

BACHELORARBEIT

UNTERSUCHUNG ALTERNATIVER FORTBEWEGUNGSMETHODEN IN VIRTUELLEN UNTERWASSERWELTEN

Marc Jochens

Studiengang: Bachelor Informatik

Matrikelnummer: 4350108

Zeitraum: 11. März 2021 bis 11. September 2021



1. Gutachter

Prof. Dr. Gabriel Zachmann

2. Gutachter

Dr. René Weller

DANKSAGUNG

Hier möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei dieser Arbeit unterstützt haben. Sei es durch das aktive Teilnehmen an meiner Studie, den da vorigen Probeläufen oder sonstigen Spielereien die ich gerne ausprobiert habe. Natürlich gilt auch euch treuen Kamera-Haltern, mich-Motivatoren und vor-die-Kamera-Stellern mein Dank.

Besonders gilt mein Dank:

- Meinen Eltern
- Haya
- Jendrik
- Krista
- Leon
- Mattis
- Yannik

ZUSAMMENFASSUNG

Beim Eintauchen in virtuelle Unterwasserwelten mit Hilfe von Virtual Reality Headsets oder einer Powerwall, erfordert dies spezielle auf diese Umgebung und Anzeigemethoden angepasste Mittel der Fortbewegung. Daher wurde, durch das Abfragen und Verfolgen von Presence und Virtual Reality Sickness, sowie dem Messen der Zeit pro Durchlauf, in einer Nutzerstudie untersucht, wie gut sich die Bewegungsmethoden Aquascooter, Teleport und Swimming an den zuvor genannten Anzeigemethoden eignen. Diese hat gezeigt, dass der Aquascooter und das Swimming an einem Head Mounted Display am Besten geeignet sind, während mit der Powerwall nur das Nutzen des Aquascooters gute Ergebnisse erzielt hat. Der Teleport funktionierte auch recht gut mit dem Virtual Reality Headset, jedoch war diese Methode bei den Nutzern sehr unbeliebt. Dadurch wird gezeigt, dass Methoden, welche sich in die virtuelle Umgebung eingliedern, sehr gut funktionieren können. Außerdem wird bestätigt, dass Head Mounted Displays bei den drei verglichenen Methoden einen positiveren Einfluss auf die Presence haben, als Powerwalls.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	i
Zusammenfassung	iii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Forschungsfragen	1
1.2 Aufbau der Arbeit	3
2 Verwandte Arbeiten	5
2.1 Navigationsmethoden	5
2.2 Virtual Reality	7
2.3 Powerwall	8
2.4 Navigation im virtuellen Raum	9
3 Implementation	11
3.1 Basis-Simulation	11
3.2 Modifikationen	11
3.3 Navigation	12
3.3.1 Point & Fly - der Aquascooter	12
3.3.2 Point & Teleport	13
3.3.3 Schwimmen	14
3.3.4 Richtungspfeil	16
3.3.5 Beacons	16
3.4 Logging	17
3.5 Virtuelle Testumgebung	18
3.6 Unreal spezifische Implementation	19
4 Studie	21
4.1 Forschungsfrage	21
4.2 Design	22
4.2.1 Aufbau	23
4.2.2 Erhebungsmethoden	25
4.2.3 Ablauf	26
4.3 Ergebnisse	28
5 Diskussion	35
5.1 Demografie	35
5.2 VR Sickness	35

5.3	Presence	36
5.4	Performance	37
5.5	Subjektive Einschätzung	38
5.6	Wiederholte Ausführung	39
5.7	Problematik des Schwimmens in der virtuellen Welt	40
5.8	Aggregierte Ergebnisdiskussion	41
6	Fazit	45
6.1	Einschränkungen	46
6.2	Ausblick	46
Literaturverzeichnis		v
Abbildungsverzeichnis		ix
Tabellenverzeichnis		xi
Glossar		xiii
Anhang		xv
A	Bilder	xv
A.1	Screenshots	xv
A.2	Bewegungspfade	xviii
B	Dokumente	xxiv
C	Datenträger	xxxv

1 EINLEITUNG

Angefangen mit simplen virtuellen Welten und Regeln, wie sie z.B. in Space Invaders zu finden waren, haben sich Spiele immer weiterentwickelt, sodass es heute möglich ist, riesige dreidimensionale Welten zu simulieren, mit welchen die Spieler basierend auf einer Vielzahl von Regeln interagieren können. Je komplexer und größer die Welten wurden, desto wichtiger wurde als Konsequenz daraus auch die Optimierung der Methoden zur Navigation. Die im Laufe der Zeit auf Basis von indirekten Eingabemethoden (Tastatur, Maus) entwickelten Modelle lassen sich jedoch nicht optimal nutzen, wenn bei der Präsentation ein HMD zur Darstellung der virtuellen Welt als virtuelle Realität genutzt wird. Grund dafür ist, dass kontinuierliche, unnatürliche Fortbewegung zu Irritationen bei dem Nutzer führen kann, wenn dieser ein HMD trägt und somit ausschließlich die virtuelle Welt wahrnimmt. Darüber hinaus verfügen moderne VR HMDs über sechs DOF (Degrees of Freedom) Tracking für den Kopf, sowie dazugehörige ebenfalls getrackte Motion Controller. Dies ermöglicht natürlichere und somit immersivere Möglichkeiten der Navigation in virtuellen Welten. Weit verbreitet sind z.B. Teleportation, natürliches Gehen, Walk with Stick und Point and Fly. Eine besondere bisher nur spärlich untersuchte Herausforderung für die Navigation innerhalb einer VR Umgebung stellt die Fortbewegung in Szenarien dar, bei denen alle drei Achsen mit einbezogen werden müssen, wie zum Beispiel Unterwasser oder im Weltraum. Um das Tauchen innerhalb der vom Coral Reef VR Projekt erzeugten Simulation möglichst immersiv und gleichzeitig effizient zu gestalten, muss untersucht werden, welche Methoden sich für die Navigation in einer mittels VR erlebten virtuellen Unterwasserwelt am besten eignen.

1.1 MOTIVATION UND FORSCHUNGSFRAGEN

Das Coral Reef¹ bietet eine Bewegungsmethode in der virtuellen Welt, welche den häufig vorgefundenen zweidimensionalen Bewegungsmethoden eine weitere Achse hinzufügt. Diese ist notwendig, um in einer realen Unterwasserumgebung mögliche und in einer virtuellen Welt somit wünschenswerte Bewegungen zu erlauben. Da die in VR üblichen Methoden zur Navigation im virtuellen Raum sich mehr auf erdgebundene Mittel zur Bewegung fokussieren, sehen die am weitesten entwickelten Methoden keine dritte Achse vor. Auch wenn verschiedene Konzepte zur Navigation in der Luft wie z.B. Flying carpet existieren, ist bisher nicht geklärt, inwiefern und wenn ja, wie gut sich diese für die Navigation in einer virtuellen Unterwasserwelt eignen. So könnte die Existenz der Wasseroberfläche, die für ein Unterwasserszenario unintuitive Steuerung oder eine reduzierte Sichtweite bei einigen dieser Navigationsmethoden

¹<https://cgvr.cs.uni-bremen.de/teaching/studentprojects/vrcoralreef3/>, Abruf: 28.08.2020

negative Auswirkungen haben.

Um in einer Nutzerstudie herauszufinden, welche Auswirkungen die alternativen Bewegungsmethoden in einer ungewohnten Unterwasserumgebung haben, müssen diese speziell für die neue Umgebung angepasst werden. Dabei soll in der Entwicklung einer solchen Navigationsmethode der Fokus auf der Erlernbarkeit liegen und darauf geachtet werden, dass sich die Methode gut in die Umgebung eingliedert. Auch sollen dadurch keine weiteren Irritationen für den Nutzer entstehen.

Die bisherige Forschung wie beispielsweise von Takala et al. (2005), Fels et al. (2005) oder Guo (2016) zeigen auf, dass bereits im Bereich der liquiden Navigation in VR durch Schwimmbewegungen geforscht wurde, jedoch wurden noch keine Vergleiche zwischen Navigationsmethoden angestellt. Zwei der oben genannten Forschungen beziehen sich dabei auf die Navigation auf der Wasseroberfläche, während nur Takala et al. (2005) eine Unterwasser-Bewegungsmethodik verwendet, um welche es unter anderem in dieser Arbeit geht. Es gibt Erkenntnisse aus dem Coral Reef Multiplayer, in welchem die erste des Autoren bekannte Version vom Schwimmen implementiert wurde. Dortige Erfahrungen zeigen, dass diese Bewegungen während des Aufenthalts im virtuellen Raum schwierig durchzuführen sein können. Jedoch kann das Schwimmen auch eine funktionierende Fortbewegungsart für Unterwasserumgebungen darstellen. Nun stellt sich die Frage, wie gut das Schwimmen im Vergleich zu anderen, gut an die Unterwasserwelt anzupassenden Bewegungsmethoden, wie Teleport und Flying, geeignet ist. Außerdem nutzen einige Projekte, welche Schwimmen als Bewegungsmethode verwenden, eine sogenannte Powerwall (Takala et al., 2005), während andere ein HMD nutzen (Guo, 2016). Daher soll auch untersucht werden, inwiefern sich diese beiden Anzeigemethoden unterscheiden.

Basierend auf dieser Argumentation ergeben sich die folgenden Forschungsfragen für diese Thesis:

ZFF 1: „Forschungsfrage 1“ Inwiefern eignen sich die zu untersuchenden Bewegungs- und Anzeigemethoden für die Navigation im liquiden Raum?

ZFF 2: „Forschungsfrage 2“ Wie lassen sich die genannten Bewegungs- und Anzeigemethoden in folgende Hierarchie einordnen?

1. Presence: Swimming > AquaScooter > Teleport
2. VR Sickness: Teleport < Swimming < AquaScooter
3. Das HMD führt zu mehr Presence als die Powerwall
4. Das HMD führt zu mehr VR Sickness als die Powerwall

1.2 AUFBAU DER ARBEIT

Zuerst wird in Kapitel 2 der aktuelle Forschungsstand erläutert und diese Arbeit in den entsprechenden Kontext eingeordnet. Dabei werden Vergleiche zu bereits existierenden Methoden gezogen und die Unterschiede zwischen diesen aufgezeigt. Gleichzeitig wird besonders auf die für eine Nutzung in einer virtuellen Unterwasserwelt notwendigen Änderungen eingegangen. Darauf folgt die Beschreibung der Implementation für 3D Teleport, Point and Fly und Schwimmen innerhalb von Kapitel 3, sowohl für das HMD als auch für die Powerwall. In Kapitel 4 erfolgen Schilderungen von Design, Aufbau, Ablauf und Durchführung der auf der zuvor beschriebenen Implementation aufbauenden Studie. Anschließend erfolgt die Analyse und Präsentation der dort gesammelten Ergebnisse (Kapitel 5). Den Abschluss der Arbeit bilden ein Fazit und der Ausblick auf die mit diesen Erkenntnissen mögliche zukünftige Forschung (Kapitel 6).

2 VERWANDTE ARBEITEN

2.1 NAVIGATIONSMETHODEN

Im Laufe der Entwicklung und Weiterentwicklung der VR-Technik, sowie der dazugehörigen Software, wurden zwangsweise auch viele verschiedene Methoden zur Navigation im virtuellen Raum entworfen. Die Forschung und Spiele-Industrie haben dazu zahlreiche Beispiele entwickelt, darunter Point & Teleport (Bozgeyikli et al., 2016), Point & Fly (Bowman et al., 1997), Walk with Stick (Cherni et al., 2020), Drive (siehe Spiel „Assetto Corsa“), Redirected Walking (Cherni et al., 2020) und Walk in Place (Usoh et al., 1999). Davon sind für diese Arbeit jedoch ausschließlich Point & Teleport und Point & Fly relevant, da sich diese für eine Fortbewegung in einer virtuellen Unterwasserwelt am besten eignen.

Point & Teleport Die Point & Teleport Methode ist die am häufigsten vorgefundene Art der Fortbewegung innerhalb der virtuellen Realität und wird von vielen erfolgreichen VR-Launchern (Steam-HUB, VivePort) und Spielen (Half Life Alyx², The Lab³) bzw. Simulationen (Cooking Simulator VR⁴) erfolgreich verwendet (Bozgeyikli et al., 2016). Zudem wird sie von den Branchen führenden Engines (Unity, Unreal) als Standard Lösung für die Fortbewegung im virtuellen Raum vorgeschlagen.

Sie basiert auf einer Vorschau der zukünftigen Position (z.B. Traceline, Geister Avatar, Punkt), welche mit einem Knopfdruck direkt vom Nutzer übernommen werden kann. (Bozgeyikli et al., 2016) Dabei setzt die Standardimplementierung immer einen festen Untergrund als Ziel voraus.

Der große Vorteil dieser Fortbewegungsmethode liegt in ihrer durch die Vorschau der Position gegebenen Präzision. Da der Nutzer durch den plötzlichen Wechsel der Position (Teleport) keiner lediglich in der virtuellen Welt existierenden kontinuierlichen Bewegung ausgesetzt ist, bringt diese Methode zudem kaum Risiko von VR Sickness mit sich (Cherni et al., 2020). Allerdings ruft Point & Teleport auch eine verringerte Presence hervor, da die plötzliche Positionsänderung den Nutzer desorientiert (Bowman et al., 1997).

Ein wichtiger Aspekt dieser Methode ist außerdem die nach dem Teleport mögliche Rotationsänderung. Je nach Implementierung kann es dem Nutzer möglich sein, mittels des Trackpads oder Analogsticks am Controller und einem entsprechendem Pfeil auf dem Boden, die Blickrichtung festzulegen, in welcher sich der Nutzer nach dem Teleport wieder findet. Nach dem erfolgreichem Teleport wird die Drehung des Nutzers angewendet (Funk et al., 2019).

²https://store.steampowered.com/app/546560/HalfLife_Alyx/

³https://store.steampowered.com/app/450390/The_Lab/

⁴https://store.steampowered.com/app/1358140/Cooking_Simulator_VR/

Flying Bei dem Modell des Fliegens (Eng. „Flying“ oder auch „Point & Fly“) wird die Richtung der Fortbewegung innerhalb der virtuellen Welt mittels eines in der Hand gehaltenen Eingabegerätes vorgegeben. Das Zeigen in eine bestimmte Richtung führt zusammen mit der Betätigung des Auslösers zu einer Bewegung in die entsprechende Richtung, welche erst endet wenn der Auslöser nicht mehr betätigt wird. Das Ändern der gewünschten Richtung ist immer durch das Zeigen in eine andere Richtung möglich. Der Nutzer kann hierbei nur rotieren indem er sich selbst im echten Raum dreht, oder eine weitere Steuerung dafür eingebaut wird (Robinett and Holloway, 1992). Eine Variante hiervon sieht vor die Bewegung auf die horizontale Ebene zu beschränken, um das Laufen in Fluren oder Räumen besser zu simulieren (Usoh et al., 1999). Ein Vorteil von Flying ist laut Drogemuller et al. (2018) die Verbesserung der Orientierung. Auch wirkt die Navigation durch kontinuierliche Bewegung natürlicher und ist somit einfach zu erlernen. Klare Nachteile der Methode sind die erhöhte Gefahr von VR Sickness durch nicht in der Realität begründete kontinuierliche Bewegung und das Fehlen der Möglichkeit einer rückwärtigen Bewegung.

Schwimmen Bisher entwickelte Schwimm-Mechaniken verwenden oft an Gestensteuerung erinnernde Mechaniken. So erzeugte bei der Implementation von Takala et al. (2005) eine Symmetrische Bewegung der Hände in einer Kreisbahn vor dem Körper (Brust schwimmen) eine Beschleunigung nach vorne. Die Beeinflussung der Höhe wurde durch die Verschiebung der Bewegungsrichtung nach oben oder unten ermöglicht. Diese Methode funktioniert nativ bereits im dreidimensionalen Raum, wurde allerdings bisher nur in einer Powerwall Cave getestet. Die Bewegungen selbst erscheinen im Kontext einer Unterwasserumgebung sehr natürlich und sind leicht erlernbar, da sie an reale Schwimmbewegungen angelehnt sind.

Eine Umsetzung dieser Art der Navigation für das HMD erfolgte im Projekt Coral Reef (Com), welche aufgrund der durch das HMD gegebenen frei schwenkbaren Kamera keine direkte Drehung durch Schwimmbewegungen beinhaltete. Damalige Tests ergaben, dass aufgrund der losen Verkettung von Bewegung in der Realität mit der Fortbewegung im virtuellen Raum jedoch ein gewisses Potential für VR Sickness entstand.

Aufwendigere Umsetzungen des Schwimm-Konzeptes sehen vor den Nutzer in eine spezielle Vorrichtung zu platzieren, um ihn in eine dem realen Schwimmen ähnliche, horizontale Position zu bringen (Fels et al., 2005). Noch näher an der Realität liegen Yamashita et al. (2016) mit ihrer Apparatur. Dort schwimmt der Nutzer in echtem Wasser und ein Powerwall Cave Bild wird an die Projektionsflächen, welche am Pool angebracht sind, geworfen.

Wie genau die Interaktionsmethoden im Vergleich, mit besonderem Blick auf die Unterwasserumgebung wirken und wie sie die Presence des Nutzers beeinflussen ist bisher nicht gut erforscht. Daher siedelt sich diese Arbeit an genau diesen Schwerpunkten an.

Immersion und Presence Immersion und Presence sind eng miteinander verwoben und haben, je nach Definition, ähnliche Bedeutungen. Um Klarheit für diese Arbeit zu schaffen wird eine häufig akzeptierte Definition von Janet Murray (1997) verwendet: Die Erfahrung an einen aufwändig simulierten Ort transportiert zu werden, ist schon selbst die Freude, unabhängig vom Phantasiegehalt des Inhalts. Diese Erfahrung wird als Immersion bezeichnet. Es geht bei der Immersion also nicht um den Inhalt, sondern das Gefühl an einen Ort transportiert zu werden. Die Immersion ist um so stärker, je mehr Sinne von der Computergenerierten Welt stimuliert werden, als von der Echten. Bei der Presence hingegen geht um die Wahrnehmung einer anderen Welt. Bei Telepräsenz ist das die Wahrnehmung eines fernen Ortes, bei Computersimulationen handelt es sich dabei um die vom Computer generierte Welt. Presence ist also die Vereinigung aus dem Gefühl an einem Ort zu sein und dem Gefühl, dass was dort passiert auch wirklich passiert, obwohl man weiß, dass dies nicht der Fall ist. (Dörner et al., 2013)

Ein weiterer Begriff, der in diese Sparte fällt ist Suspension of Disbelief. Nach Cruz-Neira et al. (1992) handelt es sich dabei um die Fähigkeit, sich in die Simulation hinein versetzen zu können. Wenn eine Technologie also besser darin ist, eine Suspension of Disbelief zu erzeugen, als eine Andere, so kann sie den Nutzer einfacher in die simulierte Welt transportieren.

2.2 VIRTUAL REALITY

Bevor aktuelle Entwicklungen im Themenbereich der VR diskutiert werden können, muss eine klare Definition von VR gegeben sein, da der Begriff oft und in vielen verschiedenen Weisen genutzt wird. Nach Dörner et al. (2013) besteht die virtuelle Realität aus computergenerierten Reizen wie zum Beispiel Licht, Ton usw. und es besteht die Möglichkeit der Interaktion. Dafür muss diese Realität, oder auch Welt, vom Computer simuliert sein. Diese wird dann über das VR-System an den Nutzer weitergegeben. Solche VR-Systeme, mit denen die virtuelle Realität erlebt werden kann, bestehen meist aus einer Art Bildschirm, einem Computer und verschiedenen Eingabegeräten. Obwohl schon gängige Monitore mit Computern oder auch Smartphones streng genommen die Anforderungen für VR erfüllen, wird dies heutzutage umgangssprachlich nicht so bezeichnet. Unter diesen Umständen wird für VR ein sogenanntes HMD benötigt. Dieses besitzt 2 Displays mit Linsen davor, welche direkt vor den Augen des Nutzers befestigt sind und Sensoren welche den Ort des Gerätes im Raum erfassen. Meist gehören auch Controller dazu, welche die Interaktion in der virtuellen Welt gewährleisten. Auch tauchen während dem Schreiben dieser Arbeit erste Handtracking Integrationen in HMDs auf (siehe Danneberg (2020)).

2.3 POWERWALL

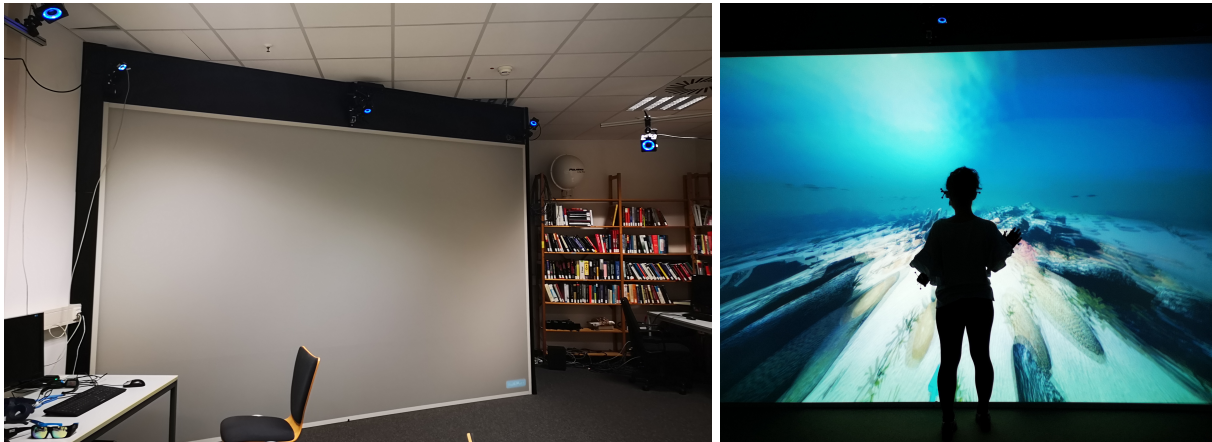


Abbildung 2.1

Links: Powerwall auf Standby; Rechts: Powerwall in Aktion

Eine Powerwall ist ein sehr großes Display, welches aus mehreren Wänden bestehen kann und dem Benutzer mittels speziell dafür entwickelten Programmen erlaubt damit zu interagieren und als ebenfalls als VR Gerät zählt. Nicht selten ist damit eine Gestensteuerung verbunden. Dabei können aufgrund der Größe, mehrere Zuschauer das Geschehen verfolgen (Deligiannidis and Whitman, 2003). Um dem Nutzer eine bessere Presence zu bieten wird bei Powerwalls mit Stereo Bildern zusätzlich die Perspektive auf den Nutzer zentriert. Ein Beispiel einer Powerwall, sowie die Nutzung davon ist in Abbildung 2.1 zu sehen. Beim Blick auf das Bild der Leinwand fällt auf, dass es aus Sicht der Kamera verzerrt aussieht. Für den Nutzer allerdings entsteht dadurch der Eindruck, durch ein Fenster zu schauen. Eine solche Technik ist auch wichtig bei einer Variante der Powerwall, der sogenannten CAVE (Cruz-Neira et al., 1992), bei der die virtuelle Umgebung (im besten Fall) an die Wände, den Boden und die Decke projiziert wird. Dadurch entsteht nach Cruz-Neira et al. (1992) eine höhere Suspension of Disbelief als bei anderen VR Geräten, da die CAVE dem Nutzer eine komplette Rundumsicht (Panorama) bietet ohne dass viel Technisches Equipment getragen werden muss. Die in der Studie benutzte Powerwall hat Ähnlichkeiten zu der von Czernuszenko et al. (1997) verwendeten InfinityWall mit einer Auflösung von 2560x1600 Pixeln, einer Breite von vier Metern und einer Höhe von 2,5 Metern. Dabei wird auch diese Powerwall mit zwei Projektoren betrieben und erzeugt ein Stereo-Bild mittels Shutter Brillen. In dem Experiment werden an dem Nutzer angebrachte Infrarot-Tracker von einem Motion Capture System bestehend aus 13 Kameras für die Erkennung des Kopfes und den Händen verwendet (Siehe Opt). Die dafür genutzten Tracker sind an der Shutter Brille, sowie Handschuhen für den Nutzer platziert. Zusätzlich können weitere Tracker an Objekten befestigt werden, um diese im getrackten Raum zu verfolgen.

2.4 NAVIGATION IM VIRTUELLEN RAUM

Hier werden zur Einordnung in das Themengebiet beispielhaft Bewegungsmethoden beschrieben, welche sich von den bereits beschriebenen unterscheiden und aktuell in der Industrie Verwendung finden.

HMD Ein wichtiges VR Spiel für HMDs ist Half Life Alyx⁵, welches „[...] das erste exklusive Triple-A-Spiel für VR-Brillen“ (Erl, 2020) darstellt. Dabei wurden verschiedene Bewegungsmethoden eingebaut, welche auf die meisten Benutzer zugeschnitten sind. Eine dieser Methoden ist der Point & Teleport bekannt aus Kapitel 2.1, welcher jederzeit durch eine Analogstick/Touchpad basierte Methode ersetzt werden kann. Diese Art von Bewegungsmethode kann weiter variieren, zwischen einer Bewegungsrichtung abhängig vom Kopf des Spielers oder vom Controller selbst. Letzteres ist im Grunde die bereits bekannte Flying Mechanik ohne Änderung der Höhe des Nutzers und dem zusätzlichen Unterschied, dass kein Knopf, sondern ein Analogstick oder Touchpad bedient wird. Auch ist es theoretisch möglich ohne Bewegungsmetapher die virtuelle Welt zu erkunden und durch das Laufen im echten Raum auch gleichzeitig virtuell zu laufen, allerdings sind unsere Räume dafür meist unzureichend groß.

Bei Simulationen für Autos, wie beispielsweise Assetto Corsa⁶, wird stattdessen nicht auf die Bewegung des Spielers selbst gesetzt, sondern auf die des Autos, welches er steuert. Dies bietet den Vorteil, dass sich die echte und virtuelle Welt wenig unterscheiden. Die Steuerung findet allein durch das Lenken des Autos mit Tastatur, Controller oder sogar Lenkrad statt. Im entfernten Sinne ähnelt dies auch einer zweidimensionalen Flying Steuerung, mit der Einschränkung, dass nur in Fahrtrichtung des Autos „geflogen“ werden kann. Das Auto ist selbstverständlich auch lenkbar.

Näher an einer Steuerung durch Armbewegungen ist eine Bewegungsmethode, welche das Spiel TO THE TOP⁷ bietet. Dort kann der Spieler mit verlängerten Armen an Häusern hoch klettern, sich von ihnen weg stoßen und so springen.

Ein Beispiel welches extrem nah an das Schwimmen heran kommt, ist in der Minecraft VR Mod Vivecraft⁸ zu finden. Begibt sich der Nutzer dort unter Wasser, so kann er mit den Armen vorwärts schwimmen. Dies stellt eine simple Version des hier zu untersuchenden Schwimmens in bereits verfügbarer Software dar.

Powerwall Ein weiteres sehr direktes Beispiel der Navigation im virtuellen liquiden Raum wird von Takala et al. (2005) angeführt. Dabei bewegt der Nutzer seine Arme in Schwimmbe-

⁵https://store.steampowered.com/app/546560/HalfLife_Alyx/

⁶https://store.steampowered.com/app/244210/Assetto_Corsa/

⁷https://store.steampowered.com/app/509250/TO_THE_TOP/

⁸<http://www.vivecraft.org/>, Abruf: 11.09.2021

wegungen um sich vorwärts zu bewegen und in Kreisen um sich zu drehen. Der Unterschied zu dieser Studie allerdings ist, dass es hier nur ein Display für die Powerwall gibt, und kein CAVE ähnliches Konstrukt wie bei Takala et al. (2005). Die Nutzer-Feedbacks davon waren positiv: Das Schwimmen sei einfach zu lernen und wirke sehr natürlich.

3 IMPLEMENTATION

3.1 BASIS-SIMULATION

Die Untersuchung der Bewegungsmethoden soll in einer immersiven Umgebung stattfinden damit gegebene Metaphern Sinn ergeben. Dies betrifft insbesondere das Schwimmen. Deshalb wird das bereits existierende Coral Reef Projekt verwendet, welches in der Unreal Engine 4 (Version 4.22) implementiert vorliegt. Dies ist eine Game Engine, welche fotoreales Rendering, Animation, Physik, KI und vieles Weitere mit sich bringt (Unr). Das bereits existierende Coral Reef wurde von Bachelor- als auch Masterprojekten des CGVRs (Com) entwickelt und bietet bereits eine Implementation für das Schwimmen. Es besteht auch die Möglichkeit diese um die Methoden Point & Teleport und Flying zu erweitern. Dieses Projekt wird im Weiteren als „Coral Reef“ bezeichnet. Es beinhaltet bereits eine Unterwasserwelt mit Sound- und Lichteffekten, sowie Sand, Steinen, dynamisch generierten aber auch statischen Korallen und Fischeschwärmen mit Schwarmverhalten. Außerdem wurde es schon gut auf Stabilität getestet und es wurden damit bereits andere Studien erfolgreich durchgeführt (Com). Genau wie die Unreal Engine 4 (Unr), steht das Coral Reef kostenlos zur Verfügung.

3.2 MODIFIKATIONEN

Bisher gibt es keinen Anreiz für den Spieler sich zu bewegen, außer um sich umzusehen. Dies kann aber je nach Interesse des Nutzers stark variieren. Deshalb sollen noch Ziele für den Spieler hinzugefügt werden. Diese werden als Wegpunkte implementiert, welche der Nutzer aktivieren muss, indem er sich in deren Nähe begibt. Um eine Suche zu verhindern, welche stark von der zuerst gewählten Richtung des Nutzers abhängig wäre, wird ein Kompass, welcher immer in die Richtung des nächsten Wegpunktes zeigt, implementiert. Auch wird es aus Gründen der Performanz und Abwesenheit eines validen Grundes für deren Existenz, ein Level ohne dynamisch generierte Korallen geben. Dieses enthält mehrere Hügel und größere Hindernisse, welche es nicht erlauben nur durch Bewegungen auf einer Ebene alle Wegpunkte zu erreichen. Deaktiviert werden alle bisherigen Werkzeuge, da diese nichts zu der Bewegung beitragen. Es werden jedoch neue Werkzeuge für den Teleport und die Point & Fly Bewegungsmethode eingebaut, welche nur ausgerüstet sind wenn die jeweilige Methode aktiv ist. Auch wird das Spielmenü, welches unter anderem das Ändern der Tageszeit, sowie weitere Simulationseinstellungen und das Teleportieren an andere festgelegte Orte deaktiviert, da auch diese Dinge nicht hilfreich für die Studie sind.

3.3 NAVIGATION

Alle 3 Navigationsmethoden basieren auf dem selben Spieler-Pawn, welcher durch Verwendung von Motion Controllern seine Navigation steuern kann. Um zu differenzieren welche Bewegungsmethode aktiv ist, wird die Metapher von bestimmten Werkzeugen benutzt. Dieses Werkzeug wird zu Beginn einer Durchführung vom Versuchsleiter festgelegt und kann vom Nutzer währenddessen nicht geändert werden. Jedes Werkzeug beinhaltet dabei dieselbe Richtungsanzeige, welche in die Richtung des nächsten Zieles zeigt.

3.3.1 POINT & FLY - DER AQUASCOOTER

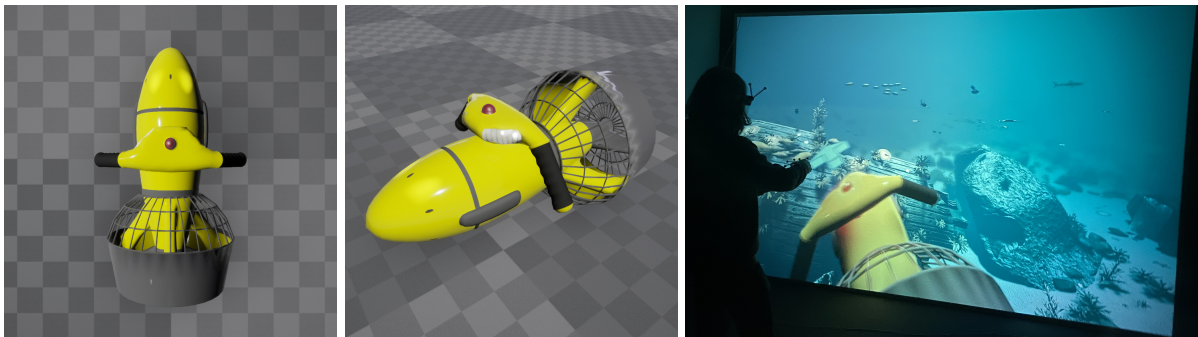


Abbildung 3.1
Aquascooter von Oben, der Seite und in Aktion

Das Werkzeug für Point & Fly nutzt die Metapher eines Aquascooters, welcher auf Abbildung 3.1 zu sehen ist, um Bewegungen in die gezeigte Richtung möglichst glaubhaft darzustellen. Daher wird im weiteren Text auch Aquascooter für die Point & Fly Methode verwendet. Um das Fliegen zu nutzen, muss der VR-Nutzer den Trigger des Motion Controllers drücken, welcher die Hand mit dem Aquascooter darstellt. Die Geschwindigkeit der Bewegung kann durch die Stärke des Eindrückens vom Trigger gesteuert werden. Eine sofortige Geschwindigkeitsänderung passiert aufgrund der Natur einer Bewegung in einem liquiden Medium nicht, da dies eine Störung der Presence des Nutzers mit sich tragen würde. Stattdessen wird langsam Beschleunigt bis eine Maximalgeschwindigkeit erreicht wird, oder abgebremst falls keine Eingabe mehr erfolgt. Die Richtung der Beschleunigung wird durch den Controller festgelegt und zeigt auch in der virtuellen Welt immer in die Richtung des Aquascooters. Der Powerwall Nutzer benutzt statt des Motion Controllers einen Xbox 360 Wireless Controller, welcher mit einer Halterung für einen Rigid Body modifiziert wurde, um das Tracken des Controllers im Powerwall-Modus zu ermöglichen. Dieser Apparat ist links in Abbildung 4.3 zu sehen. Die Aktivierung des virtuellen Aquascooters funktioniert wie die vom VR-Modus, allerdings kann der Nutzer dafür beide Trigger des Controllers verwenden, damit auch Linkshänder diese

Methode gut nutzen können.

3.3.2 POINT & TELEPORT



Abbildung 3.2

Von Links nach Rechts: Teleporter von der Seite, das Anvisieren und Speed Stripes während des Teleports

Die Point & Teleport wird durch das Teleporter Werkzeug dargestellt und im Weiteren als Teleport bezeichnet. Zur Nutzung des Teleports betätigt der VR-Nutzer den Trigger-Button des Vive Motion Controllers, welcher als Werkzeug in der virtuellen Welt blau leuchtend dargestellt wird. Dies stellt das Teleportationsgerät dar, welches in Abbildung 3.2 dargestellt ist. Das Herunter drücken zeigt den Pfad zur Zielposition an. Für eine dreidimensionale Navigation, wie sie Unterwasser erforderlich ist, muss die Möglichkeit zur Manipulation der Höhe geschaffen werden, daher wird der Zielpunkt geradeaus in Richtung des Controllers projiziert. Hält der Nutzer den Controller also nach oben, so liegt auch der Zielpunkt über dem Nutzer. Beim Loslassen des Triggers wird eine schnelle lineare Bewegung zum Zielort ausgeführt. Währenddessen werden sogenannte Speed Stripes, welche in Abbildung 3.2 zu sehen sind, um den Nutzer herum erzeugt, um ihm das Gefühl von hoher Geschwindigkeit zu geben und VR Sickness vorzubeugen. Der Zielort wird berechnet, indem in Richtung des Controllers ein Sphere Cast (Raycast aber mit Durchmesser) einige Meter weit auf eine Kollision mit dem Terrain oder Objekten prüft. Kommt es zu einer solchen Kollision, so wird der Zielpunkt einen Radius des Sphere Casts weit vor das kollidierende Objekt bewegt, falls nicht, so wird der Zielpunkt auf die maximale Entfernung vom Controller gesetzt, da es keine weitere sinnvolle Möglichkeit gibt einen Punkt im dreidimensionalen Raum zu bestimmen. Die maximale Entfernung kann verändert werden, indem der Nutzer seinen Daumen auf das Trackpad legt. Möchte der Spieler weit nach vorne teleportieren, so muss er seinen Daumen an das obere Ende des Trackpads legen. Um eine geringe Distanz einzustellen, muss dieser an das untere Ende gelegt werden. Bei der Powerwall wird wieder, wie bereits oben beschrieben, der

kabellose Xbox 360 Controller verwendet. Die Trigger übernehmen dabei die gleiche Funktion des Motion Controllers der VR Steuerung und können auch beide verwendet werden. Die Standardkonfiguration sieht vor, mit dem linken Analogstick die Reichweite des Teleports analog zum Trackpad des Motion Controllers festzulegen.

3.3.3 SCHWIMMEN

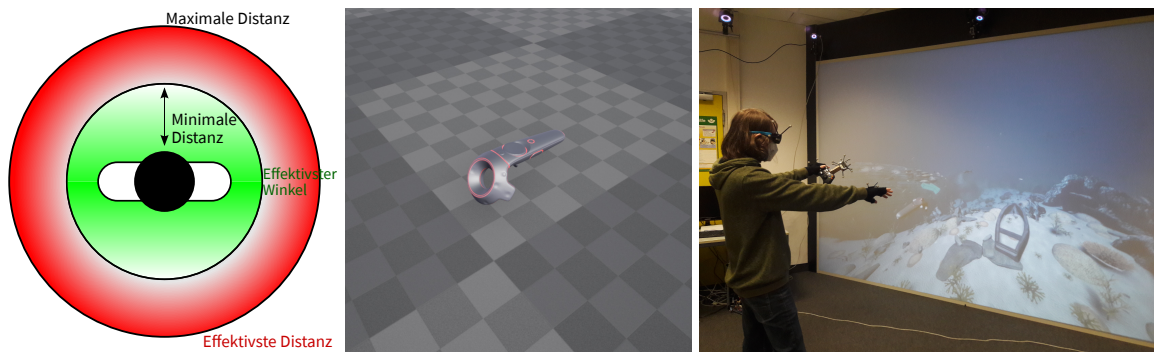


Abbildung 3.3

Von Links nach Rechts: Markierte Bereiche in denen die Hände fürs die Schwimmbewegung am Effektivsten sind, Kompass Werkzeug, Schwimmen in Aktion

Das Schwimmen, weiterhin auch als Swimming bezeichnet, funktioniert sowohl in VR als auch bei der Powerwall Steuerung ohne das Betätigen von Knöpfen, allerdings besitzt auch diese Methode ein Werkzeug für den Nutzer, welches lediglich als Kompass dient. Zur Beschleunigung in eine Richtung muss der Nutzer seine Arme ausstrecken und diese entgegen der gewünschten Bewegungsrichtung bewegen. Dies simuliert Standard-Brustschwimm-Techniken. Der Algorithmus dafür berechnet anhand der XY-Entfernung zur Kamera einen Faktor zwischen dem Wert 0 für „der Arm ist nicht ausgestreckt“ und 1 für „der Arm ist vollkommen ausgestreckt“ und multipliziert diesen mit dem umgekehrten Bewegungsvektor einer Hand. Dann werden die Vektoren beider Hände summiert und mit einem Konstanten Faktor verrechnet. Um den Nutzer dazu zu bringen, die Arme richtig auszustrecken, wird ein Skalarprodukt aus dem vorwärts Vektor der Kamerarichtung und den Richtungsvektoren von der Kamera zu den jeweiligen Händen gebildet. Die absoluten Skalarprodukte beider Hände werden von 1 abgezogen um zu erreichen, dass der Wert an den Seiten nahezu 1 ist und vor sowie hinter der Kamera 0. Für den Wert wird auch ein Minimum festgelegt um zu verhindern, dass der Nutzer mit nach vorne gestreckten Händen nichts machen kann. Ein Schaubild in Abbildung 3.3 verdeutlicht dies. Danach wird auch hier mit einem konstanten Faktor multipliziert. Das Ergebnis hiervon wird dann mit den bereits berechneten Bewegungsvektoren der Hände multipliziert und stellt somit das Endergebnis des Algorithmus dar.

Hier folgt der dem Algorithmus entsprechende Pseudocode:

```

Pos_Hand_L, Pos_Hand_R // Positionsvektoren der Hände
Pos_Hand_L_last, Pos_Hand_R_last // Positionsvektoren der Hände der
    ↪ letzten Berechnung
Pos_Kamera // Positionsvektor der Kamera
Fwd_Kamera // Fürwärtsvektor der Kamera
// verschiedene Konstanten:
C_minReichweite
C_maxReichweite
C_facBewegung
C_facStrecken
C_minDot

Vektor Berechne_Schwimmkraft()
{
    // Berechne Bewegungsvektoren
    reichweite = C_maxReichweite - C_minReichweite;

    alpha_L = Clamp(((Pos_Hand_L - Pos_Kamera).magnitude -
        ↪ C_minReichweite) / reichweite, 0, 1);
    ausstrecken_L = lerp(0, 1, alpha_L);

    alpha_R = Clamp(((Pos_Hand_R - Pos_Kamera).magnitude -
        ↪ C_minReichweite) / reichweite, 0, 1);
    ausstrecken_R = lerp(0, 1, alpha_R);

    vec_l = (Pos_Hand_L - Pos_Hand_L_last) * ausstrecken_L;
    vec_l *= C_facBewegung;
    vec_r = (Pos_Hand_R - Pos_Hand_R_last) * ausstrecken_R;
    vec_r *= C_facBewegung;

    // Berechne Ausstrecken und drücken
    dot_l = Dot(Fwd_Kamera, (Pos_Hand_L - Pos_Kamera).normalized);
    dot_r = Dot(Fwd_Kamera, (Pos_Hand_R - Pos_Kamera).normalized);

    factor_l = Min(C_minDot, 1 - Abs(dot_l));
    factor_l *= C_facStrecken;
    factor_r = Min(C_minDot, 1 - Abs(dot_r));
    factor_r *= C_facStrecken;
}

```

```

    Pos_Hand_L_last = Pos_Hand_L;
    Pos_Hand_R_last = Pos_Hand_R;

    return vec_l * factor_l + vec_r * factor_r;
}

```

3.3.4 RICHTUNGSPFEIL

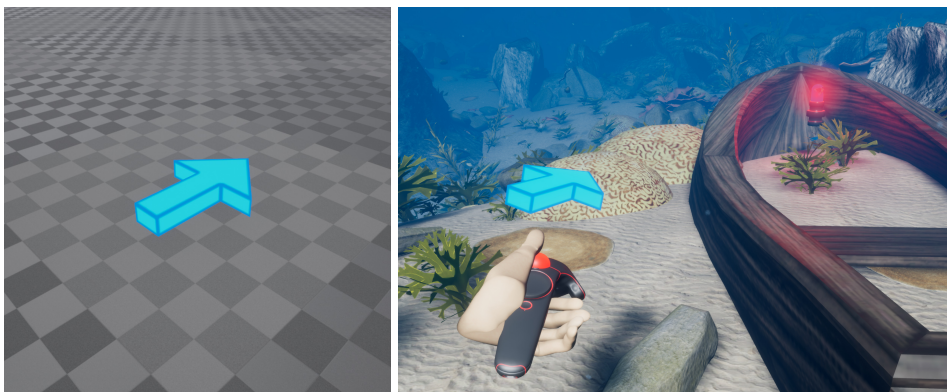


Abbildung 3.4
Der Pfeil und beispielhaft mit Werkzeug in der Hand

Jeder Spieler hat die Fähigkeit mittels eines Pfeiles, welcher auf Abbildung 3.4 zu sehen ist und in die Richtung des nächsten Beacons zeigt, diesen schnell zu lokalisieren ohne lang suchen zu müssen. Dies dient vor allem der Vergleichbarkeit, da die zurückgelegte Distanz sich nicht so stark durch die vom Nutzer abhängige Suche auswirkt. Der Richtungspfeil ist im Teleporter und dem Aquascooter eingebaut und erscheint darüber. Außerdem existiert beim Schwimmen ein dedizierte Werkzeug, welches nur benutzt wird um den Pfeil darüber anzuzeigen. Aus Einfachheit gleicht es dem Vive Controller, also dem Teleport Werkzeug, ist jedoch rot eingefärbt. Es kann nicht benutzt werden um weitere Aktionen auszuführen und hat keinen Einfluss auf etwaige Schwimmbewegungen.

3.3.5 BEACONS

Die Beacons sind Wegpunkte, welche in einer bestimmten Reihenfolge aktiviert werden müssen. Dabei ist diese Aktivierungsreihenfolge für alle Nutzer dieselbe. Je nachdem, ob sie gerade aktiv oder inaktiv sind, blinken die Beacons an beiden Enden in verschiedenen Farben. Der als nächstes zu aktivierende Beacon ist schnell rot blinkend hervorgehoben und dessen Position wird per Richtungspfeil des aktuellen Werkzeuges angezeigt. Inaktive Beacons blinken langsam schwach blau und bereits Aktivierte geben kein Licht von sich. Der inaktive und aktive



Abbildung 3.5
Der Pfeil und beispielhaft mit Werkzeug in der Hand

Beacon sind in Abbildung 3.5 zu sehen. Eine Aktivierung erfolgt automatisch durch die Unterschreitung einer Distanz von drei Metern zum Spieler falls es sich um den richtigen Beacon handelt. Während des Aktivierungsvorganges, welcher ein paar Sekunden dauert, blinkt der Beacon grün. Das Abschließen des Aktivierens wird von einem akustischen Signal unterstützt.

Sind alle Beacons aktiviert, so gilt das Szenario als vollendet und ein weiteres folgt.

3.4 LOGGING

Für das Logging wurde ein Interface implementiert, welches bei jedem Tick der ebenfalls implementierten LoggingComponent erlaubt den Status eines Actors nachzuverfolgen. Dabei wird der zu Loggende String in eine Datei mit angebbarem Namen und Timestamp geschrieben. Auch ist es möglich dem Logger einen zu loggenden String manuell zu übergeben. Diese Komponenten sind praktischerweise Eigenständig, sodass sie auch außerhalb des Coral Reefs genutzt werden können. Die Funktionsweise ist wie folgt. Um einen Unreal Actor nachzuverfolgen muss die LoggingComponent diesem hinzugefügt werden. Unter der Verwendung mehrerer LoggingComponents kann das Log in unterschiedliche Dateien aufgeteilt werden. Der Name einer Log-Datei und das Unterverzeichnis, in welches diese geschrieben werden soll, wird mit den entsprechenden Textfeldern bestimmt. Dieser Unterverzeichnis-Pfad startet dabei in dem „Saved“ Verzeichnis des Projektes. Mittels der Funktion „Watch“ kann ein Actor, welcher das Logging Interface implementiert, der Liste der zu überwachenden Actoren hinzugefügt werden. Dabei wird zuerst der als erstes hinzugefügte Actor geloggt, und als letztes der zuletzt Hinzugefügte. Actoren können mit „StopWatch“ wieder aus dieser Liste entfernt werden. Was jeweils geloggt wird, bestimmt die „ToLoggingString“ Methode. Der Logger muss nicht abgeschaltet werden, dies passiert automatisch.

Das Logging ist notwendig um genaue, von den Aussagen der Probanden unabhängige Daten

in der Studie zu sammeln. Diese können zum Beispiel den genauen Zeitpunkt einer Interaktion mit einem Gegenstand oder die zurückgelegte Strecke festhalten. Mittels des Timepstamp kann ein Log mit einem Nutzer verbunden werden um aussagekräftige Daten zu generieren. Bei der Studie wird das Logging der Positionen und Rotationen des Nutzers und seiner Hände im virtuellen Raum jeden Tick durchgeführt. Jedes Mal wenn der Nutzer einen Beacon aktiviert, erfolgt auch ein Eintrag davon in das Log. Dabei werden die Positionen und Rotationen in eine andere Datei geschrieben, als die Beacon Aktivierungen.

Dadurch kann später eine Durchschnittsgeschwindigkeit, welche Beacons einfacher und welche schwieriger zu erreichen waren, die Aktivität der Hände oder auch nur die Zeit für die gesamte Strecke berechnet werden. Dies soll eine die Analyse der Studie um die soeben genannten Aspekte ermöglichen.

3.5 VIRTUELLE TESTUMGEBUNG

Die virtuelle Testumgebung stellt ein Korallenriff mit verschiedenen Fischen, einem gesunkenen Schiff und einigen Felsen dar. Damit die Umgebung nicht so flach ist und Objekte hinter Hindernissen versteckt sein können, sind einige Sandhügel eingebaut. Die Korallen selbst sind statische Modelle, während sie im Gegensatz dazu in der Originalversion des Coral Reefs teilweise prozedural über die Zeit, welche der Nutzer dort verbringt, generiert werden. Aus Gründen der Performanz wurden diese aber nicht verwendet. Außerdem bieten die prozedural generierten Korallen keinen Mehrwert gegenüber den statischen Korallen, solange diese nur als Dekoration dienen und der Nutzer nicht sein Hauptaugenmerk auf diese legen soll. In der Testumgebung sind Sets von Beacons verteilt, welche der Nutzer während seiner Runden traversieren soll. Für jede Bewegungsmethode wird ein anderes Set ausgewählt. Für die selbe Bewegungsmethode auf einer anderen Anzeigeart wird aber pro Nutzer das selbe Set verwendet, um eine Vergleichbarkeit der Testdaten zu gewährleisten. Außerdem liegen die zeitlichen Abstände der sich wiederholenden Bewegungsmethoden so am weitesten auseinander. Um so gut wie möglich auszuschließen, dass der Lerneffekt der Umgebung einen zu großen Einfluss in die Studie hat, werden die Methoden dem Vorbild des Latin Square (siehe Keedwell and Dénes (2015)) entsprechend gemischt, sodass jede Bewegungsmethode und Darstellungsart soweit möglich gleich oft als erstes in der Test-Reihenfolge auftritt. Screenshots von den Beacons und der Testumgebung sind unten in Abbildung 3.6, sowie auch im Anhang A.1 zu finden.



Abbildung 3.6
Screenshots aus der virtuellen Unterwasserwelt

3.6 UNREAL SPEZIFISCHE IMPLEMENTATION

Die Unreal Engine selbst bringt bereits viele Klassen und Methoden mit sich, welche genutzt werden können um eine 3D Umgebung zu schaffen (Unr). Dazu zählen als abstraktestes Element die Actoren, welche die Basisklasse eines in einem Level platzierbaren Objekt darstellen. So erbt die Klasse Beacon von dem Actor. Die Funktionalität des Aufsammelns wurde durch eine sogenannte SphereComponent gelöst. Diese von Unreal gegebene Komponente ist in der Lage Kollisionen mit anderen Objekten wahrzunehmen. Kommt es zu einer Kollision, so sendet diese ein Event, welches genutzt wird um den Beacon zu aktivieren, sofern die Bedingungen zutreffen. Diese ist, dass das Kollidierende Objekt die Spielerfigur ist. Die Figur erbt, unabhängig vom ausgewählten Modus, in dem Vererbungsbaum ihrer Klasse von dem Character. Dieser ist auch eine von Unreal gestellte Klasse, welche den Actor als Parent hat. Der Character, da er auch ein Pawn ist, kann vom Nutzer Eingaben annehmen und enthält eine Kamera, die das Bild für den Nutzer bereitstellt. Auch ist er mit einer Komponente ausgestattet, welche eine

Bewegungsimplementation mit sich bringt. Diese sogenannte Character Movement Component kann genutzt werden um laufende, schwimmende oder fliegende Bewegungen darzustellen. Obwohl zu erwarten wäre für Unterwasserwelten die bereits existierenden Voreinstellungen für das Schwimmen zu benutzen, war aufgrund der Nichtexistenz des Auftauchens in der Simulation die Voreinstellung von Fliegen mit einem sehr hohen Luftwiderstand am sinnvollsten. Auch wurde die Gravitation auf null gestellt, damit der Spieler nicht nach unten fällt, da er meint im Wasser zu schweben. Der Aquascooter und das Schwimmen verwenden dann die in der Unreal Engine enthaltene Physiksimulation, um mit AddForce eine Beschleunigung auf die Spielerfigur auszuüben. Der Teleporter hingegen setzt die Position unabhängig der Physik, um bei der hohen Geschwindigkeit nicht ab zu prallen, falls beispielsweise ein Fisch vor den Nutzer schwimmt. Allerdings fällt dies während des Teleports aufgrund der Effekte und auch der durchaus kurzen Dauer nicht auf.

Die Werkzeuge selbst sind als Actoren implementiert, welche am Handknochen des Skelettes über die Attach Funktion der Unreal Engine an Ort und Stelle gebunden sind. In diesen Actoren findet sich die Implementation der Schubkraftberechnung. Die Berechnung des Schwimmens befindet sich allerdings aus historischen Gründen und weil es kein wirkliches Schwimmwerkzeug gibt, im Spieler-Charakter selbst.

Die Welt in der Simulation wurde in dem Unreal Engine Editor erzeugt. Dafür dient als Speicherort ein sogenannter Level. Darin befinden sich die Modelle als Actoren. Die meisten dieser dekorativen Actoren sind StaticMeshActos, welche ein Static Mesh Modell annehmen und dann inklusive der Kollision darstellen. Sie lassen sich im Level beliebig anpassen, also auch skalieren, translatieren und rotieren. Auch ist das Licht ein wichtiger Teil der Unreal Engine und des Level Designs, da sonst der Bildschirm für den Nutzer schwarz bliebe. Dafür wird ein Directional Light genutzt, welches automatisch, abhängig vom Material, auch unbeleuchtete Bereiche indirekt erhellt. Mit einigen Fischmodellen, ein paar Korallenmodellen und Steinen, welche als Foliage über den Meeresboden verteilt werden und einem passenden Unterwasser-Shader, welcher die Lichtbrechung durch Wellen an der Wasseroberfläche simuliert, entsteht ein realistisches und ästhetisches Bild von einem Korallenriff, welches darauf wartet vom Nutzer erkundet zu werden.

4 STUDIE

Die Studie stellt den empirischen Teil dieser Arbeit dar und soll versuchen die Forschungsfragen mit gesammelten Daten aus Nutzerumfragen und Logging zu beantworten. Um Daten von den Personen aus der echten Welt zu sammeln, muss eine solche Studie designt werden. Dabei soll in Betracht gezogen werden, dass eine Testperson nicht unendlich viel Zeit und Geduld hat, sodass Abstriche in der Anzahl der Wiederholungen gemacht werden müssen. Des Weiteren gibt es gegebene Räumlichkeiten und Equipment, welche aufgrund dessen Einzigartigkeit, und um eine kontrollierte Testumgebung zu haben, konstant gehalten werden soll, womit diese Studie einem Laborversuch gleicht. Da mit eher kleinen Anzahlen an Testpersonen zu rechnen ist, wird dies eine within-subjects Studie werden. Damit der individuelle Lernprozess von Testpersonen im Bereich des Levels und dem Umgang mit dem VR-Equipment im Laufe des Experimentes nicht zu stark die Daten beeinflusst, wird der Ablauf variiert, sodass möglichst gleich viele Personen mit den jeweiligen Testszenarios anfangen. Nachdem die Tests abgeschlossen sind werden diese auf statistische Stabilität geprüft und Ausgewertet.

4.1 FORSCHUNGSFRAGE

Die Forschungsfrage 1 dreht sich um die Eignung der alternativen Bewegungsmethoden für die Navigation in virtuellen Unterwasserwelten. Dabei soll dies hinsichtlich der VR Sickness und Presence geprüft und miteinander verglichen werden. Im Idealfall kristallisiert sich eine klare Struktur heraus und es lässt sich eine Rangordnung dieser Methoden bilden, welche in Forschungsfrage 2 vermutet werden. Den Hypothesen zufolge (siehe Kapitel 1) verursacht der Aquascooter am meisten VR Sickness, da es zu negativen Nebenwirkungen durch die kontinuierliche Bewegung kommen kann. Swimming könnte aber durch die Illusion, die Bewegung selbst verursacht zu haben, und somit mehr „gefühlte Kontrolle“ vorhanden ist, diese Nebenwirkung nicht so stark ausprägen. Andererseits könnte Swimming aufgrund der relativ hohen Komplexität des Bewegungsablaufes einer korrekten Bewegung zu Irritationen der Nutzer führen und dadurch das Ergebnis stark beeinflussen. Der Hypothese zufolge verursacht das Schwimmen weniger VR Sickness als der Aquascooter und am wenigsten VR Sickness verursachend ist der Teleporter. Bezüglich der Presence sagt die Hypothese aus, dass Schwimmen gefolgt vom Aquascooter die Presence am positivsten beeinflusst, während der Teleporter dieser am meisten schadet. Bei Point & Teleport gibt es wenige Bedenken VR Sickness zu verursachen, da der Zusatz der auswählbaren Höhe keine zu starke Veränderung des bereits erfolgreichen Basiskonzeptes ist, auch wenn es zugleich nicht die beste Methode für eine Erfahrung mit viel Presence ist.

Bei der Studie geht es nicht darum das Maximum der Bewegungsmethoden zu finden, sondern um das Einordnen der Methoden in eine Hierarchie und das Herausstellen, ob diese für den liquiden Raum geeignet sind. Das Ergebnis ist im besten Fall so eindeutig, dass gesagt werden kann, dass aus den Bewegungsmethoden A , B und C die Hierarchie $A > B > C$ erstellt werden kann, wobei „>“ für „bringt mehr Presence hervor als“ steht. Dasselbe soll für die VR Sickness passieren. Wie bei den Hypothesen formuliert (siehe 1), ist herauszufinden ob folgendes gilt:

- Schwimmen > Aquascooter > Teleport - für die Presence
- Teleport < Swimming < Aquascooter - für die VR Sickness

Dabei ist zu beachten, dass bei Presence ein hoher Wert und bei VR Sickness ein geringer Wert wünschenswert ist, deshalb wurde „>“ zu „<“ umgedreht. Dadurch steht das wünschenswerteste Ergebnis von Presence und auch VR Sickness ganz links.

4.2 DESIGN

Aufgrund der aktuellen Situation (Thomas Hoffmeister, 2021) ist es schwierig Probanden zu finden und eine dezentrale Umsetzung ist nicht geeignet, weil gleiche Voraussetzungen für jeden Probanden herzustellen sind. Dies ist schon aufgrund der Powerwall nicht möglich und obwohl VR Headsets weiter verbreitet sind, wären die Raum- und Hardwarekonfigurationen sehr unterschiedlich. Dadurch kann nicht sichergestellt werden, dass jeder Proband den selben Bedingungen ausgesetzt ist, was wiederum die Vergleichbarkeit und Relevanz der Studie in Frage stellen würde. Deshalb findet eine Labor Studie statt, da nur so gewährleistet werden kann, dass jeder Proband den gleichen Bedingungen ausgesetzt ist. So kann vernünftig und ungestört von eventuellen äußeren Einflüssen die Presence und VR Sickness abgefragt werden. Auch wären das Logging und die Fragebögen schwieriger einzubauen und auf Gültigkeit zu überprüfen, würde die Studie nicht im Labor stattfinden. Jeder Proband erfährt im Laufe der Studie alle drei Bewegungsmethoden, sowohl am HMD, als auch an der Powerwall. Um den Umbau von VR zu Powerwall (oder umgekehrt) nur einmal vollziehen zu müssen, finden alle Tests der Bewegungsmethoden vollständig zuerst an der einen Darstellungsmethode statt und danach noch einmal an der Anderen. Damit die Reihenfolge der Bewegungs- oder Darstellungsmethoden die Endergebnisse nicht beeinflusst, fallen diese nach dem Latin Square (siehe Keedwell and Dénes (2015)) Prinzip randomisiert aus, mit der eben genannten Einschränkung. Die Probanden werden durch Aufrufe in den Kanälen der Universität Bremen zu Informatik und digitale Medien, sowie des Bekanntenkreises des Autors geworben. Weiter spezifiziert sind diese Kanäle eine Rundmail an alle Informatik-Studenten der Universität Bremen, sowie der Digitale Medien Slack⁹ (welcher auch für Studenten der HfK-Bremen genutzt wird) und

⁹<https://digitalmedia-bremen.slack.com/>

diverse Discord¹⁰ Server für Lehrveranstaltungen der Universität Bremen. Dafür wurde ein Werbeplakat (siehe Abbildung 4.1) in den Sprachen Deutsch und Englisch entworfen und verteilt. Da das öffentliche Leben aufgrund der Pandemie zur Zeit der Studie eingeschränkt ist und damit auch die Universität Bremen keine Präsenzveranstaltungen anbietet (siehe Thomas Hoffmeister (2021)), werden die Werbeplakate lediglich digital verteilt. Dadurch muss beim Design nicht auf kosteneffiziente Gestaltung, wie etwa die Reduzierung der Farben, wie es bei gedruckten Postern der Fall ist, geachtet werden. Bei Interesse eines potentiellen Probanden soll sich dieser per Email melden. Daraufhin wird ein Link an denjenigen versendet, welcher zu der doodle.com Website führt. Dort kann ein Zeitslot für die Durchführung der Studie reserviert werden. Als Anreiz daran teilzunehmen dient das eigene Interesse an VR Technologie, da es sowohl ein HMD, als auch eine Powerwall auszuprobieren gibt. Natürlich wird dies in dem Poster auch erwähnt (siehe Abbildung 4.1).



Abbildung 4.1
Links: Deutsches Poster; Rechts: Englischs Poster

4.2.1 AUFBAU

Die gesamte Studie findet im Virtual Reality Labor der AG CGVR¹¹ statt. Vor der Powerwall befindet sich eine circa vier mal vier Meter große freie Fläche, welche sowohl mit dem HMD als auch mit der Powerwall selbst verwendet wird. Zu den Wänden und der Projektions-

¹⁰<https://discord.com/>

¹¹<https://cgvr.informatik.uni-bremen.de/>

fläche der Powerwall befindet sich ein Sicherheitsabstand von einem Meter. Dieser ist mit dem SteamVR¹² Guardian System vorbereitet, sodass sich der Nutzer keine Sorgen machen muss gegen eine Wand oder einen Tisch zu stoßen. Als HMD wurde die Vive Pro mit dem Wireless Kit verwendet. Dazu gehört ein Akku-Pack, welches der Teilnehmer während eines Durchlaufes in die Hosentasche stecken muss, da es direkt mit dem HMD verbunden ist. Dies wurde verwendet um den Teilnehmer so wenig wie möglich durch ein mit dem PC verbundenes Kabel einzuschränken. Der PC besitzt für das Rendern der Powerwall, als auch der HMD Version der Software eine NVIDIA Titan-V GPU und eine Intel Core i7-4790 CPU. Die 3Dims¹³ Powerwall besteht aus 2 Barco¹⁴ F50 Projektoren, welches dasselbe 2560x1440 Bild liefern. Durch aktive 3D-Shutter Technologie wird das eingehende 5120 Pixel breite Bild in ein linkes und ein rechtes Auge aufgeteilt, sodass mit den richtigen Brillen ein 3D Bild für das menschliche Auge entsteht. Für das Tracking des Kopfes sowie des Xbox (360) Controllers oder der Hände sind für die Powerwall 13 Infrarot Kameras über und um die Projektionsfläche unter der Decke angebracht, welche alle auf die Mitte des Raumes ausgerichtet sind. Über einen Netzwerk Switch mit Power over Ethernet werden die Kameras mit Strom versorgt und der PC mit Bilddaten beliefert. Die spezielle Motive Software¹⁵ berechnet dann bei richtiger Kalibrierung die Position im Raum, welche über das VRPN Protokoll an das in der Versuchssoftware integrierte nDisplay Plugin der Unreal Engine weitergegeben wird. Damit der Kopf getrackt werden kann, sind an der aktiven 3D Shutter Brille sogenannte Rigid Bodies angebracht, welche das von den Kameras ausgesendete Infrarotlicht stark reflektieren und somit für diese zu erkennen sind. Damit die Kopfposition erkannt wird sind an den 3D Brillen die Marker für solche Rigid Bodies angebracht. Für die Handpositionen, muss der Proband Handschuhe anziehen, auf die mithilfe von Klett ein Rigid Body befestigt ist und für den Xbox 360 Controller wird eine Vorrichtung gebastelt, welche sowohl die ergonomische Handhabung des Controllers beibehält, als auch Rigid Bodies zum Tracken befestigt (siehe 4.3).

Aufgrund der zur Zeit dieser Arbeit anhaltenden Pandemie wurden spezielle Hygienemaßnahmen erhoben, darunter eine Augenmaske für die Headsets und gründliche Desinfektionen der Geräte und des Platzes, an dem der Proband die Fragebögen beantwortet hat. Dies ist auch der Grund, warum die Fragebögen auf Papier vorliegen und nicht digital, da sonst jeder Proband dieselbe Tastatur und Maus nutzen müsste und diese ähnlich schwierig zu desinfizieren wären wie das HMD und die Controller, wodurch mehr Aufwand erzeugt werden würde.

¹²<https://store.steampowered.com/app/250820/SteamVR/>

¹³<http://3dimes.de/>

¹⁴<https://www.barco.com/>

¹⁵<https://www.optitrack.com/software/motive/>

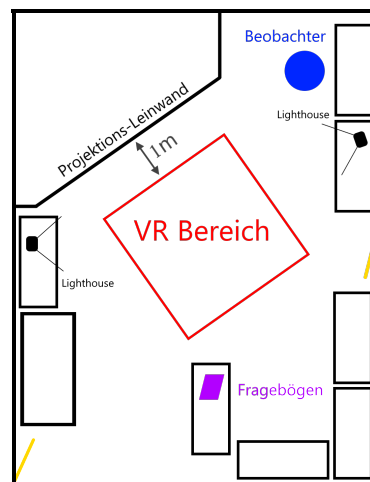


Abbildung 4.2
Testumgebung



Abbildung 4.3

Equipment (von links nach rechts): Xbox 360 Controller (Wireless), Aktive 3D Shutter Brille, Vive Pro (mit Wireless Kit)

4.2.2 ERHEBUNGSMETHODEN

Es gibt zwei grundlegende Erhebungsmethoden, welche in Benutzung sind. Zum einen werden automatisch von der Software die Bewegungen sowie die Zeiten gemessen, die der Nutzer vom ersten zum letzten Beacon während eines Durchlaufes braucht, da es sich dabei um mit Software einfach zu messende Metriken handelt. Zum anderen gibt es einen schriftlichen Teil, welcher nach jedem Durchgang vom Nutzer ausgefüllt wird. Dort gibt es einen Teil für die beiden Fragebögen „IPQ“ (ipq) und den „VRSQ“ (Kim et al., 2018) für Motion Sickness speziell in VR, sowie eine Kommentarsektion für Anregungen der Nutzer selbst. Am Ende der Studie sollen die Probanden noch ankreuzen, welche der Bewegungsmethoden sie persönlich, also ganz subjektiv als „am besten“ einordnen würden. Der Fragebogen wird sowohl auf Englisch als auch auf Deutsch bereit gestellt, wobei nur der IPQ schon in Englisch und Deutsch zur Verfügung stand und der VRSQ vom Autor auf Deutsch übersetzt werden musste. Die Anzahl der Fragen und die Skalen wurden so verwendet, wie sie in den jeweiligen Papers vorzufinden sind, um die Vergleichbarkeit mit anderen Studien zu gewährleisten. Da jeder Mensch verschieden ist, andere Motivationen teilzunehmen hat und die Fragen

unterschiedlich deutet und beantwortet, wird vor der Studie ein demografische Fragebogen ausgefüllt. Besonders signifikante Testergebnisse können so eventuell gruppiert und es kann für sie untersucht werden, ob dabei demografische Faktoren eine gewisse Rolle spielen. Dieser Fragebogen ist eine Eigenentwicklung, welche Alter, Geschlecht und VR Erfahrung abfragen soll. Er, sowie der VRSQ und IPQ, sind auf Deutsch und auf Englisch im Anhang unter B zu finden.

4.2.3 ABLAUF

Nachdem der Proband das Labor erreicht hat wird dieser nach einer kurzen freundlichen Begrüßungsformel dazu aufgefordert die Einverständniserklärung durchzulesen und bei Akzeptanz diese zu Unterschreiben. Danach wird dem Probanden der Ablauf des Experiments erklärt und auftretende Fragen beantwortet. Sobald dies geschehen ist, wird die erste Bewegungsmethode beschrieben und vom Studienleiter in einer Trockenübung nachgestellt. Zu drückende Knöpfe auf den Controllern werden ebenfalls benannt und gezeigt. Ist dies erfolgt, wird das nötige Equipment für das Experiment angelegt, welches entweder aus der 3D Shutter Brille und dem Xbox Controller oder den Handschuhen mit Rigid Bodies für die Powerwall besteht oder für die HMD Version aus diesem selbst, dem Akku Pack und den Motion Controllern. Ist der Proband zufrieden mit dem Setup, so wird die Testsoftware gestartet und der Nutzer findet sich in der Unterwasserwelt wieder. Hier kann vor Einsammeln des ersten Beacons geübt werden mit VR und der Bewegungsmethode zurechtzukommen, wobei zuvor erwähnt wurde, dass es nicht perfekt sein muss bevor der erste Beacon eingesammelt wird. Mit dem Einsammeln startet der interne Timer der Software und misst wie lange der Proband für den Durchlauf bis zum letzten Beacon braucht. Danach darf sich der Proband weiter im Korallenriff umsehen, wobei hervorgehoben wird, dass dieselbe Umgebung noch häufiger zu sehen sein wird, da der Zeitplan recht eng ist und verhindert werden soll, dass der Proband übermäßig viel Zeit in der ersten Kondition verbringt. Sobald der Proband angibt fertig zu sein, wird die Simulation geschlossen und das Equipment kann abgelegt werden um den Fragebogen auszufüllen, da das Gedächtnis der Erfahrung zu diesem Zeitpunkt noch am frischesten ist und so die verschiedenen Durchgänge nicht verwechselt werden. Dieser Vorgang wird insgesamt sechs mal durchgeführt um alle drei Bewegungsmethoden sowohl auf der Powerwall als auch dem HMD jeweils genau einmal zu durchlaufen. Damit nicht alle Probanden mit dem gleichen Szenario starten, werden diese nach dem Latin Square Prinzip in zufällige Reihenfolge gebracht. Dabei sind die Tests so angeordnet, dass nach Möglichkeit auf ein Szenario, welches mit dem HMD beginnt, eines mit Powerwall als Start-Anzeigemethode folgt. Aus zeitlichen und Aufwands Gründen sind die Szenarios unter Anwendung des HMDs und der Powerwall jeweils gruppiert und werden nur untereinander gemischt, sodass es nicht dazu kommt, dass

die Anzeigemethode mehr als einmal gewechselt wird. Die Anordnung der Beacons in der Map erfolgt so, dass dieselbe Anordnung in möglichst großem zeitlichen Abstand voneinander getrennt wird. Das heißt wenn ein Proband die Anordnung *A*, dann *B* und *C* in der Anzeigemethode HMD erlebt, so soll dieser auch mit *A*,*B* und *C* bei der Powerwall Version arbeiten. Hat ein Proband alle Bewegungsmethoden erlebt und die Fragebögen ausgefüllt, folgt ein letzter kurzer Fragebogen, bei dem die subjektive Meinung des Nutzers über die Bewegungsmethoden abgefragt wird und einer Kommentarsektion. Dies markiert gleichzeitig das Ende eines Durchlaufes, sodass nach ordnungsgemäßer Reinigung des Equipments der nächste Proband die Studie durchführen kann.

Der Ablauf ist auch in Abbildung 4.4 dargestellt.

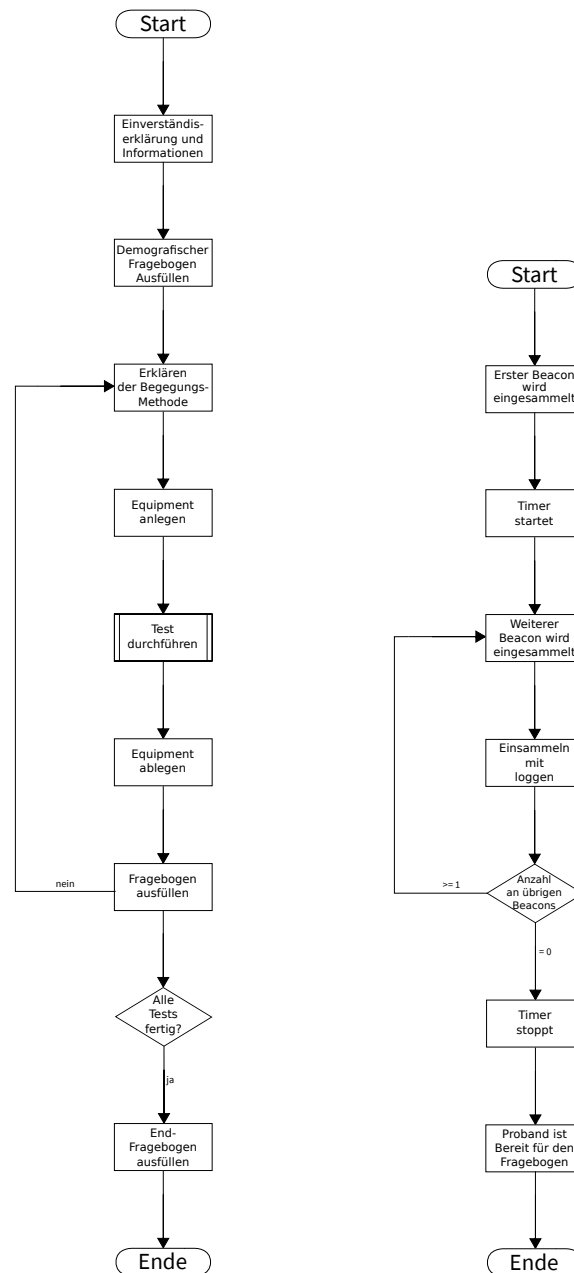


Abbildung 4.4
 Ablaufplan der Studie
 Links: Ablauf der allgemeinen Studie; Rechts: Ablauf eines Tests

4.3 ERGEBNISSE

Insgesamt haben 21 Teilnehmer an der Studie teilgenommen. Darunter trat bei einem Probanden ein Bug in der Software, welcher zuvor nicht erkannt, aber auch nicht wieder reproduziert

werden konnte. Deshalb wurden seine Fragebögen aus der Auswertung entfernt und nur 20 gültige Ergebnisse betrachtet.

Des Weiteren muss erwähnt werden, dass einer der Probanden das Szenario 'VR Aquascooter' aufgrund zu hoher VR Sickness frühzeitig beendet hat.

Demografie

Bei einem Blick auf den Demografischen Fragebogen, ist zu erkennen, dass sehr viele Junge Probanden teilgenommen haben. Die meisten davon waren Studenten aus dem Informatik oder digitale Medien Bereich.

55% der Probanden haben sich als männlich identifiziert und auch 55% haben bisher nur wenig Erfahrung mit VR gesammelt, wobei es dazwischen keinen Zusammenhang gibt. Auch gibt es keine Auffälligkeiten zwischen Geschlecht und Presence. Lediglich bei dem VRSQ gaben die weiblichen Teilnehmer ausschließlich höhere Werte an und bei der Frage, welches die beste Bewegungsmethode sei, wurde im Bereich HMD von ihnen übermäßig häufig Swimming gewählt.

Bei den Probanden mit viel VR Erfahrung ist anzumerken, dass sie geringere Presence Werte bei allen Bewegungsmethoden auf der Powerwall angaben und sofern sie von VR Sickness betroffen waren, bei dem VRSQ wesentlich extremere Werte gewählt haben, als vergleichsweise in VR unerfahrene Probanden. Ebenfalls sticht heraus, dass keiner von den in VR Erfahrenen bei der Wahl der besten Bewegungsmethode, sowohl beim HMD als auch bei der Powerwall den Teleport ausgewählt haben. Weiterhin ist anzumerken, dass von ihnen bei der Powerwall nur die Auswahl Aquascooter getroffen wurde.

Dabei ist auszuschließen, dass die Probanden mit viel VR Erfahrung auch die Powerwall kannten und in den Begriff VR eingebunden haben, denn außer dem Probanden, welcher einen Bug in der Software erfahren hatte und daher aus der Auswertung entfernt wurde, hatte keiner der Probanden angegeben mit einer Powerwall Erfahrungen gemacht zu haben.

VR Sickness

Die statistischen Ergebnisse des VRSQ Fragebogens für Virtual Reality Sickness sind in Abbildung 4.5 zu finden.

Daraufhin wurde eine one-way between subjects ANOVA durchgeführt, um den Effekt von verschiedenen Bewegungsmethoden auf einem HMD und einer Powerwall auf die erfahrene VR Sickness unter den Bedingungen Aquascooter, Swimming und Teleport zu vergleichen.

Es gab einen signifikanten Effekt der Bewegungsmethode auf die vom Nutzer erfahrene Presence auf dem $p < 0.05$ Level für die 6 Konditionen [$F(1, 19) = 10.268, p = 0.005$]. Da es eine

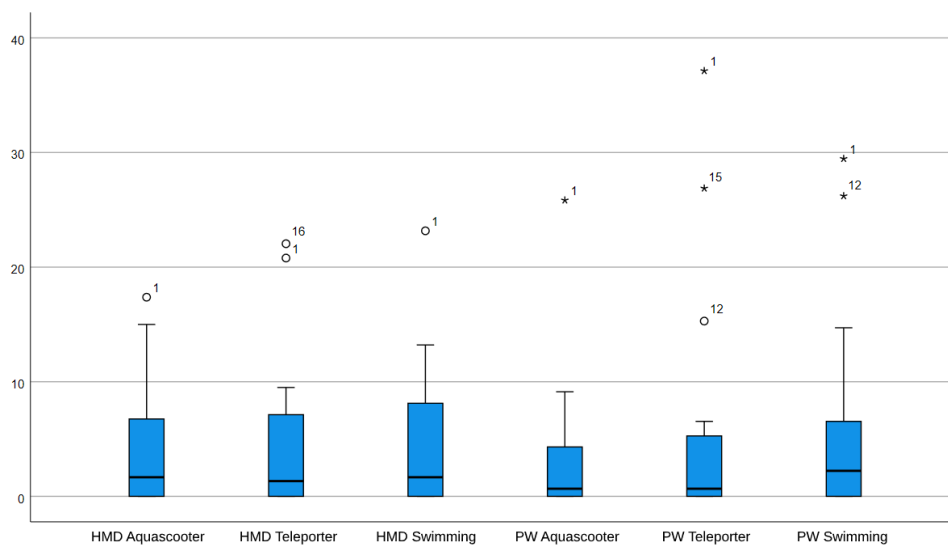


Abbildung 4.5
VRSQ Ergebnisse

statistische Signifikanz in dieser Stichprobe gibt, müssen paarweise t-Tests mit allen Permutationen der Konditionen durchgeführt werden, um herauszufinden, welche der Konditionen (hier Bewegungsmethoden) vergleichbar und statistisch Signifikant sind. Die überprüften Konditionen sind in Tabelle 4.1 zu finden.

Kondition	Mittelwert	Standardabweichung
HMD Aquascooter	4.216667	5.64238865265433
HMD Teleport	4.76875	6.52755734821308
HMD Swimming	4.6875	6.28883403180051
Powerwall Aquascooter	3.295833	6.06026176504107
Powerwall Teleport	5.416667	9.95993435709598
Powerwall Swimming	5.629166	8.53354770324211

Tabelle 4.1
Mit VRSQ auf VR Sickness geprüfte Konditionen

Damit wurden paarweise die in Tabelle 4.2 vorzufindenden t-Tests durchgeführt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass nur der Powerwall Aquascooter einen signifikanten Unterschied zum Powerwall Swimming bei den VR Sickness Werten des VRSQ aufweist. Daher wird durch diese Studie nur bewiesen, dass Powerwall Swimming mehr VR Sickness verursacht, als Powerwall Aquascooter. Durch die fehlenden Relationen zu den anderen Bewegungsmethoden, kann hier keine klare Hierarchie, in Bezug auf verursachter VR Sickness, definiert werden.

Kondition 1	Kondition 2	Freiheitsgrade und t-Value	Signifikanz / p-Value
HMD Aquascooter	HMD Teleport	$t(19) = -0,681374246622833$	0.503855822861049
HMD Aquascooter	HMD Swimming	$t(19) = -0,795178149689462$	0.436331460518723
HMD Aquascooter	Powerwall Aquascooter	$t(19) = 0,88706840072843$	0.386133239439432
HMD Aquascooter	Powerwall Teleport	$t(19) = -0,766242471969502$	0.452947440769193
HMD Aquascooter	Powerwall Swimming	$t(19) = -1,12267756341543$	0.275561495248691
HMD Teleport	HMD Swimming	$t(19) = 0,092499891062874$	0.927269248659468
HMD Teleport	Powerwall Aquascooter	$t(19) = 1,2643335138976$	0.221400851051864
HMD Teleport	Powerwall Teleport	$t(19) = -0,391429339418441$	0.699835097291956
HMD Teleport	Powerwall Swimming	$t(19) = -0,568050699887657$	0.576652791780534
HMD Swimming	Powerwall Aquascooter	$t(19) = 1,69174968680293$	0.107030202577237
HMD Swimming	Powerwall Teleport	$t(19) = -0,616345811216189$	0.54498084808789
HMD Swimming	Powerwall Swimming	$t(19) = -0,792220772934365$	0.438012109507246
Powerwall Aquascooter	Powerwall Teleport	$t(19) = -1,81216112058014$	0.085796472708393
Powerwall Aquascooter	Powerwall Swimming	$t(19) = -2,13747505278374$	0.045775063808799
Powerwall Teleport	Powerwall Swimming	$t(19) = -0,206953362749721$	0.838248068089439

Tabelle 4.2
Ergebnisse von durchgeführten t-Tests zur VR Sickness des VRSQs

Presence

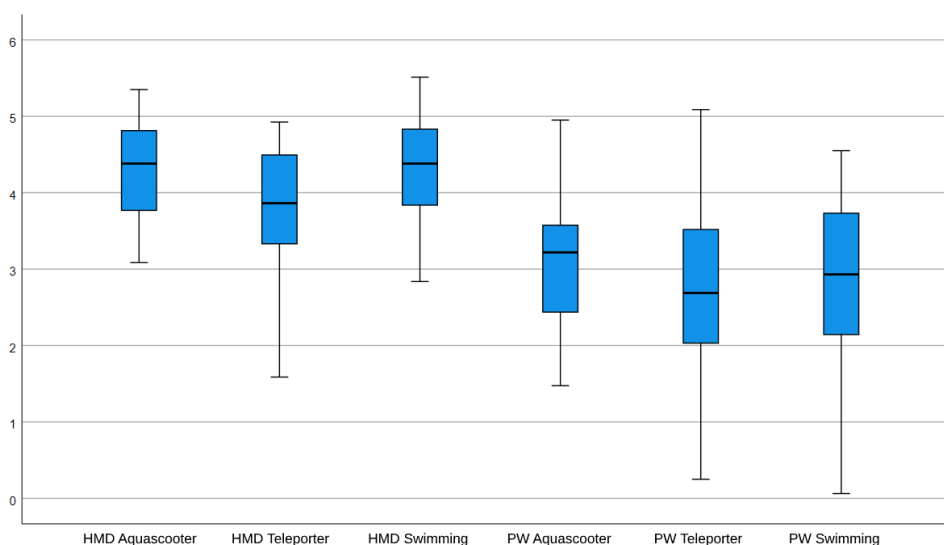


Abbildung 4.6
IPQ Ergebnisse

Die statistischen Ergebnisse des IPQ Fragebogens für Presence sind in Abbildung 4.6 zu sehen. Daraufhin wurde eine one-way between subjects ANOVA durchgeführt um den Effekt von verschiedenen Bewegungsmethoden mit einem HMD und an einer Powerwall auf die erfahrene Presence unter den Bedingungen Aquascooter, Swimming und Teleport zu vergleichen. Zu erkennen war ein signifikanter Effekt der Bewegungsmethode auf die vom Nutzer erfahrene Presence auf dem $p < 0.05$ Level für die 6 Konditionen [$F(1,19) = 649.111, p = 0.000$].

Da es eine statistische Signifikanz in dieser Stichprobe gibt, müssen paarweise t-Tests mit allen Permutationen der Konditionen durchgeführt werden um herauszufinden, welche der Konditionen (hier Bewegungsmethoden) vergleichbar und statistisch signifikant sind. Die überprüften Konditionen sind in Tabelle 4.3 zu finden.

Kondition	Mittelwert	Standardabweichung
HMD Aquascooter	4.30625	0.628627630134423
HMD Teleport	3.833125	0.800968523512563
HMD Swimming	4.285	0.758500078062654
Powerwall Aquascooter	3.021875	0.902690377573151
Powerwall Teleport	2.69625	1.16154884687826
Powerwall Swimming	2.774375	1.17103526931245

Tabelle 4.3
Mit IPQ auf Presence geprüfte Konditionen

Damit wurden paarweise die in Tabelle 4.4 vorzufindenden t-Tests durchgeführt.

Kondition 1	Kondition 2	Freiheitsgrade und t-Value	Signifikanz / p-Value
HMD Aquascooter	HMD Teleport	$t(19) = 2.6084918387746$	0.017269296685222
HMD Aquascooter	HMD Swimming	$t(19) = 0.20283003457656$	0.841424142786701
HMD Aquascooter	Powerwall Aquascooter	$t(19) = 5.47173272965682$	0.0000280279552508877
HMD Aquascooter	Powerwall Teleport	$t(19) = 5.28188331972621$	0.0000425237950675681
HMD Aquascooter	Powerwall Swimming	$t(19) = 5.32094767314594$	0.0000390161434948676
HMD Teleport	HMD Swimming	$t(19) = -2.24321611701005$	0.03699985253408
HMD Teleport	Powerwall Aquascooter	$t(19) = 3.74838777576938$	0.001360974664608
HMD Teleport	Powerwall Teleport	$t(19) = 4.56369759477404$	0.000212210967087
HMD Teleport	Powerwall Swimming	$t(19) = 4.84197255646221$	0.000113260101705
HMD Swimming	Powerwall Aquascooter	$t(19) = 4.66502229161206$	0.000168736271687
HMD Swimming	Powerwall Teleport	$t(19) = 4.99458451408759$	0.0000804670261115757
HMD Swimming	Powerwall Swimming	$t(19) = 5.17279330750528$	0.000054124965790186
Powerwall Aquascooter	Powerwall Teleport	$t(19) = 0.108607151193312$	0.108607151193312
Powerwall Aquascooter	Powerwall Swimming	$t(19) = 0.300801971159432$	0.300801971159432
Powerwall Teleport	Powerwall Swimming	$t(19) = 0.722038287149679$	0.722038287149679

Tabelle 4.4
Ergebnisse von durchgeführten t-Tests zu den Presence Werten des IPQs

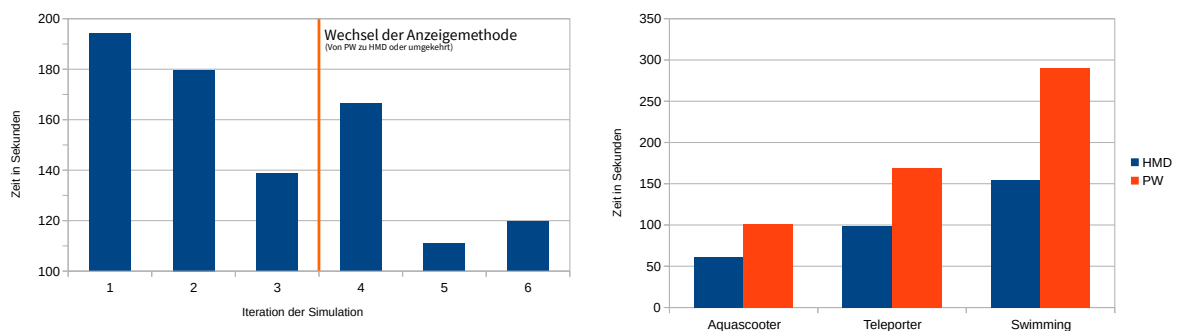
Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das HMD mit den genutzten Methoden allgemein einen signifikanten Unterschied in der Presence im Vergleich zu der Powerwall aufweist. Auch gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen dem HMD Teleport und den anderen beiden HMD Methoden, jedoch keinen zwischen dem Swimming und Aquascooter. Die Powerwall Methoden weisen untereinander ebenfalls keine statistische Signifikanz in der Presence auf. Aufgrund dieser Erkenntnisse kann gesagt werden, dass HMD Swimming und HMD Aquascooter die Presence des Nutzers am positivsten beeinflussen und allgemein alle HMD Methoden einen positiveren Effekt auf die Presence haben als die Powerwall Methoden. Letztere weisen keine erkennbaren Unterschiede in der Beeinflussung der Presence auf.

Performance

Obwohl den Probanden gesagt wurde, dass es keinen Zeitdruck gibt, lassen sich durch den automatisch aufgezeichneten Time to Completion Wert interessante Schlussfolgerungen ziehen. Durch einen Fehler beim Speichern der Zeiten konnte die Time to Completion bei den ersten beiden Probanden nicht aufgezeichnet werden, jedoch beziehen sich alle folgenden Aussagen auf den Durchschnittswert, sodass diese weiterhin allgemeingültig bleiben.

Der erste Durchlauf hat im Durchschnitt am längsten gedauert (Abbildung 4.7). Darauf folgende Tests liefen schneller als der jeweils vorherige Test ab, außer der vierte. Dies ist zurückzuführen auf den Wechsel des Mediums von Powerwall zu HMD oder umgekehrt. Bei den letzten 2 Durchläufen war der Wert am geringsten, allerdings lief der vorletzte Durchgang im Durchschnitt schneller ab als der Letzte. Jedoch sind beide Werte nah aneinander, sodass dies auf statistisches Rauschen oder Ausreißer zurückzuführen sein kann.

Werden die einzelnen Bewegungsmethoden anhand der Time to Completion Werte verglichen, so ergibt sich, dass der VR Aquascooter mit circa einer Minute am schnellsten ist. Am zweit schnellsten, und zwar 40 Sekunden länger hat im Durchschnitt der VR Teleporter und der PW Aquascooter gebraucht. Danach folgt mit zwei und ein halb Minuten das VR Swimming und dicht darauf, circa 15 Sekunden später der PW Teleport. Am längsten hat das PW Swimming gebraucht, mit fast fünf Minuten Time to Completion.



Links: Time to Completion im Durchschnitt pro Durchlauf;

Rechts: Time to Completion im Durchschnitt mit Anzeige- und Bewegungsmethode

Abbildung 4.7
Time to Completion Werte

Subjektive Einschätzung

Im letzten Fragebogen (B.5) wurde die Frage, welche der Bewegungsmethoden dem Probanden am besten gefallen hat gestellt. Sowohl bei „Powerwall“ als auch bei „VR“ durfte ein Kreuz bei den drei Bewegungsmethoden gemacht werden. Der Begriff „VR“ wurde in dem Fragebogen gewählt, da dies dem Autoren allgemeinverständlicher und weniger umständlich als „HMD“

erschien. Das Ergebnis dieser Umfrage lässt sich insofern Auswerten, dass der Aquascooter sowohl an der Powerwall als auch im HMD bei den Probanden am beliebtesten war. Swimming erfreute sich im HMD noch recht hoher Beliebtheit und Teleport wurde am wenigsten gewählt. Bei der Powerwall sind sowohl Swimming als auch Teleport sehr unbeliebt, wobei Swimming noch einmal Häufiger gewählt wurde (siehe 4.8).

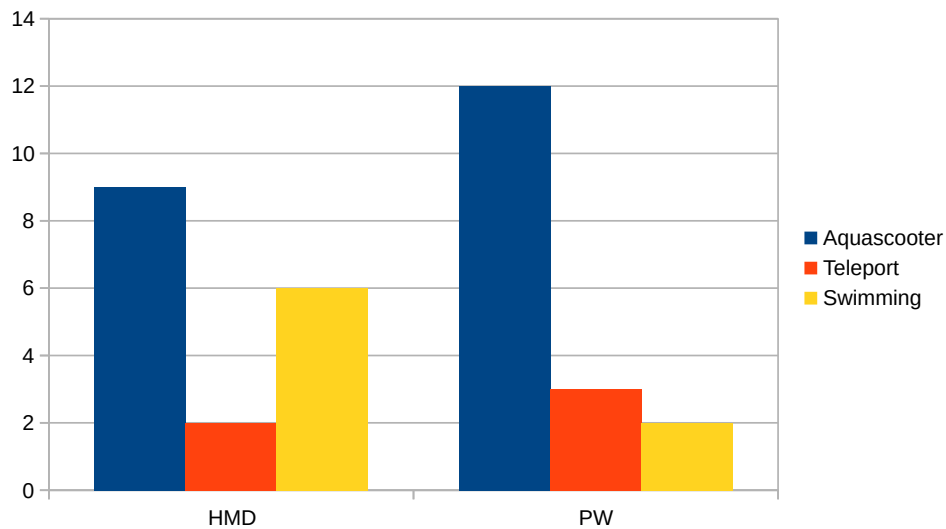


Abbildung 4.8
Subjektiv beste Bewegungsmethode

5 DISKUSSION

5.1 DEMOGRAFIE

Dass es hauptsächlich junge Probanden aus dem Bereich Informatik und digitale Medien gab ist hinsichtlich der Werbemaßnahmen für das Experiment keine Überraschung, da hauptsächlich im Fachbereich 03 (Mathematik und Informatik) an der Universität Bremen gesucht wurde. Das heißt allerdings, dass die meisten Probanden sich gut im digitalen Bereich auskennen und daraus nicht auf die gesamte Bevölkerung geschlossen werden kann. Jedoch könnte dies eine Benutzergruppe sein, welche die VR Technologien häufiger verwendet als die Gesamtbevölkerung. Dennoch können die Ergebnisse dieser Studie aussagekräftig angesehen werden, da unerfahrene Benutzer von VR mit der Zeit unweigerlich erfahrener werden und schließlich wieder in die Benutzergruppe eingeordnet werden können, welche hier unwillkürlich untersucht wurde.

Da es keine Probanden (ohne fehlerhafte Ausführung der Software) mit Kenntnissen über die Powerwall gab und alle VR Erfahrungen sich somit auf HMDs beziehen, ist auch die Präferenz für HMDs im Bereich der Presence keine Überraschung. Diese Benutzergruppe weiß, wie die HMD VR wirkt und Faktoren, wie zum Beispiel die fehlende Möglichkeit nach oben und unten zu schauen, und das umständliche Umdrehen bei der Powerwall könnten sie stark beeinflusst haben. Virtuelle Bilder dreidimensional vor sich zu sehen ist für sie keine Seltenheit, da konventionelle HMDs dieses Feature bieten, somit fehlt die Anfangsbegeisterung für die Powerwall und die Presence Werte fallen dementsprechend geringer aus. Weiteres hierzu im Ausblick (6.2).

5.2 VR SICKNESS

Bei der Untersuchung der VR Sickness-Daten aus Kapitel 4.3 ist aufgefallen, dass nur ein einziger paarweiser Vergleich der Konditionen signifikante Unterschiede aufweist. Dabei handelt es sich um den Vergleich von Powerwall Aquascooter mit Powerwall Swimming. Obwohl nun für die Powerwall gesagt werden kann, dass der Aquascooter weniger Motion Sickness verursacht als das Schwimmen, bleibt fragwürdig, wieso dies nur bei diesem Vergleichspaar der Fall ist. Zum einen wird es an der geringen Menge an Teilnehmern liegen, welche sehr unterschiedlich auf die Simulation reagiert haben. Die Resultate des VRSQs weisen alle eine sehr hohe Standardabweichung auf, da es einige Teilnehmer gab, welche unabhängig von der Bewegungsmethode sehr unempfindlich gegenüber VR Sickness waren, während andere Teilnehmer allgemein, oder abhängig von der Bewegungsmethode empfindlicher waren.

Zum anderen könnten die unwillkürlichen und nicht nachvollziehbaren Bewegungen in der virtuellen Welt der Grund für hohe Raten von VR Sickness sein, welche durch unpräzises Tracking und der relativ komplizierten Steuerung ausgelöst wurden. Diese Bewegungsmethode wurde in dem t-Test dann mit dem Powerwall Aquascooter verglichen, welcher am meisten Ähnlichkeit zu den aus Fernsehen oder Kino bekannten Kamerafahrten aufzeigt und somit eine für die Probanden bekannte Mechanik darstellt. Die Powerwall als endlicher Bildschirm in einer Wand verstärkt dies noch weiter. So kann es sein, dass die zwei Bewegungsmethoden mit der höchsten Diskrepanz im Bereich VR Sickness miteinander verglichen wurden und dies selbst bei einer geringen Probandenzahl ausreichend unterschiedliche Werte geliefert hat.

Wie die anderen Bewegungsmethoden hier einzuordnen sind, kann nicht ausgesagt werden, da die Werte des VRSQs zu zufällig ausgefallen sind, um eine statistische Aussage zu treffen. Dies könnte womöglich durch mehr Teilnehmer verbessert werden.

Noch zu erwähnen ist, dass es einen Probanden gab, welcher nach kurzer Zeit mit der HMD Aquascooter Kondition keine weiteren Beacons mehr verfolgt und das HMD abgesetzt hat, da er eine große Menge VR Sickness erfahren hatte. Dabei kann es sich natürlich zufällig um einen statistischen Ausreißer gehandelt haben, aber es lässt Vermutungen darüber zu, wie der HMD Aquascooter in der aktuell sehr wagen VR Sickness Hierarchie einzuordnen ist. Allerdings würde eine weitere Studie mit Vergleichen von anderen Arbeiten, welche HMD und Powerwall im Bereich VR Sickness untersuchen aus dem Rahmen dieser Arbeit fallen.

5.3 PRESENCE

Da die Presence Werte aller HMD Methoden über allen Werten der Powerwall Methoden liegen und diese Ergebnisse signifikant sind, kann gesagt werden, dass zumindest bei den untersuchten Bewegungsmethoden ein HMD mehr Presence als eine Powerwall bietet. Dazu ist zu erwähnen, dass es sich bei dem HMD um eine kabellose Variante handelt (siehe Aufbau (4.2.1)), welche ein mögliches Presence Malus durch ein nach unten oder hinten ziehendes Kabel eliminiert. Zwar kommt dadurch die Möglichkeit einer Verbindungsstörung des kabellosen Signales hinzu, dies ist allerdings nicht im Rahmen dieses Experimentes aufgetreten. Auch sehen die Nutzer nicht ihre realen Hände, wie es bei der Powerwall vorkommt. Dies könnte dort zu verringerter Presence Wahrnehmung führen, da die echten Hände (und vor allem die Arme und Kleidung) dem Probanden in der virtuellen Umgebung unpassend vorkommen können. Insbesondere, wenn es sich dabei um eine sehr fremde Umgebung handelt, die in normaler Kleidung eigentlich nicht aufgesucht wird, wie es beim Korallenriff der Fall ist.

Bei der Powerwall konnten die Nutzer sich mithilfe des Controllers rotieren, da das Umdrehen im Raum nicht zielführend ist. Dadurch entsteht auch ein Schnitt in der Erfahrung. Außerdem

rotiert der Nutzer bei der Powerwall nicht um die Repräsentation von sich selbst im virtuellen Raum, sondern um einen Ankerpunkt, welcher in der Mitte der Repräsentation der Powerwall selbst liegt. Dadurch kann es auch zu verringerter Presence an der Powerwall gekommen sein.

Bei der Untersuchung der Statistik im Kapitel 4.3 haben die Methoden HMD Aquascooter und HMD Swimming nach den t-Tests keinen statistisch signifikanten Unterschied in ihrer Beeinflussung der Presence ergeben, verglichen mit der Methode HMD Teleport existiert diese Differenz allerdings. Dies bedeutet, dass HMD Aquascooter und HMD Swimming die Presence ähnlich stark beeinflussen und HMD Teleport einen anderen Einfluss hat. Bei Betrachtung der Werte, ist zu erkennen, dass HMD Teleport im IPQ schlechter abschneidet, weshalb gesagt werden kann, dass diese Bewegungsmethode im Endeffekt, relativ zum HMD Aquascooter und dem HMD Swimming, einen negativeren Einfluss auf die Presence ausübt.

Da bei allen Powerwall Methoden untereinander kein signifikanter Unterschied festgestellt wurde, kann davon ausgegangen werden, dass diese alle relativ gleich gut, oder gleich schlecht für die Presence sind. Werden diese Methoden dann mit den HMD Methoden verglichen, so stellt sich ein signifikanter Unterschied bei allen paarweisen Vergleichen heraus. Da gleichzeitig alle Werte des IPQ unter den Methoden der HMD Äquivalenten liegen, üben alle hier untersuchten HMD Methoden einen positiveren Effekt auf die Presence aus als die der Powerwall.

Dazu ist noch zu erwähnen, dass das Schwimmen auf der Powerwall zu wesentlich mehr Problemen, als auf dem HMD geführt hat. Hier könnte eine Ursache das Tracking System sein, welches die Bewegungen nicht so gut erkennt, wie die Motion Controller der HTC Vive von deren Tracking System erkannt werden. Dies könnte auch zu einer verringerten Presence geführt haben, scheint aber im Vergleich mit den anderen Methoden einen geringeren Einfluss auf die Ergebnisse gehabt zu haben.

5.4 PERFORMANCE

Der erste Durchlauf durch die virtuelle Umgebung mit dem Einsammeln aller Beacons hat im Durchschnitt am Längsten gedauert. Dies ist keine Überraschung, da dies bei den meisten Tätigkeiten der Fall ist. Durch die wiederholte Ausführung (Kapitel 5.6) mit verschiedenen Konditionen als Start ist sichergestellt, dass keine langsame Bewegungsmethode am Anfang die Ergebnisse verfälscht. Deutlich zu sehen ist der Abwärtstrend der Time to Completion Werte, mit Auffrischung im vierten Lauf, allerdings auch die Anomalie im fünften Lauf. Die Zunahme der Werte im vierten Lauf ist mit dem Wechsel der Anzeigemethode zu erklären, sodass neu gelernt werden musste, damit umzugehen. Die Anomalie im fünften Durchlauf kann an einem Fehler in der Erstellung der Permutationen für den Studienverlauf liegen, welcher die Bewegungsmethoden nicht sauber auf alle Durchläufe aufgeteilt hat. Allerdings liegen die am

ungleichmäßigsten verteilten Bewegungsmethoden im zweiten und dritten Durchlauf vor. Dies könnte ein Hinweis sein, dass der Abwärtstrend eigentlich falsch angenommen wurde, scheint aber sehr unwahrscheinlich zu sein. Auch könnte das Entfernen des Probanden, welcher den Bug hatte, zu einer ungleichmäßigen Verteilung geführt haben. Eine andere Erklärung wäre, dass die Probanden am Ende das virtuelle Korallenriff noch etwas erkunden wollten, bevor das Experiment endgültig vorbei war. Dafür vorgesehen war eigentlich die Zeit nach dem Einsammeln des letzten Beacons, aber die Probanden waren zu keinem Zeitpunkt Zeitdruck ausgesetzt, weshalb dieses Verhalten so erklärt werden kann.

Schließlich ist jedoch ein eindeutiger Trend zu erkennen, nämlich dass die wiederholte Ausführung zu verkürzten Laufzeiten der einzelnen Durchläufe führt.

Vergleicht man den Time to Completion Wert für die einzelnen Bewegungsmethoden, so fällt auf, dass die an der Powerwall genutzten Methoden bis zu fast doppelt so lange gebraucht haben, wie die im HMD. Dies ist wohl auf die relativ unintuitive Steuerung der Powerwall zuzuschreiben. Unerfahrenheit mit der Powerwall selbst könnte auch ein wichtiger Punkt sein. Der Aquascooter war am schnellsten, obwohl theoretisch der Teleporter, welcher am zweitschnellsten war, am meisten Meter pro Sekunde an Strecke zurücklegen kann. Allerdings erfordert ein Teleport etwas Zeit für den Nutzer um sich zu orientieren und den Teleport-Strahl neu auszurichten. Beim Aquascooter bleibt die Orientierung aufgrund dem Ausbleiben von schnellen, ruckartigen Bewegungen erhalten und die Richtung des Werkzeuges kann stetig während der Bewegung angepasst werden. Dies ist auch der Fall beim Schwimmen, allerdings muss die Technik des Schwimmens gut beherrscht werden um hohe Geschwindigkeiten aufzunehmen. Außerdem ist dies sehr anstrengend, weshalb die Probanden wohl, vor allem weil sie keinem Zeitdruck ausgesetzt waren, auf hohe Geschwindigkeiten verzichtet haben. Daher ist Schwimmen im Vergleich auf dem letzten Platz in der Time to Completion, wobei zu erwähnen ist, dass zumindest bei der Powerwall, das problematische Tracking Einfluss auf dieses Ergebnis genommen haben wird.

5.5 SUBJEKTIVE EINSCHÄTZUNG

Die Wahl der Probanden für die beste hier untersuchte Bewegungsmethode gewann sowohl mit HMD als auch an der Powerwall der Aquascooter. Obwohl zuerst nicht sehr intuitiv, wie einige Probanden anmerkten, scheint das doppelhändige Steuern oder auch die mögliche Präzision den Nutzern sehr gefallen zu haben. Außerdem kann die einfache Auswahl der Wunschgeschwindigkeit, wenn auch nur seltenst von den Probanden genutzt, ein nicht auszuschließender Faktor sein. Auch ist es weniger anstrengend von einem Ort zum Anderen zu kommen als das Schwimmen und erfordert nicht, vorher die Schwimmbewegungen zu perfektionieren und auf

den Algorithmus anzupassen. Obwohl dieser natürlich entwickelt wurde um sehr nah an eine echte Schwimm-Erfahrung zu erinnern, ist er bei weitem nicht perfekt.

Natürlich kann nicht genau erfasst werden, welche Aspekte den Probanden am Aquascooter gefallen haben, allerdings war dies auch nie Ziel dieser Studie. Dennoch sollten, nachdem Presence und Motion Sickness ausgewertet sind, die Meinungen der Nutzer selbst nicht ungehört bleiben. Schließlich sind sie es, die später eventuell von den Ergebnissen dieser Forschung profitieren sollen. Beim HMD hat sich auch das Schwimmen relativ hoher Beliebtheit erfreut. Ganz gegensätzlich war es bei der Powerwall am unbeliebtesten. Auch hier lässt sich nur über die Gründe mutmaßen: Schwimmen zwingt den Nutzer in die Rolle des Tauchers. Dies funktioniert beim HMD recht gut, da die echte Umgebung vollständig ausgeblendet werden kann. Es wird sehr viel Abstraktion herausgenommen, da keine Knöpfe für diese Bewegungsmethode auf dem HMD gedrückt werden müssen. Der Nutzer kann sich auch nach Wunsch umdrehen und nach oben und unten schauen, entsprechend des Pendants des Tauchers in der Realität. Da auch die Presence höher ist als beim HMD Teleport, ist dies ein guter Grund, warum einige Probanden das Schwimmen auf dem HMD gefiel. Auf der Powerwall haben sie weniger Bewegungsfreiheit und doch wieder einen Stick auf einem Controller zum Umdrehen. Dies steht im Widerspruch dazu, selbst der Taucher zu sein und könnte den Nutzern missfallen. Außerdem können Tracking Probleme und die dadurch erhöhte VR Sickness zu einer wesentlich unreiferen Erfahrung beim Powerwall Swimming als beim HMD Swimming geführt haben.

Der Teleporter war auch relativ unbeliebt bei den beiden Anzeigemethoden. Beim HMD könnte argumentiert werden, dass die Presence dort am geringsten ist und dies eine negative Auswirkung auf die Erfahrung der Nutzer hatte. Dies kann aufgrund der insignifikanten statistischen Tests nicht für die Powerwall bestimmt werden. Daher könnte es dort, sowie auch am HMD an der mangelnden Präzision liegen. Ein weitere Grund könnte die erzwungene erneute Orientierung sein nach jedem Teleport sein.

Nicht zu vernachlässigen ist auch, dass einige wenige Nutzer sich nicht auf eine beste Methode festlegen, und am liebsten mehrere Methoden ankreuzen wollten (daher auch nur 17 statt 20 Stimmen in Abbildung 4.8 pro Anzeige-Art).

5.6 WIEDERHOLTE AUSFÜHRUNG

Bei den Untersuchungen zu Presence, VR Sickness und Performance könnte Argumentiert werden, dass sich die Motion Sickness über die Zeit steigert und den Probanden nicht genug Zeit gelassen wurde auf einen normalen Standpunkt zurückzukehren und dementsprechend auch die Presence über Zeit beeinflusst wurde. So könnte auch die Geduld der Probanden zu

Anfang hoch sein, aber beim sechsten Durchlauf stark abgenommen haben und die Ergebnisse beeinflussen. Selbiges gilt für die Time to Completion, welche sich mit zunehmender Anzahl der Durchläufe verringert. Ebenfalls kann die Start-Anzeigemethode Einfluss auf diese Werte haben. Dazu sei gesagt, dass die Latin Square-Methodik dem entgegen wirkt und darauf geachtet wurde, dass jede Bewegungsmethode an den beiden Anzeigemethoden von den Aufeinander folgenden Probanden gleich oft als erstes, zweites, drittes und so weiter gewählt wurde. Das Ziel dabei war es, die Bewegungsmethoden gleichmäßig über die Durchläufe hinweg für alle Probanden gesehen zu verteilen. Allerdings ist dies in der Realität aufgrund von äußeren Einflüssen nicht immer möglich gewesen. Allein der Wechsel der Anzeigemethoden liegt weniger randomisiert vor, nämlich immer genau nach dem dritten Durchlauf, weil komplette Randomisierung mit sehr viel mehr Umbauzeit und Aufwand verbunden wäre. Die Start-Anzeigemethode wurde allerdings nach Plan immer abgewechselt, wobei die Reihenfolge einige Male getauscht, danach aber sichergestellt wurde, dass jede Methode insgesamt gleich oft die Start-Methode war.

Diese Herangehensweise stellt sicher, dass keine Vergleiche zwischen zwei Bewegungsmethoden davon abhängen, in welchem Durchlauf sie relativ zu den Anderen Bewegungsmethoden stattfanden. Die Ergebnisse einer Bewegungsmethode gleichen sich somit über alle Läufe zu einem, von der Anzahl an vorherigen Durchläufen unabhängigen und gut vergleichbaren Wert an.

5.7 PROBLEMATIK DES SCHWIMMENS IN DER VIRTUELLEN WELT

Allgemein hatten die Probanden beim Schwimmen des Öfteren zu Beklagen, dass sie ungewollt nach oben geschwommen sind, ohne dies gewollt zu haben. Untersuchungen des Algorithmus nach Fehlern diesbezüglich blieben erfolglos. Eine darauf folgende Untersuchung der Bewegungsmuster der Nutzer ergab, dass das Schwimmen nach oben vom Nutzer selbst ausging. Diese Bewegungsmuster sind in Abbildung 5.1 zu sehen und geben Aufschluss über die Natur des Problems. Dort ist zu sehen, dass der Nutzer, wenn auch ungewollt, seine Hände sobald diese weit vom Körper (welcher auf der Z-Achse liegt) entfernt sind, nach unten drückt. Dies wandelt der Schwimm-Algorithmus in eine Bewegung nach oben um. Sind die Hände wieder nah am Körper, so bewegt der Nutzer diese nach oben. Hier führt dies allerdings aufgrund der Nähe zum Körper zu wenig bis keiner Bewegung nach unten, weshalb der resultierende Bewegungsvektor nicht nur nach vorne, sondern auch nach oben zeigt. Eventuell hängt das mit dem Körperbau des Menschen zusammen, und/oder vielleicht auch wie wir das Schwimmen gelernt haben: Auf dem Wasser liegend. Da alle Probanden während des Tests standen, kann

diese Diskrepanz zu dieser Nebenwirkung geführt haben, da wenn beim liegen nach oben geschwommen eine vorwärts Bewegung zur Folge hat, beim stehen allerdings nach oben ausartet. Vielleicht handelt es sich bei der Aufwärtsbewegung aber auch um eine unterbewusste oder instinktive Bewegung, welche in der Realität das Überleben während des Schwimmens sichert, indem die der Körper versucht, über der Wasseroberfläche zu bleiben oder zu kommen.

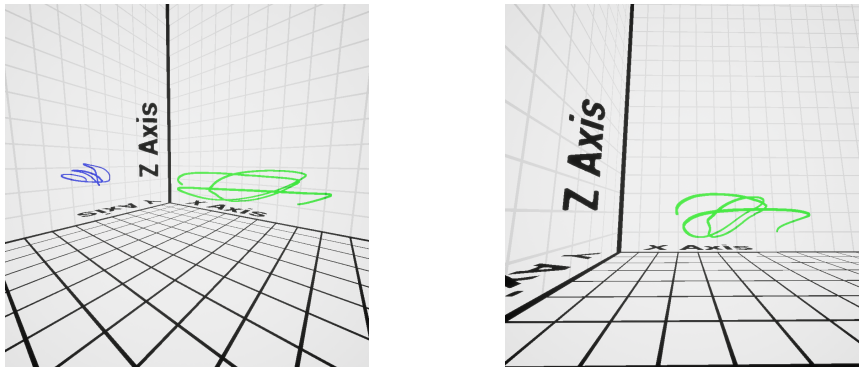


Abbildung 5.1

Schwimmbewegungen eines Nutzers als Beispiel beim vorwärts Schwimmen

5.8 AGGREGIERTE ERGEBNISDISKUSSION

In diesem Abschnitt werden zentralen Forschungsfragen vom Anfang dieser Arbeit wieder aufgefasst. Forschungsfrage 1 beschäftigt sich mit der Nutzbarkeit der Bewegungs- und Anzeigemethoden im liquiden Raum.

Hierzu kann gesagt werden, dass sich HMD Aquascooter und HMD Swimming aufgrund der hohen Presence Werte und nicht zuletzt wegen der Nutzerwahl der besten Methode gut eignen. Dabei ist Swimming zwar die langsamste Methode, aber dennoch eine, unter Umständen welche keine schnelle Bewegungen von einem zum anderen Ort benötigen, brauchbare Methode. Zum HMD Aquascooter muss noch gesagt werden, dass er trotz der anfänglichen Steuerungsschwierigkeiten bei den Probanden, wegen des beidhändigen Steuerns oder gerade deswegen, wohl einen positiven Einfluss auf die Presence und Beliebtheit gehabt haben könnte. Der HMD Teleport war hingegen recht unbeliebt, und weist im Vergleich zu den anderen beiden Methoden die geringsten Werte der Presence nach, sollte jedoch nicht als komplett unbrauchbar erachtet werden. Diese Methode weist mittlere Time to Completion Werte auf und obwohl sie nicht viele positiv bewerteten Eigenschaften hat, finden sich in ihr keine großen Probleme wieder. Sie ist allerdings keine gute Wahl für Umgebungen, welche viel Presence für den Nutzer bieten sollen.

Bei der Powerwall kann aufgrund der insignifikanten Presence Resultate keine Vermutung mit dieser Begründung angestellt werden, allerdings gibt es dort einen gültigen VR Sickness

Vergleich, welchen es wiederum bei den HMD Methoden nicht gibt. Da das PW Swimming im Vergleich zum PW Aquascooter viel VR Sickness hervorruft, schwierig zu steuern ist, zudem langsam und unbeliebt, ist diese Bewegungsmethode zumindest auf der Powerwall für Bewegungen im liquiden Raum ungeeignet. Ein weiterer Grund wird die bereits erwähnte Diskrepanz zwischen dem „in die Rolle des Tauchers gezogen werden“ und der fehlenden Möglichkeit zum freien Umdrehen aus Kapitel 5.2 sein, welches das PW Swimming ungeeignet macht.

Im Gegenzug dazu verursacht der PW Aquascooter weniger VR Sickness, ist zudem schnell und sehr beliebt. Die Ähnlichkeit zu einer Kamerafahrt aus einem Film macht es zudem nutzerfreundlich. Daher ist diese Methode sehr gut geeignet.

Über PW Teleport hingegen lassen sich nur wenige Aussagen treffen, da sowohl Presence als auch VR Sickness Resultate hier keine signifikanten Ergebnisse darbieten. Wenn man sich die Performance Werte anschaut, lässt sich deuten, dass der Teleporter geeigneter als PW Swimming ist, auch wenn die Nutzerbewertungen den Teleporter fast so schlecht wie das PW Schwimmen fanden. Dazu ist aufgefallen, dass ein manchmal notwendiger, nicht geradeaus führender Teleport, zu unerwünschten Orten führt und die Nutzer verwirren kann, wenn auf einmal ein Hindernis im Sichtbereich auftaucht, welches vorher nicht gesehen wurde. Dennoch ist PW Teleport eine brauchbare Methode, auch wenn nicht die beste Wahl für die Navigation im liquiden Raum an einer Powerwall.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich im HMD alle untersuchten Methoden für die Navigation im liquiden Raum eignen. HMD Aquascooter hat dabei am besten abgeschnitten, gefolgt von HMD Swimming und HMD Teleport.

Bei der Powerwall ist auch der Aquascooter am besten geeignet, PW Teleport ist ungeeigneter und von PW Swimming ist ganz abzuraten.

Zur Forschungsfrage 2 kann basierend auf den Ergebnissen der IPQ und VRSQ Fragebögen die Hypothese 3 „Das HMD führt zu mehr Presence als die Powerwall“ bestätigt werden. Im Gegenzug kann die Hypothese 4 „Das HMD führt zu mehr VR Sickness als die Powerwall“ aufgrund insignifikanter Statistischen Daten nicht bewiesen werden.

Die in Hypothese 1 aufgeführte Hierarchie kann nur Teilweise bestätigt werden und ist basierend auf den Ergebnissen des IPQs:

Presence: HMD Aquascooter | HMD Swimming > HMD Teleport

Zum einen liegen zu Anwendung des HMDs nur signifikante Daten für den Vergleich von HMD Teleport mit jeweils HMD Aquascooter und HMD Swimming vor. Ein signifikanter Unterschied zwischen HMD Aquascooter und HMD Swimming wurde nicht gefunden, weshalb diese hier gleichwertig betrachtet werden. Dies gilt auch für alle Powerwall Methoden,

aufgrund der selben Argumentation.

Die in Hypothese 2 aufgeführte Hierarchie kann widerlegt werden. Basierend auf den Ergebnissen des VRSQs gilt folgendes:

VR Sickness: PW Aquascooter < PW Swimming

Aufgrund der Insignifikanz aller anderen verglichenen Werte des VRSQs können keine weiteren Hierarchien mit den anderen Methoden aufgebaut werden und es muss aufgrund der Ergebnisse angenommen werden, dass diese keine nennenswerten Unterschiede beim Verursachen von VR Sickness aufzeigen.

Aufgrund der Insignifikanz der Methoden zu PW Aquascooter und PW Swimming, kann es gut sein, dass sich deren VR Sickness Werte wahrscheinlich irgendwo in der Nähe der beiden Methoden befinden.

6 FAZIT

Um herauszufinden wie gut die drei Fortbewegungsmethoden „Aquascooter“, „Teleport“ und „Swimming“ für jeweils eine Powerwall mit einer Projektionsfläche und ein HMD geeignet sind, und bei welchen Methoden die erfahrene Presence und VR Sickness am höchsten ist, wurde eine within-subjects Studie an der Universität Bremen durchgeführt. Daran haben 20 Probanden erfolgreich teilgenommen und jede Bewegungsmethode an den beiden Medien ausprobiert. Um zu verhindern, dass die Ergebnisse auf der Reihenfolge in die Tests durchgeführt wurden basieren, wurde die Technik des Latin Squares verwendet. Die Ergebnisse selbst sind in Form der IPQ und VRSQ Fragebögen, einer Frage zur persönlichen Präferenz der Probanden am Ende des Experimentes sowie der intern aufgezeichneten Time to Completion dokumentiert worden.

Nach der statistischen Analyse der Daten kann bestätigt werden, dass das HMD, mit den hier untersuchten Bewegungsmethoden, zu mehr Presence als die Powerwall führt und dass sowohl der HMD Aquascooter, als auch HMD Swimming die gefühlte Presence positiver beeinflussen als der HMD Teleport. Die Powerwall Methoden haben in dieser Studie keinen unterschiedlichen Einfluss auf die Presence.

Im Bereich der VR Sickness hat der PW Aquascooter bessere Ergebnisse als das PW Swimming, alle anderen Bewegungs- und Anzeigemethoden weisen jedoch keine Änderung in verursachter Motion Sickness auf, weshalb sich hier keine vollständige Hierarchie aus den Daten dieser Studie für den Faktor VR Sickness bilden lässt.

Am schnellsten wurden die Experimente mit dem Aquascooter abgeschlossen, gefolgt vom Teleporter und am langsamsten war der des Schwimmings. Dabei waren die Probanden mit der Powerwall in jedem Fall langsamer als mit dem HMD.

Auch steht noch die nicht zu unterschätzende Meinung der Nutzer selbst: Beim HMD ist der Aquascooter am beliebtesten, gefolgt vom Swimming und zuletzt dem Teleporter. Bei der Powerwall ist auch der Aquascooter am beliebtesten, jedoch sind dort die anderen beiden Methoden sehr unbeliebt. An diesen Ergebnissen ist zu sehen, dass sich in die virtuelle Umgebung eingliedernde Methoden, wie das HMD Swimming, ein großes Potential haben sich positiv auf die Nutzer und deren wahrgenommene Presence auswirken.

Abschließend ist zu sagen, dass der Aquascooter am besten für die liquide Umgebung im virtuellen Raum geeignet ist und von Schwimmen an der Powerwall abzuraten ist. Schwimmen im HMD und Teleport allgemein ist auch brauchbar, jedoch haben diese Methoden neben ihren Vorteilen auch größere Nachteile.

6.1 EINSCHRÄNKUNGEN

Bei einem Blick auf die Demografie der Probanden fällt auf, dass sehr viele Junge Leute, welche zudem meistens Informatik oder digitale Medien Studenten waren, teilgenommen haben. Dies spiegelt natürlich nicht die Gesamtbevölkerung wieder, sondern potentiell eine der Technik sehr begeisterten Gruppe.

Auch war die Teilnehmerzahl mit 20 recht gering, sodass statistische Anomalien leichter unemerkt auftreten können und die Ergebnisse, vor allem die des VRSQs, aufgrund der hohen Standardabweichung, wahrscheinlich wesentlich bessere Werte und eventuell sogar signifikantere Werte mit höheren Teilnehmerzahlen erbracht hätten.

Des Weiteren war das Tracking System für die Powerwall nicht optimal und auch der Controller war beim PW Schwimmen sehr unhandlich, leider aber für das Drehen in dieser Form notwendig.

Auch war ein Durchlauf (je nach benutzter Bewegungsmethode) recht kurz, sodass sich VR Sickness eventuell nicht aufbauen konnte um einen spürbaren Effekt zu erzeugen, selbiges gilt auch für die Presence.

6.2 AUSBLICK

Wenn die aus der Diskussion über die Demografie (5.1) entstandene These, dass die Powerwall von Benutzern mit viel HMD Erfahrung mit weniger Presence wahrgenommen wird, wieder aufgegriffen wird, könnte eine Studie entwickelt werden, welche dies extensiv überprüft. Auch könnte eine Untersuchung gestartet werden, welche prüft, ob Benutzer, die sich oft virtuellen dreidimensionalen Bildern aussetzen, wie sie im Kino, mit 3D Fernsehern oder Beamern üblich sind, ähnliches Verhalten gegenüber der Powerwall zeigen.

Weiterhin kann das Wissen über die ungewollte Aufwärtsbewegung beim Schwimmen (siehe Kapitel 5.7) genutzt werden, um weiter optimierte Verfahren zu entwickeln und diese Methode Nutzerfreundlicher zu gestalten.

Auch wäre es möglich auf Basis des Coral Reefs oder auch nur den genutzten Werkzeugen, welche die Bewegungsmethoden implementieren und universell auf allen Character Klassen der Unreal Engine funktionieren, eine Folge-Studie aufzubauen, welche die VR Sickness mit längeren Sessions weiter untersucht oder die vorhandenen Bewegungsmethoden mit Neuen vergleicht.

LITERATURVERZEICHNIS

- Computer Graphics Bremen - VR CoralReef. <https://cgvr.cs.uni-bremen.de/teaching/studentprojects/vrcoralreef3/>.
- Motion Capture for Virtual Reality. <http://optitrack.com/applications/virtual-reality/index.html>.
- Unreal Engine | The most powerful real-time 3D creation platform. <https://www.unrealengine.com/en-US/>.
- Igroup presence questionnaire (IPQ) overview | [igroup.org](http://www.igroup.org) – project consortium. <http://www.igroup.org/pq/ipq/index.php>.
- D. Bowman, D. Koller, and L. Hodges. Travel in immersive virtual environments: An evaluation of viewpoint motion control techniques. In *Proceedings of IEEE 1997 Annual International Symposium on Virtual Reality*, pages 45–52,, Albuquerque, NM, USA, 1997. IEEE Comput. Soc. Press. ISBN 978-0-8186-7843-1. doi: 10.1109/VRAIS.1997.583043.
- E. Bozgeyikli, A. Rajj, S. Katkooi, and R. Dubey. Point & Teleport Locomotion Technique for Virtual Reality. In *Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play, CHI PLAY '16*, pages 205–216, New York, NY, USA, Oct. 2016. Association for Computing Machinery. ISBN 978-1-4503-4456-2. doi: 10.1145/2967934.2968105.
- H. Cherni, N. Métayer, and N. Souliman. Literature review of locomotion techniques in virtual reality. *International Journal of Virtual Reality*, 20(1):1–20, Mar. 2020. ISSN 1081-1451. doi: 10.20870/IJVR.2020.20.1.3183.
- C. Cruz-Neira, D. J. Sandin, T. A. DeFanti, R. V. Kenyon, and J. C. Hart. The CAVE: Audio visual experience automatic virtual environment. *Communications of the ACM*, 35(6):64–72, June 1992. ISSN 0001-0782, 1557-7317. doi: 10.1145/129888.129892.
- M. Czernuszenko, D. Pape, D. Sandin, T. DeFanti, G. L. Dawe, and M. D. Brown. The ImmersaDesk and Infinity Wall projection-based virtual reality displays. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 31(2):46–49, May 1997. ISSN 0097-8930. doi: 10.1145/271283.271303.
- B. Danneberg. Oculus Quest Handtracking: Infos, Updates & Apps. <https://mixed.de/oculus-quest-handtracking/>, June 2020.

-
- L. Deligiannidis and L. Whitman. User interaction in a power-wall based virtual reality environment. In *IEEE Virtual Reality, 2003. Proceedings.*, pages 279–280, Los Angeles, CA, USA, 2003. IEEE Comput. Soc. ISBN 978-0-7695-1882-4. doi: 10.1109/VR.2003.1191159.
- R. Dörner, W. Broll, P. F. Grimm, and B. Jung, editors. *Virtual und Augmented Reality (VR/AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität*. eXamen.press. Springer Vieweg, Berlin Heidelberg, 2013. ISBN 978-3-642-28903-3 978-3-642-28902-6.
- A. Drogemuller, A. Cunningham, J. Walsh, M. Cordeil, W. Ross, and B. Thomas. Evaluating Navigation Techniques for 3D Graph Visualizations in Virtual Reality. In *2018 International Symposium on Big Data Visual and Immersive Analytics (BDVA)*, pages 1–10, Konstanz, Oct. 2018. IEEE. ISBN 978-1-5386-9194-6. doi: 10.1109/BDVA.2018.8533895.
- J. Erl. Half-Life: Alyx - Hat es sich nur "bescheiden"verkauft? <https://mixed.de/half-life-alyx-unter-den-meistverkauften-pc-spielen-im-maerz/>, Apr. 2020.
- S. Fels, S. Yohanan, S. Takahashi, Y. Kinoshita, K. Funahashi, Y. Takama, and G. T.-P. Chen. User Experiences with a Virtual Swimming Interface Exhibit. In F. Kishino, Y. Kitamura, H. Kato, and N. Nagata, editors, *Entertainment Computing - ICEC 2005*, volume 3711, pages 433–444. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2005. ISBN 978-3-540-29034-6 978-3-540-32054-8. doi: 10.1007/11558651_42.
- M. Funk, F. Müller, M. Fendrich, M. Shene, M. Kolvenbach, N. Dobbertin, S. Günther, and M. Mühlhäuser. Assessing the Accuracy of Point & Teleport Locomotion with Orientation Indication for Virtual Reality using Curved Trajectories. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–12, Glasgow Scotland Uk, May 2019. ACM. ISBN 978-1-4503-5970-2. doi: 10.1145/3290605.3300377.
- H. Guo. Application of Virtual Reality Technology in Swimming Teaching. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (ijET)*, 11(11):9, Nov. 2016. ISSN 1863-0383. doi: 10.3991/ijet.v11i11.6246.
- A. D. Keedwell and J. Dénes. *Latin Squares and Their Applications*. Elsevier, North Holland, Amsterdam Boston Heidelberg London New York Oxford Paris San Diego San Francisco Singapore Sydney Tokyo, second edition edition, 2015. ISBN 978-0-444-63555-6.
- H. K. Kim, J. Park, Y. Choi, and M. Choe. Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment. *Applied Ergonomics*, 69:66–73, May 2018. ISSN 00036870. doi: 10.1016/j.apergo.2017.12.016.
- J. H. Murray. *Hamlet on the Holodeck: The Future of Narrative in Cyberspace*. Free Press, New York, 1997. ISBN 978-0-684-82723-0.

-
- Raluca Budiu. Between-Subjects vs. Within-Subjects Study Design. <https://www.nngroup.com/articles/between-within-subjects/>.
- W. Robinett and R. Holloway. Implementation of flying, scaling and grabbing in virtual worlds. In *Proceedings of the 1992 Symposium on Interactive 3D Graphics, I3D '92*, pages 189–192, New York, NY, USA, June 1992. Association for Computing Machinery. ISBN 978-0-89791-467-3. doi: 10.1145/147156.147201.
- T. Takala, L. Savioja, and T. Lokki. Swimming in a Virtual Aquarium. 2005.
- Thomas Hoffmeister. Uni-Alltag während Corona: Ich verstehe Studierende, die sauer sind-buten un binnen, Feb. 2021.
- M. Usoh, K. Arthur, M. C. Whitton, R. Bastos, A. Steed, M. Slater, and F. P. Brooks. Walking > walking-in-place > flying, in virtual environments. In *Proceedings of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH '99*, pages 359–364, USA, July 1999. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co. ISBN 978-0-201-48560-8. doi: 10.1145/311535.311589.
- S. Yamashita, X. Zhang, and J. Rekimoto. AquaCAVE: Augmented Swimming Environment with Immersive Surround-Screen Virtual Reality. In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '16 Adjunct*, pages 183–184, New York, NY, USA, Oct. 2016. Association for Computing Machinery. ISBN 978-1-4503-4531-6. doi: 10.1145/2984751.2984760.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

2.1	Powerwall	8
3.1	Aquascooter	12
3.2	Teleporter	13
3.3	Aquascooter	14
3.4	Aquascooter	16
3.5	Aquascooter	17
3.6	Screenshots aus der virtuellen Unterwasserwelt	19
4.1	Links: Deutsches Poster; Rechts: Englischs Poster	23
4.2	Testumgebung	25
4.3	Equipment vom Probanden getragen	25
4.4	Ablaufplan der Studie	28
4.5	VRSQ Ergebnisse	30
4.6	IPQ Ergebnisse	31
4.7	Time to Completion Werte	33
4.8	Subjektiv beste Bewegungsmethode	34
5.1	Schwimmbewegungen eines Nutzers als Beispiel beim vorwärts Schwimmen	41
A.1	Testumgebung Screenshot (1)	xv
A.2	Testumgebung Screenshot (2)	xvi
A.3	Testumgebung Screenshot (3)	xvi
A.4	Begrenzung der virtuellen Testumgebung	xvii
A.5	Pfad HMD Teleport	xviii
A.6	Pfad HMD Aquascooter	xix
A.7	Pfad HMD Teleport	xx
A.8	Pfad PW Teleport	xxi
A.9	Pfad PW Aquascooter	xxii
A.10	Pfad PW Swimming	xxiii

TABELLENVERZEICHNIS

4.1	Mit VRSQ auf VR Sickness geprüfte Konditionen	30
4.2	Ergebnisse von durchgeführten t-Tests zur VR Sickness des VRSQs	31
4.3	Mit IPQ auf Presence geprüfte Konditionen	32
4.4	Ergebnisse von durchgeführten t-Tests zu den Presence Werten des IPQs	32

GLOSSAR

DOF Degrees of Freedom - Freiheitsgrade. Ein Freiheitsgrad beschreibt die Möglichkeit sich auf genau einer Achse des Koordinatensystems zu bewegen, während sechs Freiheitsgrade die Bewegung und die Rotation im dreidimensionalen Raum ermöglichen.

Foliage Laub - Hier auch als Bewuchs anzusehen. Ein Begriff welcher Kleinstpflanzen wie Gräser, aber auch Laub vereint. Wird im Rahmen dieser Arbeit verwendet um das gleichnamige Tool der Unreal Engine 4 zu beschreiben, mit welcher kleine Objekte (Steine, Muscheln) auf den Boden „gepinselt“ wurden.

HMD Head Mounted Display - Am Kopf befestigtes Display. Meistens mit Zusatzsensoren. Auch VR-Brille genannt.

Latin Square Ein Quadrat der Breite und Höhe n welches mit n verschiedenen Symbolen so gefüllt wird, dass in jeder Spalte und Zeile jedes Symbol genau einmal vorkommt. In dieser Arbeit wird es genutzt, um die verschiedenen Bewegungs und Anzeigemethoden möglichst gleichmäßig auf die Test-Durchläufe der Probanden aufzuteilen. Zum Beispiel sollen alle Methoden gleich oft die Erste getestete Methode gewesen sein. Für mehr Details siehe Keedwell and Dénes (2015).

Logging Die Aktion des Mitschreibens von Informationen.

Map Karte - Bezeichnet den Ort, welchen die virtuelle Welt darstellt.

Motion Controller Ein meist kabelloser Controller primär für HMDs, dessen Position im Raum erfasst wird. Wie ein normaler Controller besitzt dieser ebenfalls Knöpfe, Sticks, Trackpads etc.

Parent In der Programmierung stellt der Parent einer Klasse, die sogenannte Oberklasse dar. Ein Parent definiert das Basisverhalten der auf sich bezogenen Child-Klasse.

PW Powerwall, für Details siehe Kapitel 2.3.

Time to Completion Wörtlich übersetzt: „Zeit zur Fertigstellung“. Definiert die Zeit bis zum Abschluss einer Tätigkeit.

Tracker Ein Objekt, oft reflektiert oder erzeugt es Infrarot-Strahlung, welches von speziellen Kameras erfasst und so dessen Position in einem Koordinatensystem bestimmt werden kann.

Tracking Das Verfolgen eines Objektes. In der echten Welt getrackte Dinge können so in der virtuellen Welt bewegt werden.

translatieren Den Ort wechseln.

VR Virtual Reality - Eine vom computer generierte Realität, welche eine virtuelle Welt enthält. (siehe Kapitel 2.2).

within-subjects Ein Studiendesign, bei dem die jede Person alle Konditionen, also Tests, durchläuft. (Raluca Budiu).

A BILDER

A.1 SCREENSHOTS

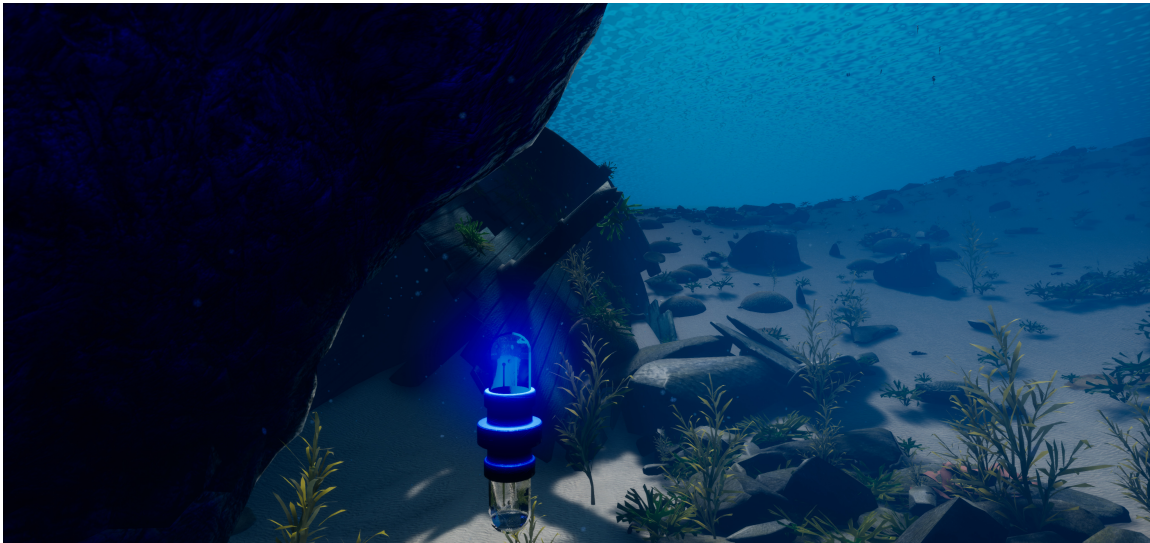


Abbildung A.1
Ein Screenshot der Testumgebung



Abbildung A.2
Ein weiterer Screenshot der Testumgebung



Abbildung A.3
Ein weiterer Screenshot der Testumgebung

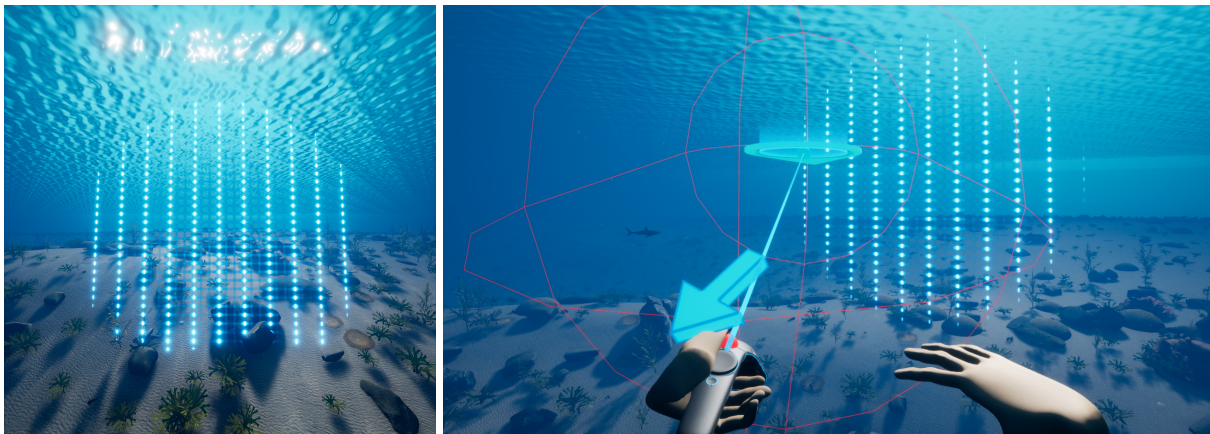


Abbildung A.4

Die Begrenzung der Testumgebung (nur sichtbar wenn sich der Nutzer in der Nähe befindet)

A.2 BEWEGUNGSPFADE

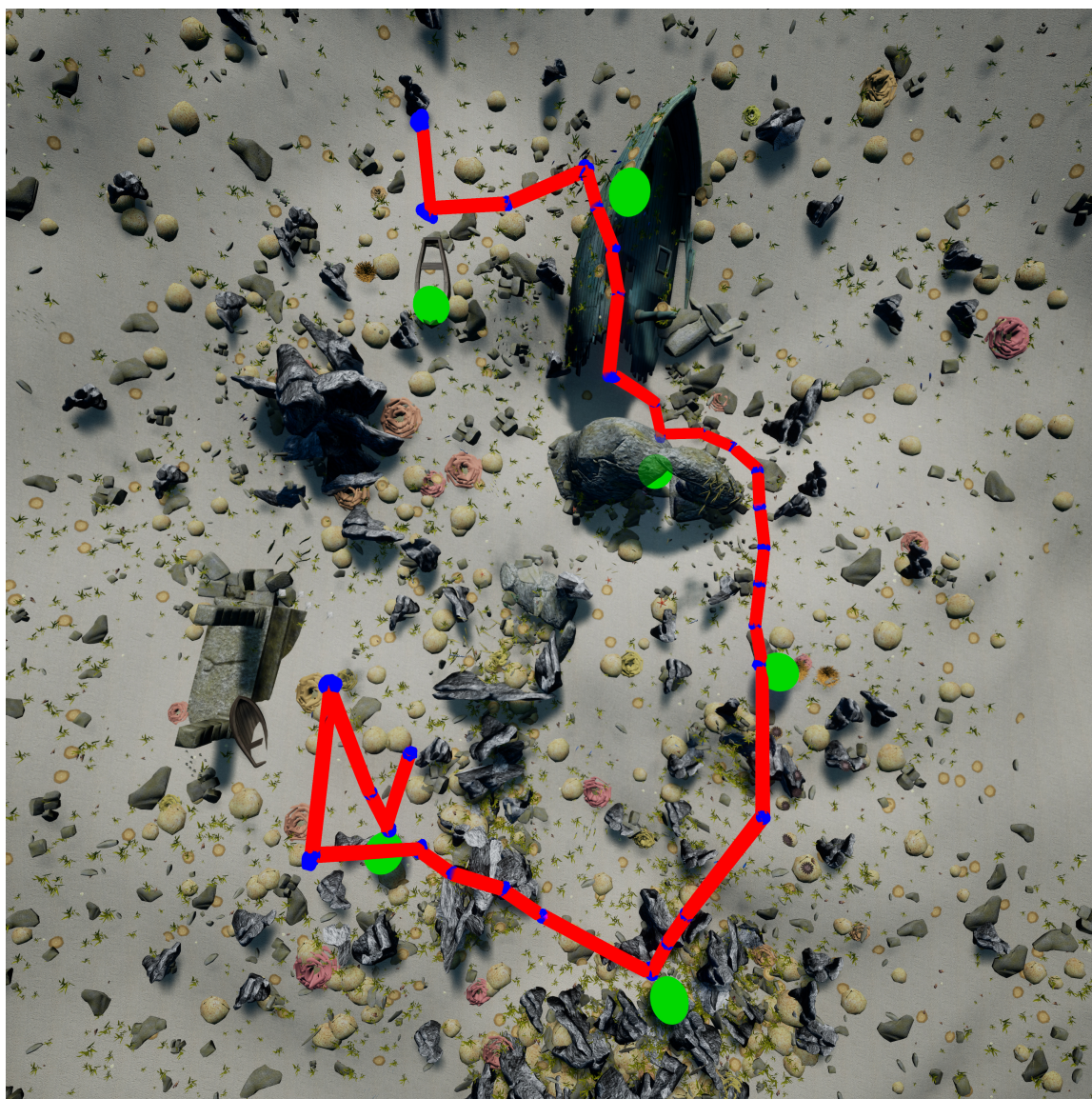


Abbildung A.5
Zurückgelegter Weg eines Nutzers mit HMD und Teleport, Set 1
Pfadfarbe: Blau langsam → Rot schnell

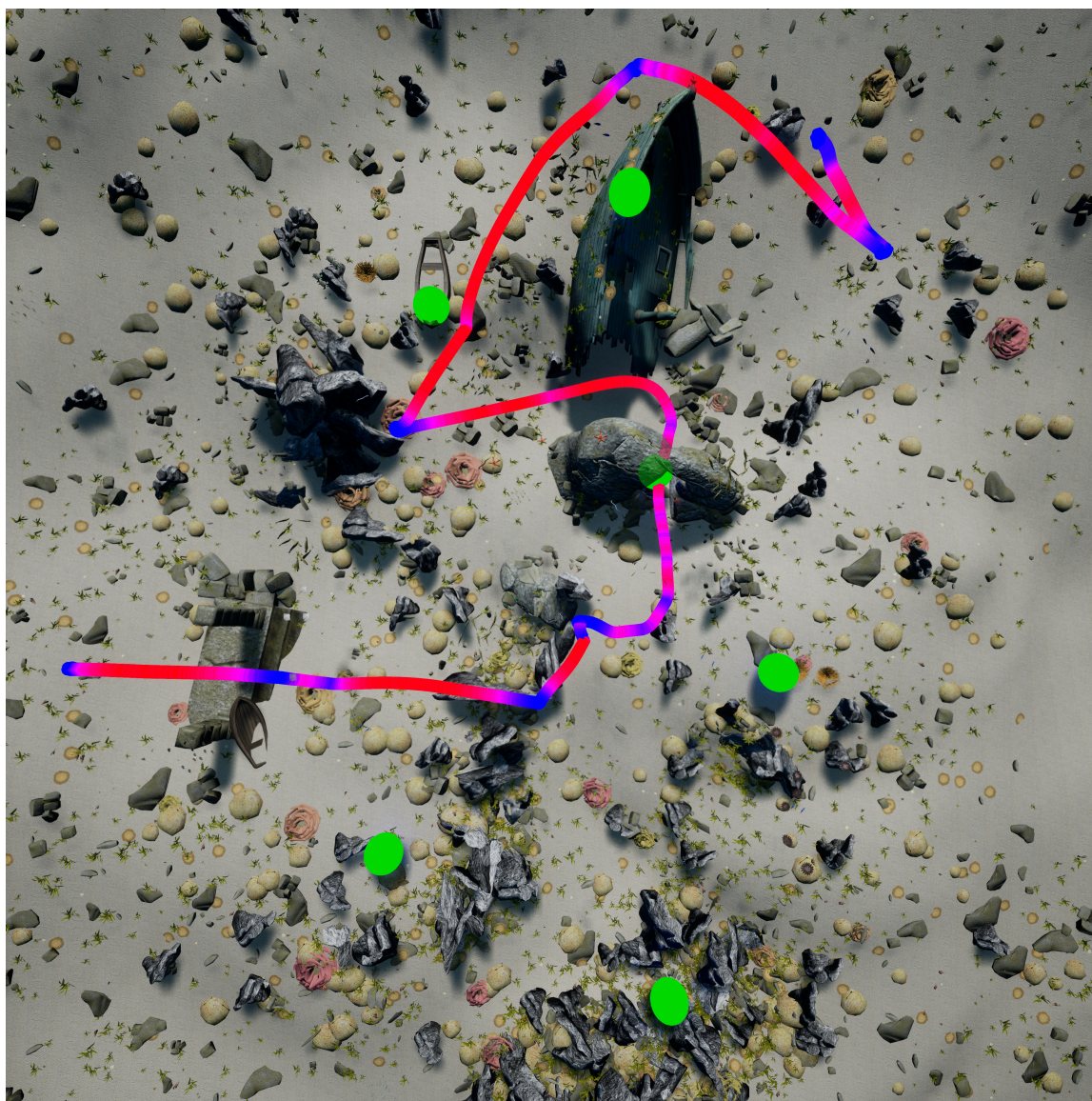


Abbildung A.6
Zurückgelegter Weg eines Nutzers mit HMD und Aquascooter, Set 2
Pfadfarbe: Blau langsam → Rot schnell

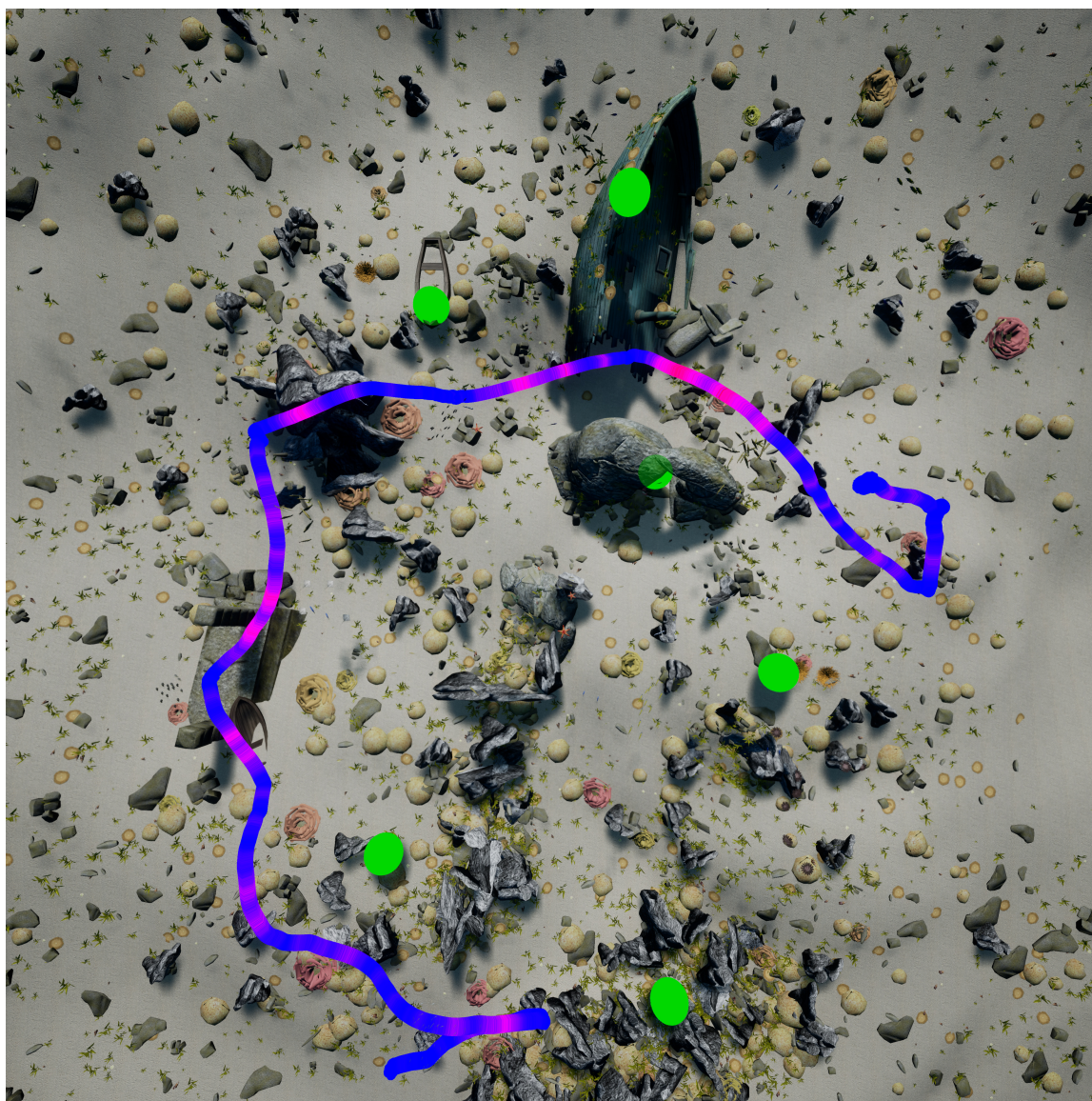


Abbildung A.7
Zurückgelegter Weg eines Nutzers mit HMD und Swimming, Set 3
Pfadfarbe: Blau langsam → Rot schnell

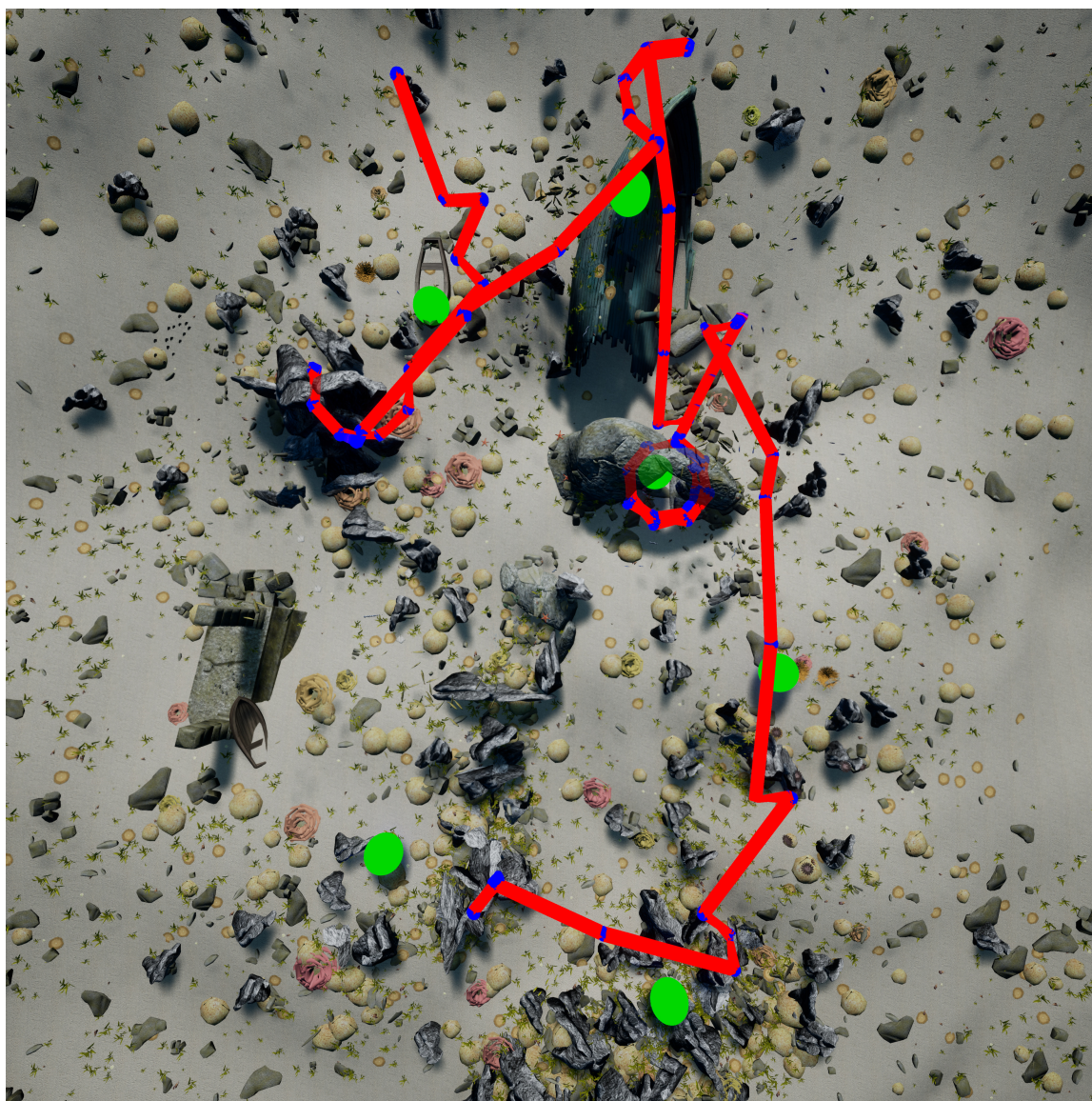


Abbildung A.8
Zurückgelegter Weg eines Nutzers mit der Powerwall und Teleport, Set 1
Pfadfarbe: Blau langsam → Rot schnell

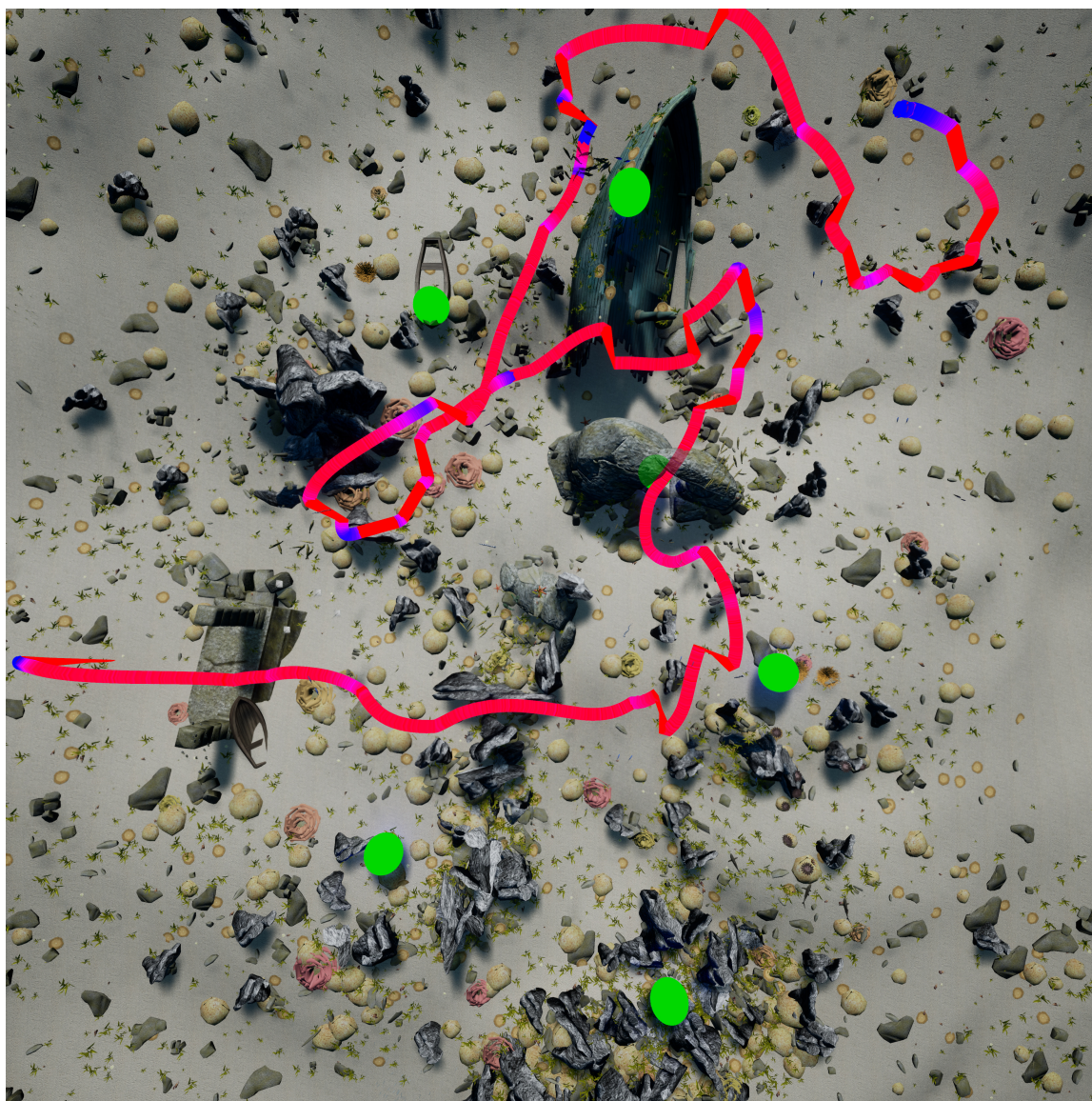


Abbildung A.9
Zurückgelegter Weg eines Nutzers mit der Powerwall und AquaScooter, Set 2
Pfadfarbe: Blau langsam → Rot schnell

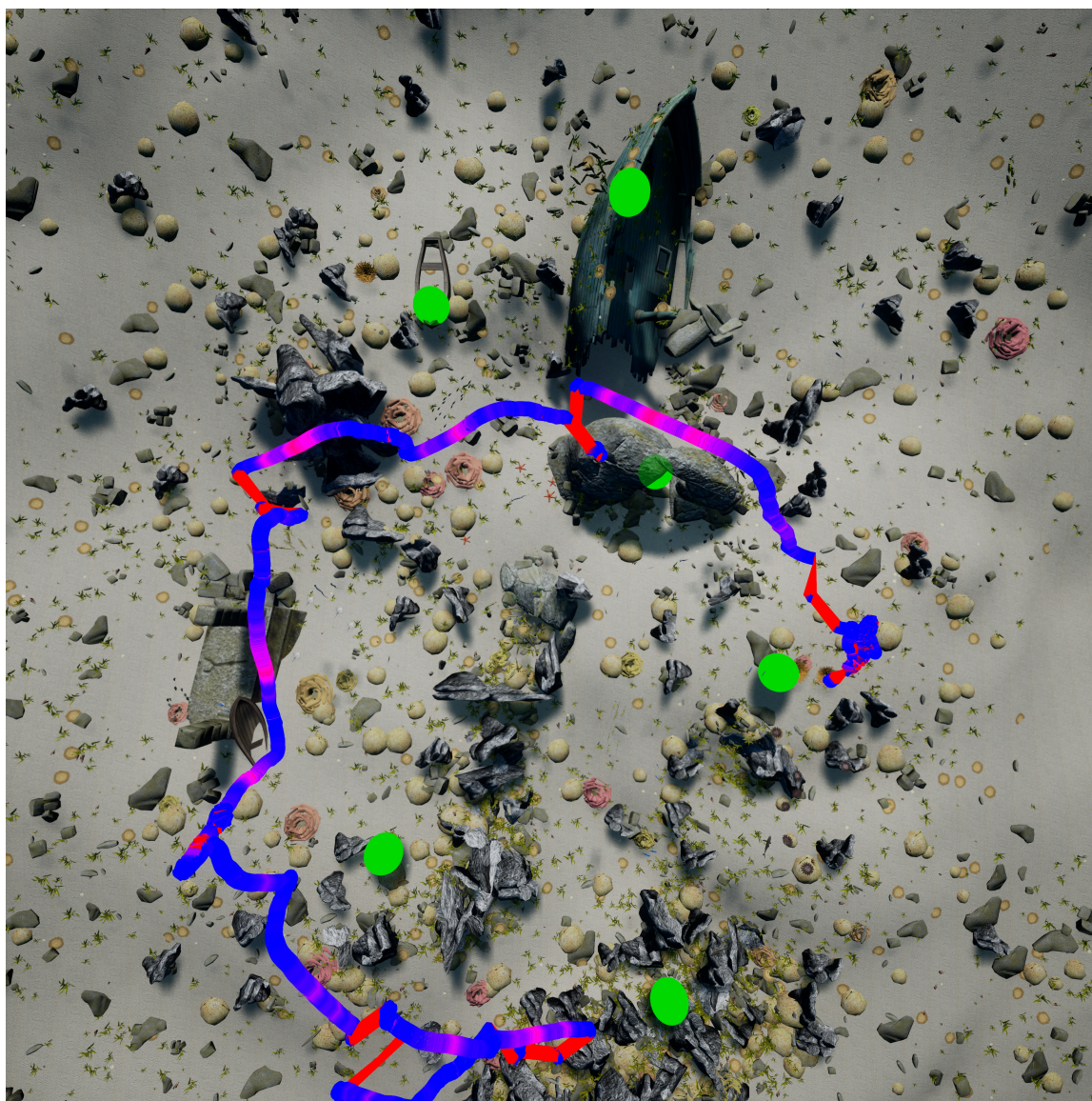


Abbildung A.10
Zurückgelegter Weg eines Nutzers mit der Powerwall und Swimming, Set 3
Pfadfarbe: Blau langsam → Rot schnell

B DOKUMENTE

B.1	Einverständniserklärung (DE)	xxv
B.2	Vor-Fragebogen (DE)	xxvi
B.3	Fragebogen Vorderseite (DE)	xxvii
B.4	Fragebogen Rückseite (DE)	xxviii
B.5	End-Fragebogen (DE)	xxix
B.6	Einverständniserklärung (EN)	xxx
B.7	Vor-Fragebogen (EN)	xxxi
B.8	Fragebogen Vorderseite (EN)	xxxii
B.9	Fragebogen Rückseite (EN)	xxxiii
B.10	End-Fragebogen (EN)	xxxiv

Liste der Dokument-Anhänge

Dokument-Anhang B.1
Deutsche Einverständniserklärung der Studie

Fortbewegungsmethoden in virtuellen Unterwasserwelten

Ziel dieser Studie

Ziel dieser Studie ist es, zu untersuchen, wie sich Bewegungsmethoden in virtuellen Unterwasserwelten auf den Benutzer auswirken und herauszufinden, welche der Methoden für solche Simulationen besser geeignet sind. Ihre Teilnahme an dieser Studie wird uns helfen, wichtige Informationen darüber zu erfahren.

Ihre Teilnahme ist freiwillig

Sie können zu jeder Zeit eine Pause machen. Sagen Sie dem Forscher einfach, wenn Sie eine Pause brauchen. Sie können jederzeit ohne Angabe von Gründen gehen.

Gesammelte Informationen

Ich werde Sie bitten, ein VR-Headset inklusive Controller und Batterie oder eine 3D-Brille mit Tracking Bodies für die Powerwall zu tragen. Sie werden gebeten, sich in der virtuellen Welt an bestimmten Orten zu bewegen und Fragebögen vor, zwischen und nach der Studie auszufüllen.

Datenschutz

Die Kameras im Raum werden nur zur Verfolgung verwendet und es werden keine Bilddaten aufgezeichnet.

Ihre Bewegungen, während Sie sich in der virtuellen Welt befinden, sowie der Status der Missionserfüllung werden verfolgt und aufgezeichnet.

Wir können Forschungsberichte veröffentlichen, die Ihre Kommentare und Handlungen beinhalten, aber Ihre Daten werden anonymisiert sein. Das bedeutet, dass Ihr Name und Ihre Identität in unseren Forschungsberichten nicht mit dem in Verbindung gebracht werden, was Sie sagen oder tun.

Ihr Einverständnis

Bitte unterschreiben Sie dieses Formular, um zu zeigen, dass Sie damit einverstanden sind, dass wir diese Daten sammeln.

Ich bin damit einverstanden, dass meine in den Fragebögen gegebenen Antworten und aufgezeichneten Bewegungsdaten (anonymisiert und ohne persönliche Informationen wie Name) von anderen Personen genutzt und eingesehen werden können.

Wenn Sie Ihre Einwilligung für die Zukunft widerrufen wollen, wenden Sie sich bitte an den Initiator dieser Studie, der alle persönlichen Daten, die wir über Sie besitzen (wie die Aufzeichnungen und Fragebögen), vernichten wird.

Dokument-Anhang B.2
Deutscher Vor-Fragebogen der Studie

Vor-Fragebogen

Geschlecht: _____

Alter: _____

Ich bin:

Rechtshänder Linkshänder

Beruf: _____

Bisherige Erfahrungen in VR:

Keine ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ Sehr Viel

Beispiele: _____

Bisherige Tauch-Erfahrungen:

Ja Nein Nur virtuell

Dokument-Anhang B.3
Vorderseite des deutschen Fragebogens der Studie

Questionnaire	
In der computererzeugten Welt hatte ich den Eindruck, dort gewesen zu sein...	überhaupt nicht <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> sehr stark
Ich hatte das Gefühl, daß die virtuelle Umgebung hinter mir weitergeht.	trifft gar nicht zu <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> trifft völlig zu
Ich hatte das Gefühl, nur Bilder zu sehen.	trifft gar nicht zu <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> trifft völlig zu
Ich hatte nicht das Gefühl, in dem virtuellen Raum zu sein	hatte nicht das Gefühl <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> hatte das Gefühl
Ich hatte das Gefühl, in dem virtuellen Raum zu handeln statt etwas von außen zu bedienen.	trifft gar nicht zu <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> trifft völlig zu
Ich fühlte mich im virtuellen Raum anwesend.	trifft gar nicht zu <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> trifft völlig zu
Wie bewußt war Ihnen die reale Welt, während Sie sich durch die virtuelle Welt bewegten (z.B. Geräusche, Raumtemperatur, andere Personen etc.)?	extrem bewußt <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> unbewußt
Meine reale Umgebung war mir nicht mehr bewußt.	trifft gar nicht zu <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> trifft völlig zu
Ich achtete noch auf die reale Umgebung.	trifft gar nicht zu <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> trifft völlig zu
Meine Aufmerksamkeit war von der virtuellen Welt völlig in Bann gezogen.	trifft gar nicht zu <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> trifft völlig zu
Wie real erschien Ihnen die virtuelle Umgebung?	vollkommen real <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> gar nicht real
Wie sehr glich Ihr Erleben der virtuellen Umgebung dem Erleben einer realen Umgebung?	überhaupt nicht <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> vollständig
Wie real erschien Ihnen die virtuelle Welt?	wie eine vorgestellte Welt <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> nicht zu unterscheiden von der realen Welt

Dokument-Anhang B.4
Rückseite des deutschen Fragebogens der Studie

Questionnaire

Die virtuelle Welt erschien mir wirklicher als die reale Welt.

trifft gar nicht zu trifft völlig zu

Im letzten Szenario habe ich folgendes Erfahren:

	Nichts		-		Schwer
Allgemeines Unbehagen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Müdigkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Augenbeschwerden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schwierigkeiten bei der	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fokussierung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kopfschmerzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Völlegefühl im Kopf	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verschwommenes Sehen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schwindel (geschlossene Augen)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schwindel	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Bemerkungen:

Dokument-Anhang B.5
Deutscher End-Fragebogen der Studie

Welche Bewegungsmethode hat ihnen am Besten gefallen?

VR

- Schwimmen
- Teleport
- Aqua Scooter

Powerwall

- Schwimmen
- Teleport
- Aqua Scooter

Bemerkungen:

Dokument-Anhang B.6
Englische Einverständniserklärung der Studie

Locomotion Methods in virtual underwater worlds

What this study is about

The purpose of this study is to investigate how movement methods in virtual underwater worlds affect the user and to find out which of methods are better suited for such simulaitions. Your participation in this study will help us learn important information regarding this.

Your participation in this study is voluntary

You can take a break at any time. Just tell the researcher if you need a break. You can leave at any time without giving a reason.

Collected information

I will ask you to wear a VR headset including controller and battery equipment or 3D Glasses with tracking bodies for the powerwall. You will be asked to move in the virtual world to certain locaitons and fill out questionnaires before, between and after the study.

How we ensure your privacy

Cameras in the room are only used for tracking purposes and no image data is recorded.

Your movements while in the virtual world as well as the mission completion state will be tracked and recorded.

We may publish research reports that include your comments and actions but your data will be anonymous. This means your name and identity will not be linked in our research reports to anything you say or do.

Your consent

Please sign this form showing that you consent to us collecting these data.

I give my consent for my answers given in the questionnaires and recorded motion data (anonymized and without personal informatin such as name) to be used and viewed by other persons.

If you want to withdraw your consent in the future, contact the initiator of this study who will destroy any personal data we hold about you (such as the recordings and questionnaires).

I consent

Dokument-Anhang B.7
Englischer Vor-Fragebogen der Studie

Pre-Questionnaire

Gender: _____

Age: _____

My dominant hand is:

Right

Left

Profession: _____

Previous experience in VR:

None Very much

Examples: _____

Previous diving experience:

Yes

No

Only virtual

Dokument-Anhang B.8
Vorderseite des englischen Fragebogens der Studie

Questionnaire	
In the computer generated world I had a sense of "being there"	not at all <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> very much
Somehow I felt that the virtual world surrounded me.	fully disagree <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> fully agree
I felt like I was just perceiving pictures.	fully disagree <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> fully agree
I did not feel present in the virtual space.	did not feel <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> felt present
I had a sense of acting in the virtual space, rather than operating something from outside.	fully disagree <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> fully agree
I felt present in the virtual space.	fully disagree <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> fully agree
How aware were you of the real world surrounding while navigating in the virtual world? (i.e. sounds, room temperature, other people, etc.)?	extremely aware <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> not aware at all
I was not aware of my real environment.	fully disagree <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> fully agree
I still paid attention to the real environment.	fully disagree <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> fully agree
I was completely captivated by the virtual world.	fully disagree <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> fully agree
How real did the virtual world seem to you?	completely real <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> not real at all
How much did your experience in the virtual environment seem consistent with your real world experience ?	not consistent <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> very consistent
How real did the virtual world seem to you?	about as real as an imagined world <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> indistinguishable from the real world

Dokument-Anhang B.9
Rückseite des englischen Fragebogens der Studie

Questionnaire

The virtual world seemed more realistic than the real world.

fully disagree fully agree

In the last scenarion I experienced the following:

	None						Severe
General Discomfort	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fatigue	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Eyestrain	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Difficulty focusing	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Headache	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fullness of Head	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Blurred vision	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dizzy (eyes closed)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vertigo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Comments:

Dokument-Anhang B.10
Englischer End-Fragebogen der Studie

Which locomotion method did you like best?

VR

- Swimming
- Teleport
- Aqua Scooter

Powerwall

- Swimming
- Teleport
- Aqua Scooter

Comments:

C DATENTRÄGER

Offizielle Erklärungen von

Nachname: Jochens Vorname: Marc
 Matrikelnr.: 4350108

A) Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Alle Teile meiner Arbeit, die wortwörtlich oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, wurden unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Gleiches gilt auch für Zeichnungen, Skizzen, bildliche Darstellungen sowie für Quellen aus dem Internet.

Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht als Prüfungsleistung eingereicht.

Die elektronische Fassung der Arbeit stimmt mit der gedruckten Version überein.

Mir ist bewusst, dass wahrheitswidrige Angaben als Täuschung behandelt werden.

B) Erklärung zur Veröffentlichung von Bachelor- oder Masterarbeiten

Die Abschlussarbeit wird zwei Jahre nach Studienabschluss dem Archiv der Universität Bremen zur dauerhaften Archivierung angeboten. Archiviert werden:

- 1) Masterarbeiten mit lokalem oder regionalem Bezug sowie pro Studienfach und Studienjahr 10 % aller Abschlussarbeiten
- 2) Bachelorarbeiten des jeweils ersten und letzten Bachelorabschlusses pro Studienfach u. Jahr.

- Ich bin damit einverstanden, dass meine Abschlussarbeit im Universitätsarchiv für wissenschaftliche Zwecke von Dritten eingesehen werden darf.
- Ich bin damit einverstanden, dass meine Abschlussarbeit nach 30 Jahren (gem. §7 Abs. 2 BremArchivG) im Universitätsarchiv für wissenschaftliche Zwecke von Dritten eingesehen werden darf.
- Ich bin nicht damit einverstanden, dass meine Abschlussarbeit im Universitätsarchiv für wissenschaftliche Zwecke von Dritten eingesehen werden darf.

C) Einverständniserklärung über die Bereitstellung und Nutzung der Bachelorarbeit / Masterarbeit / Hausarbeit in elektronischer Form zur Überprüfung durch Plagiatsoftware

Eingereichte Arbeiten können mit der Software *Plagscan* auf einen hauseigenen Server auf Übereinstimmung mit externen Quellen und der institutionseigenen Datenbank untersucht werden. Zum Zweck des Abgleichs mit zukünftig zu überprüfenden Studien- und Prüfungsarbeiten kann die Arbeit dauerhaft in der institutionseigenen Datenbank der Universität Bremen gespeichert werden.

- Ich bin damit einverstanden, dass die von mir vorgelegte und verfasste Arbeit zum Zweck der Überprüfung auf Plagiate auf den *Plagscan*-Server der Universität Bremen hochgeladen wird.
- Ich bin ebenfalls damit einverstanden, dass die von mir vorgelegte und verfasste Arbeit zum o.g. Zweck auf dem *Plagscan*-Server der Universität Bremen hochgeladen u. dauerhaft auf dem *Plagscan*-Server gespeichert wird.
- Ich bin nicht damit einverstanden, dass die von mir vorgelegte u. verfasste Arbeit zum o.g. Zweck auf dem *Plagscan*-Server der Universität Bremen hochgeladen u. dauerhaft gespeichert wird.

Mit meiner Unterschrift versichere ich, dass ich die oben stehenden Erklärungen gelesen und verstanden habe. Mit meiner Unterschrift bestätige ich die Richtigkeit der oben gemachten Angaben.

Datum, Ort

Unterschrift