slalom betrachtet. Dafür wird jeweils ein Streudiagramm erstellt. Obwohl sich die reale und die virtuelle Durchführung einer Teilaufgabe in einem Diagramm befinden, werden diese separat behandelt. Der Korrelationskoeffizient gibt dabei Auskunft über die Art der Korrelation. Ist dieser negativ, handelt es sich um eine negative Korrelation, d.h. steigt ein Wert A, sinkt der andere Wert B. Ist der Koeffizient größer null, so handelt es sich um eine positive Korrelation - steigt Wert A, steigt auch Wert B. Wie stark die Korrelation ist, hängt davon ab, wie groß die Zahl ist. Je näher der Korrelationskoeffizient an der 1 bzw. -1 ist, umso stärker ist die Korrelation. Je näher sie an Wert 0 liegt, umso geringer ist die Korrelation. Dabei spricht man von schwacher Korrelation. Zur Berechnung der Korrelation wird das Online Werkzeug von StatistikGuru verwendet [47].

Die Korrelation im Zusammenhang mit der Wand ist dabei in Abbildung 5.25 zu sehen. Dabei ergibt sich in VR eine negative Korrelation von -0,2. Das bedeutet es handelt sich um eine eher schwache negative Korrelation. In Real ist jedoch eine positive Korrelation von 0,33 zu beobachten. Dies ist eine eher mittlere positive Korrelation.

Wie jedoch bereits erwähnt, sind die Probanden im realen durchlauf mit dem Körper eher über der Markierung gewesen. Damit mussten sie sich ebenso eine kürzere Strecke bewegen. Dies könnte zu einer positiven Korrelation beigetragen haben.



bezogen. Demnach mussten sich die Teilnehmer mehr auf die Bewältigung in der virtuellen Welt konzentrieren. Auch gaben die Probanden an, kaum Angst davor haben, zu stolpern oder gegen Objekte zu laufen, während sie die VR-Brille trugen.

Das Simulation Sickness Questionnaire, gepaart mit dem Presence Questionnaire gaben dabei gute Einblicke in das subjektive Empfinden der Probanden. Weitere Fragen nach der Likert-Skala gaben dabei noch weitreichendere Einsichten. Beide Fragebögen eignen sich jedoch gut, um grundlegend zu erkennen, ob die Präsenz hoch, sowie die Beeinflussung durch Simulation Sickness Symptome niedrig ist [21, 22].

Bei den aufgezeichneten Daten wurde zunächst die Präzision der Bewegung ausgewertet. Die Trittsteine waren aufgrund mehrerer Ursachen zu ungenau, als das eine Bewertung möglich war. Die Wand und der Slalom konnten jedoch erfolgreich ausgewertet werden. Dabei wurde erkannt, dass die Teilnehmer deutlich mehr Abstand zu den Hindernissen ließen, wenn diese eine VR-Brille trugen. Anschließend wurde die Geschwindigkeit der Probanden bei der Absolvierung des Parcours genauer betrachtet. Die Personen brauchten bei der Durchführung in der realen Welt deutlich weniger Zeit als bei ihrer Durchführung mit der VR-Brille. Dies ist auch in allen Teilabschnitten erkennbar. Ob die Trittfrequenz in VR ebenso höher war ist zwar wahrscheinlich, kann aber aufgrund der Ungenauigkeiten der Tracker nicht überprüft werden.

Zuletzt wurde eine Korrelation zwischen der benötigten Zeit des Probanden und dem Abstand seines Fußes zu jeweils einem Hindernis in einem Diagramm hergestellt. Dabei ist zu erkennen, dass bei der Korrelation im Bezug auf die Wand eine negative Korrelation zwischen beiden Variablen bei der virtuellen Durchführung besteht. Bei der realen Durchführung existiert jedoch eine positive Korrelation. Beim Slalom konnte keine Korrelation gefunden werden.

Insgesamt kann daher gesagt werden, dass das Tragen einer VR-Brille durchaus einen moderaten Einfluss auf den Nutzer ausübt. So bewegt man sich mit einer VR-Brille deutlich langsamer als ohne. Auch werden mit VR-Brille größere Abstände um Hindernisse gelaufen. Eine hohe Präsenz unterstreicht dabei die Bedeutung der visuellen Umgebung.

Dieses Ergebnis steht im Einklang mit den Ergebnissen von Andrea Canessa et al. [37], da ebenfalls eine deutlich langsamere Bewegung nachgewiesen werden konnte. Weiterhin konnte bestätigt werden, dass die verwendete, kabelgebundene VR-Brille keinen Einfluss auf dieses Ergebnis hatte. Jedoch kann nicht bestätigt werden, dass die VIVE Tracker genaue Positionsdaten geben. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind damit eher auf einer Linie von Miguel Borges et al. [42], welche ebenfalls Ungenauigkeiten bei den VIVE Trackern feststellen konnten. Weiterhin konnte die Idee von Christos Mousas et al. [36] umgesetzt werden, Präzisionsaufgaben hinzuzufügen, sowie einen größeren Bereich abzudecken. Dies war insofern erfolgreich, als dass es interessante Einblicke in die Distanzen gibt, die man bei dem Umgehen von Hindernissen lässt.

Dennoch muss darauf hingewiesen werden, dass die Schuhmodelle bei einer möglichen resultierenden Studie mehr in den Fokus gerückt werden müssen, da diese sehr negativ auffielen. Ebenso sollten die virtuellen Schuhe auch in unterschiedlichen Größen angeboten werden. Weiterhin sollte auf die VIVE Tracker Modell 3.0 in Zukunft verzichtet werden.

6 Fazit und Ausblick

Kern der Arbeit war es, festzustellen, ob das Tragen einer VR-Brille einen Einfluss auf die menschliche Fortbewegung im freien Raum hat. Dabei sollte ein Versuchsaufbau entstehen, in welchem die Probanden verschiedene Aufgaben ablaufen müssen, dies einmal in Real und einmal mit dem Tragen einer VR-Brille.

Dafür wurden in Kapitel 2 zunächst die Grundlagen erläutert. Zuerst wurde die Entwicklung der Virtuellen Realität, von der ersten Idee bis zum Aufschwung der Technologie in den letzten Jahren, kurz zusammengefasst. Anschließend wurden wichtige Begriffe im Bereich der Virtuellen Realität genannt. Es wurde kurz erklärt, was man unter den Begriffen Immersion, Präsenz, Simulation Sickness und Virtueller Realität selbst versteht. Außerdem wurde beleuchtet, wie diese erhöht bzw. verringert werden können. Im Anschluss wurde die Bewegung des Menschen thematisiert. Dabei wurde auch das Laufen des Menschen kurz erklärt. Ebenso wurde der so genannte isometrische und nicht-isometrische Gang kurz erläutert, welcher in Zusammenhang mit der virtuellen Bewegung steht. Weiterhin wurden einige Studien im näheren Forschungsumfeld kurz beleuchtet. Dabei ging es um das Umlaufen eines Hindernisses in VR, sowie dem Vergleich von Gangparametern beim Laufen in Real und in VR. Zuletzt stand eine Zusammenfassung, welche wichtige Erkenntnisse für den Versuchsaufbau beinhaltet.

In Kapitel 3 wurde sich mit dem Konzept der Studie befasst. Dafür wurde zunächst aufgrund einer Kooperation die Herangehensweise des DLR beleuchtet. Im Anschluss wurde der Aufbau selbst, sowie die speziellen Aufgaben näher betrachtet. Dafür wurde für jede Aufgabe ein Abschnitt erstellt. Bei den einzelnen Aufgaben handelt es sich um einen Slalom, Trittsteine, einem Weg folgen, sowie einem kombinierten Parcours. Für die Studie sollten Probanden diese Aufgaben nacheinander absolvieren, jeweils in Real und in VR. Damit sich die Probanden in VR in derselben Umgebung befinden, sollte ein virtuelles Abbild des Raumes erstellt werden, in dem sich die Probanden in der Realität bewegen. Im Anschluss wurde auf die Daten eingegangen, welche erhoben werden sollten. Dabei wurden die Daten in automatisierte Daten, welche während der Durchführung aufgezeichnet werden, und Fragebögen, welche von den Teilnehmern nach Absolvierung des Parcours beantwortet werden, aufgeteilt. Anschließend wurde darauf eingegangen, welche VR-Brille und welche Tracker verwendet werden. Die Wahl fiel aufgrund der Expertise des DLRs auf die HTC von VIVE. Ebenso wurde sich aus demselben Grund für die VIVE Tracker Modell 3.0 als Tracker entschieden. Dabei wurde jedoch auch auf bereits bekannte Probleme aus anderen Studien verwiesen. Zuletzt wurden die Bewertungskriterien genannt, nach denen am Ende entschieden werden soll, ob ein Einfluss auf die Laufbewegung durch das Tragen einer VR-Brille gegeben ist.

In Kapitel 4 wurde der praktische Aufbau und die anschließende Durchführung der Studie betrachtet. Dafür wurde zunächst die Erstellung des virtuellen Abbilds thematisiert. Dieses wurde in Blender erstellt. Anschließend wurde sich mit der Datenaufzeichnung befasst. Hier wurde kurz beleuchtet, wie die automatisierten Daten während der Durchführung aufgezeichnet werden. Dafür sollten zwei PlugIns für die Kommunikation zwischen den Programmen OpenVR und Unreal Engine, in der die Studie stattfindet, verwendet werden. Weiterhin wurde auf die Programmierung eingegangen. Dabei wurde die Verwendung eines der PlugIns, welches manuell gestartet werden musste, erläutert. Auch wurde erklärt, wie die einzelnen Elemente in der Unreal Engine kombiniert wurden. Darauf

folgend wurde der erste Versuch des Aufbaus beschrieben. Dieser war jedoch nicht erfolgreich, da die Tracker keine optimale Vermessung ermöglichten. Das Problem wurde untersucht, indem Referenzpunkte mittels eines Lasermessgerätes erstellt wurden. An diesen Punkten wurden die Tracker platziert und die Abweichungen zur tatsächlichen Position berechnet. Dabei stellte sich heraus, dass die Tracker eine hohe Ungenauigkeit aufwiesen und aufgrund dieser Ungenauigkeit auch für das Anbringen der Markierungen ungeeignet waren. Auch gab es in den hinteren Bereichen häufiger Verbindungsabbrüche. Daher wurden bei einem zweiten Anlauf die vorher erstellten Referenzpunkte zur Vermessung verwendet. Auch wurde der Spielbereich etwas verkleinert. Mit diesen Änderungen wurde die Studie im zweiten Anlauf jedoch erfolgreich aufgebaut. Aufgrund von neuen Problemen, die dafür sorgten, dass die Probanden bei der Kalibrierung der Füße leicht rotiert wurden, wurde die Kalibrierung der Tracker in der realen Versuchsdurchführung ausgelassen. Dies führte dazu, dass keine Aussagen über die Rotation der Füße mehr gemacht werden konnten, und schränkte ihren virtuellen Nutzen für die Präzisionsaufgabe der Trittsteine ein. Außerdem bestand dadurch die Gefahr, dass die Probanden während der Durchführung in VR leicht schräg laufen. Um eine Kollision mit u.a. der Wand zu verhindern, wurden die Aufgaben daraufhin ein wenig angepasst. Auch wurde eine zusätzliche Person damit beauftragt, den Probanden zu warnen, sollte dieser sich doch einem Hindernis gefährlich nähern. Weiterhin wurden Kameras aufgestellt, die im Zweifel festhalten sollten, ob eine Person innerhalb eines Trittsteins stand oder eine Slalomstange berührt hatte. Die Durchführung fand mit Ausnahme dieses Zwischenfalls ohne weitere Probleme statt. Zum Abschluss des Kapitels wurde ein exemplarischer Ablauf der Studie beschrieben.

Das Auswerten der Ergebnisse fand in Kapitel 5 statt. Dabei wurde zunächst der Fragebogen ausgewertet. Die Immersion und Präsenz waren hoch. Allerdings waren die Erfahrungen der Probanden mit den virtuellen Schuhen eher negativ geprägt. Diese fühlten sich nicht richtig an und reagierten verzögert. Anschließend wurde auf die Antworten zu den Fragen zur Simulation Sickness, der gefühlten Laufgeschwindigkeit, sowie den einzelnen Aufgaben eingegangen. Dabei wurden einige bisherige Erkenntnisse bestätigt, unter anderem, dass sich für die meisten Probanden eine isometrische Bewegung richtig anfühlt. Die Symptome der Simulation Sickness fielen dabei ebenfalls nur gering aus. Im zweiten Teil der Auswertung folgten die aufgezeichneten Daten. Aufgrund der Überlappung von verschiedenen Ungenauigkeiten, konnte über die Präzision bei den Trittsteinen keine Aussage getroffen werden. Der Abstand im Parcours zur Wand bzw. zu den einzelnen Slalomstangen konnte ausgewertet werden. Dabei ließen die Probanden in VR deutlich mehr Platz als in Real. Anschließend wurde die benötigte Zeit untersucht. Hierbei waren die Probanden in jedem Abschnitt des Parcours in Real schneller unterwegs als in VR. Zuletzt wurde eine mögliche Korrelation zwischen dem Abstand zum Hindernis und der benötigten Zeit untersucht. Beim Hindernis konnte so eine Korrelation gefunden werden, wobei diese in Real positiv und in VR negativ ist. Beim Slalom gibt es keine Korrelation. Insgesamt konnte aufgezeigt werden, dass das Tragen einer VR-Brille Auswirkungen auf die Fortbewegung des Menschen im freien Raum hat. So hat das Tragen einer VR-Brille die Personen verlangsamt. Auch benötigten diese in VR mehr Abstand zu den Hindernissen.

Dennoch gibt es einige Fehler, die genannt werden müssen. Die Fußmodelle hätten mehr Zeit und Aufmerksamkeit benötigt. Diese waren sehr fehlerhaft. So fanden die Probanden die virtuelle Position der Modelle nicht akkurat. Auch hatten die Schuhe nicht dabei geholfen, sich bei den Trittsteinen präziser zu bewegen. Weiterhin wurde den Probanden zwar angesagt, welche Farbe der Markierungen in Real gerade relevant war, es könnte aufgrund der vielen Farben und Formen dennoch verwirrend für die Teilnehmer gewesen sein. Hier sollten die Aufgaben auf einzelne Räume oder Bereiche aufgeteilt werden, falls die Möglichkeit besteht. Zuletzt müssen auch die Trittsteine genannt werden.

Hierbei hätte eine genauere Untersuchung das Problem mit der schrägen Referenzebene bereits im Voraus offenbart. Somit hätte die Referenzebene berechnet und neutralisiert werden können. Auch hätte von Beginn an mit einer genaueren Messmethode gearbeitet werden sollen. Damit hätte sich möglicherweise das Problem der ungenauen Markierungen verhindern lassen. Das häufiger verwendete Lasermessgerät war zu dem Zeitpunkt jedoch bereits anderweitig in Verwendung. Aufgrund einer nur zeitlich eng begrenzten Verfügbarkeit des Raumes, konnten die Probleme daher nicht mehr in der verfügbaren Zeit behoben werden.

Zum Abschluss dieses Kapitels sind einige Limitationen zu nennen, die diese Studie aufweist. Zum einen ist eine nur geringe Probandenanzahl von zwölf Personen zu nennen, welche nur eine bedingte Repräsentierbarkeit darstellen. Auch waren nur drei weibliche Personen und insgesamt nur eine Person ohne Videospiel- und ohne VR-Erfahrung Teil der Studie. Es handelt sich bei diesen Erkenntnissen daher eher um Tendenzen. Weiterhin müssen auch die Tracker als Limitation genannt werden. Obwohl heutige VR-Systeme recht erschwinglich sind, hapert es noch an der Genauigkeit von zusätzlichen Trackern. Gerade die Tracker des Modells 3.0 von VIVE, die bereits häufiger für Studien verwendet wurden, sind grundsätzlich nützlich, aber ausbaufähig. Diese sollten in Zukunft weiterhin verbessert werden, damit nicht nur mehr Bereiche diese Technologie nutzen können, sondern dies auch die Genauigkeit für weitere Forschungen erhöhen würde. Hier hat VIVE bspw. bereits neue Tracker im Verkauf, ob sich diese jedoch besser eignen, muss sich erst noch zeigen.

Dennoch deuten die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit darauf hin, dass sich Menschen in der VR selbst bei freier Bewegung deutlich langsamer vorwärts bewegen, sowie einen höheren Wendekreis um ein Hindernis herum besitzen. Dies kann den Aufbau von zukünftigen Forschungsaufgaben verbessern. Auch könnte in Zukunft eine Folgestudie durchgeführt werden, bei der unterschiedliche Arten von Bewegungssimulationen anhand ihrer Entscheidungsfindung bewertet werden. Ziel könnte es dabei sein, herauszufinden, mit welcher Eingabemethode am ehesten die Ereignisse erzeugt werden, die der Mensch unter gleichen Bedingungen in der realen Welt getroffen hätte. Dafür könnten die hier gewonnenen Kenntnisse als Grundlage der Vergleichbarkeit gelten. Auch wurde hiermit ein Effekt von VR-Brillen ermittelt, welcher bei weiteren Studien in diesem Feld berücksichtigt werden sollte.

Anhang A: Konzeption

Abbildung A.1: Fragebogen nach dem Szenariodurchlauf

Fragen	Form
1. Bitte geben Sie hier die ID an, die der Versuchsleiter Ihnen gegeben hat.	Textantwort
2. Bitte kreuzen Sie an, ob und gegebenenfalls wie stark die folgenden Symptome während des Versuches auf Ihren Zustand zugetroffen haben. <ul style="list-style-type: none"> • Allgemeines Unwohlsein • Erschöpfung • Kopfschmerzen • Gereizte Augen • Probleme scharf zu sehen • Erhöhter Speichelfluss • Schwitzen • Übelkeit • Konzentrationsschwierigkeiten • Kopfdrücken • Verschwommener Blick • Benommenheit (Augen offen) • Benommenheit (Augen geschlossen) • Schwindel • Flaues Gefühl im Magen • Aufstoßen 	<p style="text-align: center;">Abstufung 1 – 5 Gar nicht - schwer</p>
3. Die folgenden Aussagen beziehen sich darauf, wie gut das Training Sie auf den Parcours vorbereitet hat. <ul style="list-style-type: none"> • Das Training war nützlich für die Bewältigung des Parcours • Hätte ich vorher kein Training gehabt, wäre meine Leistung im Parcours unverändert gewesen • Durch das Training waren meine Bewegungen während des Parcours effizienter. 	<p style="text-align: center;">Abstufung 1 – 7</p>
4. Die folgenden Aussagen beziehen sich darauf, wie Sie den Parcours wahrgenommen haben. <ul style="list-style-type: none"> • Der Parcours hat mir Spaß gemacht. • Ich war während des Parcours motiviert, mein Bestes zu geben. • Der Parcours war herausfordernd. • Der Parcours war langweilig. • Der Parcours hat meine Fähigkeiten überstiegen. • Ich habe mich bei der Bewältigung des Parcours beeilt. 	<p style="text-align: center;">Stimme ganz und gar nicht zu – stimme voll und ganz zu</p>

Abbildung A.2: Fragebogen nach der Studie

Fragen	Form
1. Bitte geben Sie hier die ID an, die der Versuchsleiter Ihnen gegeben hat.	Textantwort
2. Wie alt sind Sie?	Textantwort
3. Welchem Geschlecht fühlen Sie sich zugehörig?	Auswahl
4. Bitte beantworten Sie die Fragen zu Ihrem Spielverhalten.	Abstufung
Wie oft spielen Sie digitale Spiele?	1 – 6
Wie oft nutzen Sie Virtual-Reality Headsets? (privat und beruflich)	Nie – täglich
5. Wie sehr konnten Sie die Ereignisse kontrollieren?	Abstufung 1 – 7 Gar nicht - vollständig
6. Wie natürlich erschienen Ihnen die Interaktionen mit der Umgebung?	Abstufung 1 – 7 Extrem künstlich – ganz natürlich
7. Wie sehr fühlten Sie sich durch die visuellen Aspekte der Umgebung einbezogen?	Abstufung 1 – 7 Überhaupt nicht - vollständig
8. Wie natürlich waren die Mechanismen, mit denen Sie sich durch die Umgebung bewegen konnten?	Abstufung 1 – 7 Sehr künstlich – ganz natürlich
9. Wie sehr stimmten Ihre Erfahrungen in der virtuellen Umgebung mit Ihren Erfahrungen in der realen Welt überein?	Abstufung 1 – 7 Keine Übereinstimmung – starke Übereinstimmung
10. Konnten Sie vorhersehen, was als Reaktion auf die von Ihnen durchgeführten Aktionen als nächstes passieren würde?	Abstufung 1 – 7 Gar nicht - vollständig
11. Wie gut waren Sie in der Lage, aufgrund Ihrer visuellen Wahrnehmung die Umgebung zu erfassen oder etwas zu finden?	Abstufung 1 – 7 Überhaupt nicht - vollständig
12. Wie überzeugend war Ihr Gefühl, sich in der virtuellen Umgebung zu bewegen?	Abstufung 1 – 7 Nicht überzeugend – sehr überzeugend
13. Wie sehr waren Sie in das Geschehen in der virtuellen Welt hineingezogen?	Abstufung 1 – 7 Gar nicht hineingezogen – vollständig vertieft
14. Wie groß war die Verzögerung zwischen Ihren Handlungen und den erwarteten Folgen?	Abstufung 1 – 7 keine Verzögerungen - starke Verzögerungen
15. Wie schnell haben Sie sich an die Erfahrung mit der virtuellen Umgebung gewöhnt?	Abstufung 1 – 7 Überhaupt nicht – in weniger als einer Minute
16. Wie geschickt fühlten Sie sich am Ende der Sitzung darin, sich in der virtuellen Umgebung zu bewegen und mit ihr zu interagieren?	Abstufung 1 – 7 Nicht geschickt – sehr geschickt
17. Inwieweit hat die Qualität der visuellen Darstellung Sie bei der Ausführung der zugewiesenen Aufgaben oder erforderlichen Aktivitäten beeinträchtigt oder abgelenkt?	Abstufung 1 – 7 Überhaupt nicht abgelenkt – hat mich von der Aufgabe abgehalten
18. Wie vollständig waren Ihre Sinne bei dieser Erfahrung involviert?	Abstufung 1 – 7 Überhaupt nicht - vollständig
19. Gab es Momente während der Erfahrung in der virtuellen Umgebung, in denen Sie sich vollständig auf die Aufgabe oder Umgebung konzentriert fühlten?	Abstufung 1 – 7 Nie - oft
20. Die folgenden Aussagen beziehen sich darauf, wie Sie ihre Laufgeschwindigkeit in der Simulation einschätzen.	Abstufung 1 – 7
Meine in der Simulation dargestellte Bewegungsgeschwindigkeit (visuell) hat gut zu meiner gefühlten Bewegungsgeschwindigkeit (Körpergefühl) gepasst.	Stimme ganz und gar nicht zu – Stimme voll und ganz zu

Ich hatte den Eindruck, mich in der Simulation schneller zu bewegen, als es meine Körperbewegungen hätten vermuten lassen.	
Ich hatte den Eindruck, in der Simulation zu langsam voran zu kommen.	
21. Bitte bewerten Sie die realen Szenarien anhand ihrer Schwierigkeiten.	
Slalom laufen	Abstufung 1 – 5 Leicht – schwer
Trittsteine	
Kurven laufen	
Parcours laufen	
22. Wie schwierig waren die einzelnen Elemente in der realen Welt?	
Gleichgewicht halten	Abstufung 1 – 5 Leicht - schwer
Zielgenaues Anhalten	
23. Bitte bewerten Sie die virtuellen Szenarien anhand ihrer Schwierigkeiten.	
Slalom laufen	Abstufung 1 – 5 Leicht - schwer
Trittsteine	
Kurven laufen	
Parcours laufen	
24. Wie schwierig waren die einzelnen Elemente in der virtuellen Welt?	
sich umschauchen	Abstufung 1 – 5 Leicht - schwer
sich im Raum orientieren	
geradeaus laufen	
Geschwindigkeit halten	
Loslaufen	
Zielgenaues Anhalten	
Gleichgewicht halten	
25. Bitte bewerten Sie die folgenden Aussagen.	
Das Slalomlaufen fiel mir in der realen Welt leichter als in der virtuellen Welt.	Abstufung 1 – 7 Stimme ganz und gar nicht zu – stimme voll und ganz zu
Die Aufgabe mit den Trittsteinen fiel mir in der realen Welt leichter als in der virtuellen Welt.	
Der Parcours am Ende war in der virtuellen Welt leichter zu bewältigen als in der realen Welt.	
Ich musste mich für die Bewältigung des Parcours in der virtuellen Welt mehr konzentrieren als in der realen Welt.	
Ich hatte das Gefühl, dass ich beim Laufen des Parcours in der realen Welt konzentrierter war als in der virtuellen Welt.	
Ich habe keinen Unterschied beim Absolvieren des Trainings zwischen der realen und der virtuellen Welt bemerkt.	
Ich habe keinen Unterschied beim Absolvieren des Parcours zwischen der realen und virtuellen Welt bemerkt.	
Ich war in der virtuellen Welt aufmerksamer als in der realen Welt.	
Ich hatte Angst, in der realen Welt zu stolpern.	
Ich hatte Angst in der virtuellen Welt zu stolpern.	
Ich hatte in der virtuellen Welt anfangs große Hemmungen, mich im Raum zu bewegen.	
26. Die folgenden Fragen beziehen sich das empfundene Körpergefühl in der virtuellen Welt.	
Bitte bewerten Sie die folgenden Aussagen.	Abstufung 1 – 7 Stimme ganz und gar nicht zu – stimme voll und ganz zu
Meine virtuellen Füße haben sich echt angefühlt.	
Ich habe manchmal vergessen, dass meine virtuellen Füße nicht meine realen Füße waren.	
Ich konnte in der virtuellen Welt genauso präzise auf eine bestimmte Stelle treten wie in der realen Welt.	
Ich konnte genau steuern wohin meine virtuellen Füße treten.	
Ich konnte in der virtuellen Welt präzise anhalten.	
27. Wie hat es sich für Sie angefühlt, als Sie mit der VR Brille gelaufen sind?	Abstufung 1 – 5 Sehr unangenehm – sehr angenehm
28. Haben Sie einen Unterschied in Ihrer Gangart gespürt, als Sie in der virtuellen und der realen Umwelt gelaufen sind?	Abstufung 1 – 5
29. Wie hat sich das Laufen in der virtuellen Umgebung im Vergleich zum Laufen im realen Raum angefühlt?	Keinen Unterschied – vollständiger Unterschied

30. Wie haben Sie sich beim Laufen mit der VR-Brille gefühlt?	Abstufung 1 – 5 Ich habe die VR-Brille nicht bemerkt – Die Brille hat mich deutlich eingeschränkt
31. Wenn Sie in der virtuellen Welt gelaufen sind, hatten Sie Angst, dass Sie gegen etwas in der realen Welt laufen?	Abstufung 1 – 5 Ganz und gar nicht - andauernd
32. Haben Sie weitere Anmerkungen?	Textantwort

Anhang B: Umsetzung und Studiendurchführung

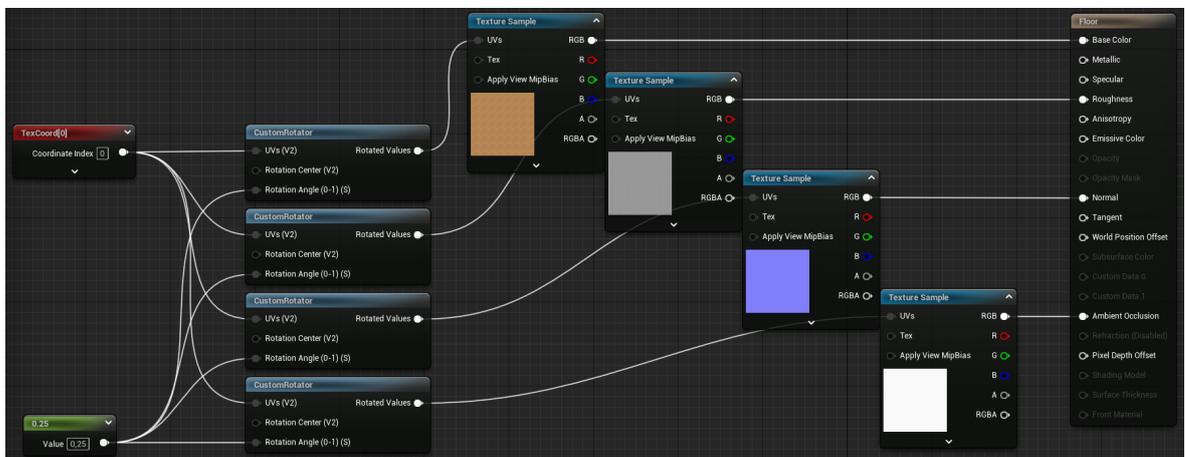


Abbildung B.1: Nodes für ein Material in der Unreal Engine 5

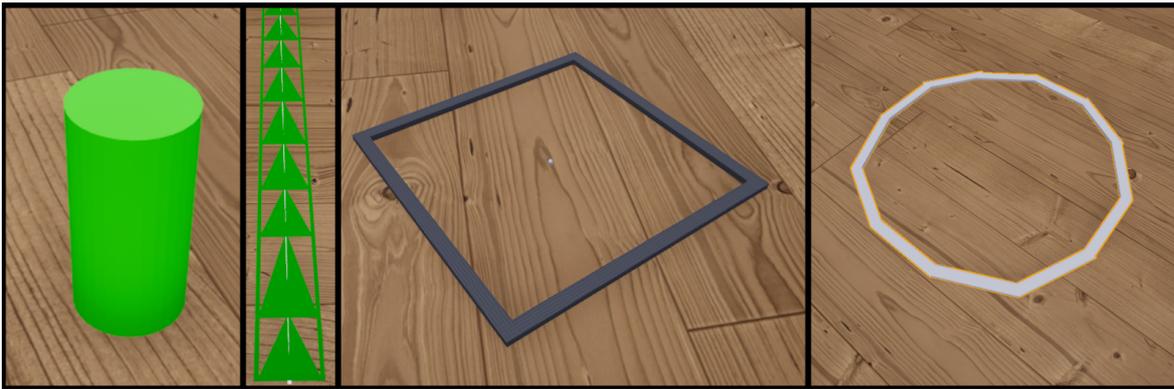


Abbildung B.2: Bild der Elemente in Unreal



Abbildung B.3: Slalom finale Version

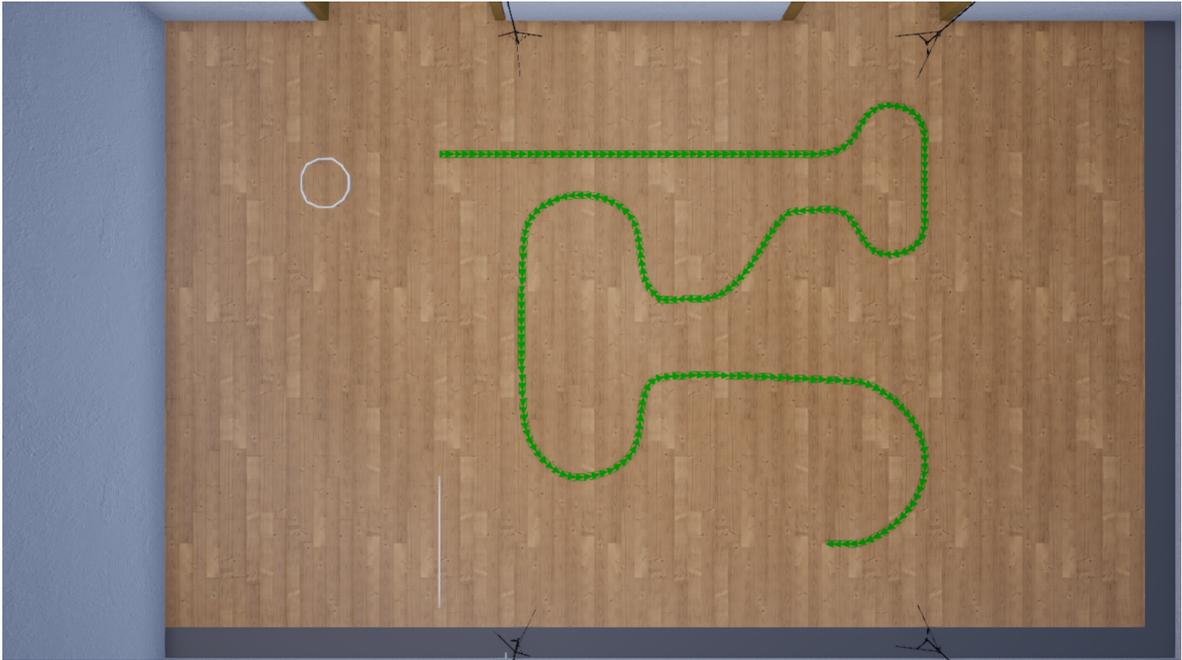


Abbildung B.4: Kurvenlaufen finale Version

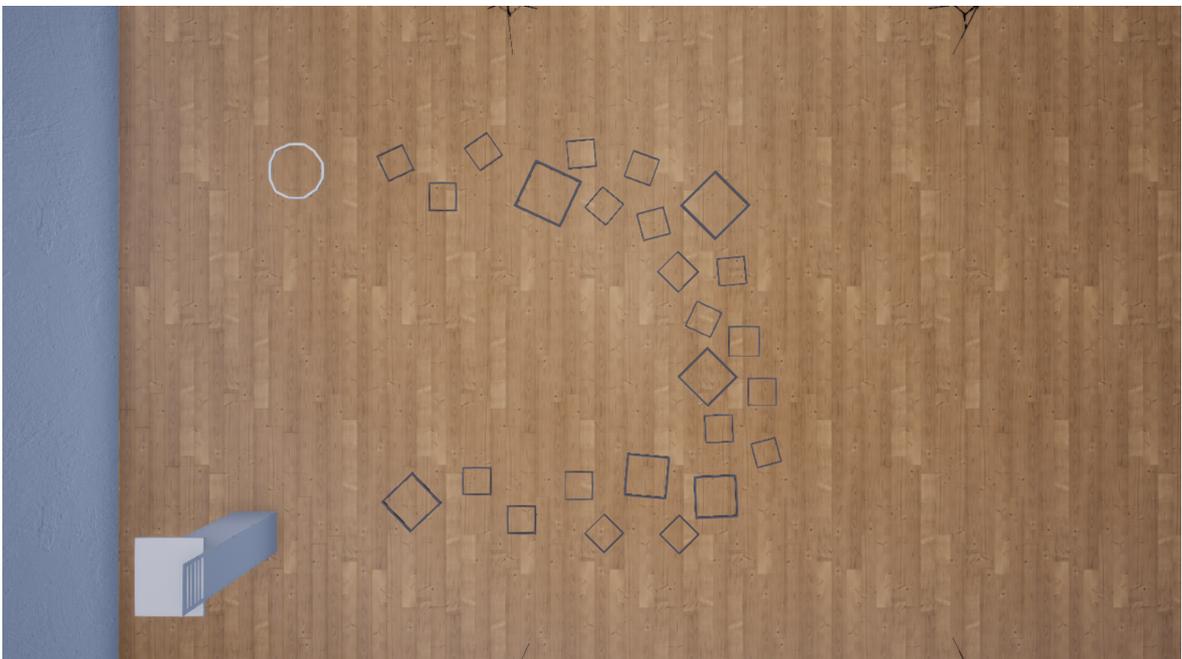


Abbildung B.5: Trittsteine finale Version



Abbildung B.6: Parcours finale Version

Anhang C: Ausführliche Erklärung: Blender

Um diese Studie möglichst immersiv zu halten, muss der Raum, in dem sich die Probanden in der VE bewegen, möglichst nah am original halten. Dafür wurden zunächst einige Bilder des Raumes gemacht. Die wichtigsten Merkmale sollen dabei in der virtuellen Version ebenfalls erkennbar sein. Markante Merkmale sind die großen Fenster, der Türbereich, das Gitter am Rand sowie die Einschneidungen an der Wand aufgrund der Trennwand. Auch die Decke sowie Höhe sollen nah am Original sein, müssen aber weniger genau sein, da den Großteil der Zeit geradeaus oder nach unten geschaut wird. Dafür werden zunächst die wichtigsten Punkte erläutert. Begonnen wird mit dem Overlay, welches in Abbildung C.1 zu sehen ist. In diesem befinden sich nützliche Einstellungen. Oben links befindet sich der Mode (1). Standardmäßig ist der Object Mode aktiv, in dem Objekte einzeln verändert werden können. Durch das wechseln auf den Edit Mode können einzelne Punkte, in der Modellierung so genannte "Polygone", verändert werden. Alternativ kann durch die drei Felder daneben (2) auch Linien oder ganze Flächen angewählt werden. Ein hilfreiches Werkzeug sind die Abmessungen. Dafür befindet sich in der oberen rechten Ecke zwei sich überlappende Kreise. (3) Dies ist das Overlay-Menü. In diesem Menü befinden sich viele nützliche Einstellungen. Im Edit Mode kann dort unter dem Punkt „Measurement“(4) angegeben werden, dass die Seitenlänge angezeigt werden soll. Um nachzuprüfen, ob das metrische System verwendet wird, kann dies in der Rechten Leiste (5) im Abschnitt „Units“ angepasst werden.

Blender arbeitet viel mit Shortcuts, weshalb die wichtigsten hier zu nennen sind. Mittels Shift + A wird ein Menü geöffnet. Unter „Mesh“ finden sich dabei alle 3D-Objekte, die für das Modellieren des Raumes benötigt werden. Mit dem Tabulator kann schnell zwischen Object und Edit Mode gewechselt werden. Skalieren ist schnell über die Taste S möglich. Ähnlich kann der ausgewählte Bereich über G bewegt oder mittels R rotiert werden. Wurde eine der eben genannten Tasten gedrückt, kann im Anschluss X, Y oder Z gedrückt werden. Dies sorgt dafür, dass die Manipulation nur an der entsprechenden Achse ausgeführt wird. Bestätigt wird im Anschluss mit der linken, abgebrochen mit der rechten Maustaste. Weiterhin kann im Object Mode mittels Shift + D das ausgewählte Objekt dupliziert werden. Mit einem Klick auf E werden die ausgewählten Bereiche „extrudiert“. Das bedeutet, dass die ausgewählte Fläche bewegt wird, ohne umliegende Bereiche zu beeinflussen. Wer nicht damit arbeiten möchte, kann die Funktionen aber auch im Overlay finden. Bewegung, Rotation und die Extrude-Funktion befinden sich an der linken Seite. (6) Dupliziert werden kann im Object Mode über einen Rechtsklick. Das Hinzufügen von Körpern erfolgt über die „Add“ Funktion oben links (7).

Nun wird zunächst der Boden erstellt. Im ersten Schritt wird der Standardwürfel gelöscht und eine 2D-Ebene eingefügt. Diese wird anschließend auf die benötigte Länge gezogen. Hierfür wird in den Edit-Mode gewechselt und daneben die Linie ausgewählt, womit einzelne Linien angewählt werden können. Nachdem der Boden die benötigte Größe aufweist, wird folgend die Fläche für eine bessere Bearbeitbarkeit unterteilt. Dafür wird diese ausgewählt und die rechte Maustaste geklickt. In dem nun erscheinenden Menü wird der Punkt „Subdivide“ ausgewählt. Bei „Number of Cuts“ wird auf zehn Iterationen erhöht. Anschließend wird dies bestätigt. Im nächsten Schritt werden die äußersten Linien angewählt und entlang der Z-Achse bewegt, bis diese eine gute Höhe erreichen. Die entstehenden Flächen werden anschließend erneut subdivided. Nun steht der grobe Aufbau des Raumes. Durch das Kombinieren von weiteren Subdivisionen, Extrudieren und Bewegen von einzelnen Flächen werden nun Details in das Modell gebracht. Für die Fensterbänke werden neue Würfel hinzugefügt und

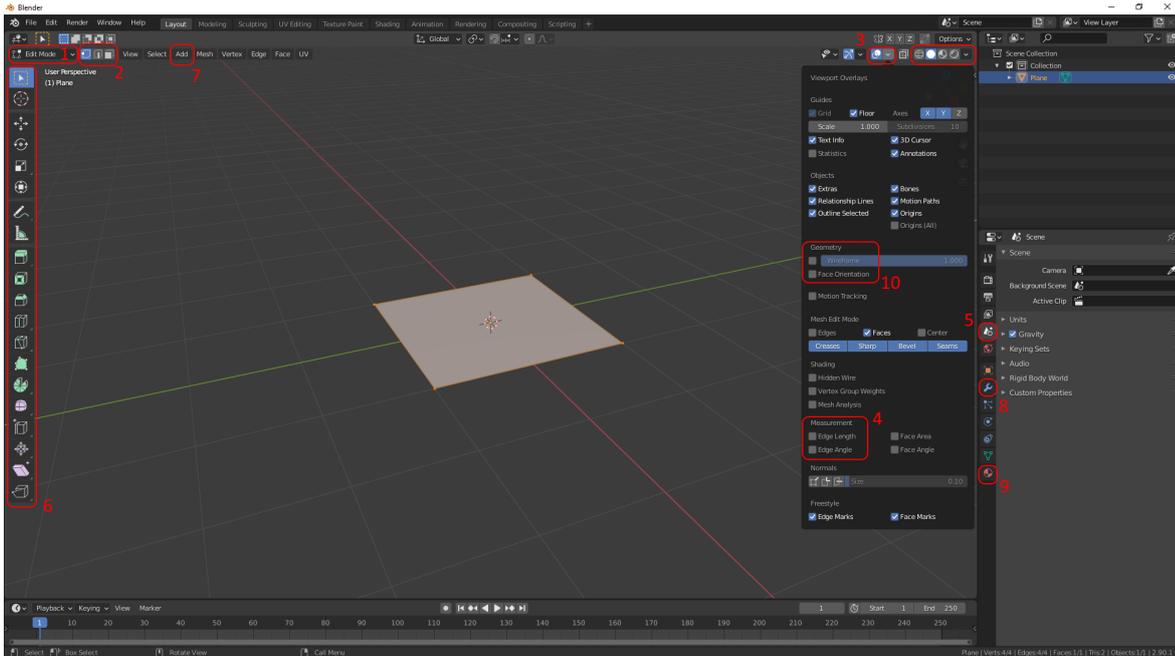


Abbildung C.1: Standardansicht der Benutzeroberfläche von Blender

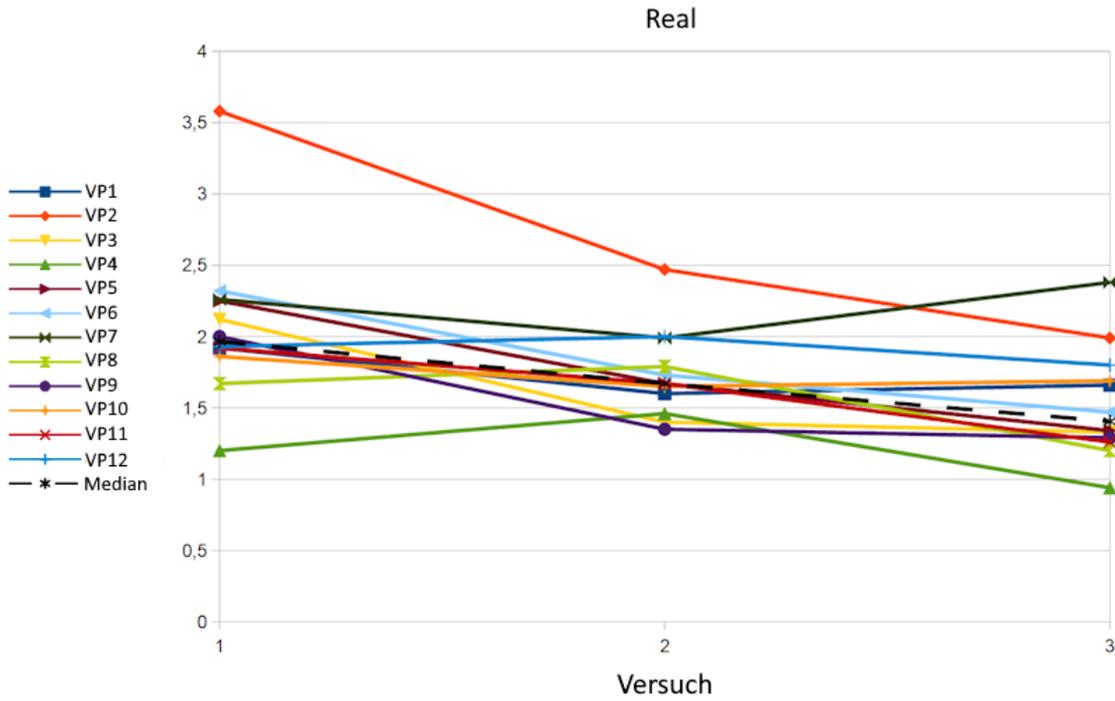
passend bearbeitet. Für die Decke wird eine einfache neue Plane erstellt und über die offene Seite gelegt. Als nächstes müssen die Lighthouses und Lampen erstellt werden. Diese verfolgen einen ähnlichen Aufbau. Die Lighthouses werden über viele einzelne Zylinder erstellt. Die Lampen funktionieren nach ähnlichem Prinzip. Hier wird allerdings nur eine angefertigt, eine Modifikation kümmert sich um die richtige Anzahl. Bei Modifikationen handelt es sich in Blender um komplexe Funktionen, welche meist repetitive Arbeit vereinfachen. Dafür wird im rechten Bereich auf den Schraubenschlüssel (8) geklickt. Anschließend wird bei "Add Modifier" zweimal der Array Modifier ausgewählt. In diesem wird nun jeweils die Anzahl an Iterationen hinzugefügt. In den weiteren Auswahlmöglichkeiten wird ein Constant Offset aktiviert und festgelegt. Sind die Lampen zufriedenstellend angeordnet, werden die Modifier bestätigt. Hierfür wird im Object Mode neben dem Namen auf das kleine Dreieck gedrückt und anschließend mit "Apply" bestätigt. Abschließend werden in der "Collection" in der rechten oberen Ecke alle Objekte ausgewählt und mittels Strg + J zu einem Objekt verbunden. Dies wird deshalb getätigt, da sonst alle Objekte in Unreal einzeln bewegt werden müssten. Ist das Modell fertig, können Materials hinzugefügt werden. Diese bestimmen, welcher Teil eines Objektes welche Farbe erhält. Diese können in der späteren Engine durch realistische Texturen ausgetauscht werden. Dafür wird in der rechten Leiste ein roter Ball ausgewählt.(9) Dort können Materials hinzugefügt werden. Es bietet sich an, dass diese farblich eine deutliche Unterscheidung haben. Auch namentlich sollten sie klar voneinander unterscheidbar sein, da diese später in der Engine anzeigen, welche Farbe mit welcher Textur ausgetauscht werden sollte. Nun wird im Edit Mode jede Fläche einzeln ausgewählt. Anschließend kann im rechten Fenster ein Material ausgewählt werden. Durch den anschließenden Klick auf „Assign“ übernimmt die Fläche die Farbe des Materials. Sollte dies nicht der Fall sein, so muss eventuell noch eine Einstellung getroffen werden. In der oberen rechten Ecke befinden sich vier Kreise. (10) Dabei sollte der zweite von rechts angewählt werden. Der eben beschriebene Ablauf wird nun für jede Fläche einzeln ausgeführt. Mehrere zusammenhängende Flächen können auch gleichzeitig ausgewählt werden, indem im Edit Mode diese ausgewählt werden. Dies ist durch ein gedrückt halten und ziehen der linken Maustaste erreichbar. Ein beispielhaftes Aussehen ist in Abbildung C.2 zu sehen. Als letzter Schritt wird überprüft, ob alle Flächen nach innen zeigen, da sonst hindurch geschaut werden kann. Dafür wird im Overlay Menü der Punkt "Zeige



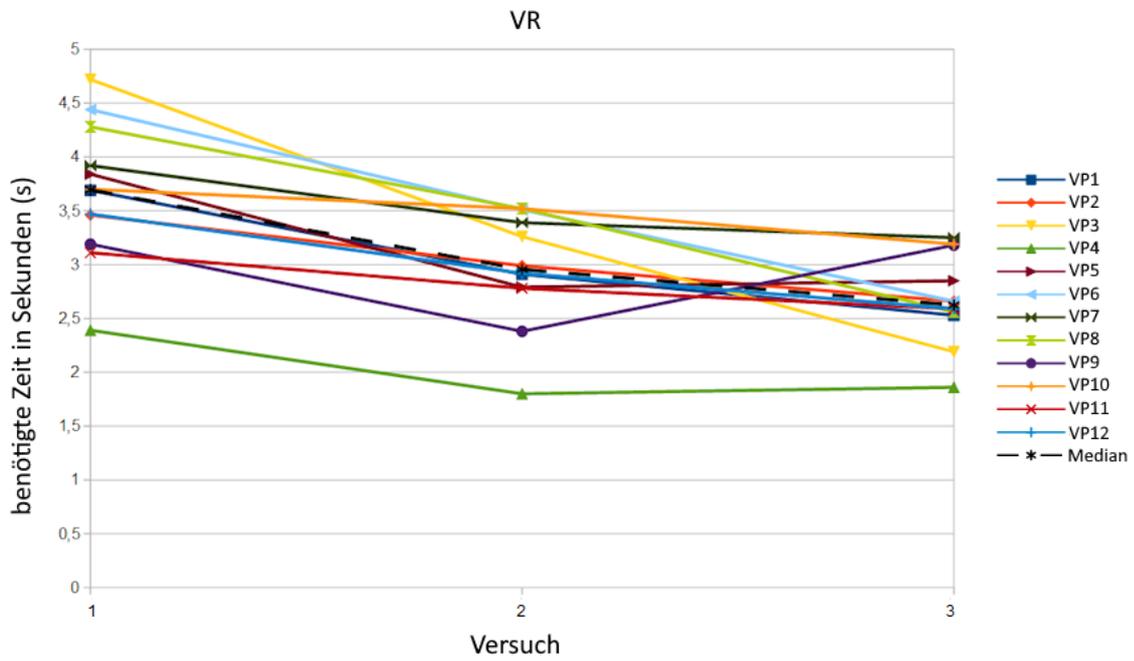
Abbildung C.2: fertiges Modell in Blender

Flächen Orientierung“ aktiviert. Die blaue Färbung bedeutet, dass die Normalen in diese Richtung zeigen. Das ist korrekt. Alle, die mit der roten Fläche nach innen zeigen, müssen gedreht werden. Dafür wird im Edit Mode die jeweilige Fläche ausgewählt und mittels $\text{Alt} + \text{N} \rightarrow \text{Flip}$ gedreht. Nun kann das Modell exportiert werden. Dafür wählt man oben links das Dropdown „File“, gefolgt von Export. Als Dateiendung wählt man „FBX“. Nun öffnet sich ein neues Menü, in dem der Speicherort ausgewählt wird. Auf der rechten Seite müssen noch wenige Einstellungen getroffen werden. So wird bei „Include“ nur Mesh ausgewählt. Nun müssen in Transform die Achsen geändert werden. Als „Forward“ wird die X-Achse, bei „Up“ die Z-Achse ausgewählt. Abschließend wird der Haken bei „Bake Animation“ entfernt. Nun kann auf „Export FBX“ der Vorgang abgeschlossen werden.

Anhang D: Erkenntnisse

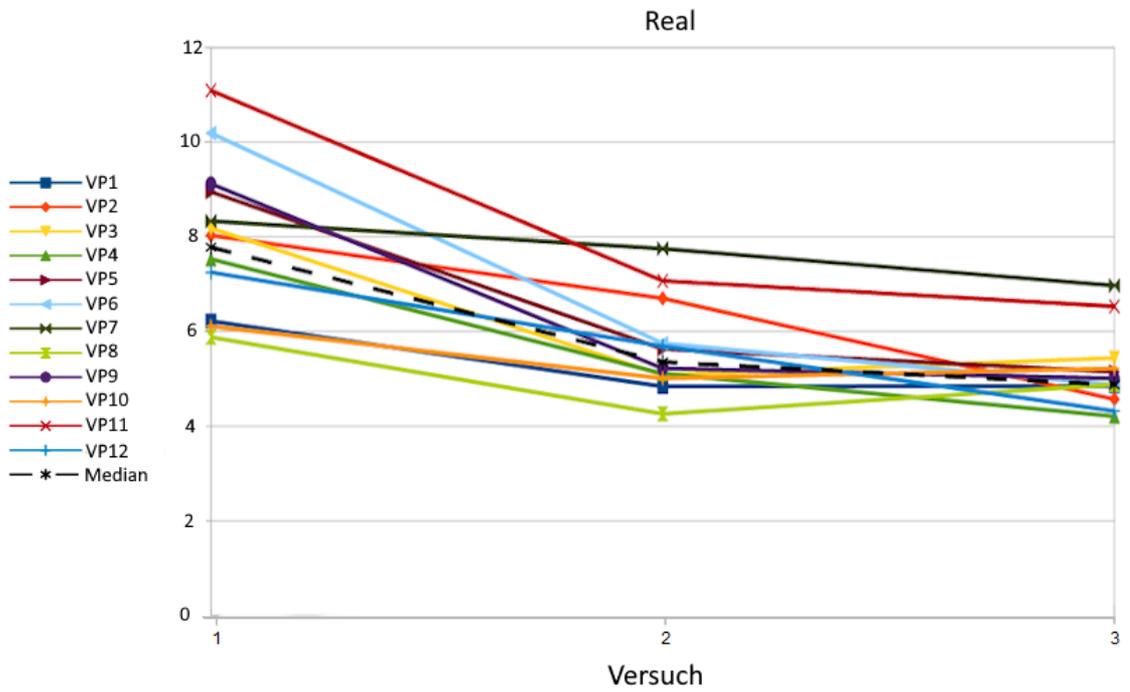


(a) Zeit in Real

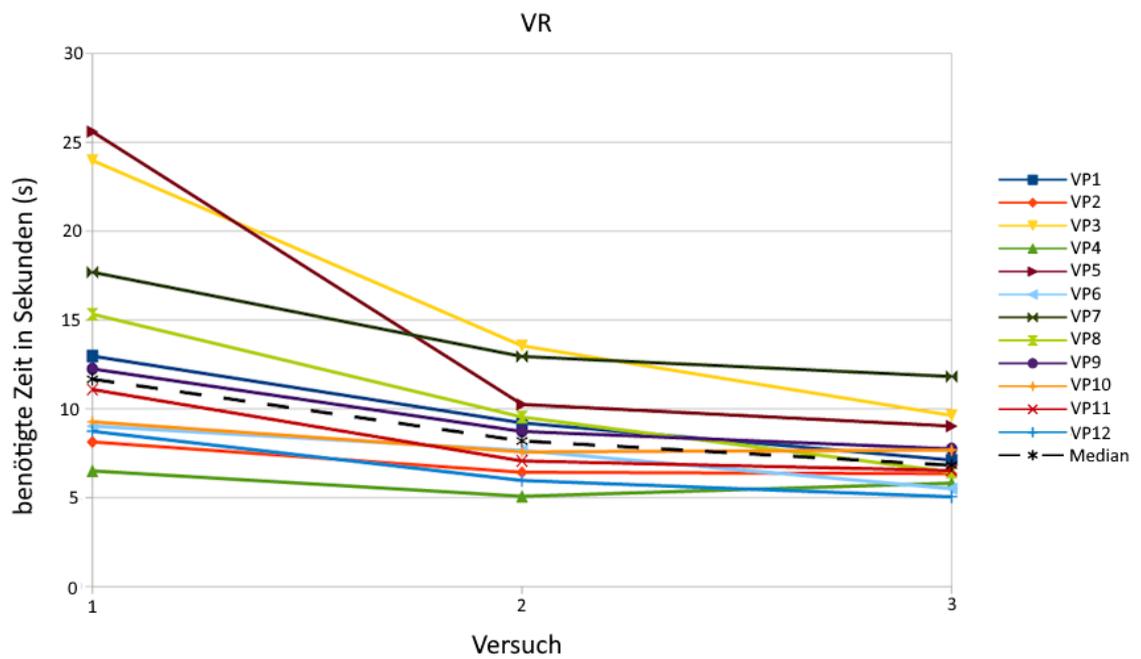


(b) Zeit in VR

Abbildung D.1: Benötigte Zeit der Probanden am Hindernis

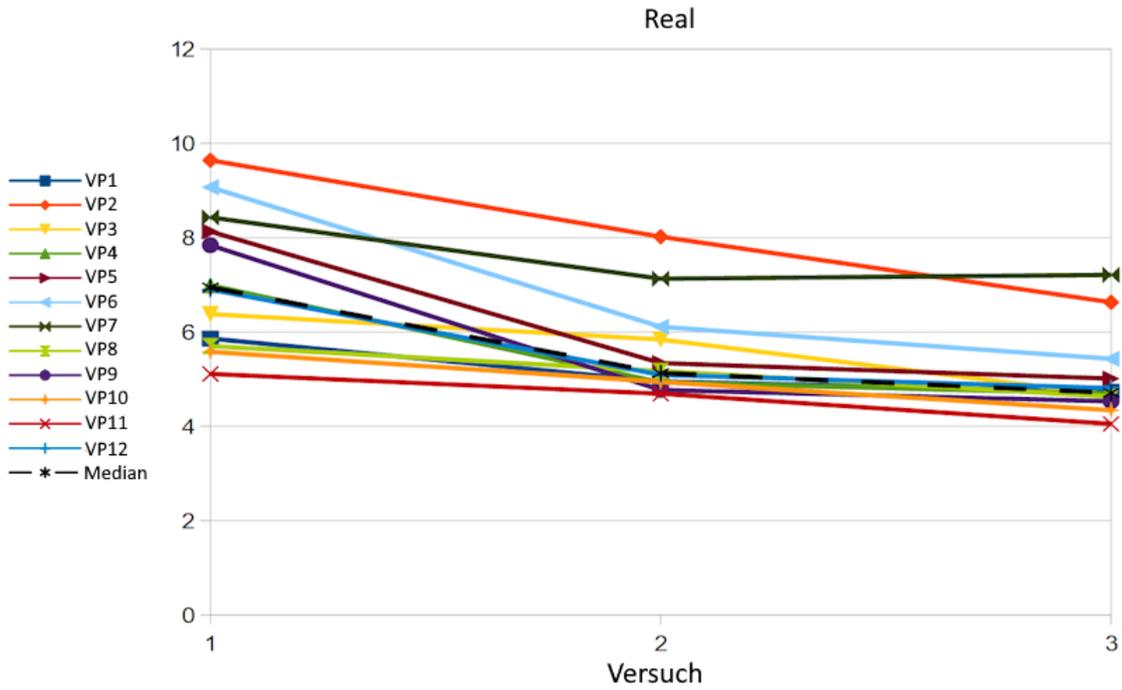


(a) Zeit in Real

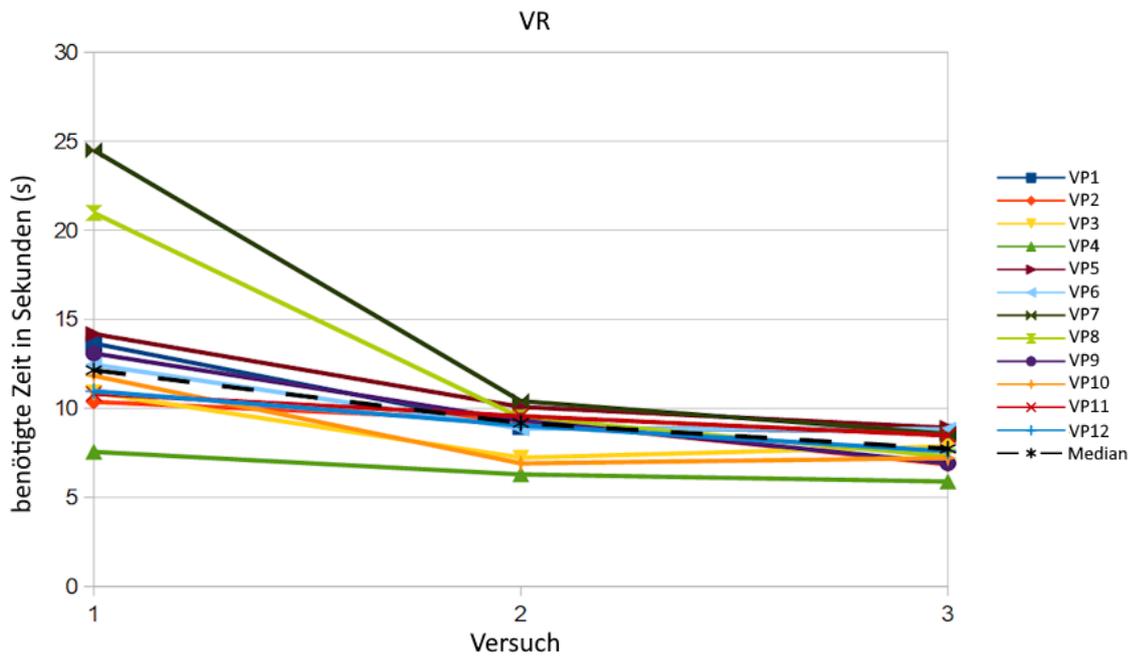


(b) Zeit in VR

Abbildung D.2: Benötigte Zeit der Probanden bei den Trittsteinen

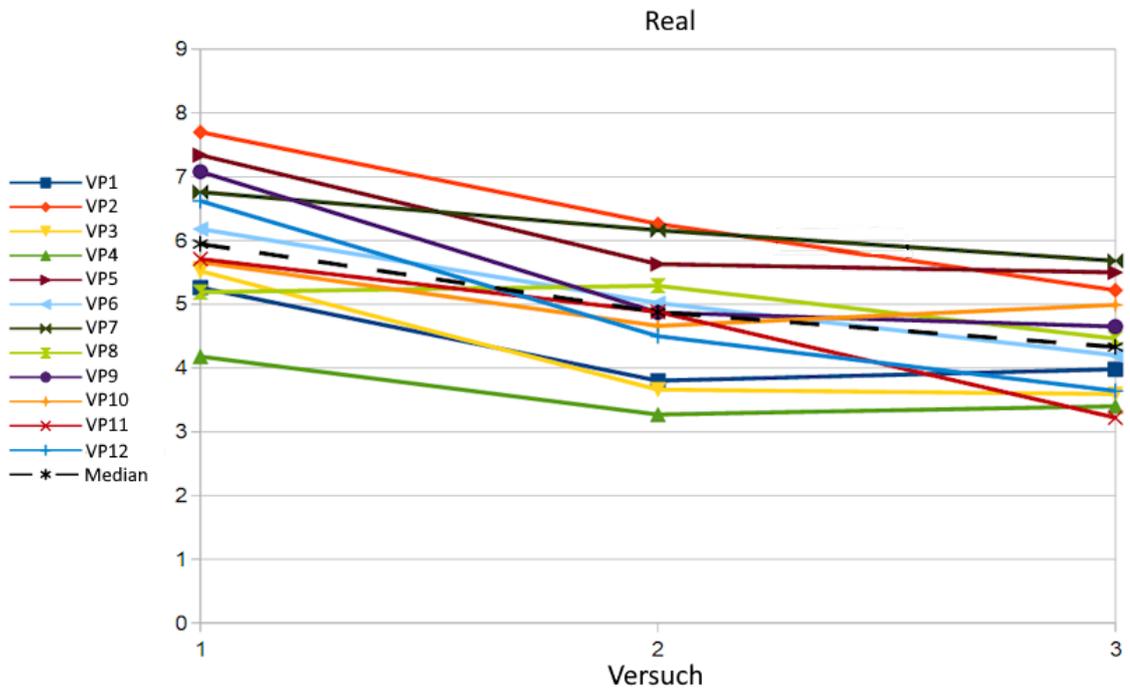


(a) Zeit in Real

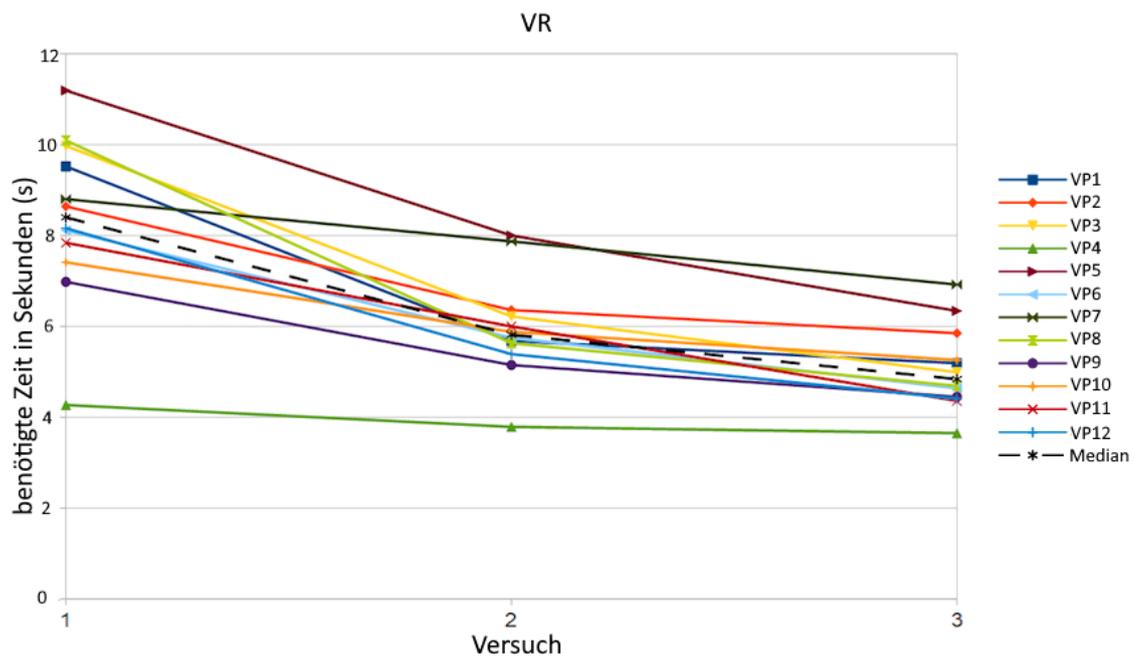


(b) Zeit in VR

Abbildung D.3: Benötigte Zeit der Probanden beim Slalom



(a) Zeit in Real



(b) Zeit in VR

Abbildung D.4: Benötigte Zeit der Probanden beim zurücklaufen zum Startpunkt

Literaturverzeichnis

- [1] A. Garcia-Palacios, H. Hoffman, A. Carlin und T. Furness, „Virtual reality in the treatment of spider phobia: A controlled study“, *Behaviour research and therapy*, Jg. 40, S. 983–993, Okt. 2002. DOI: [10.1016/S0005-7967\(01\)00068-7](https://doi.org/10.1016/S0005-7967(01)00068-7).
- [2] C. Botella, J. Fernández-Álvarez, V. Guillén, A. García-Palacios und R. Baños, „Recent Progress in Virtual Reality Exposure Therapy for Phobias: A Systematic Review“, *Current Psychiatry Reports*, Jg. 19, S. 1–13, 2017. DOI: [10.1007/s11920-017-0788-4](https://doi.org/10.1007/s11920-017-0788-4).
- [3] R. V. Taranilla, R. Cózar-Gutiérrez, J. A. González-Calero und I. L. Cirugeda, „Strolling through a city of the Roman Empire: an analysis of the potential of virtual reality to teach history in Primary Education“, *Interactive Learning Environments*, Jg. 30, Nr. 4, S. 608–618, 2022. DOI: [10.1080/10494820.2019.1674886](https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1674886).
- [4] J. Fox und D. Arena, „Virtual Reality: A Survival Guide for the Social Scientist“, *Journal of Media Psychology: Theories, Methods, and Applications*, Jg. 21, S. 95–113, Jan. 2009. DOI: [10.1027/1864-1105.21.3.95](https://doi.org/10.1027/1864-1105.21.3.95).
- [5] „BitSpaceDevelopment“. (), Adresse: <https://www.bitspacedevelopment.com/>. (letzter Zugriff: 08.07.2024).
- [6] „FLAIM Trainer“. (), Adresse: <https://flaimsystems.com/products/trainer>. (letzter Zugriff: 08.07.2024).
- [7] R. Pausch, T. Crea und M. Conway, „A Literature Survey for Virtual Environments: Military Flight Simulator Visual Systems and Simulator Sickness“, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Jg. 1, Nr. 3, S. 344–363, Aug. 1992. DOI: [10.1162/pres.1992.1.3.344](https://doi.org/10.1162/pres.1992.1.3.344).
- [8] D. Barnard. „History of VR“. (), Adresse: <https://virtualspeech.com/blog/history-of-vr>. (letzter Zugriff: 08.07.2024).
- [9] I. E. Sutherland, „The Ultimate Display“, *Proceedings of IFIP Congress*, S. 506–508, 1965. Adresse: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:126382308>, (letzter Zugriff: 08.07.2024).
- [10] W. R. Sherman und A. B. Craig, *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2003, S. 24–36, ISBN: 9780080520094. DOI: [10.5555/2821567](https://doi.org/10.5555/2821567).
- [11] C. Anthes, R. J. García-Hernández, M. Wiedemann und D. Kranzlmüller, „State of the Art of Virtual Reality Technologies“, in *2016 IEEE Aerospace Conference*, März 2016, S. 1–19. DOI: [10.1109/AERO.2016.7500674](https://doi.org/10.1109/AERO.2016.7500674).
- [12] J. Vogel, C. Koßmann, J. Schuir, N. Kleine und J. Sievering, „Virtual- und Augmented-Reality-Definitionen im interdisziplinären Vergleich“, in *Smart Glasses: Augmented Reality zur Unterstützung von Logistikdienstleistungen*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2020, S. 19–50, ISBN: 978-3-662-62153-0. DOI: [10.1007/978-3-662-62153-0_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-62153-0_2).
- [13] P. Milgram und F. Kishino, „A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays“, *IEICE Trans. Information Systems*, Jg. vol. E77-D, no. 12, S. 1321–1329, Dez. 1994.
- [14] M. Wilkinson, S. Brantley und J. Feng, „A Mini Review of Presence and Immersion in Virtual Reality“, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Jg. 65, Nr. 1, S. 1099–1103, 2021. DOI: [10.1177/1071181321651148](https://doi.org/10.1177/1071181321651148).

- [15] H. Q. Dinh, N. Walker, C. Song, A. Kobayashi und L. F. Hodges, „Evaluating the Importance of Multi-sensory Input on Memory and the Sense of Presence in Virtual Environments.“, *Proceedings of the Virtual Reality Annual International Symposium*, S. 222–228, Apr. 1999. DOI: [10.1109/VR.1999.756955](https://doi.org/10.1109/VR.1999.756955).
- [16] E. T. Davis, K. Scott, J. Pair, L. F. Hodges und J. Oliverio, „Can Audio Enhance Visual Perception and Performance in a Virtual Environment?“, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Jg. 43, Nr. 22, S. 1197–1201, 1999. DOI: [10.1177/154193129904302206](https://doi.org/10.1177/154193129904302206).
- [17] I. de Villiers Bosman, O. O. Buruk, K. Jørgensen und J. Hamari, „The effect of audio on the experience in virtual reality: a scoping review“, *Behaviour & Information Technology*, Jg. 43, Nr. 1, S. 165–199, 2024. DOI: [10.1080/0144929X.2022.2158371](https://doi.org/10.1080/0144929X.2022.2158371).
- [18] J. K. Gibbs, M. Gillies und X. Pan, „A comparison of the effects of haptic and visual feedback on presence in virtual reality“, *International Journal of Human-Computer Studies*, Jg. 157, S. 102717, 2022, ISSN: 1071-5819. DOI: [10.1016/j.ijhcs.2021.102717](https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2021.102717).
- [19] S. Pastel, C.-H. Chen, K. Petri und K. Witte, „Effects of body visualization on performance in head-mounted display virtual reality“, *PLOS ONE*, Jg. 15, S. 1–18, Sep. 2020. DOI: [10.1371/journal.pone.0239226](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239226).
- [20] J.-L. Lugin, M. Ertl, P. Krop und R. Klupfel, „Any “Body” There? Avatar Visibility Effects in a Virtual Reality Game“, in *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, März 2018, S. 17–24. DOI: [10.1109/VR.2018.8446229](https://doi.org/10.1109/VR.2018.8446229).
- [21] B. G. Witmer und M. J. Singer, „Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire“, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Jg. 7, Nr. 3, S. 225–240, Juni 1998. DOI: [10.1162/105474698565686](https://doi.org/10.1162/105474698565686).
- [22] R. S. Kennedy, N. E. Lane, K. S. Berbaum und M. G. Lilienthal, „Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness“, Bd. 3, Taylor & Francis, 1993, S. 203–220. DOI: [10.1207/s15327108ijap0303_3](https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3).
- [23] P. Bimberg, T. Weissker und A. Kulik, „On the Usage of the Simulator Sickness Questionnaire for Virtual Reality Research“, in *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, 2020, S. 464–467. DOI: [10.1109/VRW50115.2020.00098](https://doi.org/10.1109/VRW50115.2020.00098).
- [24] T. Hirzle, M. Cordts, E. Rukzio, J. Gugenheimer und A. Bulling, „A Critical Assessment of the Use of SSQ as a Measure of General Discomfort in VR Head-Mounted Displays“, *CHI '21: Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2021. DOI: [10.1145/3411764.3445361](https://doi.org/10.1145/3411764.3445361).
- [25] E. Chang, H.-T. Kim und B. Yoo, „Virtual Reality Sickness: A Review of Causes and Measurements“, *International Journal of Human-Computer Interaction*, Jg. 36, S. 1–25, Juli 2020. DOI: [10.1080/10447318.2020.1778351](https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1778351).
- [26] R. S. Kennedy, K. M. Stanney und W. P. Dunlap, „Duration and Exposure to Virtual Environments: Sickness Curves During and Across Sessions“, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Jg. 9, Nr. 5, S. 463–472, Okt. 2000. DOI: [10.1162/105474600566952](https://doi.org/10.1162/105474600566952).
- [27] A. da Silva Marinho, U. Tertton und C. M. Jones, „Cybersickness and postural stability of first time VR users playing VR videogames“, *Applied Ergonomics*, Jg. 101, S. 103698, 2022, ISSN: 0003-6870. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103698>.

- [28] S. Freitag, B. Weyers und T. W. Kuhlen, „Examining Rotation Gain in CAVE-like Virtual Environments“, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Jg. 22, Nr. 4, S. 1462–1471, 2016. DOI: [10.1109/TVCG.2016.2518298](https://doi.org/10.1109/TVCG.2016.2518298).
- [29] D. Saredakis, A. Szpak, B. Birkhead, H. A. D. Keage, A. Rizzo und T. Loetscher, „Factors Associated With Virtual Reality Sickness in Head-Mounted Displays: A Systematic Review and Meta-Analysis.“, *Frontiers in human neuroscience*, Jg. 14, 2020. DOI: [doi:10.3389/fnhum.2020.00096](https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00096).
- [30] U. A. Chattha, U. I. Janjua, F. Anwar, T. M. Madni, M. F. Cheema und S. I. Janjua, „Motion Sickness in Virtual Reality: An Empirical Evaluation“, *IEEE Access*, Jg. 8, S. 130 486–130 499, 2020. DOI: [10.1109/ACCESS.2020.3007076](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007076).
- [31] N. Dużmańska, P. Strojny und A. Strojny, „Can Simulator Sickness Be Avoided? A Review on Temporal Aspects of Simulator Sickness“, *Frontiers in Psychology*, Jg. 9, 2018. DOI: [10.3389/fpsyg.2018.02132](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02132).
- [32] M. Usoh u. a., „Walking > Walking-in-Place > Flying, in Virtual Environments“, *Proceedings of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques ACM*, S. 359–364, Juni 1999. DOI: [10.1145/311535.311589](https://doi.org/10.1145/311535.311589).
- [33] O. Janeh, „Human Gait in Virtual Reality: Analyses Changes of Gait during Locomotion in Immersive Virtual Environments“, Diss., SUB Hamburg, 2019, S. 16–20. Adresse: <https://ediss.sub.uni-hamburg.de/handle/ediss/6160>, (letzter Zugriff: 08.07.2024).
- [34] O. Janeh, E. Langbehn, F. Steinicke, G. Bruder, A. Gulberti und M. Pötter-Nerger, „Walking in Virtual Reality: Effects of Manipulated Visual Self-Motion on Walking Biomechanics“, *ACM Transactions on Applied Perception*, Jg. 14, S. 1–15, Jan. 2017. DOI: [10.1145/3022731](https://doi.org/10.1145/3022731).
- [35] D. Dai. „Pose Tracking Methods: Outside-in VS Inside-out Tracking in VR“. (), Adresse: <https://pimax.com/blogs/blogs/pose-tracking-methods-outside-in-vs-inside-out-tracking-in-vr>. (letzter Zugriff: 08.07.2024).
- [36] C. Mousas, D. Kao, A. Koiliias und B. Rekabdar, „Evaluating virtual reality locomotion interfaces on collision avoidance task with a virtual character“, *The Visual Computer*, Jg. 37, Juni 2021. DOI: [10.1007/s00371-021-02202-6](https://doi.org/10.1007/s00371-021-02202-6).
- [37] A. Canessa, P. Casu, F. Solari und M. Chessa, „Comparing Real Walking in Immersive Virtual Reality and in Physical World using Gait Analysis“, in *Proceedings of the 14th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (VISIGRAPP 2019) - HUCAPP*, INSTICC, SciTePress, 2019, S. 121–128. DOI: [10.5220/0007380901210128](https://doi.org/10.5220/0007380901210128).
- [38] K. M. Stanney, K. S. Hale, I. Nahmens und R. S. Kennedy, „What to Expect from Immersive Virtual Environment Exposure: Influences of Gender, Body Mass Index, and Past Experience“, *Human Factors*, Jg. 45, Nr. 3, S. 504–520, 2003. DOI: [10.1518/hfes.45.3.504.27254](https://doi.org/10.1518/hfes.45.3.504.27254).
- [39] S. Vlahovic, L. Skorin-Kapov, M. Suznjevic und N. Pavlin-Bernardic, „Not just cybersickness: short-term effects of popular VR game mechanics on physical discomfort and reaction time“, *Human Factors*, Jg. 28, Nr. 108, S. 163–168, Mai 2024. DOI: [10.1007/s10055-024-01007-x](https://doi.org/10.1007/s10055-024-01007-x).
- [40] „SoSci Survey - Befragungstool“. (), Adresse: <https://www.soscisurvey.de/>. (letzter Zugriff: 08.07.2024).

- [41] M. Slater und S. Wilbur, „A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments“, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Jg. 6, Nr. 6, S. 603–616, Dez. 1997. DOI: [10.1162/pres.1997.6.6.603](https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603).
- [42] M. Borges, A. Symington, B. Coltin, T. Smith und R. Ventura, „HTC Vive: Analysis and Accuracy Improvement“, in *2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Okt. 2018, S. 2610–2615. DOI: [10.1109/IROS.2018.8593707](https://doi.org/10.1109/IROS.2018.8593707).
- [43] D. C. Niehorster, L. Li und M. Lappe, „The Accuracy and Precision of Position and Orientation Tracking in the HTC Vive Virtual Reality System for Scientific Research.“, in *i-Perception*, vol 8, 2017. DOI: [10.1177/2041669517708205](https://doi.org/10.1177/2041669517708205).
- [44] G. Verdelet u. a., „Assessing Spatial and Temporal Reliability of the Vive System as a Tool for Naturalistic Behavioural Research“, in *2019 International Conference on 3D Immersion (IC3D)*, 2019, S. 1–8. DOI: [10.1109/IC3D48390.2019.8975994](https://doi.org/10.1109/IC3D48390.2019.8975994).
- [45] B. Bahn. „GIT Repository für den VRTrackerReader“. (), Adresse: <https://github.com/bkoern/VRTrackerReader>. (letzter Zugriff: 08.07.2024).
- [46] is-centre. „GIT Repository für den UDPReader“. (), Adresse: <https://github.com/is-centre/udp-ue4-plugin-win64>. (letzter Zugriff: 08.07.2024).
- [47] W. A. Hemmerich, *StatistikGuru, Korrelation online berechnen*, Juli 2018. Adresse: <https://statistikguru.de/rechner/korrelation-online-berechnen.html>, (letzter Zugriff: 08.07.2024).

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich – Felix Kreisig – an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Sämtliche Stellen der Arbeit, die im Wortlaut oder dem Sinn nach Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt oder anderweitig veröffentlicht.

Mittweida, 08. Juli 2024

Ort, Datum


Felix Kreisig