

Bachelorthesis

Dmitrij Schäfer

Untersuchung der Bewegungsmethoden im
virtuellen Raum mit Bezug auf Cybersickness

Dmitrij Schäfer

Untersuchung der Bewegungsmethoden im virtuellen
Raum mit Bezug auf Cybersickness

Zum Titel

Bachelorthesis eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung
im Studiengang Angewandte Informatik
am Department Informatik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer : Prof. Dr. Philipp Jenke
Zweitgutachter : Prof. Dr. Kai von Luck

Abgegeben am 01.11.17

Autor: Dmitrij Schäfer

Thema der Bachelorthesis:

Untersuchung der Bewegungsmethoden im virtuellen Raum mit Bezug auf Cybersickness

Stichworte

Virtuelle Realität, HMD, Bewegungsmethoden, Cybersickness, artificial locomotion, dynamic-field-of-view, surrogate vehicle, point & teleport

Kurzzusammenfassung:

In dieser Abschlussarbeit geht es um das Untersuchen von aktuellen, sowie etablierten Bewegungs- und Hilfsmethoden in einer virtuellen Realität, welche Cybersickness vermindern sollen. Es soll untersucht werden, ob diese Methoden sich positiv oder negativ auf Cybersickness auswirken. Dafür wird eine virtuelle Welt als Versuchsumgebung und die zu untersuchenden Bewegungsmethoden implementiert. Anschließend wird eine Studie durchgeführt, in der die Probanden die verschiedenen Bewegungsmethoden testen und bewerten. Den Abschluss der Arbeit bildet die Evaluation der Studie. Diese beschreibt, welche Wirkungen die verschiedenen Bewegungsmethoden auf die Probanden haben.

Autor: Dmitrij Schäfer

Title of the paper

Examination of the methods of movement in the virtual space with regard to cybersickness

Keywords

virtual reality, HMD, movement methods, cybersickness, artificial locomotion, dynamic-field-of-view, surrogate vehicle, point & teleport

Abstract

This thesis deals with the investigation of current as well as established methods of movement and auxiliary methods in a virtual reality, which reduce cybersickness. It is to be investigated whether these methods have a positive or negative effect on cybersickness. For this, a virtual world was implemented as an experimental environment and the movement methods were investigated. A study is carried out in which the participants test and evaluate different movement methods. The conclusion of the work is the evaluation of the study. This describes the effects the different movement methods have on the participants.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	8
1.1	Problemstellung.....	10
1.2	Motivation	10
1.3	Zielsetzung.....	11
1.4	Historie	12
1.5	Struktur der Arbeit.....	23
2	Grundlagen	24
2.1	Virtuelle Realität und Cybersickness.....	24
2.1.1	Ursachenanalyse zur Cybersickness	24
2.1.2	Symptome von Cybersickness	24
2.1.3	Grundlagen zur Verringerung von Cybersickness.....	24
2.2	Bewegung in einer virtuellen Welt	25
2.2.1	Artificial Locomotion (künstliche Fortbewegung)	25
2.2.2	Reoriented World (neu ausgerichtete Welt)	25
2.2.3	Point & Teleport	26
2.2.4	Surrogate Vehicle (Ersatzfahrzeug)	27
2.2.5	Motion Triggered (Bewegungsauslöser).....	27
2.2.6	Redirected Walking (umgeleitetes Gehen).....	28
2.3	Medizinische Ursachen von Cybersickness.....	29
2.3.1	Die Vergiftungs-Erkennungs Theorie (the poison theory)	29
2.3.2	Die Sensorische Konflikt Theorie (the sensory conflict theory)	29
2.3.3	Die Postulare Instabilitätstheorie (the postural instability theory)	30

3	Konzeption.....	31
3.1	Anforderung	31
3.2	Entwurf	32
3.2.1	Vision der virtuellen Welt.....	32
3.2.2	Technologie	33
3.2.3	Kriterien für den Fragebogen	34
3.3	Definition des Tests für die Bewegung und Hilfsmethoden	35
3.3.1	Testszenario.....	35
4	Umsetzung/Implementierung	36
4.1	Modellierung der Grundstruktur	37
4.2	Implementierung der Bewegung und Hilfsmethoden	38
4.2.1	Artificial Locomotion (Künstliche Fortbewegung)	38
4.2.2	Point & Teleport	40
4.2.3	<i>Dynamic Field-Of-View</i>	44
4.2.4	Surrogate Vehicle (Ersatzfahrzeug)	46
4.3	Modellierung von Objekten für die virtuelle Welt.....	46
4.3.1	Modellierung der Insel	47
4.3.2	Modellierung der Wolke.....	48
4.3.3	Modellierung der Bäume.....	49
4.3.4	Modellierung der Brücke.....	50
4.3.5	Modellierung des Goldbarren	52
4.3.6	Überblick über die gesamte virtuelle Welt.....	53
4.3.7	Modellierung des Cockpits Die Fortbewegungsmethode <i>Surrogate Vehicle</i> (Ersatzfahrzeug)	54
5	Evaluation von Methoden gegen Cybersickness	57
5.1	Gegenüberstellung, Analyse und Bewertung der verschiedenen Methoden/Ansätze zur Vermeidung von Cybersickness.....	58
5.1.1	Überblick über die Probanden.....	58
5.1.2	Auswertung der Fragen zum Ankreuzen	59
5.1.3	Zusammenfassung und Auswertung der Schriftlichen Anmerkungen	65
5.1.4	Ergebnisse von wissenschaftlichen Studien zum Thema Cybersickness	66
5.2	Exkurs: Testen von Bewegungsmethoden bestimmter Videospiele.....	68

5.2.1	<i>Dying light (Artificial Locomotion ohne Hilfsmethoden)</i>	69
5.2.2	<i>Alice VR (Artificial Locomotion ohne Hilfsmethoden)</i>	70
5.2.3	<i>Narcosis (Surrogate Vehicle und Dynamic Field-Of-View)</i>	70
5.2.4	<i>Batman: Arkham VR (Point & Teleport)</i>	70
6	Abschluss	71
6.1	Zusammenfassung	71
6.2	Fazit	72
6.3	Ausblick.....	73
7	Anhang	74
7.1.1	Schriftliche Anmerkungen zur <i>Artificial Locomotion</i>	74
7.1.2	Schriftliche Anmerkungen zur <i>Artificial Locomotion mit Dynamic Field-Of-View</i> 75	
7.1.3	Schriftliche Anmerkungen zur <i>Surrogate Vehicle</i>	76
7.1.4	Schriftliche Anmerkungen zur <i>Surrogate Vehicle mit Dynamic Field-Of-View</i> 77	
7.1.5	Schriftliche Anmerkungen zur <i>Point & Teleport</i>	78
7.1.6	Zusammenfassung und Auswertung der Schriftlichen Anmerkungen	79
7.1.7	Implementierung der Bewegung:.....	80

1 Einleitung

Virtuelle Realität (VR), englisch *virtual reality* ist kein neues Thema, doch durch die Einführung neuer HMD-Geräte (head mounted display), wie die Oculus Rift, HTC Vive, VR-Schutzbrillen, Mobiletelefone wie Samsung Gear VR und Google Cardboard, stieg die Popularität der hierfür entwickelten Spiele und Anwendungen, wodurch auch das Thema Cybersickness immer mehr an Bedeutung gewann. Virtuelle Realität ist ein Erlebnis in Form einer computergenerierten Welt, die oft versucht die Realität abzubilden oder sich dieser anzunähern. Jedoch kann auch die virtuelle Welt den physikalischen Gesetzen oder der Logik widersprechen. Meistens kann der Benutzer mit der virtuellen Welt interagieren.

Es gibt verschiedene Arten und Weisen wie man die virtuelle Realität nutzen kann. Zum Beispiel können Menschen mit Spinnen in einer virtuellen Welt konfrontiert werden, um Ihre Phobie besser in den Griff zu bekommen. Mit der VR kann man auch Höhenängste behandeln. Es können auch virtuelle Welten entstehen, in den man Autos zusammenbauen und konfigurieren kann, was für Designer die Arbeit erheblich erleichtern kann.

Im Grunde genommen kann eine virtuelle Realität beliebig aussehen. Designer und Programmierer setzen die virtuelle Realität nach eigenen Vorstellungen um, Grenzen setzt eigentlich nur die benutzte Hardware. Virtuelle Realitäten werden nicht nur im Form von Computerspielen abgebildet, es gibt auch zahlreiche Simulationen, die für ernsthaftere Zwecke verwendet werden. Dazu gehören neben den sehr bekannten Flugsimulatoren zum Beispiel auch Fahrsimulationen, welche z. B. von der deutschen Polizei verwendet werden, um Autounfällen vorzubeugen [Baye00].



Abbildung 1: Schleswigs-Holstein Innenminister Andreas Breitner (SPD) fährt mit Blaulicht auf der Mitte der Straße (2013)

Bildquelle: http://img.shz.de/img/meldungen/crop3887071/8136392062-cv16_9-w596/23-55943772-23-55942511-1382653823.jpg

Durch den Einsatz von VR-Geräten, wie zum Beispiel der Oculus Rift, ist die Immersion (Isolation des Bewusstseins, je höher die Immersion, desto stärker empfindet man die VR als real), also die Übereinstimmung mit der Realität, sehr hoch geworden, da man nicht mehr in einen Monitor schaut, sondern das VR-Gerät auf dem Kopf trägt. So wird das ganze Sichtfeld auf die virtuelle Welt gerichtet und die Wahrnehmung der Realität komplett ausgeblendet. In diesem Beispiel trifft es nicht ganz darauf zu, da der Innenminister in einem Cave-System sich befindet und kein HDM anhat. Cybersickness ist eine VR-Krankheit, die in Form von Übelkeit auftritt. Diese kann schon nach wenigen Minuten nach Eintauchen in die virtuelle Welt einsetzen. Spielt man beispielsweise ein Videospiel, in dem man sich viel bewegt, kann dies schon ein Auslöser für Cybersickness sein. Man sollte Cybersickness jedoch nicht verwechseln mit der See- oder der Flugsimulatorenkrankheit. Sie ähneln sich zwar, es gibt jedoch einen signifikanten Unterschied in den drei genannten Krankheiten. Bei den letzteren ist man in Bewegung oder man bekommt zu einer Bewegung etwas Visuelles angezeigt. Die Cybersickness tritt während oder nach rein visueller Benutzung ein. Insbesondere in der freien Marktwirtschaft gewinnt das Thema immer mehr an Bedeutung. In der Autoindustrie zum Beispiel wird *virtual reality* jetzt schon eingesetzt, etwa in Form von Simulationen, durch die Designer deutlich effizienter arbeiten können [Indu00].

1.1 Problemstellung

Man stelle sich folgendes Szenario vor: Man sitzt auf einer Couch und hat eine VR-Brille auf. Man befindet sich in einer virtuellen Welt, in der man viel laufen und Hindernisse überwinden muss. Dies steht mit der Realität im Widerspruch, da man nicht sitzen und gleichzeitig laufen kann. In dieser Situation reagieren viele Menschen mit einem Schwindelgefühl. Dieses Phänomen nennt man *Cybersickness* oder *Virtual Reality Sickness* (auf Deutsch auch *VR-Krankheit*). *Cybersickness* wird nicht nur im Sitzen ausgelöst, sie tritt auch im Stehen oder auch beim Laufen auf. Um die Ursache untersuchen zu können, wird ein Test System mit einem *Gamification-Feature* implementiert. Probanden sollen verschiedene Bewegungsmethoden in diesem Test-System ausprobieren und bewerten.

1.2 Motivation

Leider stößt die VR-Branche auf Probleme, viele Menschen können sich nur für eine kurze Zeit in einer virtuellen Welt mit einem HMD aufhalten. Während der Benutzung wird vielen Personen übel, was man als VR-Krankheit bezeichnet. Heutzutage gibt es aber schon viele interessante Ansätze, um den Aufenthalt in einer virtuellen Welt verlängern zu können. Einige dieser Ansätze haben sich sogar schon in der Videospiegelbranche etabliert. Da die virtuelle Realität immer beliebter wird und VR-Geräte immer erschwinglicher geworden sind, werden in diesem Bereich auch immer mehr Videospiele entwickelt. In den meisten Spielen verwendet man den sogenannten *First Person View*, da sich diese Ansicht selbstverständlich am besten für HMDs eignet. Die Motivation des Autors besteht darin festzustellen, ob die Bewegungsformen und die dazu gehörenden Hilfsmethoden einen Einfluss auf die *Cybersickness* haben. Dazu werden verschiedene Bewegungsformen in einem VR-System untersucht und in Bezug zu *Cybersickness* gestellt.

1.3 Zielsetzung

Das Ziel ist es, eine virtuelle Umgebung zu schaffen und in dieser verschiedene Bewegungsformen und Hilfsmethoden zu untersuchen. Folgende Bewegungsformen und Hilfsmethoden sollen implementiert werden:

- *Artificial Locomotion* (Künstliche Fortbewegung)
- *Point & Teleport*
- *Surrogate Vehicle* (Ersatzfahrzeug)
- *Dynamic Field-Of-View* (Straiten-Effekt)

Dazu soll eine Studie durchgeführt werden, die mindestens fünf Probanden enthält. Jeder Proband soll alle Bewegungsmethoden testen und sie bewerten. Zu jeder dieser Methoden soll ein Fragebogen erstellt werden, in dem festgehalten werden soll, wie schwach oder wie stark Cybersickness bei den Probanden aufgetreten sein wird. Zudem soll ein Exkurs vorgenommen werden, bei dem einige bekannte Videospiele auf das Hervorrufen von Cybersickness untersucht werden sollen und darauf wie die Videospieldentwickler mit dem Cybersickness-Problem umgehen.

1.4 Historie

In diesem Abschnitt soll die Geschichte der virtuellen Realität betrachtet werden, sowie die Entwicklung der Technologie, ebenso die Schlüsselpioniere, die den Weg für die virtuelle Realität ermöglicht haben. Der vielleicht früheste Versuch der virtuellen Realität ist ein 360-Grad Wandgemälde (Panoramabild) aus dem neunzehnten Jahrhundert. Solche Gemälde hatten den Zweck, das gesamte Sichtfeld einzufangen, um besser historische Ereignisse präsentieren zu können.



Abbildung 2: Gemälde von Franz Roubaud, 1913: Der Angriff auf die Rajewski-Schanze

Bildquelle: <https://www.vrs.org.uk/images/battle-borodino-1.jpg>

1838 - Stereoskopische Fotos und Zuschauer

Die Forschung von Carles Wheatstone aus dem Jahre 1838 zeigte, dass das menschliche Gehirn zweidimensionale Bilder von jedem Auge zu einem einzigen Objekt von drei Dimensionen verarbeitet [Derv00]. Die Betrachtung zwei nebeneinanderliegender stereoskopischer Bilder durch ein Stereoskop gibt dem Benutzer das Gefühl von Tiefe und Immersion. Das beliebte *View-Master-Stereoskop*, das im Jahre 1939 patentiert wurde und immer noch im „virtuellen Tourismus“ genutzt wird, hat noch das selbe Designprinzip wie das Ur-Stereoskop.

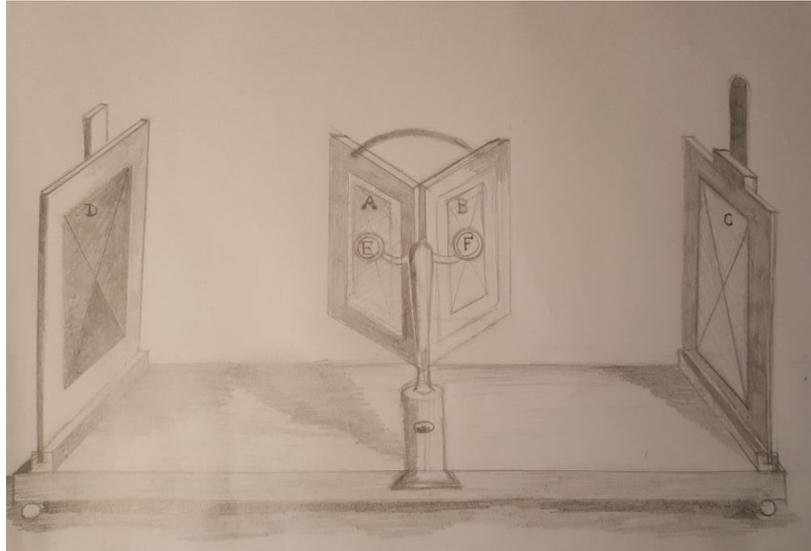


Abbildung 3: Das Stereoskop von Charles Wheatstone von 1838 (nachgezeichnet)
Bildquelle: https://www.vrs.org.uk/images/charles_wheatston_stereoscope.jpg
Mit freundlicher Genehmigung von Viktoria Schäfer

1929 - Link Trainer - The First Flight Simulator

Edward Link erstellte wahrscheinlich den ersten kommerziellen Flugsimulator, der auch 1931 patentiert wurde. Dieser funktionierte elektromechanisch. Mit diesem Flugsimulator wurden sogar Piloten des US-Militärs trainiert und ausgebildet.



Abbildung 4: Der Link Trainer

Bildquelle: <https://www.vrs.org.uk/images/link-trainer-1.jpg>

1950 - Die Sensorama von Morton Heilig

Der Kameramann Morton Heilig entwickelte in der Mitte der 50er Jahre die Sensorama. Die Sensorama ist ein Arcade-Theater-Kabinett, das alle Sinne anregen soll, sie verfügt über Stereo-Lautsprecher, eine stereoskopisches 3D-Display, Ventilatoren, einen Vibrationsstuhl und es soll auch in die Lage sein, Geruch auszuschütten. Für die Sensorama wurden sechs Kurzfilme produziert. In der folgenden Illustration ist die Sensorama zu sehen.



Abbildung 5: Die Sensorama von Morton Heilig (nachgezeichnet)

Bildquelle:

<https://www.vrs.org.uk/wp-content/uploads/2015/12/sensorama2.jpg>

Mit freundlicher Genehmigung von Viktoria Schäfer

1930 - Science-Fiction-Geschichte sagt VR vorher

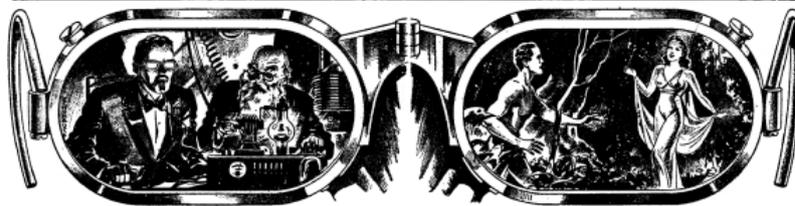
Der Schriftsteller Stanley G. Weinbaum schrieb eine Geschichte, *Pygmalion's Spectacles*, in der man durch ein Brillenglas eine fiktive Welt erleben konnte. Der Träger konnte in dieser Welt sogar Geruch und Geschmack empfinden, auch hatte er die Möglichkeit mit Gegenständen zu interagieren. Weinbaum beschreibt die Erfahrung für die Brillenträger als unheimlich. Weinbaum ist zu einem wahren Visionär des Gebietes geworden [Thep00].

PYGMALION'S SPECTACLES

By **STANLEY G. WEINBAUM**

Author of "The Black Flame," "A Martian Odyssey," etc.

© 1935 by Continental Publications, Inc.



Unbelieving, still gripping the arms of that unseen chair, Don was staring at a forest

Abbildung 6: Titelbild des Buches *Pygmalion's Spectacles*

Bildquelle: <http://www.gutenberg.org/files/22893/22893-h/22893-h.htm>

1960 - Das erste VR Head Mounted Display

1960 erfand Morton Heiligs die *telesphere mask*. Diese war das erste Vorzeigebild für das heutige Head Mounted Display (HMD). Allerdings hatte die *telesphere mask* keine Bewegungsverfolgung, doch sie stellte eine stereoskopische 3D-Umgebung mit Weitblick und mit Stereo-Ton zur Verfügung.

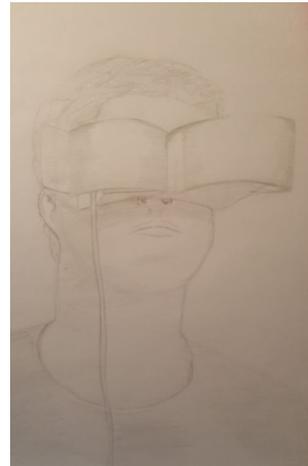


Abbildung 5: Telesphere Mask
(nachgezeichnet)

Bildquelle:

<https://www.vrs.org.uk/wp-content/uploads/2015/12/telesphere-mask.jpg>

Mit freundlicher
Genehmigung von Viktoria
Schäfer

1961 - Headsight: Erste HMD mit Bewegungsverfolgung

Im Jahr 1961 entwickelten zwei Ingenieure, Comeau und Bryan, den Vorläufer des heutigen HMD. Das Headsight war ausgestattet mit einem Videobildschirm für jedes Auge und einem magnetischen Bewegungsverfolgungssystem, welches mit einer geschlossenen Kreislaufkamera verbunden war. Das Headsight wurde für das Militär entwickelt und diente dazu eine immersive Fernbetrachtung bieten zu können, um mit gefährliche Situationen besser umgehen zu lernen. Es war sicherlich der erste evolutionäre Schritt in der Entwicklung des VR HMD, jedoch fehlte hier noch die Schnittstelle zu einem Computer, der eine virtuelle Welt generieren könnte.

1965 - Das ultimative Display von Ivan Sutherland

Sutherland schrieb das *Ultimate Display*-Konzept, in dem man eine Simulation nicht mehr von der Realität unterscheiden könne. Das Konzept beinhaltet drei wichtige Punkte.

1. Eine virtuelle Welt, die durch ein HMD betrachtet werden kann, erweitert mit einem 3D-Sound-System, sowie einer realistischen taktilen Rückmeldung.
2. Computer-Hardware zur Generierung einer virtuellen Welt und eine Aufrechterhaltung dieser Welt in Echtzeit.
3. Das Interagieren mit Objekten auf einer realistischen Weise.

Laut dem Buch *Virtual und Augmented Reality (VR/AR)* ist genau hier der Beginn der Geschichte der VR [DBGJ13].

1968 - Das Schwert von Damokles (Sword of Damocles)

Ivan Sutherland und sein Student Bob Sproull entwickelten 1968 das erste VR/AR HMD, das auch eine Schnittstelle zu einem Computer hatte. Jedoch war das Gerät sehr groß und für die Nutzer beängstigend: Es war einem Benutzer schlicht nicht zumutbar, da keinerlei Tragekomfort gewährleistet war. Der Benutzer musste in das Gerät geschnallt werden und die grafische Darstellung bestand aus einem sehr primitiven Drahtgittermodell, Räumen und Objekten.

1969 - Künstliche Realität (Artificial Reality)

Myron Kruegere entwickelte eine Serie von Experimenten, bei denen die virtuelle Umgebung auf die Menschen reagiert. Mit seinen Projekten *GLOWFLOW*, *METAPLAY* und *PSYCHIC SPACE* erzielte er Fortschritte in der VR-Forschung. Daraus resultierte die *VIDEOPLACE*-Technologie. Damit war es möglich, dass Menschen in einer virtuellen Welt miteinander kommunizieren konnten.

1987 - Der Name der virtuellen Realität wurde geboren

Nach der jahrelangen Forschung in der VR war der Begriff VR immer noch nicht angekommen, doch das änderte sich 1987, als Jaron Lanier, Gründer des visuellen Programmierlabors (VPL), den Begriff „virtuelle Realität“ prägte.

Durch das VPL wurde das *EyePhone* und der *Dataglove* ins Leben gerufen. Das ist ein HMD in Kombination mit einem Datenhandschuh.



Abbildung 6: EyePhone und der Dataglove
Bildquelle: <https://www.vrs.org.uk/images/VPL-eyephone-glove.jpg>

1991 - Virtuality Group Arcade Machines

1991 wurden VR-Geräte für die Öffentlichkeit zugänglich. Es wurden eine Reihe von Arcade-Spielen herausgebracht, die über bestimmte Maschinen und eine VR-Brille gespielt werden konnten. Manche Einheiten wurden sogar auf ein Multiplayer-Spielerlebnis vernetzt.



Abbildung 7: Arcade Machines (nachgezeichnet)

Bildquelle: <https://www.vrs.org.uk/wp-content/uploads/2015/12/virtuality.jpg>

Mit freundlicher Genehmigung von Viktoria Schäfer.

1993 - SEGA kündigt neue VR-Brille an

An der *Consumer Electronics Show* kündigte SEGA ein VR-Headset für die Spielekonsole *Sega Genesis* an. Für das VR-Gerät wurden vier Spiele entwickelt, doch leider kam die Entwicklung des Gerätes nie über einen Prototyp hinaus, was ein großer Flop für Sega war.



Abbildung 8: SEGAs VR-Brille (nachgezeichnet)

Bildquelle:

<https://www.vrs.org.uk/images/sega-vr.jpg>

Mit freundlicher Genehmigung von Viktoria Schäfer.

1995 - Nintendo Virtual Boy

Auch bekannt als VR-32, war sie eine 3D-Gaming-Konsole. Sie konnte 3D-Grafiken darstellen und wurde zuerst in Japan und dann in Nordamerika auf den Markt angeboten. Leider war das Unterfangen ein kommerzielles Versagen. Der Mangel an Farben in der Grafik kam nicht gut an: Die Spiele wurden nur in zwei Farben dargestellt, rot und schwarz. Die Konsole war unbequem und die Produktion wurde im darauffolgenden Jahr eingestellt.

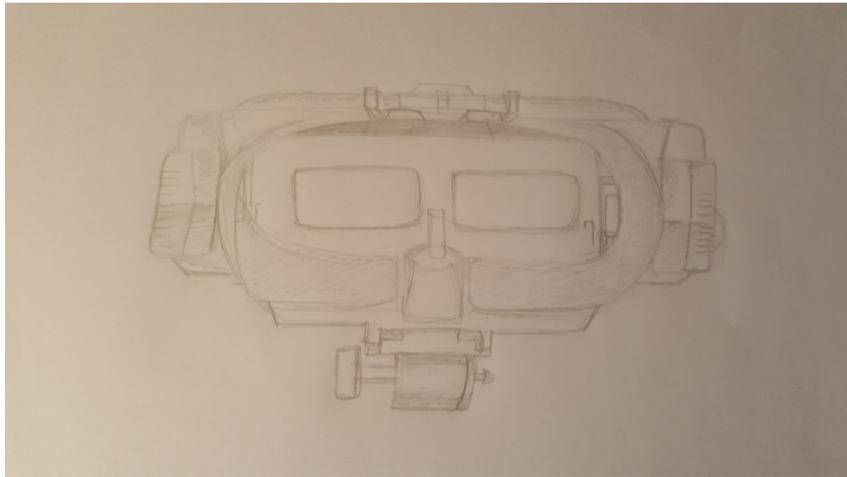


Abbildung 9: Nintendo Virtual Boy (nachgezeichnet)

Bildquelle: <https://www.vrs.org.uk/images/virtual-boy-eyes.jpg>

Mit freundlicher Genehmigung von Viktoria Schäfer.

Virtuelle Realität im 21. Jahrhundert

In den letzten Jahren wurden rasche Fortschritte in der Entwicklung von VR erzielt. Die Hardware ist immer leistungsstärker geworden. Durch die High-Density-Displays von neuen Smartphones und die leistungsstarke Hardware entstand eine neue Generation von leichten und praktischen VR-Geräten. Im Jahr 2014 machte Facebook einen großen Schritt und kaufte das Startup Unternehmen *Oculus VR* für die beträchtliche Summe von 2 Milliarden US-Dollar auf, das ein VR-Gerät mit dem Namen *Oculus Rift* entwickelte. Die Videospieleindustrie hat an der Entwicklung von VR-Geräten stark mitgewirkt. Google brachte zum Beispiel das *Google Cardboard* auf den Markt und Samsung das *Gear VR*. Bis zum heutigen Tag haben sich einige VR-Geräte etabliert und es wurden auch schon viele Videospiele dafür entwickelt.

Durch die folgende Tabelle soll an dieser Stelle der heutige Technologiestand der VR-Geräte aufgezeigt werden:

[Hist00][Sowo16]

Name:	The Rift	HTC Vive	Playstation VR	Gear VR	Cardboard
Hersteller:	Oculus VR	HTC	Sony	Samsung	Google
Auflösung/Pixeldichte:	2160 x 1200 / ca. 456 ppi	2160 x 1200	1920 x 1080 / ca. 386 ppi	2560 x 1440	!
Auflösung pro Auge:	1200 x 1080	1200 x 1080	960 x 1080	1280 x 1440	!
Framerate:	90 Hz	90 Hz	120 Hz	60 Hz	!
Sichtfeld (diagonal):	ca. 100°	ca. 110°	ca. 100°	ca. 101°	ca. 100°
Gewicht:	470 g (ohne Kabel)	555 g (ohne Kabel)	610 g (ohne Kabel)	280 g (ohne Kabel)	< 90 g

Abbildung 10: Vergleich der verschiedenen VR-Geräte
 Daten nach: Christoph Spinger
 Quelle: <http://www.vrnerds.de/vr-brillen-vergleich/>

Die weitere Entwicklung der VR-Geräte geht zurzeit in die Richtung, dass die Auflösung der Displays höher wird. Aus den Test-Erfahrungen des Autors ist die heutige Auflösung der meisten VR-Geräte zu gering für eine besonders hohe Immersion. Jedoch braucht eine höhere Auflösung auch eine leistungsstärkere Hardware.

1.5 Struktur der Arbeit

Die sechs Kapitel dieser Abschlussarbeit sind folgendermaßen aufgebaut:

Das erste Kapitel ist die Einleitung, die dem Leser die Problemstellung schildern soll, sowie die Zielsetzung für diese Abschlussarbeit. Im zweiten Kapitel werden die notwendigen Grundlagen vorgestellt, unter anderem was die Cybersickness ist und deren medizinische Ursachen. Zudem wird vorgestellt, was für verschiedene Möglichkeiten es gibt sich im virtuellen Raum fortzubewegen. Das dritte Kapitel beschreibt die Konzeption, in der die Anforderungen definiert werden, die diese Abschlussarbeit am Ende erfüllen soll. Im Kapitel drei wird auch ein Entwurf angefertigt, der das weitere Vorgehen beschreibt. Das vierte Kapitel, *Umsetzung/Implementierung*, beschreibt die Umsetzung der Konzeption. Hier wird das zu implementierende System modelliert und schließlich das Umgesetzte dokumentiert. In fünften Kapitel findet die Auswertung der Studie statt. Im sechsten Kapitel finden sich ein Fazit zur Arbeit und ein Ausblick sowohl zur Weiterentwicklung von VR als auch zu Methoden zur Vermeidung von Cybersickness.

2 Grundlagen

2.1 Virtuelle Realität und Cybersickness

2.1.1 Ursachenanalyse zur Cybersickness

Eine häufige Ursache von Cybersickness ist, wenn man dem visuellen Sinn eine Bewegung vortäuscht, die der Wahrnehmung von Körperbewegung und Gleichgewichtssinn, also der vestibulär-propriozeptiven Information, nicht exakt entspricht. Mit anderen Worten: Das Gehirn nimmt an man befände sich in einer Bewegung, jedoch sitzt man z. B. auf einem Stuhl. Dies kann zu Übelkeit, erhöhtem Speichelfluss, Benommenheit, Schwindelgefühl und sogar zu Erbrechen führen. Eine weitere Ursache für Cybersickness ist die verzögerte oder asynchrone Übertragung des Bildes auf echte Bewegungen des Kopfes, also dass das System eine zu hohe Latenz aufweist. Auch eine unscharfe Darstellung kann die Symptome auslösen. [vgl. DBGJ13, S.56]

2.1.2 Symptome von Cybersickness

Benutzer von HMDs, die eine virtuelle Welt besuchen, berichten von Kopfschmerzen, sowie Übelkeit, Müdigkeit und Apathie. Auch kann eine gewisse Bewegungsinstabilität, z. B. mit Stolpern auftreten, sogar das Erbrechen ist möglich [Vr-k16].

2.1.3 Grundlagen zur Verringerung von Cybersickness

Symptome können reduziert werden, indem z. B. dafür gesorgt wird, dass der Widerspruch zwischen den simulierten und den tatsächlich empfundenen Bewegungen neutralisiert wird. Dies kann z. B. dadurch erreicht werden, indem man die Latenz zwischen virtueller und realer Welt möglichst gering hält. Es wurde herausgefunden, dass die Symptome meist erst nach ca. 10 Minuten auftreten, jedoch können die Symptome auch viel schneller auftreten, wenn zum Beispiel extreme Bewegungen in der Anwendung stattfinden.

Es ist sinnvoll den Nutzer langsam an das virtuelle Erlebnis zu gewöhnen. Es generell unter 10 Minuten zu halten, würde die Nutzerfreiheit empfindlich einschränken. [vgl. DBGJ13, S.56]

Es gibt noch viele weitere Methoden, wie man das Cybersicknessproblem verringern kann. So kann zum Beispiel eine virtuelle Nase die Cybersickness reduzieren. [Purd00]
Grundsätzlich ist es wichtig, den Menschen glauben zu lassen, er befinde sich mit seinem eigenen Körper in einer virtuellen Welt. Zum Beispiel kann man auch sichtbare Beine implementieren, falls man nach unten schaut. Zudem kann man die Bewegungsmethoden in einer virtuellen Welt unterschiedlich implementieren, was sich auch auf die Cybersickness auswirkt. Auf die Bewegungsmethoden möchte ich im nächsten Kapitel näher eingehen.

2.2 Bewegung in einer virtuellen Welt

Ein virtuelles Erlebnis ist sicherlich kaum vorstellbar ohne eine Bewegungsmöglichkeit. Vor allem in der Spieleindustrie ist eine Implementierung von Bewegungsformen essenziell, auch wenn es nur eine Nebenrolle im eigentlichen Videospiel spielt. Daher wurden viele Konzepte zu diesem Thema entwickelt und bereits in vielen vorhandenen Videospielen etabliert. In diesem Kapitel soll weiter auf die einzelnen Bewegungsformen eingegangen werden. Zusätzlich sollen diese analysiert werden. Es gibt signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Bewegungsformen. Außerdem gibt es zum einen die *reine* Bewegungsform und zum anderen *eine Hilfestellung* für eine Bewegungsform, wie zum Beispiel die virtuelle Nase oder andere Hilfsmittel, die in den Unterpunkten dieses Kapitels beschrieben werden. Jedoch hängen die beiden Formen oft sehr eng miteinander zusammen.

2.2.1 Artificial Locomotion (künstliche Fortbewegung)

Bei diesem Begriff handelt es sich um die klassische Fortbewegung, die in den meisten Videospielen und seit langer Zeit etabliert ist. Man hält einen Knopf gedrückt und bewegt sich dadurch kontinuierlich in eine bestimmte Richtung, meist je nachdem welchen Knopf man drückt. Die Beschleunigungsphasen sollten möglichst kurz ausfallen, auch der Spieler sollte sich mit gleicher Geschwindigkeit fortbewegen, damit die Cybersickness nicht unnötig provoziert wird. Eine Hilfsmethode dazu ist, bei einer Beschleunigung das Sichtfeld künstlich einzuschränken. Das heißt je schneller man wird, desto kleiner wird das Sichtfeld. Man hat herausgefunden, dass dies die Cybersickness verringert. [Bewe00][AjSt00]

2.2.2 Reoriented World (neu ausgerichtete Welt)

In dieser Bewegungsform geht es darum, dem Spieler zu ermöglichen, die gesamte Welt um sich herum zu bewegen. Da sich der Spieler selbst nicht bewegt, entsteht durch diese Bewegungsmethode keine Cybersickness, da keine ambivalenten Sinneseindrücke zwischen dem Auge und dem Gleichgewichtssinn verursacht werden.

2.2.3 Point & Teleport

Mit dieser Bewegungstechnik hat der Benutzer die Möglichkeit sich, z. B. mit Tastatur und Maus oder Joystick, zu einem beliebigen sichtbaren Punkt in einer virtuellen Welt zu teleportieren. Das kann zum Beispiel durch einen direkten Lichtstrahl dargestellt werden. Ein großer Vorteil dieser Darstellung ist, dass die Cybersickness nicht Eintritt, weil keine sichtbare Translationsbewegung vorhanden ist. Eine Translationsbewegung ist eine Bewegung, bei der alle Punkte eines physikalischen Systems, z. B. eines starren Körpers, dieselbe Verschiebung erfahren. [vgl. Tran15]

Man kann Teleportation auch so implementieren, dass man die Möglichkeit hat, seine Blickrichtung für den Zeitpunkt nach der Teleportation auszurichten. Es hat sich jedoch gezeigt, dass dies die Bedienung erheblich kompliziert.



Abbildung 11: Point & Teleport-Bewegungsmethode,
mit freundlicher Genehmigung von Viktoria Schäfer.

2.2.4 Surrogate Vehicle (Ersatzfahrzeug)

Hierbei handelt es sich um eine Hilfsmethode für eine Fortbewegung. Man fand heraus, dass die Cybersickness reduziert wird, wenn ein künstliches Cockpit einblendet wird. Sowas kennt man zum Beispiel aus Flugzeugsimulationsspielen, Weltraum-Simulationen oder Rennspielen. Man kann z. B. auch Cockpits als dünne Rahmen in sogenannter *artificial locomotion* einblenden. Diese Methode wurde auch im Spiel *Resident Evil 7* implementiert und soll die Cybersickness reduzieren. [Bewe00][Sowo16]



Abbildung 12: Screenshot des implementierten Cockpits – Darstellung einer von Autor erstellten Test-Software

2.2.5 Motion Triggered (Bewegungsauslöser)

Hier geht es um eine reine Bewegungsmethode, bei der man für die Fortbewegung seinen physikalischen Körper bewegen muss, um weiter zu kommen. Ein schönes Beispiel ist das Videospiel von der Firma Crytek *The Climb*. Man muss reale Bewegungen durchführen um in der virtuellen Welt zu klettern. Diese Bewegungsform kann die Cybersickness vermindern. [Bewe00]

2.2.6 Redirected Walking (umgeleitetes Gehen)

Dies ist eine Bewegungsmethode, in der man reale Bewegungen in VR darstellt. Die Bewegungen können verzerrt werden, z. B. kann man die reale Drehung von 180 Grad in VR auf 90 Grad einstellen. Somit läuft der Spieler in der VR um die Ecke und im realen Raum geht der Spieler wieder zurück. Natürlich könnte man auch einen realen Meter auf drei Meter verzerren, womit man jedoch verstärkt Cybersickness auslösen würde, da die natürlichen Bewegungen nicht mehr den virtuellen Bewegungen entsprechen. Man kann den Spieler auch auf einer Kreisbahn laufen lassen, obwohl der Spieler in der VR geradeaus läuft, jedoch braucht man dafür einen Kreisbahn-Radius von mindestens 20 Metern, damit der Spieler seine Kreisbewegung nicht bemerkt. Eine weitere Möglichkeit des *redirected walking* ist es die Raumstruktur dynamisch im Rücken des Spielers zu ändern, man kann z. B. Türen anders anordnen. So eine surreale Änderung merken die Benutzer häufig nicht. Jedoch wäre es ein sehr aufwändiges Unterfangen und dadurch unter Umständen teuer und eignet sich deshalb für die konventionelle Spieleindustrie selbstverständlich nicht. Aber in Einzelfällen ist diese Methode durchaus möglich, wie es z. B. die Firma *escape game* vorgemacht hat [Malt00].

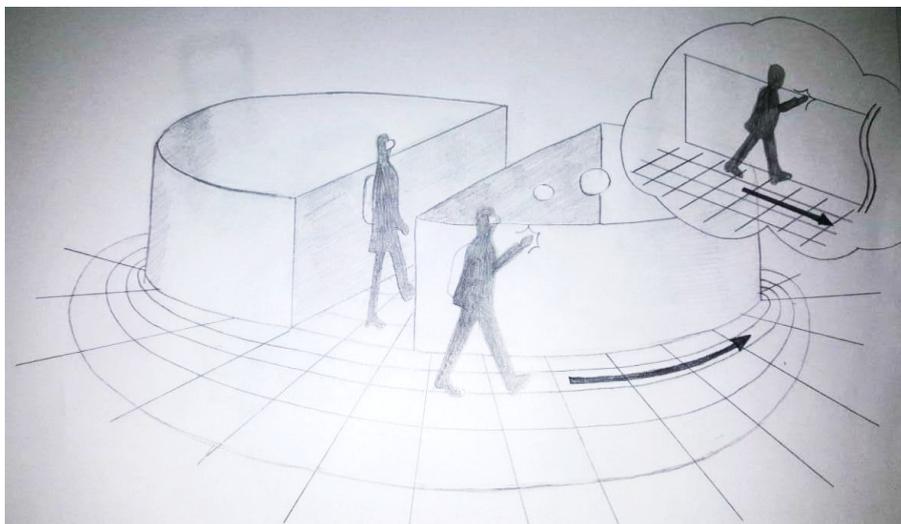


Abbildung 13: Umgeleitetes Gehen (nachgezeichnet)

Bildquelle: http://www.cyber.t.u-tokyo.ac.jp/content/img/project_photo/crossmodal_interface/wall-220@2x.jpg

Mit freundlicher Genehmigung von Viktoria Schäfer.

:

2.3 Medizinische Ursachen von Cybersickness

In diesem Kapitel wird ergründet warum Cybersickness bei den Menschen auftritt. Leider gibt es in der Literatur keinen festen Beweis dafür was genau die Ursache ist, jedoch gibt es einige interessante Theorien darüber, die hier vorgestellt werden sollen. Die Bewegungskrankheit selbst (Kinetose) an sich ist kein Problem der modernen Zeit, es gibt bereits viele Berichte aus der Vergangenheit über ihr Auftreten. So z. B. auch bei Napoleon, als er mit seinen Soldaten in einem Schiff unterwegs war. Die Kinetose ist keine pathologische Erkrankung, sondern eine physiologische Reaktion eines äußeren Reizes [Petr00].

2.3.1 Die Vergiftungs-Erkennungs Theorie (the poison theory)

Diese Theorie basiert darauf, dass der Körper die Signale, die aus dem Gehirn kommen, falsch interpretiert. Das Gehirn glaubt, dass der Organismus vergiftet wurde und initiiert ein altes Evolutionsprogramm, um das Gift aus dem Organismus herauszuholen. Da viele Gifte tatsächlich die gleiche Wirkung hervorrufen wie die Reisekrankheit, reagiert der Körper auf die gleiche Weise. Die Koordination der visuellen, vestibulären und anderen sensorischen Eingabesysteme nimmt an diesem Programm teil. Dies kann nicht die gesamte Erklärung für das Cybersicknessproblem sein, da es auch Leute gibt, bei denen Cybersickness überhaupt nicht auftritt [Petr00].

2.3.2 Die Sensorische Konflikt Theorie (the sensory conflict theory)

Bei dieser Theorie handelt es sich um die älteste, und zugleich hat diese Theorie auch die meiste Akzeptanz im VR Bereich. In mancher Hinsicht hat sie Ähnlichkeiten zu den anderen Theorien: Es kommt zu einem Konflikt zwischen den optischen und den Gleichgewichtssensoren des Körpers. Der Konflikt wird zum Beispiel dadurch ausgelöst, dass die Augen eine Bewegung wahrnehmen, die der Körper aber nicht erfassen kann. Viele Verbesserungen, die zum Beispiel an der Oculus Rift vorgenommen wurden, resultieren aus dieser Theorie [Petr00].

2.3.3 Die Posturale Instabilitätstheorie (the postural instability theory)

Bei einigen Krankheiten wird der Zustand einfach als Gleichgewichtsstörung bezeichnet. Diese Theorie wurde vor allem von Ricco und Stoffregen untersucht. Sie behaupten, dass die Menschen stets dafür sorgen möchten, dass eine Stabilität in ihrer Umwelt existiert. Posturale Stabilität ist definiert als der Zustand, in dem unkontrollierte Bewegungen der Wahrnehmungs- und Handlungssysteme minimiert werden. Ein Beispiel dafür wäre es, wenn man versucht auf Eis zu gehen. Man geht anders auf Eis als z. B. auf einer festen Straße. Das übliche Gehmuster funktioniert nicht auf dem Eis, bei so einen Versuch, würde man höchstwahrscheinlich hinfallen. Die Theorie besagt auch, dass die Instabilität eine Ursache für eine Bewegungskrankheit bzw. Cybersickness sein kann. Die Symptome werden durch die Dauer der Instabilität stärker. Ricco und Stoffregen behaupten auch, dass es mehrere Umweltsituationen gibt, die die Krankheitssymptome verursachen können, sie definieren vier Kategorien.

1. Niederfrequenzschwingung
2. Schwerelosigkeit
3. Änderung der Beziehung zwischen dem Gravitationskraft Vektor und der tragenden Oberfläche
4. Veränderte Genauigkeit

Für das Thema Cybersickness ist jedoch nur die letzte Kategorie, die veränderte Genauigkeit von Bedeutung. In virtuellen Umgebungen ist die Beschleunigung und Rotation nur optisch spezifiziert, jedoch können einige Menschen ihre Muskelkraft verwenden, um diesen Bewegungen standzuhalten. Daher entsteht eine posturale (Haltungs-) Instabilität, obwohl keine physische Auswirkung vorhanden ist. Somit ist diese Theorie das Gegenteil der sensorischen Konflikt Theorie (s.u.), weil die Autoren behaupten, dass der Sinneskonflikt nicht alle Faktoren erklärt, die zur Reisekrankheit führen [Petr00] [Thom97].

3 Konzeption

3.1 Anforderung

Es soll ein System konzipiert werden, in dem der Wirkungsgrad von Cybersickness analysiert und untersucht werden kann. Dazu soll es möglich sein, verschiedene Bewegungsformen sowie Hilfsmethoden für diese Bewegungsformen zu implementieren, die leicht auszutauschen sind, damit diese analysiert und miteinander verglichen werden können. Um Cybersickness zu neutralisieren, die von der technischen Seite entstehen kann, soll eine virtuelle Welt implementiert werden, die eine hohe Anzahl an Bildern pro Sekunde liefern kann. Es sind mindestens 60 Bilder pro Sekunde notwendig.

Indirekte notwendige Voraussetzungen sind:

- Zugang zu einem VR-Gerät
- Zugang zu einem leistungsstarken Rechner
 - Betriebssystem Windows 7 oder aktueller
 - Mindestens ein Prozessor, der die Oculus Rift unterstützt
 - Mindestens Grafikkarte Nvidia GTX 970

Direkte Anforderungen sind zu entwickeln:

- Virtuelle Umgebung:
 - Besteht aus mehreren schwebenden Inseln, die mit einander verbunden sind.
- Bewegungsmethoden
 - *Artificial Locomotion* (Künstliche Fortbewegung)
 - *Point & Teleport*
- Hilfsmethoden
 - *Dynamic Field-Of-View*
 - *Surrogate Vehicle* (Ersatzfahrzeug)
- Fragebogen zur Auswertung der Analyse

3.2 Entwurf

In diesen Unterpunkt wird aus der Anforderungen ein Entwurf abgeleitet.

3.2.1 Vision der virtuellen Welt

Die virtuelle Welt soll aus mehreren schwebenden Inseln bestehen, die mit einander verbunden sind. Um eine hohe Anzahl an Bildern pro Sekunde zu liefern, fällt die Entscheidung auf ein *Low Poly-Design*, da es heutzutage ein beliebter Stil ist und trotzdem keine hohe Rechnerleistung erfordert.



Abbildung 14: Vision der virtuellen Welt,
mit freundlicher Genehmigung von Alexander Sawadski.

3.2.2 Technologie

Für die konzipierte Welt braucht man sicherlich die passenden Technologien, um für schnelle Erfolge zu sorgen, daher soll hier herausgefunden werden, welche Technologien für dieses Konzept geeignet sind.

Engine

*Unity 3D*¹ ist eine Engine, die oft in einem wissenschaftlichen Kontext eingesetzt wird. Mit dieser Engine wurden auch diverse erfolgreiche Videospiele realisiert.

Unity 3D zeichnet sich für seine Einsteigerfreundlichkeit aus und zudem ist sie sehr gut dokumentiert. Die Community von *Unity 3D* ist sehr groß und bei Problemen findet man oft und schnell eine gute Hilfestellung. Daher fiel die Entscheidung auf *Unity 3D* [A_gu00].

Als Alternative stand die *Unreal Engine* zur Auswahl. Da die *Unreal Engine* auch frei bezogen werden kann und mit ihr auch diverse Videospieldprojekte umgesetzt wurden sind, eignet sie sich auch gut. Jedoch ist diese Engine um einiges komplexer und der Einstieg ist nicht so einfach wie in *Unity 3D*.

Programmiersprache

C# ist eine Programmiersprache, mit der man in *Unity 3D* programmieren kann, *Unity 3D* selbst wurde auch in *C#* implementiert, darum ist es nahliegend diese Programmiersprache zu benutzen. Es ist auch möglich in Unity mit *Javascript* zu programmieren, jedoch entschied sich der Autor für *C#*, da dies eine richtige Programmiersprache ist und keine Scriptsprache wie *Javascript*, somit hat man mit *C#* mehr Möglichkeiten und ist flexibler und damit auch auf der sicheren Seite. Zudem weist *C#* große Parallelen zu Java auf und da der Autor in der Vergangenheit ausführliche Erfahrungen in *Java* sammeln konnte, bietet es sich in diesem Fall an.

Tool zum Modellieren der Objekte

Blender ist ein Tool, mit dem man 3D Modelle modellieren kann. Diese Modelle können sehr einfach in *Unity 3D* eingebunden und eingesetzt werden, daher fiel die Entscheidung auf *Blender*.

¹https://unity3d.com/files/solutions/unityformobile/A_Guide_To_Moving_From_Internal_Game_Engine_Technology.pdf?utm_source=adopting-unity&utm_medium=top-cta

3.2.3 Kriterien für den Fragebogen

Im Kapitel 2 *Grundlagen* wurden die häufigsten Symptome der Cybersickness aufgezeigt. Auf Grund dieser Symptome wurde dieser Fragebogen konzipiert, der die drei folgenden Fragen definiert:

1. Ist Ihnen übel?
2. Haben Sie Kopfschmerzen?
3. Sind Sie ermüdet?

Die Antworten auf die Fragen können mit vier verschiedenen Werten angegeben werden: *gar nicht, etwas, mittel* und *sehr*. Auch beinhaltet der Fragebogen einen Abschnitt, der den Benutzern die Möglichkeit gibt ihre Erfahrungen zu den Veränderungen schriftlich mitzuteilen. Über ein Punktesystem werden bei der Auswertung Summen gebildet: Je höher die Anzahl der Punkte ist, desto schlechter ist das Ergebnis, sprich desto stärker wurde Cybersickness ausgelöst.

Bei der Konzeption des Fragebogens wurde darauf Wert gelegt, sich an psychologische Richtlinien zu achten wie:

1. Leicht verständliche Fragen verwenden
2. Kurze Formulierung der Fragen
3. Keine überflüssigen Fragen
4. Keine Suggestivfragen verwenden
5. Sinnvolle Struktur des Fragebogens[Pdwi00]

3.3 Definition des Tests für die Bewegung und Hilfsmethoden

Alle Testszenarien, die für die Bewegungen und Hilfsmethoden ausgeführt werden, finden unter denselben Voraussetzungen statt, damit ein korrekter Vergleich möglich ist.

3.3.1 Testszenario

Der Proband wird gebeten durch die virtuelle Welt zu laufen und dabei Gegenstände, z. B. Goldbarren, einzusammeln. Es gibt eine bestimmte Anzahl an Gegenständen, die eingesammelt werden sollen. Die bereits gesammelten Gegenstände werden dem Probanden immer angezeigt, damit er weiß, wie viele er schon eingesammelt hat und wie viele ihm noch fehlen. Das hat den Zweck, dass sich der Proband in der virtuellen Welt nicht langweilt und „etwas zu tun hat“. Das Testszenario wird auf 5 Minuten begrenzt, da das Spiel sonst für den Probanden ermüdend und langweilig sein würde. Da Cybersickness bei einigen Menschen erst nach 10 Minuten auftritt, gelten die Ergebnisse nur für VR-Aufenthalte bis zu 5 Minuten. Tendenzen lassen sich aber unter Umständen erkennen (siehe Kapitel 5 *Evaluation*). Um den Umfang dieser Arbeit nicht zu sehr auszudehnen und die virtuelle Umgebung programmierbar zu halten wurde auf längere Tests und komplexere Spielideen verzichtet. Da im Vorfeld klar war, dass die Probanden unterschiedlich schnell sein würden, wurde ein Mechanismus eingebaut, der so viele Objekte generiert, dass es in der Zeit von 5 Minuten nicht möglich ist, alle Objekte einzusammeln. Somit hat jeder Proband genug zu tun.

4 Umsetzung/Implementierung

In diesem Kapitel wird die Umsetzung der erstellten Konzeption beschrieben und die Zielsetzung implementiert.

4.1 Modellierung der Grundstruktur

Die Entwicklung soll über Kompositionen und einzelne Scripte gelöst werden. Klassen benutzen andere Klassen als Komposition um eine dynamische virtuelle Welt zu generieren. Die Bewegungsmethoden und deren Hilfsmethoden werden als einzelne Scripte implementiert und als Komponenten eingebunden und ausgeführt.



Abbildung 15: Unified Modeling Language (UML) der Grundstruktur

GameController

Diese Komponente ist dafür zuständig die gesamte 3D-Welt zu initialisieren. Der *GameController* benutzt über eine Aggregation das *WorldGenerator*-Objekt und bedient sich seiner Methoden.

Über die private Methode *intializeWorld* wird auf das *WorldGenerator*-Objekt zugegriffen und die Methode *generateChampagneIsland* vom Aggregations-Objekt *WorldGenerator* aufgerufen, mit all seinen Parametern, die für eine Generierung der Welt notwendig sind. Die *intializeWorld*-Methode wird in der Start-Methode vom *GameController* aufgerufen.

WorldGenerator

Diese Komponente benutzt intern das *SingleObjectGenerator*-Objekt als Aggregation und benutzt seine Methoden. Die Komponente *WorldGenerator* gibt nur eine einzige Methode nach außen: die *generateChampagneIsland*-Methode, die vom *GameController* benutzt wird. Die Methode gibt fünf Parameter vor: *X*, *Y*, *Z*, *TreesPerIsland*, *CloudPerIsland*.

Die ersten drei Parameter sind für die Startpositionierung der Welt zuständig.

Der vierte Parameter besagt, wie viele Bäume auf eine Insel generiert werden sollen und der fünfte Parameter ist dafür zuständig, die Anzahl der Wolken für eine Insel zu generieren.

SingleObjectGenerator

Diese Komponente übernimmt die Aufgabe, einzelne von Blender modellierte Modelle in diese virtuelle Umgebung zu generieren.

Diese Komponente gibt vier Methoden nach außen und wird von der *WorldGenerator*-Komponente verwendet.

SingleObjectGenerator ist in der Lage einzelne Inseln zu generieren, sowie Bäume, Wolken und Stufen. Die Stufen sind dafür gedacht, einzelne Inseln miteinander zu verbinden.

4.2 Implementierung der Bewegung und Hilfsmethoden

Die Bewegungen/Hilfsmethoden werden als Utility-Klassen implementiert und der aktuellen Kamera in Unity als Komponente hinzugefügt. Somit kann sich der Spieler ganz einfach die beliebige Bewegung/Hilfsmethode per Mausklick einstellen.

4.2.1 Artificial Locomotion (Künstliche Fortbewegung)

Die künstliche Fortbewegung wird als eine Klasse implementiert und kann durch *Add Component* (eine Unity-Funktion) einem beliebigen Objekt zugewiesen werden. Somit wird dieses Objekt steuerbar. In diesem Fall wird der Main-Kamera die Klasse *Artificial Locomotion* hinzugefügt.

Steuerung:

- „w“: Objektbewegung nach vorne
- „s“: Objektbewegung nach hinten
- „a“: Objektbewegung nach links
- „d“ Objektbewegung nach rechts
- „q“ Objektrotation nach links
- „e“ Objektrotation nach rechts
- „Shift-Taste“, + „w“, „s“, „a“ oder „d“ Bewegungsgeschwindigkeit wird erhöht

Implementierung der Bewegung:

Die Klasse *ArtificialLocomotion* folgt den Tasteneingaben, die unter dem Punkt **Steuerung** definiert wurden.

Ein Beispiel aus dem Code für die Beschleunigung nach vorne:

```
move += transform.forward * Time.deltaTime * movementSpeed
```

Diese Formel sagt folgendes aus: Das Objekt wird in die Richtung vorwärts bewegt.

Setzen wir *movementSpeed* = 10, bedeutet es folgendes: Der Spieler bewegt sich mit 10m pro Sekunde nach vorne. So kann die Bewegungsgeschwindigkeit variabel gehalten werden: Aktuell bewegt sich der Spieler also in der virtuellen Welt mit einer Schrittgeschwindigkeit von 2m/s. Fängt er an zu sprinten, erreicht er eine Geschwindigkeit von 10m/s.

Ein professioneller Sprinter läuft 100 Meter in ca. 9-10 Sekunden, das ist eine Geschwindigkeit von 9-10m/s oder 32,4-36km/h. Somit ist das oben genannte Beispiel 10m pro Sekunde nicht unrealistisch. Eine Ausdauer, also ein schwächer und langsamer werden der Spielfigur ist in der Implementierung nicht vorhanden, kann aber bei Bedarf um diese erweitert werden. Die Folge der jetzigen Einstellungen ist, dass der Spieler unendlich lang sprinten kann.

Implementierung der Beschleunigung:

Beim Festhalten der Shift-Taste in Kombination mit der Taste „w“ findet eine Beschleunigung statt. Im Code wird überprüft, ob die aktuelle Geschwindigkeit kleiner ist als die Maximale Geschwindigkeit. Wenn das der Fall ist, wird der aktuellen Geschwindigkeit 0,1m pro Sekunde hinzuaddiert.

Hier bedeutet das, dass je schneller die CPU arbeitet, desto schneller findet die Beschleunigung statt. Natürlich könnte man auch eine Beschleunigung implementieren, die auf jedem Computer gleichartig funktioniert, in diesem Fall war es einfacher und nicht notwendig für den Test auf einem einzigen Rechner.

4.2.2 Point & Teleport

Point & Teleport wird als eine Klasse implementiert, genauso wie *Artificial Locomotion* und kann auch den Kamera Objekt für Add Component(Unity Funktion) hinzugefügt werden. Es wird visuell ein Strahl projiziert, der zur Orientierungshilfe der Teleportation dient.

Steuerung:

- „q“ Objektrotation nach links
- „e“ Objektrotation nach rechts
- Leertaste festhalten -> Strahl wird zu einem Punkt projiziert
 - Loslassen der Leertaste -> man wird zu den Punkt teleportiert

Implementierung des Laserstrahls:

Bei der Implementierung des Laserstrahls wird die Klasse LineRender von Unity verwendet. Bevor LineRender zum Einsatz kommt, sollten jedoch vorerst zwei Dinge ermittelt werden, zu einem die aktuelle Position, auf der man sich gerade befindet und zu anderen die Position, zu der man sich teleportieren möchte. Hat man diese zwei Vektoren, kann man mit der Hilfe von LineRender eine Linie zwischen den zwei Vektoren zeichnen lassen. Sollte später mal ein Bogen statt einem Strahl gewünscht sein, kann der Strahl vom Start- zum Zielpunkt in viele Segmente unterteilt werden: Je mehr Segmente ein Strahl hat, desto genauer kann ein Bogen gerendert werden, zum Beispiel mit der Mathematischen Formel für eine Parabel.

$$f(x) = ax^2 + bx + c$$

Zurzeit wurde der Segment-Anteil im Code auf 2 definiert da ein gerader Strahl nicht mehr Segmente benötigt. Über diese Segmente kann nun iteriert und durch mathematische Formeln kann eine Kurve erzeugt werden. In der Regel implementiert man eine Kurve als einen Wurf, wie man z. B. einen Stein werfen würde. Einfachheitshalber könnte auch die Cosinus-Funktion verwendet werden, mit der man wiederum eine Kurve erhält.

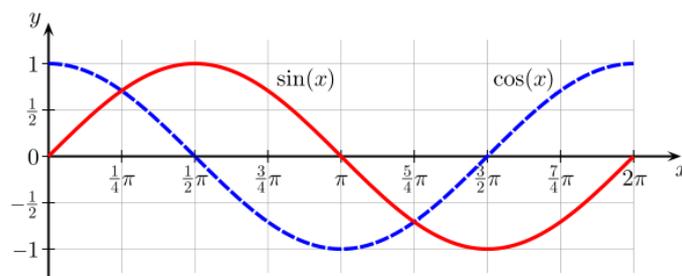


Abbildung 16: Darstellung von cosinus und sinus

Bildquelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Sinus_und_Kosinus#/media/File:Sine_cosine_one_period.svg

Wenn die Entfernung von Start und Zielpunkt weit voneinander entfernt sind, sieht man hier jedoch die gesamte Cosinuskurve.

Implementierung der Laserscheibe

Auch die Laserscheibe wird mit Hilfe von LineRender implementiert. Dafür wird die Endposition des Lasers benötigt und eine Position kurz davor. Dann wird zwischen den Positionen ein ganz dicker Strahl projiziert, was den anscheinert erweckt, als sehe man eine Scheibe in Richtung des Laserstrahls.

```
89 // Method initiate a teleport to a other object
90 private void doTeleport() {
91     // initiatze teleport by space
92     if ( Input.GetKeyUp(this.TELEPORT_KEY) ) {
93         if (getLookedAtObject()) {
94             teleportToLookAt ();
95         }
96     }
97 }
```

Abbildung 17: Implementierung der Teleportierung,
Screenshot aus dem Quelltext

Nach dem Loslassen der Leertaste (Zeile 92) wird der Code aufgerufen, der für die Teleportation sorgen soll. Bevor die Teleportation tatsächlich stattfindet, wird vorher die Methode *getLookedAtObject()* (Zeile 93) aufgerufen.

```
114 // Method return true, if the mouse position is on a game object, else return false
115 private bool getLookedAtObject() {
116     Ray ray = Camera.main.ScreenPointToRay(Input.mousePosition);
117     RaycastHit hit;
118
119     if (Physics.Raycast(ray, out hit, maxTeleportDistance)) {
120         return true;
121     }
122     return false;
123 }
```

Abbildung 18: Implementierung einer Hilfsmethode für die Teleportmethode,
Screenshot aus dem Quelltext

Diese Methode überprüft, ob der Mauszeiger sich auf einem Game-Objekt befindet (Zeile 119). Befindet sich der Mauszeiger auf einem Game-Objekt und die maximale Teleportationsentfernung ist nicht überschritten, wird ein *wahr (true)* zurückgegeben und die Ausführung der Methode *teleportToLookAt()* wird ausgeführt, die dann die eigentliche Teleportation vornimmt.

```
99 // Method to teleport a camera to a other game object with a sound
100 private void teleportToLookAt() {
101
102     // teleport a littlebit for the object
103     Vector3 pos = getMousePositionAtLookedObject ();
104
105     // teleport a littlebit heighter them object
106     Vector3 modPos = new Vector3 (pos.x, pos.y + 1f, pos.z);
107     transform.position = modPos;
108
109     if (audiClip != null) {
110         AudioSource.PlayClipAtPoint (audiClip, transform.position);
111     }
112 }
```

Abbildung 19: Implementierung einer Hilfsmethode für die Teleportmethode,
Screenshot aus dem Quelltext

In der `teleportToLookAt()`-Methode ermittelt man zuerst wohin der Mauszeiger hinzeigt (Zeile 103). Somit findet man den Endvektor heraus - den Punkt, an den man sich teleportieren möchte. Im nächsten Schritt, wird die Endposition etwas modifiziert (Zeile 106). Die y-Achse wird etwas höher gesetzt. Das wird getan, weil in der Praxis der Fall entstand, dass sich das zu teleportierende Objekt in das Endobjekt hinein teleportiert hat. Nun kann die aktuelle Vektorposition mit der ermittelten modifizierten Vektorposition gleichgesetzt werden. Somit findet hier die eigentliche Teleportation statt (Zeile 107). Anschließend wird noch ein Sound abgespielt, falls eine Audio-Datei im Projekt hinterlegt wurde (Zeile 109-111).

```
229 // Method get mouse position, if the user trigger a click
230 private Vector3 getMousePositionAtLookedObject() {
231
232     // define the current mouse position
233     var mousePos = Input.mousePosition;
234
235     // define mouse position on a object
236     Ray ray = Camera.main.ScreenPointToRay(mousePos);
237
238     RaycastHit hit;
239     Physics.Raycast(ray, out hit, MAX_ALLOWED_TO_LOOK);
240     return hit.point;
241 }
```

Abbildung 20: Methode zum Ermitteln des Endvektors,
Screenshot aus dem Quelltext

In Zeile 233 wird die aktuelle Position des Mauszeigers in der Variablen *mousePos* abgespeichert. Die Variable *mousePos* wird der Unity-Methode *ScreenPointToRay(mousePos)* über den Parameter übergeben (Zeile 236) und man erhält daraus ein Ray-Objekt, was in der Variable *ray* zwischengespeichert wird. *Ray* kann man sich als einen Strahl vorstellen, der einen Anfang und einen Endpunkt definiert. Aus diesem *Ray* kann mit Hilfe von *Physics.Raycast(...)* der Vektor-Endpunkt ermittelt werden, wohin der Mauszeiger zeigt. Dies wird in Zeile 239 erledigt: *Physics.Raycast* erwartet drei Parameter. Als erstes einen *Ray*, als zweites einen *RaycastHit*, der leer sein kann und als drittes die maximale Entfernung des zu ermittelnden Objektes. Nach dem Aufruf *Physics.Raycast* wurde die *hit*-Variable definiert, nach dem sie in Zeile 238 deklariert wird, *hit.point* gibt dann den Endpunkt-Vektor zurück und somit ist der Endpunkt ermittelt.

4.2.3 *Dynamic Field-Of-View*

Die Hilfsmethode *Dynamic Field-Of-View* wurde als Shader implementiert, mit der Programmiersprache *ShaderLab*, was eine direkte Schnittstelle zur C#/Unity3D bietet und somit mit C# angesprochen werden kann. Mit *ShaderLab* können die Grafikkarten-Shader direkt angesprochen werden. Das macht die Implementierung mit Shader äußerst performant. Grafikkarten-Shader sind kleine Recheneinheiten in einer Grafikkarte, die zum Beispiel für das Erzeugen von 3D-Effekten genutzt werden können [Shad17].

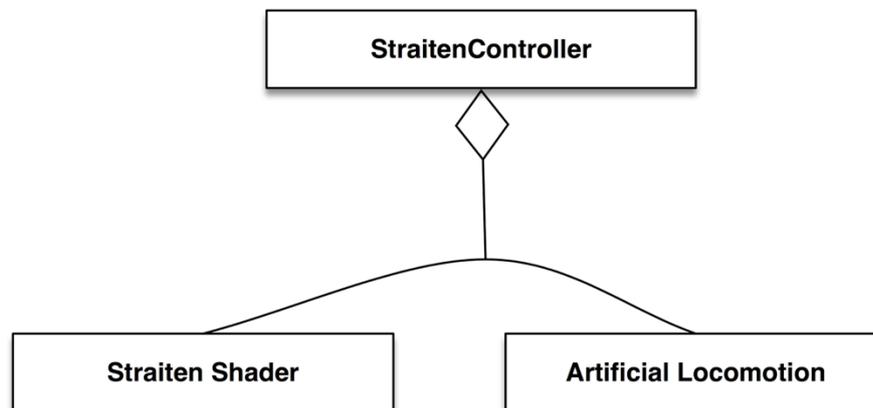


Abbildung 21: UML-Model der Dynamic-Field-Of-View-Implementierung

Der *StraitenController* setzt um die Kommunikation zwischen *Artificial Locomotion* Klasse und der *Straiten Shader* Klasse. Die aktuelle Bewegungsgeschwindigkeit holt sich der *StraitenController* von der *Artificial Locomotion* Klasse und übergibt die Werte an die *Straiten Shader* Klasse, die für den *Dynamic Field-Of-View* Effekt sorgt.

Implementierung von *Straiten.cs*:

```
35  /**
36   * This methode communicate with Shader files
37   */
38  void OnRenderImage(RenderTexture source, RenderTexture destination)
39  {
40      straitenMaterial.SetVector("velocity", new Vector4(artificialLocomotion.getCurrentCharacterVelocity().x
41      straitenMaterial.SetVector("intensity", new Vector4(intensity, intensity, intensity, intensity));
42      Graphics.Blit(source, destination, straitenMaterial);
43  }
44 }
```

Abbildung 22: Implementierung der Hauptfunktion in *Straiten.cs* (*StraitenController*),
Screenshot aus dem Quelltext

OnRenderImage() ist die signifikante Methode, die mit *Straiten.shader* interagiert. Sie liefert der Shader-Klasse die aktuelle Bewegungsgeschwindigkeit der Kamera und die Intensität wie stark der *Straiten-Shader* wirken soll.

Implementierung von *Straiten.shader*:

Diese Klasse bekommt von der *Straiten.cs* über Parameter die aktuelle Geschwindigkeit der Kamera und die gewünschte Intensität des zu abdunkelnden Bereiches geliefert.

```
30     half4 frag(v2f i) : SV_Target
31     {
32         // make velocity positive sign
33         velocity = max(pow(velocity.x, 2), pow(velocity.z, 2));
34
35         // mitte ermitteln des koordinaten kreuzes
36         half2 coords = i.uv * 2 - 1;
37
38         // helligkeit fuer pixel aus der geschwindigkeit errechnen
39         half alpha = 1 - length(coords) * (intensity * velocity);
40
41         // bild farbe abholen an den aktuellen pixel
42         half4 color = tex2D (_MainTex, i.uv);
43
44         // farbe des aktuellen pixel aendern
45         // min damit wir nicht unter 0 kommen und das bild nicht heller machen
46         color.rgb *= alpha;
47
48         return color;
49     }
--
```

Abbildung 23: Dynamic-Field-Of-View-Implementation,
Screenshot aus Quelltext

Das ist die Methode in der *Straiten.shader*-Klasse, die für den Verengungseffekt des Sichtfeldes zuständig ist. In Zeile 33 wird die Geschwindigkeit modifiziert, da es sein kann, dass die Geschwindigkeit aus Unity3D als negative Zahl hereinkommt, was auch logisch ist, da man sich nicht nur in eine Richtung in einem dreidimensionalen Raum bewegen kann.

4.2.4 Surrogate Vehicle (Ersatzfahrzeug)

Die Cockpit-Klasse ist ziemlich simpel implementiert. Da sie schon aus Unity3D heraus zusammengebaut wurde und als *prefab*-Datei abgespeichert worden ist, bedarf es nicht viel Programmieraufwand.

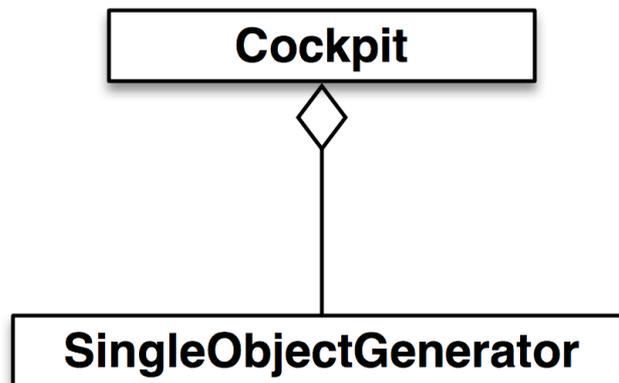


Abbildung 24: UML von Surrogate Vehicle (Hilfsmethode)

Die Implementierung der Cockpit-Klasse bedient sich der *SingleObjectGenerator*-Klasse, mit der das Cockpit dynamisch in die virtuelle Welt generiert wird. Zudem synchronisiert die Cockpit-Klasse die Bewegung des Cockpits mit der Kamera. Es reguliert auch die Höhe in der man sich im Cockpit befindet. Die Höhe des Cockpits liegt bei 10m über der Oberfläche.

4.3 Modellierung von Objekten für die virtuelle Welt

Für die virtuelle Welt wird eine Insel benötigt, mindestens eine Art von einem Baum, eine Wolke und eine Brücke, die die einzelnen Inseln miteinander verbindet. Diese kleine Anzahl von Objekten genügt, um eine virtuelle Welt im Low-Poly-Design zu generieren. Durch einen Online Artikel namens „Secrets to Creating Low Poly Illustrations in Blender“² hat sich der Autor inspirieren lassen.

² <https://cgi.tutsplus.com/tutorials/secrets-to-creating-low-poly-illustrations-in-blender--cg-31770>

4.3.1 Modellierung der Insel

Die Insel wurde in Blender modelliert und als eine .fbx-Datei exportiert. Diese Datei wird dann in Unity eingebunden und als ein Game-Objekt dynamisch aus den Quelltext generiert. Das Insel-Objekt wurde in Blender aus einem einzigen Cube zusammengesetzt und ist damit ein Monolith. Zudem besteht es aus drei Farbpaletten, grün für die Fläche, auf der man sich bewegt, rotbraun für den Berg, der aus der Insel hervorsticht, sowie die unter Seite der Insel. Die Spitzen des Berges bekommen eine eisige Farbe die sich zusammensetzt aus weiß und hellblau.

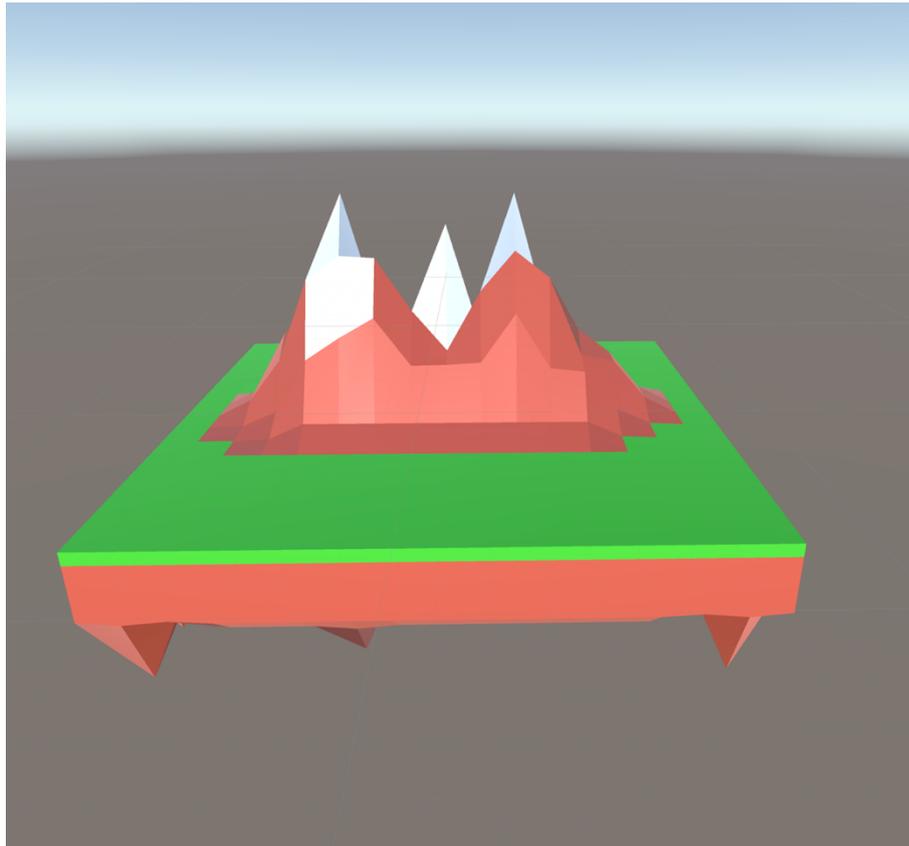


Abbildung 25: Das modellierte Objekt (Insel),
Screenshot aus Unity3D

4.3.2 Modellierung der Wolke

Die Wolke wurde ebenfalls in Blender modelliert und besteht aus einem Element, der so genannten *Iconsphere*. Das Objekt wurde aus Blender im .fbx-Format exportiert, diese Datei wird in Unity eingebunden und als ein Game-Objekt dynamisch aus den Quelltext zu einer bestimmten Insel generiert. Über die Parameter kann im Quelltext die bestimmte Anzahl an Wolken für eine Insel eingestellt werden.

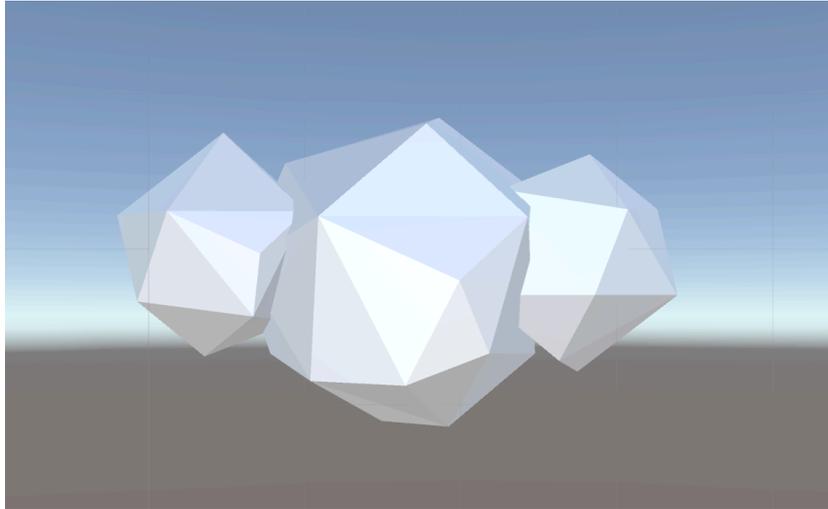


Abbildung 26: Ein weiteres modelliertes Objekt (Wolken),
Screenshot aus Unity3D

4.3.3 Modellierung der Bäume

Natürlich sollten einer Insel nicht die Bäume fehlen, deshalb sind hier drei verschiedene Baumtypen entstanden, die in der Realität in dieser Kombination vermutlich nicht vorkommen würden. Die Bäume wurden ebenfalls in Blender modelliert und als .fbx-Datei exportiert, die wiederum in Unity eingebunden wurde. Diese Baumobjekte werden durch einen Algorithmus automatisch generiert und per Zufall auf eine Insel gepackt.

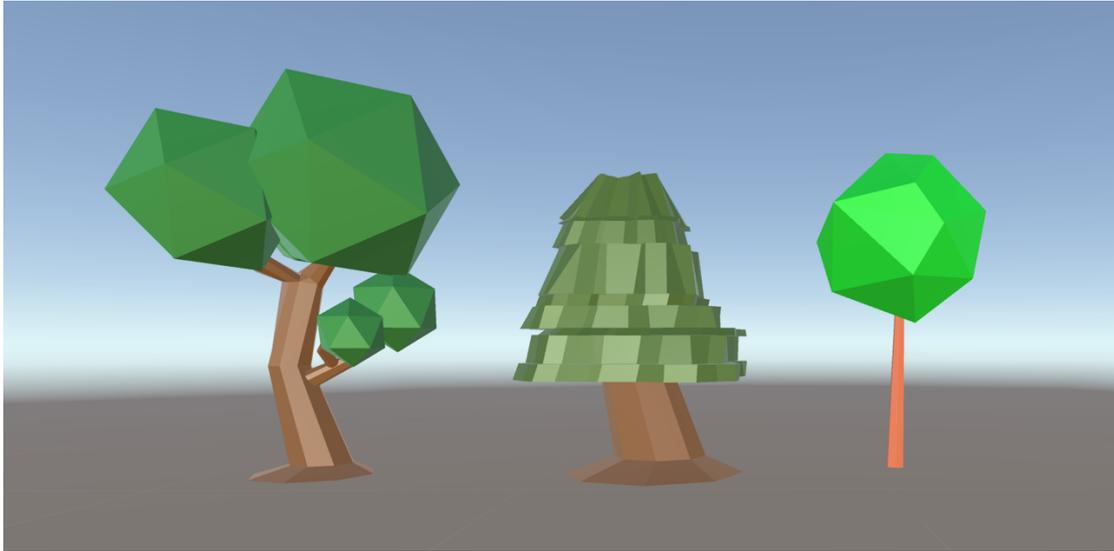


Abbildung 27: Modellierte Objekte (Bäume),
Screenshot aus Unity3D
Die beiden Bäume links mit freundlicher Genehmigung von Johann Bronsch.

4.3.4 Modellierung der Brücke

Die Brücke wurde ebenfalls in Blender modelliert und besteht aus vielen einzelnen Stücken, die aneinander gereiht sind. In diesem Screenshot sieht man, wie die einzelnen Brückenstücke zwei Inseln miteinander verbinden.

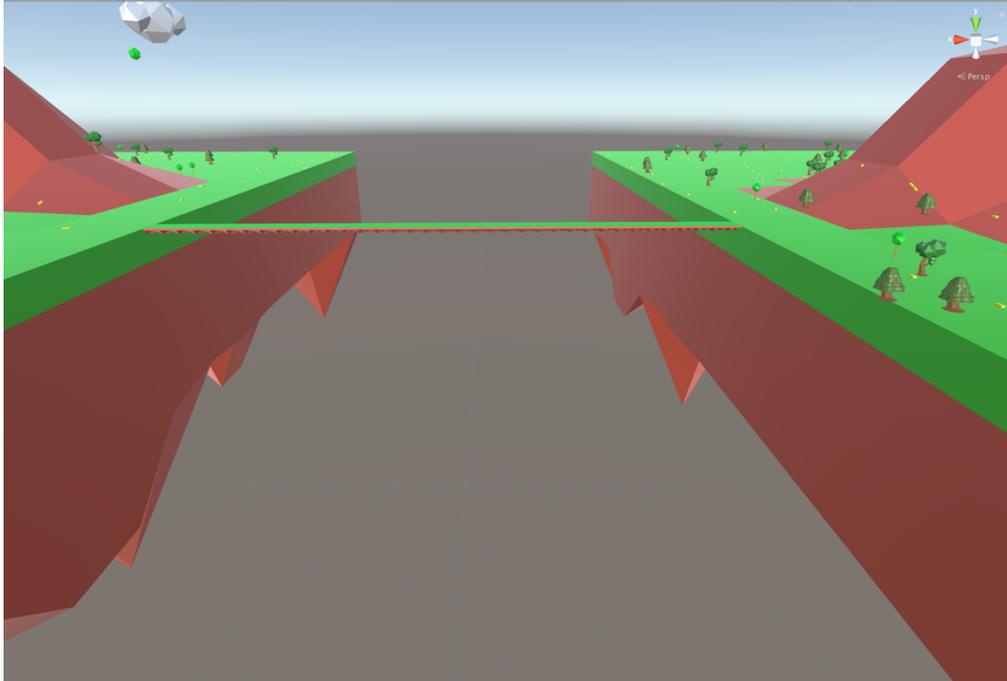


Abbildung 28: Modell der Brücke, die zwei Inseln miteinander verbindet, Screenshot aus Unity3D

In der Abbildung darunter sieht man das in Blender modellierte Einzelstück, aus dem die gesamte Brücke besteht.

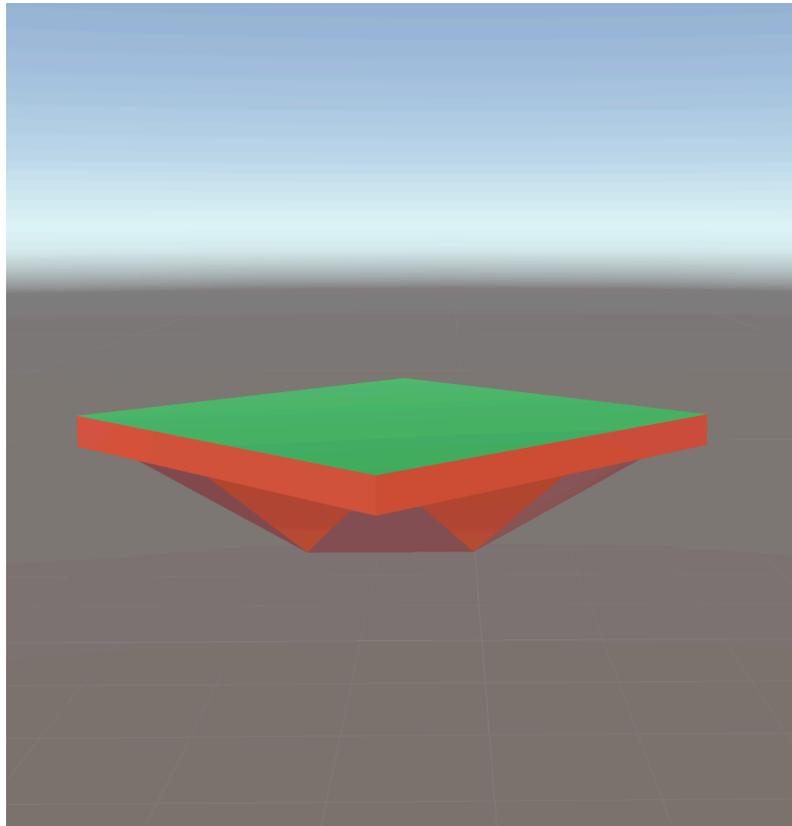


Abbildung 29: modelliertes Objekt (Brücken-Einzelstück),
Screenshot aus Unity3D

4.3.5 Modellierung des Goldbarren

Der Goldbarren ist um einiges simpler gelöst als die Objekte von davor. Es handelt sich um ein direktes Objekt, das Unity selbst anbietet. Die Form wurde etwas skaliert und das Objekt hat eine andere Farbe bekommen.

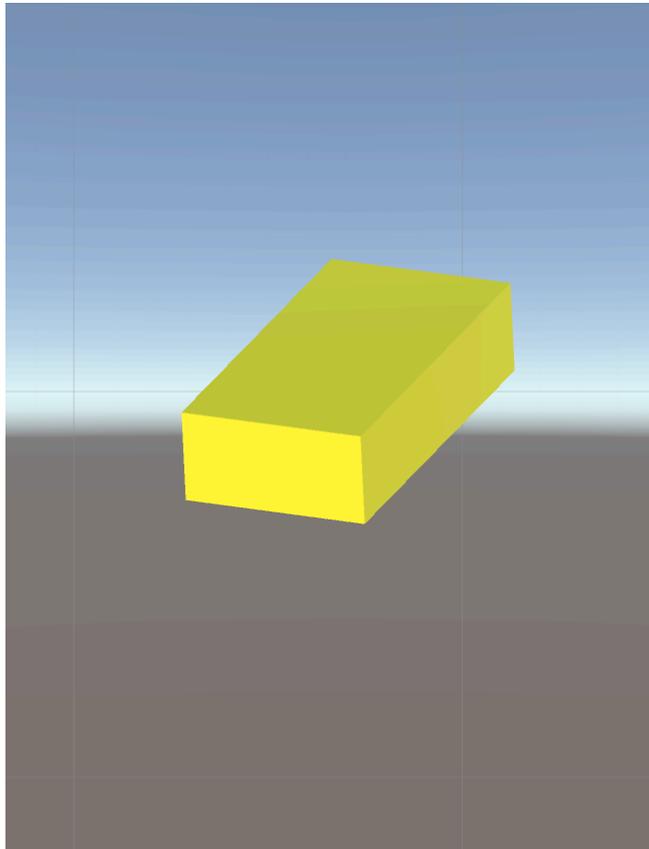


Abbildung 30: modelliertes Objekt (Goldbarren),
Screenshot aus Unity3D

4.3.6 Überblick über die gesamte virtuelle Welt

Bei einer bestimmten Parameter-Einstellung kann die virtuelle Welt dann so aussehen wie auf dem Bild darunter. Vier Inseln, die miteinander über sechs Brücken verbunden sind. In der Mitte der Welt, über den anderen vier Inseln, schwebt noch eine weitere Insel. Wobei es keine Möglichkeit gibt auf die Insel zu gelangen außer mit dem *Point&Teleport*-Bewegungs-Script.

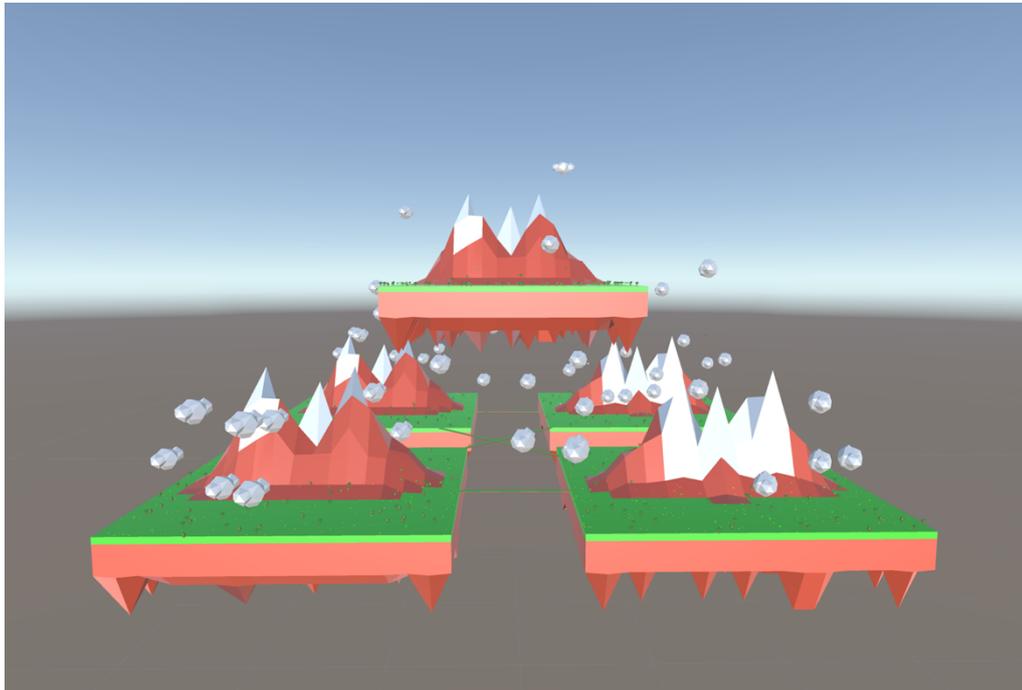


Abbildung 31: Überblick auf die gesamte modellierte virtuelle Welt, Screenshot aus Unity3D

4.3.7 Modellierung des Cockpits Die Fortbewegungsmethode *Surrogate Vehicle* (Ersatzfahrzeug)

Die Umsetzung des Cockpits wurde aus Unity3D heraus umgesetzt und unterscheidet sich komplett von der Vorgehensweise zu den anderen modellierten Objekten. Es wurden sechs UI-Objekte erzeugt. Diese wurden so rotiert, dass dabei ein adäquater Würfel entstand. Zudem wurde für jede dieser sechs Seiten ein Bild angefertigt. Anschließend wurde die Kamera in die Mitte des Cockpits gesetzt. Das Cockpit wird nun bei der Bewegung der Kamera mitbewegt: Somit entsteht die Immersion, als bewege sich das Cockpit, in dem man sich befindet. Die Bilder für das Cockpit wurden nach dem Prinzip einer Skybox erstellt. Üblicherweise benutzt man eine Skybox um in einem Videospiel den Hintergrund der Spielwelt anzuzeigen. Durch die Skybox soll das Gefühl vermittelt werden, dass die Spielwelt größer ist, als sie tatsächlich ist.

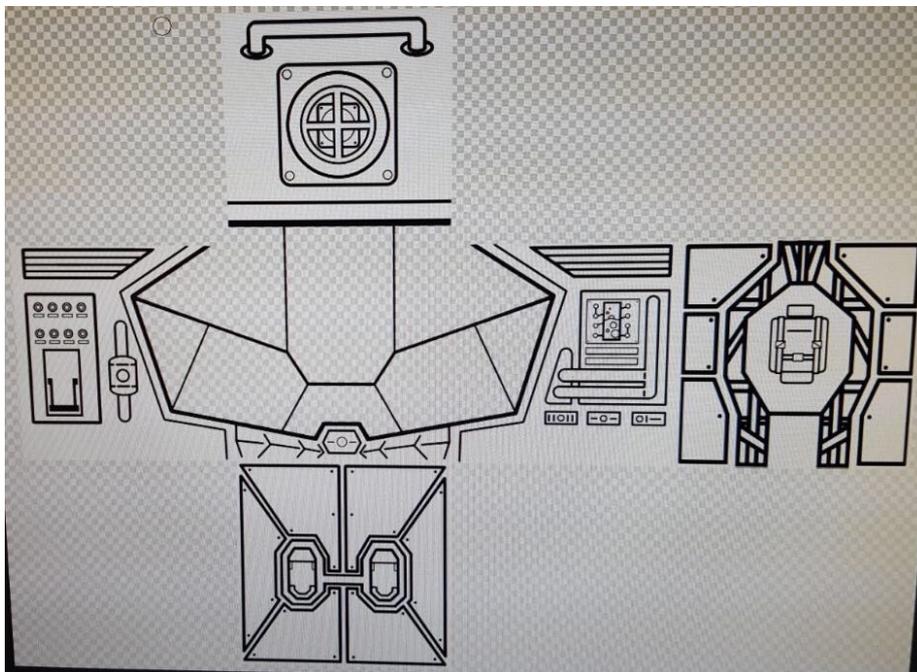


Abbildung 32: Cockpit als Skybox,
Zeichnung von Philip Jorzik (mit freundlicher Genehmigung)

Anschließend wurden alle sechs Bilder mit dem Programm GIMP bearbeitet: Die Bilder wurden mit Farben versehen und bestimmte Bereiche, wie z. B. die Fenster, wurden transparent gesetzt, damit man in Unity durch die Fenster hindurchschauen kann.

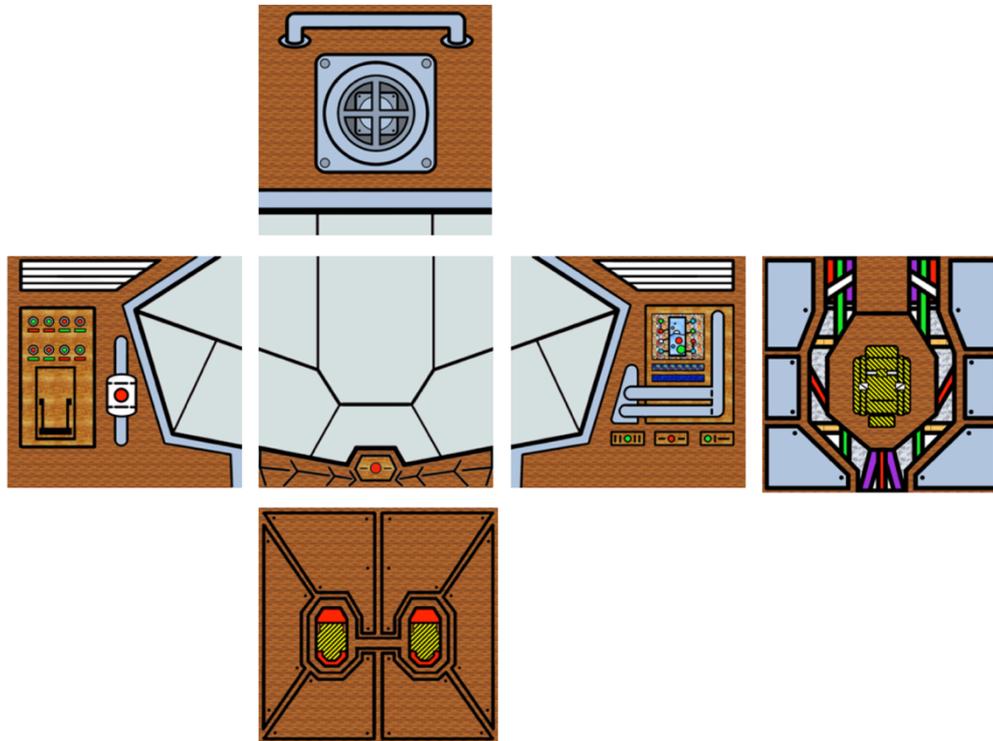


Abbildung 33: Cockpit Skybox nach der Bearbeitung mit GIMP

Das fertig zusammen gebaute Cockpit sieht nun wie folgt in Unity3D aus:

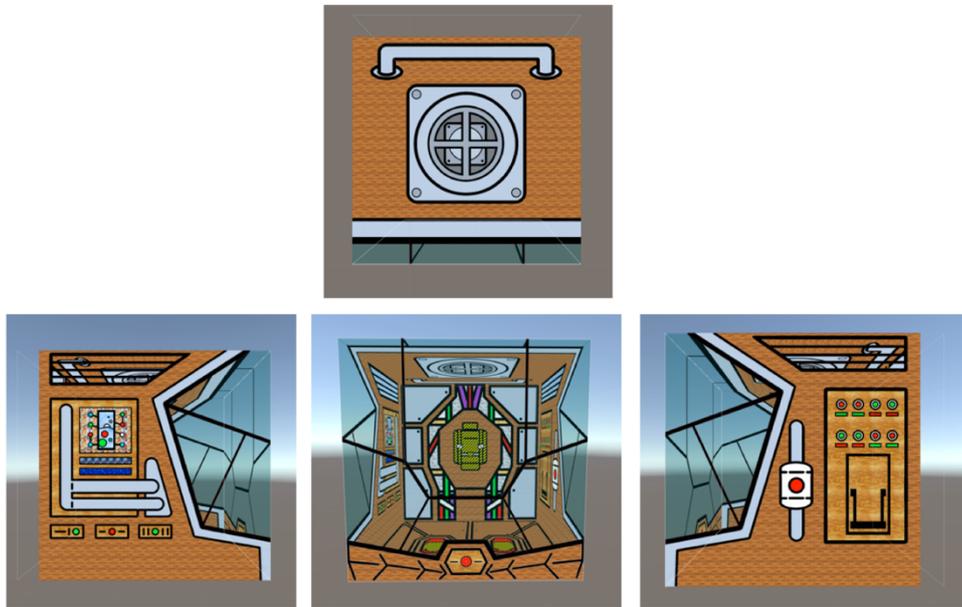


Abbildung 34: Implementiertes Cockpit,
Screenshot aus Unity3D

5 Evaluation von Methoden gegen Cybersickness

In diesem Kapitel werden die Fragebögen, die von den Probanden ausgefüllt wurden, visualisiert und miteinander verglichen. Das Ziel ist es herauszufinden, ob bestimmte Bewegungen und Hilfsmethoden tatsächlich einen positiven oder negativen Einfluss auf die Cybersickness der Probanden hatten. An der Studie haben genau sieben Personen im Alter zwischen 20 und 30 Jahren teilgenommen. Die Probanden haben etwa zwei Stunden vor der Studie nichts gegessen und durften auch während der Studie nichts essen und auch kein Kaugummi kauen. Erlaubt war nur das Trinken von Wasser. Im Schnitt hat ein Proband ca. eine Stunde Zeit gebraucht um alle fünf Bewegungsmethoden auszuprobieren.

Es stellt sich die Frage, ob die Studie mit den genannten Parametern repräsentativ ist. Zum einem sollte erwähnt werden, dass es keine allgemeingültige, wissenschaftliche Definition gibt, wann eine Studie repräsentativ ist oder eine andere Regel, die das eindeutig bestimmen könnte. Jedoch kann man herausfinden, ob eine Studie nicht repräsentativ ist. Beim Aussuchen der Probanden wurde keine Kombination aus Zufallsverfahren und Quotensteuerung eingesetzt und die Anzahl der Probanden ist auch sehr gering. Daraus folgt, dass die Studie nicht repräsentativ ist [Nach00].

5.1 Gegenüberstellung, Analyse und Bewertung der verschiedenen Methoden/Ansätze zur Vermeidung von Cybersickness

5.1.1 Überblick über die Probanden

In diesem Punkt wird ein kleiner Überblick über die Probanden gegeben, die sich zur Studie über Bewegungsmethoden mit Hinblick auf Cybersickness bereit erklärt haben. Von den sieben Probanden waren zwei weiblich und fünf männlich. Keiner dieser Probanden hat Erfahrung mit VR. Für alle sieben war es ein ganz neues Erlebnis. Jedoch haben drei der Probanden langjährige Erfahrung mit Videospielen, wobei die restlichen vier Laien sind, die auch mit der Steuerung langsam vertraut gemacht werden mussten. Auch die Anfänger konnten sich nach ganz kurzer Eingewöhnungszeit gut in der virtuellen Realität zurechtfinden.

5.1.2 Auswertung der Fragen zum Ankreuzen

Auf jede Frage gibt es genau vier verschiedene Ankreuzmöglichkeiten, die mit einem Punktesystem versehen wurden.

Antworten:

1. gar nicht → 0 Punkte
2. etwas → 1 Punkt
3. mittel → 2 Punkte
4. sehr → 3 Punkte

Je mehr Punkte eine Bewegungsmethode erreicht, desto schlechter haben sich die Probanden im Durchschnitt bei einer Bewegungsmethode gefühlt. Das Punktesystem dient der einfachen Erfassung der Daten und um Ergebnisse besser in Diagrammen darstellen zu können.

Die Visualisierung resultiert durch die Summe aller Antworten zur einer konkreten Frage aus dem Fragebogen. Die schlechteste Punktzahl die pro Frage erreicht werden kann ist 21, da die Antwort „sehr“ 3 Punkte repräsentiert und an der Studie Sieben Probanden teilnehmen, ist die Formel simple. Im umgekehrten Fall wäre die Antwort „gar nicht“ die 0 Punkte repräsentiert die Best möglichste Antwort, mit einer gesamt punktzahl von 0 Punkten.

Formel:

$$\text{Punktzahl für genau eine Frage} = \sum_{i=1}^{\text{Anzahl Probanden}} \text{Antwort Proband}_i$$

Die erste Frage, die analysiert wird ist: *Ist Ihnen übel?*

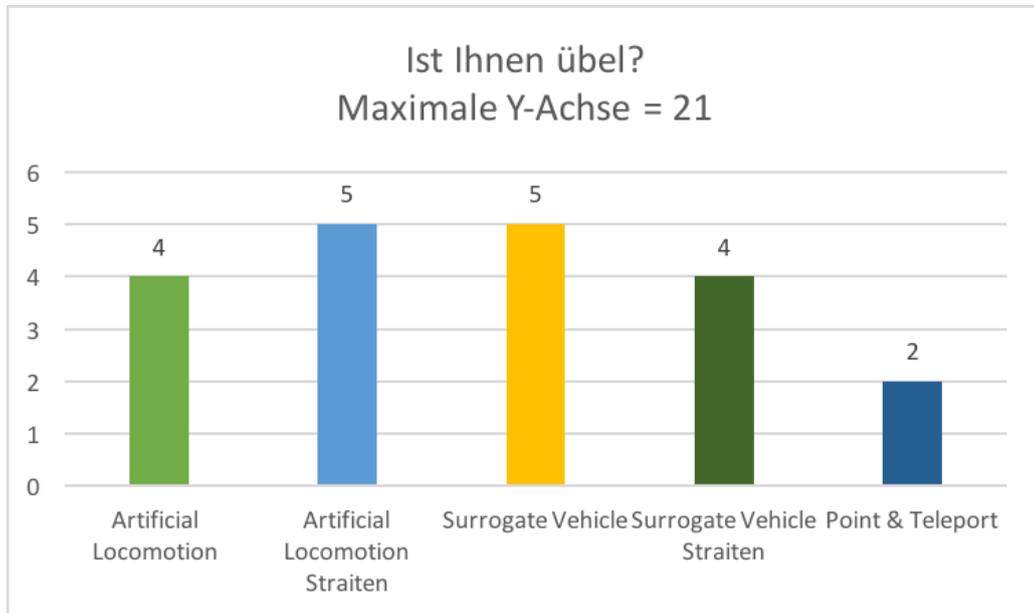


Abbildung 35: Balkengramm, Auswertung Übelkeit

Durch die folgende Grafik kann man entnehmen, dass es den Probanden beim Testen der Bewegungsmethoden nicht besonders übel war. Was auffällt ist, dass bei der Point & Teleport-Methode die geringste Punktzahl zusammenkam. Noch geringer als bei den anderen Methoden und das sogar, obwohl diese Methode als letzte getestet wurde. Die Probanden hielten sich bei diesem Test schon fast eine Stunde lang in der VR auf. Es besteht die Möglichkeit, dass die Übelkeit, die beim letzten Test wahrgenommen wurde bei den zuvor getesteten Methoden entstand. Die Pause zwischen den Tests der einzelnen Bewegungsmethoden betrug fünf Minuten. Die anderen vier Methoden haben fast alle dieselbe Anzahl von Punkten. Maximal waren 21 Punkte zu erreichen, doch die erreichte Punktzahl liegt zwischen 4 und 5 Punkten. Im Durchschnitt war den Probanden nicht oder ganz wenig übel. Man kann hier sehen, dass den Probanden schon bei der *Artificial Locomotion*-Bewegungsmethode leicht übel war. Bei der nächsten Bewegungsmethode *Artificial Locomotion mit Dynamic Field-Of-View* steigt sogar die Übelkeit um einen Punkt, was kaum einen Unterschied macht. Dies stand im Gegensatz zu den zu erwartenden Ergebnissen. Bei der *Surrogate Vehicle mit Dynamic Field-Of-View* -Methode fängt die Übelkeit minimal an zu sinken und bei *Point & Teleport* erreicht sie ihr Tief, was die Erwartung der *Point & Teleport*-Bewegungsmethode wiederum bestätigte.

Die nächste Frage, die analysiert werden sollte: *Haben Sie Kopfschmerzen?*

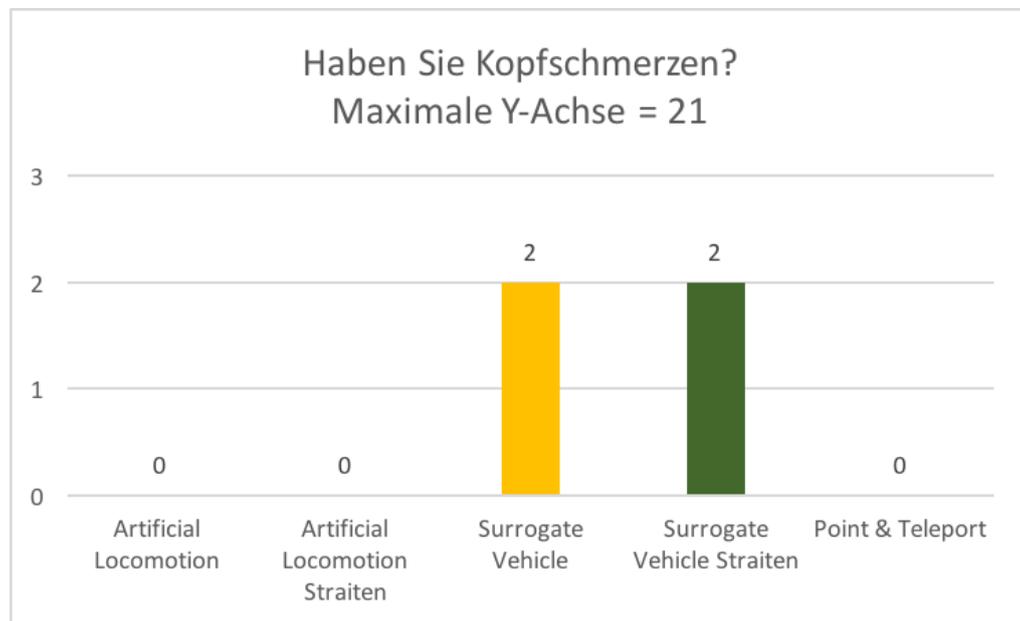


Abbildung 36: Balkendiagramm, Auswertung Kopfschmerzen

Anhand dieses Diagramms kann man deutlich sehen, dass alle Probanden bei den Bewegungsmethoden:

- *Artificial Locomotion*
- *Artificial Locomotion mit Dynamic Field-Of-View*
- *Point & Teleport*

keinerlei Kopfschmerzen hatten.

Surrogate Vehicle und *Surrogate Vehicle mit Dynamic Field-Of-View* erreichen beide jeweils zwei von möglichen 21 Punkten, was auch sehr gering ist und zeigt, dass die Probanden keine bis ganz wenig Kopfschmerzen hatten. Somit kann man anhand diesen Diagramms nur sagen, dass die Probanden bei jeder der zu testenden Bewegungsmethoden gar keine bis ganz leichte Kopfschmerzen hatten und somit kann man hier keine Methode zum Sieger erklären. Es fällt auf, dass die Kopfschmerzen mit der Zeit der Tests ansteigen, was auch mit der Aufenthaltslänge in der virtuellen Realität zusammenhängen kann. Doch man sieht auch deutlich, dass bei der *Point & Teleport*-Methode kein einziger Proband mehr Kopfschmerzen hat. Man kann hier sagen, dass die *Point & Teleport*-Bewegungsmethode sich positiv auf die Probanden auswirkt.

Die nächste und die letzte Frage des Fragebogens, die gestellt wurde: *Sind sie ermüdet?*

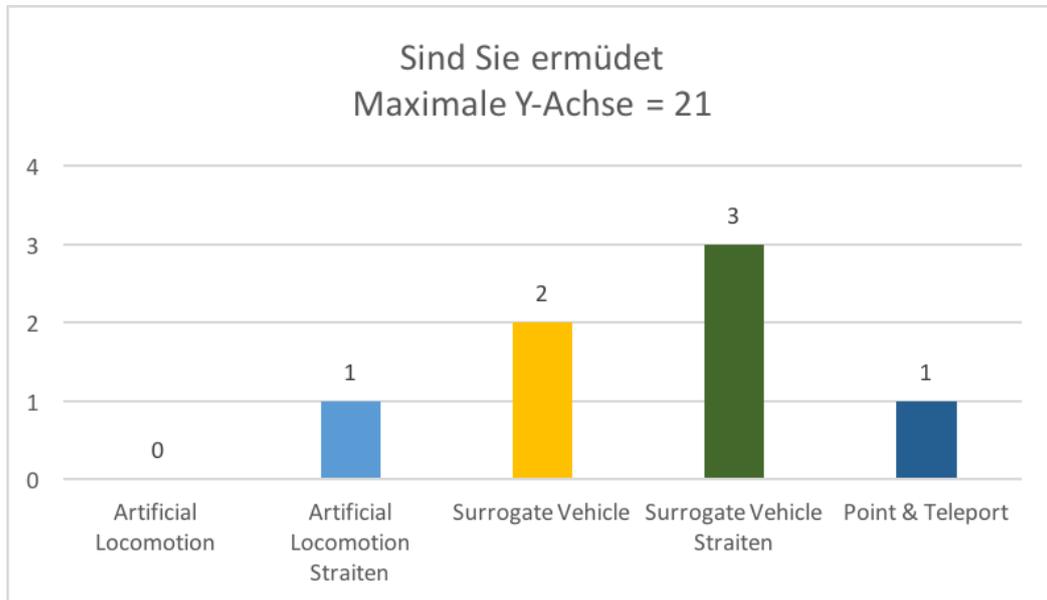


Abbildung 37: Balkendiagramm, Auswertung Ermüdung

In der letzten Frage wurde versucht herauszufinden, ob verschiedene Bewegungsmethoden einen Einfluss auf die Müdigkeit der Probanden haben. Auch hier hält sich die Müdigkeit bei allen Bewegungsmethoden und Hilfsmethoden in Grenzen. Der höchste Wert liegt bei 3 Punkten von möglichen 21 Punkten, was dafür spricht, dass die Probanden vom Spielen in der VR gar nicht bis wenig müde wurden. Diese Visualisierung zeigt auch die Reihenfolge von links nach rechts, in der die Probanden die einzelnen Bewegungsmethoden getestet haben. Hier ist interessant zu sehen, dass die Müdigkeit mit der Länge des Aufenthaltes in der virtuellen Welt ansteigt. Jedoch können wir anhand dieses Diagramms eine Anomalie feststellen: Die Müdigkeit wird deutlich reduziert bei der letzten Bewegungsmethode *Point & Teleport*. Obwohl diese Methode von jedem Probanden als letztes getestet wurden, sinkt der Müdigkeitswert auf einen Punkt. Einer von sieben Probanden war nach diesem letzten Test etwas müde, alle anderen überhaupt nicht.

Nachdem alle Fragen zu allen Bewegungsmethoden analysiert wurden, ist hier die Gesamtübersicht der Auswertung zu sehen.

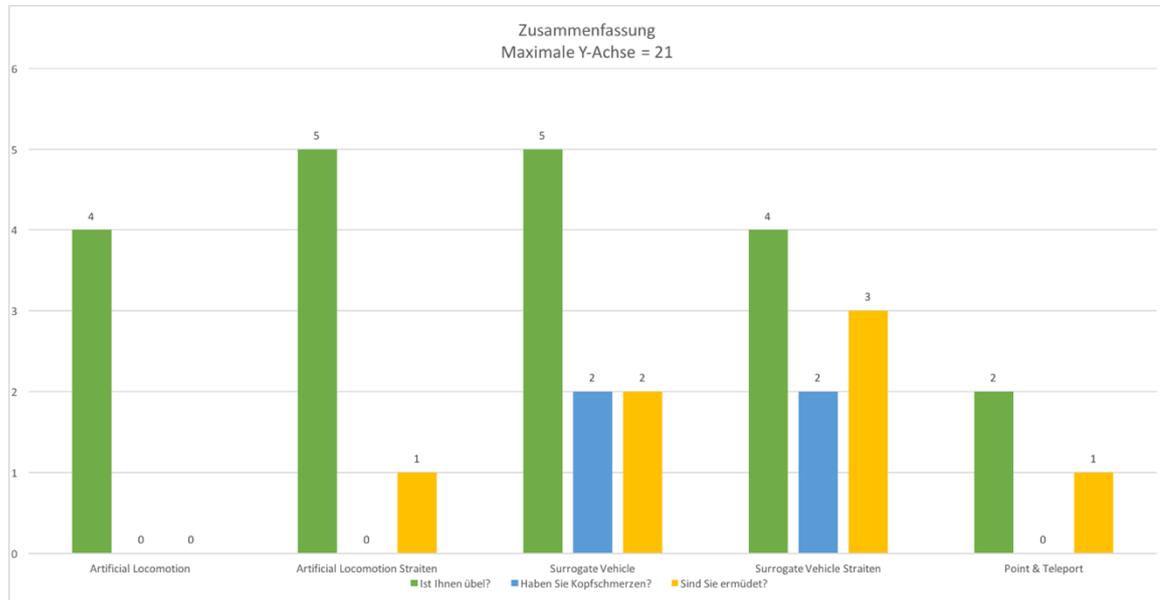


Abbildung 38: Überblick, Balkendiagramm

Durch die Gesamtübersicht der Ergebnisse hat man einen guten Überblick, welchen Einfluss die verschiedenen Bewegungsmethoden auf die Probanden bezüglich der Cybersickness hatten. Man kann deutlich beobachten, dass das Unwohlsein am höchsten in der Mitte der Testphase ist. Zum Ende fühlt sich jeder Proband meistens wieder besser. Leider kann anhand der angekreuzten Antworten hier keine adäquate Schlussfolgerung gezogen werden, ob eine Bewegungsmethode einen Vorteil gegenüber einer anderen Bewegungsmethode aufweist, da die angekreuzten Ergebnisse sich nur minimal voneinander unterscheiden. Zudem scheint es nicht sinnvoll, alle fünf Bewegungsmethoden an einem Tag und noch direkt hintereinander durchzuführen, wie es in dieser Studie der Fall ist. Die Studie wäre aussagekräftiger, wenn ein Proband nur eine einzige der Bewegungsmethoden an jeweils einem Tag getestet hätte und dann nicht nur für fünf Minuten, sondern vielleicht für etwa 30 Minuten. Leider konnten die schwachen Ergebnisse nicht vorhergesehen und andere Testumgebungen im Rahmen dieser Arbeit nicht geschaffen werden. Jedoch kann man den Ergebnissen entnehmen, dass bei der *Point & Teleport*-Methode immer bessere Ergebnisse erzielt wurden. Und das, obwohl diese Methode als letzte von den Probanden getestet wurde. Man sieht deutlich, dass es den Probanden nach einem Test mit dieser Methode gut ging. Daher kann anhand der Ergebnisse geschlossen werden, dass die *Point & Teleport*-Methode weit weniger Cybersickness verursacht als die anderen Methoden.

In diesen Abschnitt werden die gewonnenen Ergebnisse aus der Visualisierung Stichpunktartig zusammengefasst.

1. *Artificial Locomotion*
 - Keine – geringe Übelkeit
 - Keine Kopfschmerzen
 - Keine Ermüdung
2. *Artificial Locomotion mit Dynamic Field-Of-View*
 - Geringe Übelkeit
 - Keine Kopfschmerzen
 - Keine – geringe Ermüdung
3. *Surrogate Vehicle*
 - Geringe Übelkeit
 - Schwache Kopfschmerzen
 - Geringe Ermüdung
4. *Surrogate Vehicle mit Dynamic Field-Of-View*
 - Geringe Übelkeit
 - Schwache Kopfschmerzen
 - Geringe Ermüdung
5. *Point & Teleport*
 - Keine – geringe Übelkeit
 - Keine Kopfschmerzen
 - Keine – geringe Ermüdung

5.1.3 Zusammenfassung und Auswertung der Schriftlichen Anmerkungen

Durch die schriftliche Anmerkungen der Probanden ist es ersichtlich geworden, dass bestimmte Aktionen von Bewegungen in einer virtuellen Welt zu einer bestimmten Art von Cybersickness führt. Die Aktionen werden noch einmal punktiert aufgelistet und ausgewertet.

Aktionen von Bewegungen in einer virtuellen Welt, die zur Cybersickness führen

- **Cybersickness durch das Kreisförmige laufen**
 - Bei kreisförmigen Bewegungen ist es so gut wie jedem Probanden übel geworden. Dagegen kann relativ leicht Abhilfe geschaffen werden. Durch die Studie konnte herausgefunden werden, dass der *Dynamic Field-Of-View* Effekt oder das Einblenden eines Cockpits die Übelkeit reduziert, teilweise sogar neutralisiert. Am besten ist die Kombination aus beiden: das Einblenden eines Cockpits (*Surrogate Vehicle*) in Verbindung mit dem *Dynamic Field-Of-View* Effekt.
- **Cybersickness durch zu schnelles Drehen des eigenen Körpers**
 - Durch die Tasten Q und W konnte man den eigenen Körper in der virtuellen Welt drehen, was bei einigen Probanden ein leichtes Übelkeitsgefühl ausgelöst hat. Dies konnte jedoch durch das Einblenden eines Cockpits vermindert, oder ganz neutralisiert werden, was sehr für die positiven Auswirkungen der Hilfsmethode *Surrogate Vehicle* spricht. Eine weitere Möglichkeit die Cybersickness in diesen Kontext zu verringern, ist die Drehgeschwindigkeit zu verlangsamen. Diese Werte könnte man parametrisieren, da das, was für den einen Probanden zu langsam, für einen anderen Probanden zu schnell ist. Dann könnte der Benutzer die richtige Drehgeschwindigkeit individuell für sich selber finden.
- **Cybersickness durch das zu schnelle Umsehen mit dem eigenen Kopf**
 - Gegen die Cybersickness, die durch das schnelle Umsehen entstanden ist, konnte keine Bewegungsmethode helfen. Wobei man sagen muss, dass der *Dynamic Field-Of-View* Effekt nur bei der Bewegung in eine bestimmte Richtung eingeblendet wurde. Es ist durchaus denkbar, dass der *Dynamic Field-Of-View* Effekt auch für die schnelle Bewegung des Kopfes positive Effekte zeigen könnte. Leider konnte das in dieser Studie nicht untersucht werden.
- **Cybersickness durch zu grellen Farben**
 - Ein Proband hat angemerkt, dass die grellen Farben in der virtuellen Welt das Gefühl der Übelkeit verstärkt haben. Diese Annahme konnte in dieser Studie jedoch nicht weiter untersucht werden, jedoch ist es ein interessanter Punkt für zukünftige Studien.

Die Schlussfolgerung aus den Aussagen der Probanden ist, dass die *Point & Teleport* Bewegungsmethode am angenehmsten zu spielen war. Am zweitbesten hat bei den Probanden die *Surrogate Vehicle*-Methode mit *Dynamic Field-Of-View* abgeschnitten. Man kann mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit sagen, dass die Bewegungsmethoden und die Hilfsmethoden tatsächlich einen positiven Effekt gegen das Auftreten von Cybersickness aufweisen. Auch wenn die *Point & Teleport*-Methode sehr gut abschneidet, bedeutet es selbstverständlich nicht, dass sie für jeden Kontext geeignet ist: Eine Autosimulation zum Beispiel könnte man mit der *Point & Teleport*-Methode nicht adäquat lösen.

5.1.4 Ergebnisse von wissenschaftlichen Studien zum Thema Cybersickness

Obwohl die Forschung zur Cybersickness noch in den Kinderschuhen steckt, gibt es dennoch schon interessante Untersuchungen zum Thema Bewegung und Hilfsmethoden mit Bezug auf Cybersickness. In diesem Abschnitt soll auf drei Studien eingegangen werden.

Die Studie namens „Combating VR Sickness through Subtle Dynamic Field-Of-View Modification“ von Ajoy S Fernandes und Steven K. Feiner befasst sich mit der Hilfsmethode *Dynamic Field-Of-View*. In dieser Studie wird untersucht, ob die Hilfsmethode sich positiv auf die Cybersickness auswirkt.

Die Autoren zu der Schlussfolgerung, dass die untersuchte Hilfsmethode die Aufenthaltsdauer der Nutzer in der virtuellen Welt mit einem HMD verlängert und den Aufenthalt deutlich angenehmer gestaltet [AjSt00].

Eine weitere Wissenschaftliche Studie gibt es zur der Bewegungsmethode *Point & Teleport* unter den Namen „Point & Teleport Locomotion Technique for Virtual Reality“.

In der Untersucht wird, wie sich die Bewegungsmethode auf das Spielverhalten auswirkt und ob es Cybersickness neutralisiert. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die Bewegungsmethode *Point & Teleport* eine intuitive Fortbewegungsmethode ist, leicht zu Benutzen und dass den Benutzern diese Methode viel Spaß bereitet. In dieser Studie kommt man auch zu dem Schluss, dass diese Bewegungsmethode sich nicht für jede Anwendung eignet. Zudem tritt Cybersickness nicht auf, da keine sichtbaren Translationsbewegungen stattfinden [BRKD16].

In der Studie „Nasum Virtualis: A Simple Technique for Reducing Simulator Sickness“ von der Purdue University Department of Computer Graphics Technologic wird eine Untersuchung beschrieben, wo das platzieren eines festen visuellen Referenzobjekts im Sichtfeld des Benutzers, die Cybersickness reduzieren soll. Die Studie hat gezeigt, dass das einblenden eines festen visuellen Referenzobjekts im Sichtfeld in Form einer virtuellen Nase die Cybersickness tatsächlich reduziert. Die Probanden konnten sich länger in einer virtuellen Welt mit einer HMD aufhalten, als die Probanden, denen keine virtuelle Nase eingeblendet wurde [Gdcv00] [Purd00].

Die wohl ähnlichste Studie zu dieser Thesis trägt den Namen „*Cyber Sick but Still Having Fun*“ von Sebastian von Mammen, Andreas Knotz, Sarah Edenhofer von der University of Augsburg. In dieser Studie dürfen die Probanden eine Fahrsimulation testen, in der sie bestimmte Gegenstände einsammeln sollen, jedoch läuft auch ein Countdown, sodass die Probanden sich beeilen müssen. Diese Vorgehensweise, *Gamification*, ist auch in dieser Studie wieder zu finden. Die Autoren der Studie *Cyber Sick but Still Having Fun* kommen zu der Schlussfolgerung, dass die VR Spaß bringen kann trotz Cybersickness, die durch die verzerrte Darstellung entsteht oder durch eine Beschleunigung oder durch zu geringe Auflösung der Displays. Sie behaupten auch, dass sich der Spielspaß nicht unbedingt verringert und die Cybersickness ein Teil davon sein kann [Seba00].

Der Autor dieser Abschlussarbeit stimmt den Aussagen der Studie zur Cybersickness und dem Spielspaß nur bedingt zu. Es kommt immer auf den Grad an, wie stark die Cybersickness auftritt. Bei einer gut umgesetzten Anwendung, bei der die Cybersickness nicht so stark auftritt, kann man nach kurzen Pausen die Anwendung trotzdem immer wieder benutzen. In diesem Punkt stimmen die Schlussfolgerungen überein. Eine Anwendung, die jedoch eine starke Cybersickness auslöst, kann nicht jeden Menschen überzeugen. Ein gutes Beispiel dafür ist das Videospiel *Dying light*, was im Kapitel 5.2.1 *Evaluation von Methoden gegen Cybersickness* ausführlicher behandelt wird. Zudem ist es auch von Mensch zu Mensch verschieden wie stark und in welcher Form die Cybersickness auftritt. Weiterhin können manche Personen damit besser umgehen als andere.

Im Großen und Ganzen führen die wissenschaftlichen Studien und die Studie dieser Abschlussarbeit zu demselben Resultat. Das Resultat ist, dass die Untersuchten Methoden sich tatsächlich positiv auf die Cybersickness auswirken. Signifikante Unterschiede der Ergebnisse aus den Studien sind, dass sich die wissenschaftlichen Studien sich auf die Zeitdauer beziehen, wie lange ein Proband sich in einer VR wohlfühlt. In der Studie dieser Abschlussarbeit wurde darauf nicht Wert gelegt, es wurden die Unterschiede der verschiedenen Methoden miteinander verglichen und analysiert, an genau welchen Stellen die Cybersickness am stärksten auftritt und ob bestimmte Bewegungsmethoden oder Hilfsmethoden diese gefunden stellen abschwächen.

5.2 Exkurs: Testen von Bewegungsmethoden bestimmter Videospiele

In diesem Punkt wird über vier VR-Videospiele berichtet und die damit verbundenen Erfahrungen des Autors. Jedes der vier Spiele erhält eine Beurteilung, die sich auf die implementierte Bewegungsmethode des Spiels bezieht und auf die Cybersickness. Die Bewegungsmethoden können auf verschiedene Art und Weisen implementiert werden, *Artificial Locomotion* ist nicht gleich *Artificial Locomotion*. Es gibt wesentliche Unterschiede bei verschiedenen Videospielen und auch zur der Implementierung in dieser Arbeit. Diese Unterschiede werden in diesem Kapitel analysiert und näher erläutert. Drei der Videospielen *Dying light*, *AliceVR* und *Narcosis* benutzen die *Artificial Locomotion* Bewegungsmethode. Wobei *Dying light* und *AliceVR* keine Hilfsmethoden verwenden. Hingegen benutzt *Narcosis* zwei Hilfsmethoden, zu einem die *Surrogate Vehicle* und zu anderen die *Dynamic Field-Of-View* Implementation. *Batman* implementiert hingegen eine ganz andere Bewegungsmethode und zwar die *Point & Teleport*, wodurch sich das Videospiel komplett anders spielen lässt, als die anderen drei Videospiele mit der *Artificial Locomotion* Bewegungsmethode.

5.2.1 Dying light (Artificial Locomotion ohne Hilfsmethoden)

Dying light löst beim Test in wenigen Minuten Cybersickness aus und scheint als VR-Spiel nicht geeignet. Folgende Punkte sind anzumerken:

1. Wenn man sich mit dem Kopf umsieht, schaut man sich in dem Spiel nicht nur mit dem Kopf um, sondern der Oberkörper wird leicht in dieselbe Richtung mitgeneigt, was ein unangenehmes Gefühl hervorruft, da es sich nicht natürlich anfühlt. Daran kann man sich nach einer Weile etwas gewöhnen, es bleibt aber unangenehm.
2. In diesem Spiel ist es nicht möglich nach vorne zu rennen und im selben Moment kurz nach links oder rechts schauen, um sicherzustellen, dass man von der Seite nicht durch ein Auto oder ein anderes Hindernis überrascht wird, mit der Intention weiter nach vorne zu rennen. In diesem Spiel rennt man immer in die Richtung, in die man auch schaut, was als sehr störend empfunden wurde, da man sich beim Vorwärtsgehen nicht richtig umschaun kann. Normales Umschaun funktioniert nur im Stehen, was in diesem Spiel nicht sehr vorteilhaft ist, da man ständig von der KI im Form von Zombies gejagt und angegriffen wird.
3. Das Videospiel bietet kurze Videosequenzen an, z. B. Dialoge mit anderen Charakteren. Dies wurde jedoch so für die VR umgesetzt, dass bei Tests sofort Übelkeit auftrat. Während der Videosequenzen kann sich der Avatar nicht mehr bewegen, jedoch funktioniert noch die Kopfbewegung, doch wird diese nicht mehr richtig zu der realen Kopfbewegung synchronisiert, sondern invertiert dargestellt und mit einer nicht synchronen Geschwindigkeit. Guckt man nach unten bewegt sich die Kamera dabei nach oben. In diesen Momenten musste der Autor die VR-Brille abnehmen. Nach 15 Minuten Spielzeit war ihm noch ca. 2 Stunden übel.

Fazit zur *Dying light VR*: Dieses Spiel hat keine einzige bekannte Technik implementiert um Cybersickness zu vermindern, was man als Spieler sofort spürt.

5.2.2 Alice VR (Artificial Locomotion ohne Hilfsmethoden)

Alice VR setzt leider auch keine der bekannten Hilfsmethoden ein, die die Cybersickness vermindern sollen. Das selbe Verhalten, dass bei *Dying light* unter Punkt zwei beschrieben ist, trifft auch auf *Alice VR* zu. Man kann nicht geradeaus gehen und zeitgleich zur Seite sehen, da man in die Richtung bewegt wird, in die man schaut. Dies verursachte bei Tests ein unnatürliches Gefühl und eine leichte Übelkeit.

5.2.3 Narcosis (Surrogate Vehicle und Dynamic Field-Of-View)

Dieses Videospiel wurde offenbar von den Entwicklern mit umfangreichem Wissen über Cybersickness für die VR entwickelt. Hier wird als Fortbewegung die *Artificial Locomotion*-Methode benutzt in Kombination mit *Surrogate Vehicle* (Cockpit). Dies macht in diesen Kontext Sinn, da man sich in der VR unter Wasser befindet. Zudem implementiert *Narcosis* bei der Beschleunigung den *Dynamic Field-Of-View Effekt*, was das Spielen angenehm macht. Hier kann man auch geradeaus schwimmen und gleichzeitig in eine andere Richtung gucken, was bei *Alice VR* und *Dying light* nicht der Fall ist. Es lässt sich unbeschwert spielen und bei Tests trat keine Cybersickness auf. Fazit: Durch die Implementierung von *Surrogat Vehicle* und *Dynamic Field-Of-View* konnte die Cybersickness stark gemindert werden!

5.2.4 Batman: Arkham VR (Point & Teleport)

Batman wurde mit der *Point & Teleport* Technik umgesetzt. Bei diesem Spiel verspürte der Autor kein Unwohlgefühl. Das Spiel ließ sich sehr angenehm und ohne Cybersickness spielen. Man kann sich nicht zu jeder beliebigen Position teleportieren, nur an bestimmte Stellen, die von den Entwicklern festgelegt wurden. Dies verhindert, dass man sich aus Versehen in eine Wand teleportiert oder an einen Ort, von dem man nicht wieder weg kommt.

6 Abschluss

In diesem Abschlusskapitel wird die gesamte Abschlussarbeit noch mal zusammengefasst. Es wird ein Fazit gebildet und ein Ausblick über die Entwicklung von VR-Geräten und die Cybersickness getroffen.

6.1 Zusammenfassung

Nach der Definition der Anforderungen wurde eine virtuelle Welt implementiert. Darauf folgte eine Umsetzung der Bewegungsmethoden. Die Implementationsphase bildete die Grundlage für eine Studie, in der die Bewegungsmethoden miteinander verglichen wurden. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass bestimmte Aktionen in einer virtuellen Welt schneller zu Cybersickness führen als andere. Außerdem zeigten die Ergebnisse der Studie, dass bestimmte Bewegungsmethoden einen positiven Einfluss auf die Cybersickness haben, mehr dazu im Fazit.

6.2 Fazit

Die getesteten Bewegungsmethoden und deren Hilfsmethoden haben mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit eine positive Wirkung auf die Cybersickness. Dies konnte mit der durchgeführte Studie aufgezeigt werden. Die *Point & Teleport*-Bewegungsmethode hat sich als die wirksamste Methode gegen die Cybersickness gezeigt. Es konnte auch festgestellt werden, dass das Einblenden eines Referenzobjektes im Sicht des Benutzers in Form eines Cockpits (*Surrogate Vehicle*) sich sehr positiv auf die Cybersickness auswirkt. Auch die Verengung des Displays (*Dynamic-Field-Of-View/Straiten-Effekt*) bei der Beschleunigung erzielte einen positiven Effekt zur Verringerung der Cybersickness. Vor allem bei extremen Bewegungen, wie z. B. beim kreisförmigen Sprinten. Die Probanden fühlten sich mit den Methoden wesentlich wohler als ohne und konnten sich länger ohne Cybersickness in der virtuellen Welt aufhalten. Die Kombination aus *Surrogate Vehicle* und *Dynamic-Field-Of-View* fühlte sich für die Probanden noch angenehmer an, als wenn die Methoden einzeln angewendet wurden.

6.3 Ausblick

Für die nahe Zukunft sieht der Autor eine starke Zunahme der Verkaufszahlen von VR-Geräten und dazugehörigen Spielen. Allein 2016 wurden 6,3 Millionen VR-Geräte weltweit verkauft [Virt00].

Um Cybersickness zu vermeiden und damit VR-Spiele und –Anwendungen zu einem großen Erfolg werden zu lassen, müssen wahrscheinlich folgende Punkte erfüllt werden:

- Erhöhung der Auflösung von VR-Geräten
- Es müssen weitere Methoden gegen das Auftreten von Cybersickness erforscht und entwickelt werden
- Anwendungen müssen zumindest mit bewährten Methoden gegen die Cybersickness ausgestattet werden

Zusätzlich müssen VR-Geräte kostengünstiger werden um den Mainstream zu erreichen.

7 Anhang

7.1.1 Schriftliche Anmerkungen zur *Artificial Locomotion*

- A
 - Kurzes Übelkeitsgefühl beim bogenförmigen Laufen
- B
 - Übelkeitsgefühl beim Bewegen des Kopfes
 - Die grellen Farben in der virtuellen Welt haben das Gefühl der Übelkeit verstärkt
 - Empfand den Test als anstrengend
 - Sehr viel geschwitzt
- C
 - Augenbereich verschwitzt
 - Schultern sind verspannt
- D
 - Leichte Erschöpfung
 - Wünscht sich verschiedene Objekte zum Einsammeln
 - Wünscht sich einen Game-Controller statt Tastatur und Maus
 - Empfindet das Hören der eigenen Schritte als angenehm
 - Kopfschmerzen bei Drehen des eigenen Körpers (Bewertung 3), ähnliches Gefühl wie beim Start eines Flugzeuges
- E
 - Beim Gucken mit dem Kopf nach oben wurde Ihr etwas übel
 - Hintergrundmusik wäre erwünscht
- F
 - Das Wechseln aus einer kreisförmigen Bewegung in eine andere Bewegungsrichtung verursacht leichte Übelkeit
 - Übergang von einem Sprint in die Gehbewegung ist zu ruckartig
- G
 - Ohne Brille bei minus 5,0 Dioptrien unmöglich zu testen

7.1.2 Schriftliche Anmerkungen zur *Artificial Locomotion mit Dynamic Field-Of-View*

- A
 - Übelkeit beim bogenförmigen Laufen wurde durch *Dynamic Field-Of-View* neutralisiert
 - Gefällt es nicht so sehr, weil das Sichtfeld kleiner ist
 - Jedoch viel angenehmer sich in der virtuellen Welt aufzuhalten mit dem *Dynamic Field-Of-View* Effekt
- B
 - Kein ersichtlicher Unterschied festzustellen
- C
 - Augenbereich nur noch leicht verschwitzt
- D
 - Empfand die Wolken als sehr schön
 - Etwas erschöpfter als ohne *Dynamic Field-Of-View*
- E
 - Beim Umschauen wurde es weniger übel als ohne den *Dynamic Field-Of-View* Effekt
 - Beim Drehen des Körpers in der virtuellen Welt wird die Übelkeit verstärkt
 - Ähnliches Gefühl wie bei Flugzeug-Turbulenzen
- F
 - *Dynamic Field-Of-View* neutralisiert die Übelkeit bei einer kreisförmigen Bewegung in eine andere Bewegung
- G
 - Empfinden der Bewegung in der virtuellen Welt wurde angenehmer empfunden als ohne den *Dynamic Field-Of-View*
 - Die Drehung des eigenen Körpers ist zu schnell und verursacht Übelkeit

7.1.3 Schriftliche Anmerkungen zur *Surrogate Vehicle*

- A
 - Extreme Bewegungen, wie das Laufen im Kreis oder bogenförmige Bewegungen führen nicht mehr zu einem Übelkeitsgefühl
 - Das Gefühl wirklich sich in einem Cockpit zu befinden war vorhanden
 - Entspannt gewesen mit dieser Bewegungsmethode den Test durchzuführen
- B
 - Kein Unterschied zu zuvor, in Bewegung sein und zeitgleich den Kopf zu Bewegen führt zu Übelkeit
- C
 - Sehr hohe Immersion durch das Cockpit
 - Hat Spaß gemacht
- D
 - Beim Drehen des Körpers wurden Kopfschmerzen verursacht
 - Roboter-Bewegungsgeräusche wurden zu Anfang als angenehm empfunden aber auf die Dauer haben sie gestört
 - Hohe Immersion war durch das Cockpit gegeben
- E (Probandin ist noch immer etwas Übel von den Tests zuvor)
 - Das Drehen des Körpers ruft keine Übelkeit mehr hervor
 - Angenehmes Gefühl durch das höhere Sitzen
 - Roboter-Bewegungsgeräusche wurden als nervend empfunden
- F
 - Das Empfinden von ruckartiger Bewegungen fühlt sich besser an
 - Aufgrund längerer Benutzung der Brille entstanden Kopfschmerzen
- G
 - Durch kreisförmige Bewegungen wird immer noch Übelkeit verursacht
 - Angenehmer Effekt, dass man so groß ist
 - Bewegungssound verursacht das Gefühl, als würde man wirklich einen Roboter aus einem Cockpit heraus steuern

7.1.4 Schriftliche Anmerkungen zur *Surrogate Vehicle mit Dynamic Field-Of-View*

- A
 - Keine Veränderung im Vergleich zu *Surrogate Vehicle* ohne *Dynamic Field-Of-View*
- B
 - Von Test zu Test wird dem Probanden immer schlechter
- C
 - Augenbereich verschwitzt
 - Der Test hat Spaß gemacht
 - Nach dem vierten Test möchte man das Experiment nur noch hinter sich bringen
- D
 - Kopfschmerzen sind etwas schlimmer geworden
- E
 - Übelkeit ist weniger geworden, Proband hat sich daran gewöhnt
 - Angenehmeres Gefühl im Cockpit zu sitzen
 - Roboter-Bewegungsgeräusch immer noch nervig
 - Eintönige Welt
 - vielleicht hätte eine andere Welt eine ganz andere Auswirkung?
- F
 - Diese Bewegungsmethode hat sich besser angefühlt als alle anderen davor
- G
 - Kurzes Übelkeitsgefühl beim Verschwinden des *Dynamic Field-Of-View* Effektes
 - Durch den *Dynamic Field-Of-View* Effekt keine Übelkeit mehr bei allen möglichen Bewegungen

7.1.5 Schriftliche Anmerkungen zur *Point & Teleport*

- A
 - Zu viele und schnelle Teleportation führen zur Verwirrung
- B
 - Der Test war entspannter als alle zuvor
 - Übelkeit hat deutlich abgenommen
 - Kopfschmerzen haben abgenommen
- C
 - War sehr entspannt, verglichen mit allen anderen Bewegungsmethoden
 - Hat viel Spaß gemacht, vor allem das Erklimmen der Berge
- D
 - Mit dem Drehen des eigenen Körper kommt der Proband sehr schlecht klar
 - Proband wünscht sich 4 Minuten Testzeit statt 5 Minuten
- E
 - Beim Drehen des eigenen Körpers ist dem Probanden immer noch etwas übel
 - Im Cockpit war es deutlich besser
 - Bewegungsmethode hat sehr viel Spaß gemacht
- F
 - Das Drehen des eigenen Körpers fühlt sich nicht natürlich an
 - Keine Cybersickness vorhanden
- G
 - Super angenehm
 - Keine Cybersickness vorhanden

7.1.6 Zusammenfassung und Auswertung der Schriftlichen Anmerkungen

Durch die schriftliche Anmerkungen der Probanden ist es ersichtlich geworden, dass bestimmte Aktionen von Bewegungen in einer virtuellen Welt zu einer bestimmten Art von Cybersickness führt. Die Aktionen werden noch einmal punktiert aufgelistet und ausgewertet.

Aktionen von Bewegungen in einer virtuellen Welt, die zur Cybersickness führen

- **Cybersickness durch das Kreisförmige laufen**
 - Bei kreisförmigen Bewegungen ist es so gut wie jedem Probanden übel geworden. Dagegen kann relativ leicht Abhilfe geschaffen werden. Durch die Studie konnte herausgefunden werden, dass der *Dynamic Field-Of-View* Effekt oder das Einblenden eines Cockpits die Übelkeit reduziert, teilweise sogar neutralisiert. Am besten ist die Kombination aus beiden: das Einblenden eines Cockpits (*Surrogate Vehicle*) in Verbindung mit dem *Dynamic Field-Of-View* Effekt.
- **Cybersickness durch zu schnelles Drehen des eigenen Körpers**
 - Durch die Tasten Q und W konnte man den eigenen Körper in der virtuellen Welt drehen, was bei einigen Probanden ein leichtes Übelkeitsgefühl ausgelöst hat. Dies konnte jedoch durch das Einblenden eines Cockpits vermindert, oder ganz neutralisiert werden, was sehr für die positiven Auswirkungen der Hilfsmethode *Surrogate Vehicle* spricht. Eine weitere Möglichkeit die Cybersickness in diesen Kontext zu verringern, ist die Drehgeschwindigkeit zu verlangsamen. Diese Werte könnte man parametrisieren, da das, was für den einen Probanden zu langsam, für einen anderen Probanden zu schnell ist. Dann könnte der Benutzer die richtige Drehgeschwindigkeit individuell für sich selber finden.
- **Cybersickness durch das zu schnelle Umsehen mit dem eigenen Kopf**
 - Gegen die Cybersickness, die durch das schnelle Umsehen entstanden ist, konnte keine Bewegungsmethode helfen. Wobei man sagen muss, dass der *Dynamic Field-Of-View* Effekt nur bei der Bewegung in eine bestimmte Richtung eingeblendet wurde. Es ist durchaus denkbar, dass der *Dynamic Field-Of-View* Effekt auch für die schnelle Bewegung des Kopfes positive Effekte zeigen könnte. Leider konnte das in dieser Studie nicht untersucht werden.
- **Cybersickness durch zu grellen Farben**

Ein Proband hat angemerkt, dass die grellen Farben in der virtuellen Welt das Gefühl der Übelkeit verstärkt haben. Diese Annahme konnte in dieser Studie jedoch nicht weiter untersucht werden, jedoch ist es ein interessanter Punkt für zukünftige Studien.

7.1.7 Implementierung der Bewegung:

Die Klasse *ArtificialLocomotion* folgt den Tasteneingaben, die unter dem Punkt **Steuerung** definiert wurden.

```
63
64     /// <summary>
65     /// Method allow to run and jump with the character controller
66     /// </summary>
67     private void keyboardRunningUpdate() {
68         move = Vector3.zero;
69
70         if (Input.GetKey(KeyCode.W))
71         {
72             move += transform.forward * Time.deltaTime * movementSpeed;
73         }
74
75         if (Input.GetKey(KeyCode.S))
76         {
77             move -= transform.forward * Time.deltaTime * movementSpeed;
78         }
79
80         if (Input.GetKey(KeyCode.A))
81         {
82             move -= transform.right * Time.deltaTime * movementSpeed;
83         }
84
85         if (Input.GetKey(KeyCode.D))
86         {
87             move += transform.right * Time.deltaTime * movementSpeed;
88         }
89
90         // Jump script
91         if (characterController.isGrounded)
92         {
93             moveDirection = Vector3.zero;
94
95             if (Input.GetKeyDown(KeyCode.Space))
96             {
97                 moveDirection.y = jumpSpeed;
98             }
99         }
100
101         moveDirection.y -= gravity * Time.deltaTime;
102         characterController.Move(move);
103         characterController.Move(moveDirection * Time.deltaTime);
104
105         listenVorRotation();
106     }
```

Abbildung 39: Screenshot der Implementation von Artificial Locomotion

Fragebogen Schablone

Bewertung: 1 = gar nicht, 2 = etwas, 3 = mittel, 4 = sehr

		1	2	3	4
1	Ist Ihnen übel?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	Haben Sie Kopfschmerzen?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	Sind Sie ermüdet?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Anmerkung: Bitte schreiben Sie hier hinein, ob Sie einen Unterschied zum vor und nachher bemerkt haben und wenn ja, welchen.

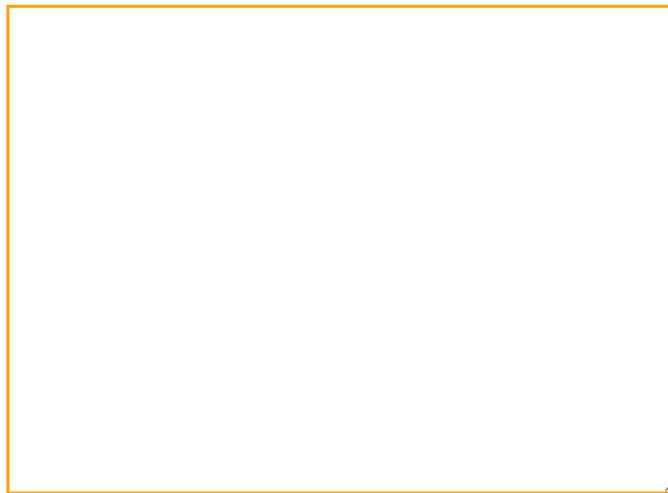


Abbildung 40: Schablone des Fragebogens zur durchzuführenden Studie

Literaturverzeichnis

- [A_gu00] *A Guide To Moving From Internal Game Engine Technology.pdf*. URL https://unity3d.com/files/solutions/unityformobile/A_Guide_To_Moving_From_Internal_Game_Engine_Technology.pdf?utm_source=adopting-unity&utm_medium=top-cta. - abgerufen am 2017-09-20
- [AjSt00] AJOY S FERNANDES^{*}; STEVEN K. FEINER[†]: Combating VR Sickness through Subtle Dynamic Field-Of-View Modification
- [Baye00] *Bayerische Polizei - Simulation von Einsatzfahrten*. URL <http://www.polizei.bayern.de/bepo/wir/index.html/2067>. - abgerufen am 2017-04-09
- [Bewe00] *Bewegungen in Virtual Reality jenseits des Teleporters | heise online*. URL <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Bewegungen-in-Virtual-Reality-jenseits-des-Teleporters-3637164.html>. - abgerufen am 2017-03-04
- [BRKD16] BOZGEYIKLI, EVREN ; RAIJ, ANDREW ; KATKOORI, SRINIVAS ; DUBEY, RAJIV: Point & Teleport Locomotion Technique for Virtual Reality. In: *Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play, CHI PLAY '16*. New York, NY, USA : ACM, 2016 — ISBN 978-1-4503-4456-2, S. 205–216
- [DBGJ13] DÖRNER, R. ; BROLL, W. ; GRIMM, P. ; JUNG, B. (Hrsg.): *Virtual und Augmented Reality (VR/AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität*, eXamen.press. Berlin Heidelberg : Springer Vieweg, 2013 — ISBN 978-3-642-28902-6
- [Derv00] *Der Vater der 3D-Technologie (Archiv)*. URL http://www.deutschlandradiokultur.de/der-vater-der-3d-technologie.932.de.html?dram:article_id=249801. - abgerufen am 2017-04-13
- [Gdcv00] *GDC Vault - Technical Artist Bootcamp: Nasum Virtualis: A Simple Technique for Reducing Simulator Sickness in Head Mounted VR*. URL <https://gdcvault.com/play/1022287/Technical-Artist-Bootcamp-Nasum-Virtualis>. - abgerufen am 2017-10-05
- [Hist00] *History Of Virtual Reality - Virtual Reality*. URL <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html>. - abgerufen am 2017-03-25
- [Indu00] *Industrie 4.0: Virtuelle Realität zahlt sich aus*. URL <https://digitaler-mittelstand.de/allgemein/news/industrie-4-0-virtuelle-realitaet-zahlt-sich-aus-12829>. - abgerufen am 2017-04-09. — Digitaler Mittelstand
- [Malt00] MALTE NOGALSKI: *Akustisches Redirected Walking mit Orientierungsreizen durch eine Wellenfeldsyntheseanlage - nogalski.pdf*. URL <https://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/arbeiten/master/nogalski.pdf>. - abgerufen am 2017-04-08
- [Nach00] *Nachgefragt: Wann ist eine Studie repräsentativ?* URL http://maisbergerinsights.maisberger.de/wann_ist_eine_studie_repraesentativ.html. - abgerufen am 2017-09-28
- [Pdwi00] *PdWiPsy2_final* - *Thielsch_2012b.pdf*. URL http://www.thielsch.org/download/wirtschaftspsychologie/Thielsch_2012b.pdf. - abgerufen am 2017-09-26
- [Petr00] PETRA KO LNDORFER: Kinetosis / Motion Sickness A new Approach for Adaptation in Virtual Reality
- [Purd00] PURDUE UNIVERSITY: „Virtual nose“ may reduce simulator sickness in video

- games - Purdue University*. URL <http://www.purdue.edu/newsroom/releases/2015/Q1/virtual-nose-may-reduce-simulator-sickness-in-video-games.html>. - abgerufen am 2017-03-11
- [Seba00] SEBASTIAN VON MAMMEN, ANDREAS KNOTE, SARAH EDENHOFER
UNIVERSITY OF AUGSBURG: Cyber Sick but Still Having Fun
- [Shad17] Shader. *Wikipedia*.
- [Sowo16] *So wollen Entwickler und Forscher die VR-Übelkeit besiegen*. URL <https://www.wired.de/collection/life/so-wollen-entwickler-und-forscher-die-vr-uebelkeit-besiegen>. - abgerufen am 2017-03-11. — WIRED Germany
- [Thep00] *The Project Gutenberg eBook of Pygmalion's Spectacles, by Stanley G. Weinbaum*. URL <http://www.gutenberg.org/files/22893/22893-h/22893-h.htm>. - abgerufen am 2017-04-13
- [Thom97] THOMAS A. STOFFREGEN* AND L. JAMES SMART, JR.: Postural instability precedes motion sickness (1997)
- [Tran15] Translation (Physik). *Wikipedia*.
- [Virt00] *Virtual Reality: Wurden 2016 über 6 Millionen VR-Brillen verkauft?* URL <https://vr-world.com/wurden-2016-ueber-sechs-millionen-vr-geraete-verkauft/>. - abgerufen am 2017-08-31
- [Vr-k16] VR-Krankheit. *Wikipedia*.

Versicherung über Selbstständigkeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Hamburg, den _____