Saltar VR – ein Virtual Reality Plattformspiel

Design, Umsetzung und Evaluation von passiver Haptik in einem VR-Spiel anhand eines User-Centered Design Ansatzes

Masterarbeit im Studiengang Computer Science and Media (M.Sc.)

vorgelegt von **Axel Braun (Matrikel-Nr. 32716)**

am 17. Dezember 2018 an der Hochschule der Medien Stuttgart

zur Erlangung des akademischen Grades eines Master of Science

Erstprüferin: *Prof. Dr. Sabiha Ghellal*

Zweitprüfer: *Prof. Dipl.-Ing. Uwe Schulz*

Ehrenwörtliche Erklärung

„Hiermit versichere ich, Axel Braun, ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Masterarbeit mit dem Titel: „Saltar VR – ein Virtual Reality Plattformspiel: Design, Umsetzung und Evaluation von passiver Haptik in einem VR-Spiel anhand eines User-Centered Design Ansatzes“ selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen wurden, sind in jedem Fall unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Die Arbeit ist noch nicht veröffentlicht oder in anderer Form als Prüfungsleistung vorgelegt worden.

Ich habe die Bedeutung der ehrenwörtlichen Versicherung und die prüfungsrechtlichen Folgen (§26 Abs. 2 Bachelor-SPO (6 Semester), § 24 Abs. 2 Bachelor-SPO (7 Semester), § 23 Abs. 2 Master-SPO (3 Semester) bzw. § 19 Abs. 2 Master-SPO (4 Semester und berufsbegleitend) der HdM) einer unrichtigen oder unvollständigen ehrenwörtlichen Versicherung zur Kenntnis genommen.“[1]

Stuttgart, 17.12.2018
Ort, Datum

Unterschrift

In dieser Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. Weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten werden dabei ausdrücklich mitgemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist.

[1] Festgestellte Plagiate führen gemäß §24 Abs. 2 der SPO 7-semestrigen grundständigen Studiengänge, § 23 Abs. 2 der SPO der 3-semestrigen Masterstudiengänge bzw. § 19 Abs.1 Satz 3 der SPO der 4-semestrigen und berufsbegleitenden Masterstudiengänge zum Verlust des Prüfungsanspruches und damit zur Exmatrikulation.

Kurzfassung

Die vorliegende Masterarbeit befasst sich mit dem Einfluss haptischer Wahrnehmung auf das Präsenzgefühl in der virtuellen Realität. Hierfür wurde passive Haptik in ein prototypisches VR-Spiel integriert, dessen Entwicklung auf einem User-Centered Design Ansatz beruhte. Ziel war es herauszufinden, ob und welche Aspekte der passiven Haptik in der virtuellen Realität zur Steigerung der Präsenz des Spielers beitragen. Die Überprüfung fand daher mit Hilfe einer Evaluation statt, die auf einem Mixed-Methods Ansatz basierte. Die Auswertung verschiedener Fragebögen sowie eines Semi-Structured Interviews zeigte, dass passive Haptik in der virtuellen Realität unter bestimmten Voraussetzungen ein stärkeres Präsenzgefühl beim Spieler hervorruft.

Abstract

This master's thesis addresses the influence of haptic perception on presence in virtual reality. For this purpose, passive haptics were integrated into a prototypical VR game, whose development was based on a user-centered design approach. The aim was to identify if and which aspects of passive haptics in virtual reality contribute to increasing the player's presence. The review took place by an evaluation based on a mixed-methods approach. The analysis of various questionnaires as well as a semi-structured interview showed that passive haptics in the virtual reality under certain conditions causes a stronger sense of the player's presence.

Inhaltsverzeichnis

Ehrenwörtliche Erklärung ..... **I**

Kurzfassung ..... **II**

Abstract ..... **II**

Inhaltsverzeichnis ..... **III**

Abbildungsverzeichnis ..... **VI**

Diagrammverzeichnis ..... **VII**

Tabellenverzeichnis ..... **VII**

1 Einleitung **1**

2 Theoretische Grundlagen **3**

2.1 Definition 3

2.2 Historischer Überblick 5

2.3 Immersion und Präsenz 9

2.3.1 Immersion 10

2.3.2 Präsenz 13

2.4 Haptik 16

2.4.1 menschliche Informationsverarbeitung 17

2.4.2 haptische Wahrnehmung 19

2.4.3 Haptik in VR 20

2.5 Cybersickness 24

2.6 Fortbewegung in VR 26

3 Projektbeschreibung **29**

3.1 Spielprinzip 29

3.2 passive Haptik 30

3.3 Spielmechaniken 30

3.4 Stationen 31

4 Technische Grundlagen **34**

4.1 Head-Mounted Displays 34

4.2 Tracking 35

4.3 Eingabegeräte 37

4.4 Vive Tracker 38

4.5 Unity und SteamVR 39

5 Technische und gestalterische Umsetzung 40
5.1 User-Centered Design 40
5.2 IKO – Shadow Of The Forest 42
5.3 Proof of Concept 43
5.4 Spielmechanik-Test 44
5.5 Spieleprototyp 46
5.5.1 Repräsentation der Füße 46
5.5.2 Fortbewegung 48
5.5.2.1 reales Laufen 49
5.5.2.2 passive Fortbewegung 50
5.5.2.3 Teleportation 50
5.5.3 Schloss 54
5.5.4 Holzbrett 57
5.5.5 Kasten 59
6 Evaluation 62
6.1 Theoretische Grundlagen 62
6.2 Evaluationsmethodik 63
6.3 Evaluationsmethoden 64
6.3.1 Informationen zum Probanden 65
6.3.2 Beobachtungen 65
6.3.3 Igroup Presence Questionnaire (IPQ) 65
6.3.4 Präsenz pro Station (PPS) 66
6.3.5 Station Ranking 66
6.3.6 Semi-Structured Interview 67
6.4 Aufbau der Evaluation 68
6.5 Auswertung der Evaluation 70
6.5.1 Informationen zum Probanden 70
6.5.1.1 Ergebnis 70
6.5.1.2 Analyse 71
6.5.2 Beobachtungen 71
6.5.2.1 Ergebnis 72
6.5.2.2 Analyse 72
6.5.3 IPQ 73
6.5.3.1 Ergebnis 73
6.5.3.2 Analyse 74

6.5.4 PPS 75
6.5.4.1 Ergebnis 75
6.5.4.2 Analyse 75
6.5.5 Semi-Structured Interview 76
6.5.5.1 Ergebnis 77
6.5.5.2 Analyse 80
6.5.6 Station Ranking 81
6.5.6.1 Ergebnis 82
6.5.6.2 Analyse 82
6.6 Diskussion 83
7 Fazit und Ausblick 86
8 Quellenverzeichnis 88
9 Anhang 93
9.1 Test des Proof of Concepts 93
9.2 Spielmechanik-Test 95
9.3 Fragebogen zum Probanden 98
9.4 Igroup Presence Questionnaire (IPQ) 99
9.5 PPS-Fragebogen 102
9.6 Hinweise für die Probanden 105
9.7 Auswertung der Beobachtungen 106
9.8 Auswertung des IPQs 107
9.9 Auswertung des PPS-Fragebogens 108
9.10 Auswertung des Station Rankings 109
9.11 Auswertung des Semi-Structured Interviews 110
9.12 Paper zu „IKO – Shadow Of The Forest“ 128

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 – Morton L. Heiligs Sensorama [17] 6
Abbildung 2 – Ivan Sutherlands Sword of Damocles [18] 6
Abbildung 3 – HMD des VIEW-Projekts [20] 7
Abbildung 4 – Nutzer in einer CAVE [22] 8
Abbildung 5 – Präsenzgefühl (eigene Darstellung) 16
Abbildung 6 – Model Human Processor nach [1, S. 35] 18
Abbildung 7 – Wahrnehmungsarten des Fühlens (eigene Darstellung) 19
Abbildung 8 – Unterscheidung der Haptik in VR (eigene Darstellung) 21
Abbildung 9 – Proband in der Chapel Hill Pit Demo [4] 22
Abbildung 10 – Exoskelett von „The Wolverine“ [54] 23
Abbildung 11 – Roboterarm des „Snake Charmers“ [58] 23
Abbildung 12 – HaptX Glove mit mikropneumatischem Polster [59] 24
Abbildung 13 – Fortbewegung in VR nach [15] 26
Abbildung 14 – Spielwelt von Saltar VR (eigene Darstellung) 29
Abbildung 15 – Beam Cube und gekennzeichnete Bereiche (eigene Darstellung) 31
Abbildung 16 – HMD der HTC Vive [66] 34
Abbildung 17 – Geöffnete Basisstation einer HTC Vive [69] 36
Abbildung 18 – Controller der HTC Vive [71] 38
Abbildung 19 – Hyper Blaster mit befestigtem Vive Tracker [73] 38
Abbildung 20 – Visualisierung des UCD Ansatzes nach [77] 40
Abbildung 21 – Entwicklungsprozess von Saltar VR (eigene Darstellung) 41
Abbildung 22 – Screenshot von IKO – Shadow Of The Forest (eigene Darstellung) 42
Abbildung 23 – Spielwelt des Proof of Concepts (eigene Darstellung) 43
Abbildung 24 – Spielwelt des Spielmechanik-Tests (eigene Darstellung) 45
Abbildung 25 – Repräsentation der Füße in Saltar VR (eigene Darstellung) 47
Abbildung 26 – Einfluss der passiven Bewegung auf das Camera Rig (eigene Darstellung) 50
Abbildung 27 – Verschiebung des Camera Rigs zur Position des Beam Cubes (eigene Darstellung) ... 51
Abbildung 28 – Forcierung der Möglichkeiten zur Teleportation (eigene Darstellung) 51
Abbildung 29 – Möglichkeiten der Teleportation ohne Forcierung (eigene Darstellung) 52
Abbildung 30 – Verschiebung des Camera Rigs bei einer Zielplattform (eigene Darstellung) 53
Abbildung 31 – Forcierung der Möglichkeiten des Abwurfs vom Beam Cube (eigene Darstellung) 53
Abbildung 32 – 3D-Modelle zur Fertigung des Schlosses (eigene Darstellung) 55
Abbildung 33 – reales Schloss und virtuelles Pendant (eigene Darstellung) 56
Abbildung 34 – Spieler steckt den Controller ins Schloss (eigene Darstellung) 57
Abbildung 35 – Holzbrett und virtuelles Pendant (eigene Darstellung) 58
Abbildung 36 – Aufzug und Brücke von Station 6 (eigene Darstellung) 59
Abbildung 37 – Kasten und virtuelles Pendant (eigene Darstellung) 60
Abbildung 38 – Zielbereich des Kastens (eigene Darstellung) 61
Abbildung 39 – Station 9 nach der Aktivierung durch den Kasten (eigene Darstellung) 61
Abbildung 40 – Evaluationsmethodik des Projekts Saltar VR (eigene Darstellung) 63
Abbildung 41 – Evaluationsaufbau (eigene Darstellung) 69

Diagrammverzeichnis

Diagramm 1 – Ergebnis der Beobachtungen (eigene Darstellung) 72
Diagramm 2 – Ergebnis des IPQs (eigene Darstellung) 73
Diagramm 3 – Ergebnis des PPS-Fragebogens (eigene Darstellung) 75
Diagramm 4 – Ergebnis (1) des Semi-Structured Interviews (eigene Darstellung) 80
Diagramm 5 – Ergebnis (2) des Semi-Structured Interviews (eigene Darstellung) 81
Diagramm 6 – Ergebnis des Station Rankings (eigene Darstellung) 82

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 – identifizierte Kategorien des Semi-Structured Interviews (eigene Darstellung) 77

1 Einleitung

Virtual Reality oder kurz *VR* ist eine Zukunftstechnologie, die unter anderem durch Science-Fiction-Filme und -Bücher immer wieder mit Hoffnungen und Wünschen verknüpft wird, welche bisher technologisch nicht realisierbar sind. Auch wenn sie die begehrenswerten Erwartungen bisher nicht erfüllen kann, gewinnt sie in vielen Anwendungsbereichen der Forschung, Industrie und der elektronischen Medien vermehrt an Bedeutung. [1, S. V]

Die visuelle und auditive Wahrnehmung ist dabei bereits seit geraumer Zeit Untersuchungsgegenstand im Forschungsgebiet der VR und gipfelte erstmalig in Endverbraucher-VR-Systemen wie der *HTC Vive* oder *Oculus Rift*. Dennoch schreitet die Entwicklung weiterhin voran, neuere Versionen von *Head-Mounted-Displays* (HMD) bieten ein größeres Sichtfeld, eine bessere Auflösung oder sind kabellos geworden. Die Einbindung der haptischen Wahrnehmung bei diesen VR-Systemen hinkt dagegen in ihrer Entwicklung hinterher. Sie befindet sich in einem vergleichsweise rudimentären Stadium, auch wenn sie in den letzten Jahren mehr in den Mittelpunkt der VR-Forschung rückt [2]. Dieser Gewinn an Dynamik wird unter anderem durch das vor kurzem veröffentlichte Development Kit des *HaptX Glove*[2] unterstrichen, einem Handschuh, der es ermöglicht, virtuelle Objekte anzufassen und zu spüren. Den Nutzer in die Lage zu versetzen, die virtuelle Umgebung zusätzlich haptisch wahrzunehmen, vergrößert die Bandbreite der stimulierten Sinne und führt laut Mel Slater zu einem immersiveren VR-System, infolgedessen es beim Nutzer zu einer Steigerung der Präsenz kommen kann [3]. Verschiedene Experimente zur haptischen Wahrnehmung in der VR unterstützen diese Hypothese [4] [5]. Ein Blick auf die virtuelle Umgebung, bei welcher die Haptik Anwendung fand, offenbart jedoch einen kurzen sowie zumeist simplen und wenig interaktiven Charakter. Die Verwendung von passiver Haptik im Kontext eines VR-Spiels fand somit nicht statt und stellt den Ausgangspunkt des Projekts „Saltar VR – ein Virtual Reality Plattformspiel“ dar. Gerade im Zusammenhang mit Computerspielen ist Präsenz ein wichtiger Bestandteil der Erfahrung und insbesondere in Beziehung zur VR das zentrale Bestreben [6]. Ob und welche Aspekte der haptischen Wahrnehmung in der VR zu einer Steigerung der Präsenz beim Spieler führen, ist Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit und wird in der Evaluation im 6. Kapitel beschrieben. An dieser Stelle sei auf die Masterthesis von Jonas Schöls verwiesen, die den Titel „Saltar VR – ein Virtual Reality Plattformspiel: Design, Umsetzung und Evaluation eines haptischen VR-Plattformspiels anhand eines User-Centered Design Ansatzes unter besonderer Berücksichtigung der Spielmechaniken“ trägt. Mit ihm zusammen wurde Saltar VR konzipiert und umgesetzt, wobei er den Schwerpunkt seiner Arbeit auf die Identifikation von Plattformer-Spielmechaniken und deren Verwendung in der VR legt.

[2] https://haptx.com

Im nachfolgenden Kapitel 2 werden die theoretischen Grundlagen vermittelt, mit einem speziellen Augenmerk auf Immersion, Präsenz und der haptischen Wahrnehmung in der VR. Nach der Beschreibung des Projekts Saltar VR in Kapitel 3 werden in Kapitel 4 die technischen Grundlagen mit Fokus auf die *HTC Vive* erläutert. Daraufhin wird die Umsetzung, insbesondere wie die haptische Wahrnehmung in das Spiel integriert wurde, in Kapitel 5 dargestellt. Kapitel 6 führt die, bereits im Abschnitt zuvor erwähnte, Evaluation aus. Abschließend wird das Projekt Saltar VR in Kapitel 7 anhand eines Fazits zusammengefasst und ein Ausblick gegeben.

2 Theoretische Grundlagen

Die folgenden Kapitel dienen der Vermittlung theoretischer Grundlagen, auf denen das Projekt Saltar VR basiert. Zuerst erfolgt eine prinzipielle Einführung in die VR mit einer Betrachtung von Immersion und Präsenz im Anschluss. Daraufhin wird auf die haptische Wahrnehmung an sich sowie deren Anwendung in der VR eingegangen. Mit einer Erklärung von Cybersickness und möglicher Fortbewegungsarten in einer virtuellen Umgebung schließt das Kapitel.

2.1 Definition

Der Terminus *Virtual Reality*[3] oder wurde erstmals vom amerikanischen Informatiker Jaron Lanier geprägt. Er versuchte damit Ende der 1980er Jahre, diverse technologische Innovationen und wissenschaftliche Projekte im Feld der 3D-Echtzeit-Computergrafik zusammenzufassen. [7, S. 24]
Aus sprachwissenschaftlicher Sicht betrachtet, ist Virtual Reality eine Kontradiktion in sich, ein Oxymoron bestehend aus dem Adjektiv *virtual* und dem Substantiv *reality*. Passender wäre das oftmals verwendete Synonym *Virtual Environment*, allerdings hat sich in der Literatur und im Sprachgebrauch der Begriff Virtual Reality durchgesetzt. [8, S. 6]
Trotz des linguistischen Widerspruchs sieht Nicolas Negroponte in VR die Möglichkeit, das künstlich Erschaffene gleichermaßen realistisch zu erfahren wie die eigentliche Realität. In diesem Sinne wird Virtual Reality zu einem Pleonasmus, bestehend aus den beiden äquivalenten Teilen *virtual* und *reality*, wodurch ein neues Verständnis von Realität geschaffen wird. [9, S. 116]

Die Zukunftsvision Negropontes skizzierte Ivan Edward Sutherland, ein Pionier im Bereich der Computergrafik, schon 1965 in seinem Essay „The Ultimate Display“. Hier beschreibt Sutherland seine Vision eines futuristischen Bildschirmes, die es dem Benutzer ermöglicht, mit Hilfe neuartiger multimodaler Ein- und Ausgabegeräte in eine computergenerierte Umgebung einzutauchen. Der Essay endet mit folgendem Satz:

> *„The ultimate display would, of course, be a room within which the computer can control the existence of matter. A chair displayed in such a room would be good enough to sit in. Handcuffs displayed in such a room would be confining, and a bullet displayed in such a room would be fatal. With appropriate programming such a display could literally be the Wonderland into which Alice walked.“* [10]

[3] in Deutsch übersetzt *virtuelle Realität*

Sutherland formuliert hiermit eine perfekte VR, in welcher alle Sinneswahrnehmungen des Nutzers von einem Computer generiert werden, in gleichem qualitativen und quantitativen Maße, wie es Menschen aus der wirklichen Welt kennen. Somit hätten Aktionen des Nutzers dieselben Reaktionen zur Folge und virtuelle Objekte denselben Einfluss auf den Menschen wie reale Objekte in unserer Welt [1, S. 17].

In solch einer VR wäre es für den Nutzer nicht ersichtlich, dass er sich in einer virtuellen Welt befindet. Dieser Aspekt wurde bereits in vielen Science-Fiction-Romanen sowie -Filmen thematisiert, die immer wieder die Frage aufwerfen, ob unsere wahrgenommene Realität auch wirklich real ist. Bekannte Beispiele hierfür sind das „Höhlengleichnis“ von Platon aus der antiken Philosophie, Rainer W. Fassbinders Film „Welt am Draht“ oder „The Matrix“ von den Wachowski-Geschwistern. Letzterer schildert eine dystopische Zukunft, in welcher Maschinen beinahe die gesamte Menschheit unterdrückt haben und als Energiequelle nutzen. Dies geschieht, indem die Menschen von den Maschinen in die Matrix versetzt werden, eine virtuelle Realität, welche die Menschen als unsere Realität wahrnehmen. [11]

In vielen bekannten Definitionen von VR wird der technologische Aspekt hervorgehoben, wie beispielsweise die Verwendung von kabelgebundenen Datenhandschuhen oder am Kopf getragenen Stereodisplays für die visuelle Wahrnehmung [6].

> *„Virtual Reality is electronic simulations of environments experienced via head mounted eye goggles and wired clothing enabling the end user to interact in realistic three-dimensional situations.“* [12]

George Coates beschreibt hierbei die technischen Voraussetzungen, um Zugang zu einer VR zu erlangen. Die Verwendung von solch einer Definition und auch jeder anderen, die sich auf einen bestimmten technologischen Aufbau stützt, ist durch ebendiese Technologie eingeschränkt [6]. VR ist ein Forschungsbereich, der besonders durch Innovationen im Gebiet der zugrundeliegenden Hardware und damit der Technologie stetig weiterentwickelt wird. Gerade ein technologiebasierter Definitionsansatz birgt daher die Gefahr, sich zu sehr auf klar benannte Ein- und Ausgabegeräte zu stützen, welche durch den zuvor beschriebenen Fortschritt von anderen Technologien abgelöst werden. Eine Definition von VR sollte deswegen auch in Zukunft bestand haben und mit Visionen, wie der von Sutherlands Ultimate Display, vereinbar sein. [1, 12f] Cruz-Neria verwendet beispielsweise solch eine Formulierung:

> *„VR refers to immersive, interactive, multi-sensory, viewer-centered, three-dimensional computer generated environments and the combination of technologies required to build these environments.“* [13]

VR ist ein vergleichsweise junges Wissenschaftsgebiet, wodurch sich seine Definition im stetigen Wandel befindet und keine Vereinheitlichung möglich ist [14, S. 6]. Daher soll für den Kontext dieser Masterarbeit Folgendes gelten: Virtual Reality besteht aus einer computersimulierten, dreidimensionalen Umgebung, in der es dem Benutzer unter der Verwendung der dafür nötigen technischen Geräte ermöglicht wird, sich umzusehen, zu bewegen und mit der virtuellen Umgebung zu interagieren. Das Eintauchen in diese virtuelle Umgebung geschieht, indem die Sinne des Nutzers stimuliert werden, vor allem jedoch der visuelle, akustische und vestibuläre.

2.2 Historischer Überblick

VR ist keineswegs eine Innovation der letzten Jahre, sondern reicht weit bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts zurück. Losgelöst von der Technik betrachtet, lässt sich der Ursprung von VR auf die Zeit datieren, seitdem der Mensch über Vorstellungskraft verfügt sowie mit Sprache und Höhlenmalereien kommunizieren kann. Durch bewusste Ablenkung der Gegenwart (Realität) zu entfliehen, liegt in der Natur des Menschen und obwohl sich die Umsetzung über Jahrhunderte hinweg stark gewandelt hat, bleibt das Ziel im Grunde immer gleich: die Erschaffung von Dingen und die Faszination darüber, was in Wirklichkeit nicht da ist [15, S. 15].
Für diese Masterthesis ist jedoch VR lediglich in dem Sinne relevant, wie wir sie heute kennen und verwenden. Daher soll im Folgenden ein Überblick über die zeitlichen Meilensteine der Entwicklung gegeben werden.

Im Jahre 1962 entwickelte Morton L. Heilig ein Gerät, das an einen Arcade-Automaten erinnert, und ließ es unter der Bezeichnung *Sensorama Simulator* patentieren. Das Sensorama kann als eine Art prädigitale VR bezeichnet werden und sollte als münzbetriebener Automat zum Einsatz kommen (siehe Abbildung 1). Neben einem vibrationsfähigen Sitz verfügte das Sensorama über einen Stereobildschirm und Stereosound. Komplettiert wurde das multisensorische Erlebnis durch ein System, das Gerüche und Wind erzeugte. Somit konnte der Benutzer unter anderem eine Motorradfahrt durch Brooklyn oder einen Hubschrauberflug über Kalifornien realitätsnah erfahren. Zu einer Vermarktung des Sensoramas kam es nie, da es für die Verwendung in einer Spielhalle nicht robust genug gebaut war und es den Geldgebern aus der Unterhaltungsindustrie an Weitsicht fehlte. [16, S. 69-74]

Abbildung 1 – Morton L. Heiligs Sensorama [17]

1968 nahm die Idee der VR, wie sie im heutigen Sinne verstanden wird, erstmals klare Konturen an. Ivan Sutherland, der bereits zuvor mit seinem visionären Essay „The Ultimate Display“ erwähnt wurde, versetzte in diesem Jahr erstmals einen Menschen mit Hilfe eines prototypischen *Head-Mounted-Displays* (HMD) in eine virtuelle Welt. Sutherlands Forschungsarbeit markierte damit einen bedeutenden Beitrag zur Entwicklung der VR-Technologie [16, S. 154]. Sein VR-System verfügte über binokulare Displays zur Erschaffung einer dreidimensionalen Perspektive, 3D-Computergrafiken und konnte Kopfbewegungen verfolgen. Letzteres ermöglichte das Umschauen in der virtuellen Welt und wurde über akustische und mechanische Sensoren realisiert. Für die mechanische Erfassung der Kopfposition war das HMD über Stangen und Gelenken an Schienen an der Decke montiert. Somit befand sich über dem Kopf des Nutzers ein wuchtiger, metallischer Apparat (siehe Abbildung 2). Aufgrund dieser Allegorie wird Sutherlands VR-System auch als *Sword of Damocles* betitelt. Die Verfolgung der Kopfbewegung ermöglichte es dem Nutzer, sich in einem Bereich von circa zwei Metern im Durchmesser sowie einem Meter in der Höhe frei zu bewegen, sich um die eigene Achse zu drehen und seinen Kopf 40 Grad nach oben oder unten zu neigen. [18]

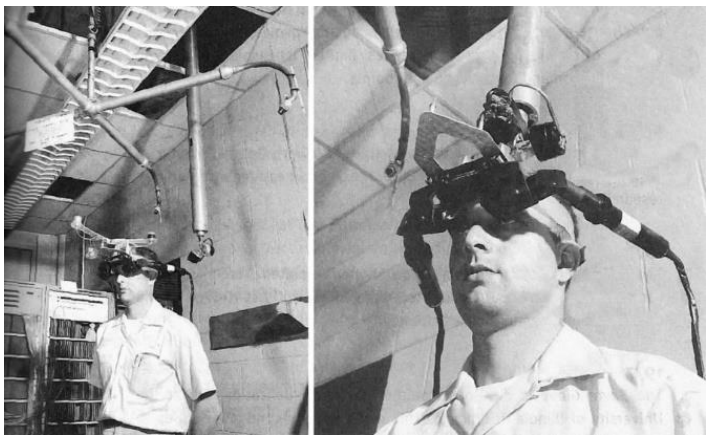


Abbildung 2 – Ivan Sutherlands Sword of Damocles [18]

Mitte der 80er Jahre trat das Forschungsgebiet der VR erstmals hervor, als eine Kombination aus Geldgebern, Visionären, Ingenieuren und fortentwickelter Technologie am NASA Ames Research Center zusammentraf. Unter dem Namen *Virtual Interface Environment Workstation* (VIEW) wurde hier erstmalig ein erschwingliches VR-System entwickelt. [16, 195f] Ziel des VIEW-Projekts war die Wartung von Raumstationen mit Hilfe von Robotern durch Telepräsenz sowie die Visualisierung wichtiger Daten anhand des HMDs für Astronauten bei Außenbordeinsätzen. Das kompakte HMD verfügte über ein stereoskopisches LCD-Display, ein kleines Mikrofon zur Sprachsteuerung, einem 3D-Audio-Display zur Ortung von Geräuschquellen im dreidimensionalen Raum, elektromagnetische Sensoren zur Verfolgung der Kopfposition und Datenhandschuhen mit Vibrationsfeedback zur Gestensteuerung und um mit der virtuellen Umgebung interagieren zu können (siehe Abbildung 3). [19] Der Datenhandschuh wurde unter Anweisung der NASA von VPL Research entwickelt, einer Firma deren Mitbegründer Jason Lanier war, der wie zu Beginn des Kapitels erwähnt, den Begriff Virtual Reality Ende der 80er Jahre prägte. VPL Research verkaufte bereits seit geraumer Zeit Datenhandschuhe, allerdings war es die NASA, welche den Scharfblick hatte, Datenhandschuh und HMD miteinander zu verknüpfen. Dem NASA Ames Research Center kommt somit eine wichtige Rolle bei der Weiterentwicklung von VR zugute. [16, S. 212]

Abbildung 3 – HMD des VIEW-Projekts [20]

Dass für VR nicht immer ein HMD benötigt wird, zeigt der 1991 an der University of Illinois in Chicago entwickelte und ein Jahr später auf der SIGGGRAPH'92[4] ausgestellte *CAVE* (CAVE Automatic Virtual Environment), ein rekursives Akronym und Referenz zu Platons Höhlengleichnis zugleich. Der CAVE war ein circa 3 x 3 x 3 Meter großer Kubus bestehend aus drei Rückprojektionsleinwänden als Seiten und einer senkrechten Projektion als Boden (siehe Abbildung 4). Heutige CAVE-Systeme können alle Flächen des Kubus involvieren. Zusätzlich konnte über kabelgebundene, elektromagnetische Sensoren

[4] Die SIGGRAPH (Special Interest Group on Graphics) ist eine Organisation, die sich mit Computergrafik sowie interaktiver Technik beschäftigt.

die Position von Kopf und Händen des Benutzers bestimmt sowie mit LCD-Shutterbrillen eine neue Art der VR erfahren werden. Der CAVE versprach eine höhere Auflösung, eine geringere Fehleranfälligkeit und entlastete den Benutzer, da LCD-Shutterbrillen um ein Vielfaches leichter waren als HMDs. [21]

Abbildung 4 – Nutzer in einer CAVE [22]

In den 90er Jahren kam es zu einem regelrechten VR-Boom infolgedessen viele neue Firmen gegründet wurden, die ihren Fokus auf Marktforschung und Home-Entertainment legten. Das Militär und Universitäten begannen im gleichen Maße ausführlich mit VR-Technologie zu experimentieren. Die Massenmedien nahmen die Thematik auf und es kamen Filme, Bücher, Zeitschriften und Konferenzen mit VR im Zentrum des Interesses hervor. [15, S. 26] Negroponte sagte 1993 im „Wired Magazin" voraus, dass innerhalb von fünf Jahren jeder zehnte Mensch ein HMD tragen würde während er mit Bus, Bahn oder Flugzeug reise [23]. Alles sah danach aus, als ob die VR-Ära ins Rollen gebracht wurde und sie durch nichts aufzuhalten wäre. Die Versprechen, die sich von der VR-Technologie erhofft wurden, konnten bedauerlicherweise nicht gehalten werden, sodass die VR-Industrie 1996 ihren Höhepunkt erreichte und ab dann langsam anfing, zu schrumpfen. [15, S. 27]

Das erste Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts wird auch als *VR-Winter* bezeichnet und obwohl das Interesse der Massenmedien an VR in dieser Zeit abflachte, wurde von der Öffentlichkeit unbeachtet weiterhin im akademischen, wirtschaftlichen, regierungsnahen und militärischen Umfeld an VR geforscht. 2012 wurde auf der IEEE[5] VR Konferenz in Orange County Kalifornien ein kostengünstiges do it yourself HMD namens *FOV2GO* (Field of View To Go) vorgestellt. Dieses bestand im Grunde aus einer zu einem Kasten gefalteten Schaumstoffplatte, zwei Linsen und einem Smartphone, welches als Bildschirm in den Kasten geschoben wurde. Das Gyroskop des Smartphones ermöglichte es dem Nutzer, sich in Echtzeit umzuschauen. Entwickelt wurde das HMD in den MxR Laboratorien der University of Southern

[5] Der IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) ist ein weltweiter Berufsverband für Ingenieure im Bereich der Elektrotechnik und Informationstechnik.

California. Es gilt als Vorreiter vieler heutiger HMDs. Etwa zur selben Zeit veröffentlichte Palmer Luckey, ein Mitarbeiter der MxR Laboratorien, seine Idee eines HMD-Prototyps unter dem Namen *Rift* in einem VR-enthusiastischem Forum. Er gründete die Firma Oculus VR, um eine Kickstarter Kampagne für die Umsetzung des Prototyps zu ermöglichen. Diese hatte einen immensen Erfolg, sodass letztendlich 2,4 Millionen US-Dollar für die Entwicklung erreicht wurden. Die Medien befeuerten die VR-Thematik abermals und Start-Ups sowie äußert umsatzstarke Firmen stellten Mittel für die VR-Entwicklung zur Verfügung. Unter ihnen auch Facebook, die 2014 Oculus VR kurz nach ihrer Kickstarter Kampagne für zwei Milliarden US-Dollar erwarb und damit eine neue Ära der VR einläutete. [15, S. 27] Diese enorme Geldsumme betont das Vertrauen und den Stellenwert der VR-Technologie als weltweites Interessengebiet. Als es 2016 zur Veröffentlichung der Oculus Rift kam, sah sie sich bereits in Konkurrenz mit anderen HMDs, wie beispielsweise der HTC Vive, auf die im Kapitel 4 näher eingegangen wird [24, S. 31].

2.3 Immersion und Präsenz

Eine direkte Verbindung des menschlichen Körpers mit einem Computer ist bereits seit geraumer Zeit Gegenstand vieler popkultureller Medien. Utopien, die häufig nur belächelnd konsumiert und als impraktikabel abgetan werden. Doch hin und wieder treten Ereignisse ein, die den Traum einer Verschmelzung von Mensch und Maschine greifbarer machen, wie beispielsweise die Nachricht über die 2016 von Elon Musk mitgegründete Firma Neuralink. Deren kurzfristiges Ziel ist es, durch die Entwicklung eines *Brain-Computer-Interface* (BCI) die Heilung von Gehirn- und Nervenerkrankungen zu verbessern und letztendlich den menschlichen Körper technisch zu erweitern (Human Enhancement). [25] Einhergehend mit dieser Technik würde nicht nur luzides Träumen on demand ermöglicht, sondern auch das Eintauchen in eine derart überzeugende, virtuelle Welt, welche nicht von der Realität unterscheidbar wäre. Ob diese Intention erstrebenswert ist, sei dahingestellt, denn bisher ist es lediglich ein unerfülltes Versprechen der VR-Technologie.

Nichtsdestotrotz ermöglicht es VR, wie wir sie kennen, nicht nur visuell von einer virtuellen Welt umgeben zu sein, sondern sich auch in dieser zu bewegen und interagieren. Der zuvor beleuchtete geschichtliche Kontext zeigt dabei auf, dass bereits 1968 Sutherland mit dem Sword of Damocles eine solche Technologie bereitstellte und damit dem Ausdruck *feeling of being there* eine ganz neue Bedeutung zuwies. Bezeichnet wird dieses erfahrbare Phänomen mit den gängigen Begriffen *Immersion* und *Präsenz*.

Obwohl Konsens darüber besteht, dass Immersion und Präsenz einen hohen Stellenwert bei der Erfahrung mit VR einnehmen, gibt es Unklarheit darüber, was sie genau bedeuten. Gerade Immersion ist eine gern von Firmen verwendete Begrifflichkeit, um deren Medieninhalte zu bewerben. Die

folgenden beiden Unterkapitel sollen daher dazu dienen, Immersion und Präsenz genauer zu differenzieren und eruieren.

2.3.1 Immersion

Das Wort *Immersion* hat seinen Ursprung im lateinischen *immergere*, was mit ein- oder untertauchen übersetzt wird[6]. Im selben Verständnis wird Immersion allgemein auch im Oxford English Dictionary[7] definiert und beschreibt dabei einen Prozess oder Zustand, wie im Folgenden zu sehen ist:

1. the action of immersing someone or something in a liquid
2. deep mental involvement in something
3. the disappearance of a celestial body in the shadow of or behind another

Gerade im englischen Sprachgebrauch sind *immersion* und vor allem das zugehörige Verb *to immerse* geläufige Begriffe, wohingegen in der deutschen Sprache Immersion vorranging in einem wissenschaftlichen Kontext verwendet wird und dabei wenig Interpretationsspielraum zulässt.

Den versinnbildlichenden Prozess und Zustand des Eintauchens und unter Wasser Seins greift Janet H. Murray in einer breit gefassten Definition von Immersion in ihrem Buch „Hamlet on the Holodeck“ auf. Hierbei zieht sie Parallelen zwischen der körperlichen Erfahrung eines Sprungs ins Wasser und Immersion als einem psychologischen Zustand, hervorgerufen durch das Empfinden völlig von einer anderen Realität (Wasser) umgeben zu sein, die alle Aufmerksamkeit und Wahrnehmung auf sich zieht. Murray bettete ihre Definition in einem literaturwissenschaftlichen Kontext ein und zeigt damit auf, dass der Begriff Immersion bereits vor der unzertrennbaren Verbindung mit elektronischen Medien Anwendung fand. [26, S. 99]

Eine weit anerkannte Definition im Kontext von elektronischen Medien und VR im Speziellen bieten Witmer und Singer, die Immersion ebenfalls als einen psychologischen Zustand darlegen:

> *„Immersion is a psychological state characterized by perceiving oneself to be enveloped by, included in, and interacting with an environment that provides a continuous stream of stimuli and experiences.“* [27]

Der Definition zufolge ist Immersion gekennzeichnet durch eine, den Nutzer umgebende, stimmige, fesselnde, virtuelle Umgebung, mit welcher er interagieren kann. Sie wird durch eine kontinuierliche Abfolge von Reizen aufrechterhalten, die vom Nutzer interpretiert werden. Zusätzlich sind bestimmte

[6] https://www.duden.de/rechtschreibung/Immersion
[7] https://en.oxforddictionaries.com/definition/immerse

Faktoren vorhanden, die Immersion beeinflussen. Dazu zählt die Isolation des Nutzers von seiner Umwelt, die Natürlichkeit seiner Interaktionen mit der virtuellen Welt sowie die Wahrnehmung seiner Existenz und Bewegung in dieser. Da es sich bei Immersion für Witmer und Singer um einen psychologischen Zustand handelt, ist sie stets eine subjektive Empfindung, die sich von Individuum zu Individuum unterscheidet. [27]

Demgegenüber steht Slaters und Wilburs technisch geprägte Definition von Immersion, die in der Domäne der Mensch-Maschine-Interaktion anzusiedeln ist:

> *„Immersion is a description of a technology, and describes the extent to which the computer displays are capable of delivering an inclusive, extensive, surrounding and vivid illusion of reality to the senses of a human participant."* [3]

Demnach stellt Immersion eine auf technischer Grundlage messbare Qualität des VR-Systems dar, die objektiv quantifizierbar ist [3]. Witmer und Singer bestreiten nicht, dass die technische Ausstattung eines VR-Systems Einfluss auf die Immersion des Nutzers hat, stimmen aber nicht mit Slaters und Wilburs Ansicht überein, Immersion sei eine rein objektive Beschreibung der VR-Technologie [27]. Folglich bildet Slaters und Wilburs Definition einen Kontrapunkt zu Witmers und Singers Ansatz, wodurch ein Dualismus des Immersionsbegriffs entsteht, als psychologischer Zustand (subjektiv) einerseits und Immersion als technische Eigenschaft eines VR-Systems (objektiv) andererseits. In der Literatur wird dieser Kontrast oftmals auch als mentale und physikalische Immersion [14, S. 9] sowie psychologische und physiologische Immersion bezeichnet [28].

Slater und Wilbur sind der Annahme, eine Voraussetzung für Immersion sei es, dass sich der Nutzer durch eine virtuelle Repräsentation seiner selbst als Teil der VR sieht und zugleich das Individuum ist, welches die VR wahrnimmt [3]. Ist diese Voraussetzung erfüllt, spricht Slater von einer *Immersive Virtual Environment* (IVE) [29]. Immersion wird dabei als ein Konstrukt identifiziert, bestehend aus mehreren Dimensionen, die wie folgt lauten:

> Inclusive: Beschreibt die Isolation des Nutzers von der realen, physischen Umgebung. Zum Beispiel im Idealfall durch ein gewichtsloses HMD oder die Unterdrückung von Geräuschen außerhalb der VR, sodass der Nutzer diese Aspekte der Realität nicht wahrnimmt.
>
> Extensive: Gibt die Bandbreite an Sinnesmodalitäten wieder (beispielsweise visuelle, auditive oder haptische Reize), die dem Nutzer angeboten werden.
>
> Surrounding: Kennzeichnet die räumliche Wiedergabe der VR. Der Nutzer soll optimalerweise durch ein großes Sichtfeld und die Verfolgung der Kopfbewegung komplett von der VR umgeben oder in der Lage sein, eine Geräuschquelle in dieser orten zu können.

Vivid: Stellt die Qualität der dargebotenen Sinnesmodalitäten dar, wie beispielsweise die Auflösung des HMDs, Darstellung der VR, Bildfrequenz oder Audio-Bitrate.

Matching: Gibt die Übereinstimmung zwischen den Sinnesmodalitäten wieder. Zum Beispiel sollten reale Körperbewegungen in Einklang mit der visuellen Wiedergabe des HMDs sein. Eine Drehung des Kopfs sollte demnach eine kongruente Änderungen des Blickfelds in der VR nach sich ziehen und dementsprechend ebenfalls zu einer veränderten Wahrnehmung einer Geräuschquelle führen.

Plot: Entspricht der eigenständigen Handlung, welche die VR dem Nutzer in einem bestimmten Kontext anbietet und sich dabei deutlich von den gegenwärtigen Ereignissen in der realen Umgebung unterscheidet. Plot schließt auch *Autonomy* mit ein, die das eigene unabhängige Verhalten von Entitäten untereinander sowie gegenüber dem Nutzer in der VR beschreibt. Des Weiteren enthält es *Interaction*, die angibt, wie sehr der Nutzer die Handlung beeinflussen und Veränderungen in der VR hervorrufen kann. Der Plot steht in gewisser Weise dafür, inwieweit die VR den Nutzer aus der Realität herausholen kann und ihn an einer anderen spannenden Welt als Individuum teilhaben lässt. [3]

Jonathan Steuer beschreibt zwei Faktoren, die einen Einfluss auf Immersion haben, nämlich *Interactivity* und *Vividness*. Das erste wird im selben Zusammenhang verstanden wie Slaters Interaction. Vividness bezieht sich auf die Qualität eines VR-Systems, eine sensorisch reichhaltige virtuelle Umgebung zu erzeugen. Zwei Variablen beeinflussen laut Steuer Vividness. Zum einen *Breadth*, also die Anzahl an Sinnesmodalitäten des Nutzers, welche ein VR-System gleichzeitig anspricht (vergleichbar mit Slaters Extensive), und *Depth*, die Qualität, in welcher diese Sinnesmodalitäten stimuliert werden (entspricht der Dimension von Vivid). [6]

Umso mehr Sinnesmodalitäten ein VR-System bei einem Nutzer stimuliert und je genauer diese in Relation mit den entsprechenden Sinnesmodalitäten der realen Welt übereinstimmen, als desto immersiver kann das VR-System laut Slater beschrieben werden [30]. Alle genannten Dimensionen können auf unterschiedliche Art und Weise (technisch) umgesetzt werden, wodurch sich eine Abstufung der Wahrnehmungsqualität ergibt [3]. Immersion ist demnach eine graduelle Eigenschaft, die je nach VR-System in unterschiedlichem Maße erzeugt wird. VR-Systeme, die ein HMD als visuelles Ausgabegerät verwenden, erzeugen eine hohe Immersion, da sie den Nutzer völlig von seiner realen Umgebung abkapseln und seine visuelle Wahrnehmung allein computergeneriert ist. Ein HMD mit großem Sichtfeld erzeugt hierbei zum Beispiel eine noch stärkere Immersion als ein HMD mit kleinerem Sichtfeld. [1, S. 14]

Für den Kontext dieser Thesis wird Immersion im technischen Sinne von Slater und Wilbur verstanden. Wie soeben beschrieben, wird durch die Verwendung von haptischen Elementen in VR die Bandbreite an Sinnesmodalitäten (Extensive) erweitert, womit die Immersion des VR-Systems verstärkt wird. Ihre Auswirkung auf die Präsenz des Nutzers wurde anhand einer Evaluation überprüft und wird in Kapitel 6 beschrieben. Zuerst soll jedoch im nächsten Abschnitt der Präsenzbegriff genauer untersucht werden.

2.3.2 Präsenz

Der Begriff *Präsenz* hat seinen Ursprung in der *Telepräsenz*, einer Bezeichnung, die 1980 von Marvin Minsky, einem amerikanische Forscher im Bereich der künstlichen Intelligenz, geprägt wurde. Bei der Fernsteuerung einer Maschine (Telerobotik) werden verschiedene Sinne des Operators stimuliert, beispielsweise nimmt er die Auswirkungen seiner Steuerung auf einem Bildschirm visuell wahr. Dadurch kann beim Operator ein Gefühl der Anwesenheit hervorgerufen werden, sich am realen Standort der Maschine zu befinden, was Minsky in seinem Paper als Telepräsenz beschreibt. [31]

Das Phänomen der Telepräsenz wurde jedoch nicht nur als ein wichtiger Aspekt im Bereich der Telerobotik erachtet. Sich durch ein VR-System in einer computergenerierten Umgebung anwesend zu fühlen, nimmt in der Forschung bereits seit geraumer Zeit einen hohen Stellenwert ein. Anfang der 90er Jahre wurde daher das Verständnis von Telepräsenz auf VR angewendet und führte zu ersten Konfusionen. [1, S. 18] Thomas B. Sheridan versteht unter Telepräsenz explizit die Anwesenheit an einem anderen realen Ort, hervorgerufen durch Telerobotik, während er den Begriff *Virtual Presence* dafür verwendet, sich in einer virtuellen Welt anwesend zu fühlen [32]. Dahingegen verbinden Held und Durlach mit Telepräsenz beide Aspekte [33].
Aus Minskys Ansicht heraus bildete sich eine Forschergruppe im Bereich der Präsenztheorie, die sich dem Phänomen der Telepräsenz verschrieb. In folgenden Veröffentlichungen auf dem Gebiet der Präsenzforschung wurde der Begriff Telepräsenz durch Präsenz substituiert, welcher fortan die Erfahrung in realen als auch virtuellen Umgebungen beschrieb. [34] Präsenz ist das zentrale Bestreben in VR, wenn nicht sogar ein Bestimmungsmerkmal [6]. Ihre Bedeutung wird durch eine Untersuchung von Lombard und Jones unterstrichen, die 1.800 wissenschaftlich publizierte Studien und Paper im Zeitraum von 1930 bis 2007 mit einem direkten Bezug zu Präsenz identifizierten [35].

Die meisten Autoren sind einer Meinung, dass besonders in Bezug auf VR unter Präsenz *the sense of being there* verstanden wird, also das Gefühl des *Dort-Seins*. Sobald es jedoch darum geht, die Bedeutung des Dort-Seins zu erörtern oder Einflussfaktoren für dieses subjektive Empfinden zu bestimmen, gehen die Ansichten weit auseinander. Aufgrund der Fülle an Literatur, welche die

Auffassungen verschiedener Forschungsdisziplinen im Bereich der Präsenz widerspiegeln, ist es daher nicht verwunderlich, dass es keine einheitliche Definition von Präsenz gibt. [36]

Lombard und Ditton unterteilten 1997 anhand einer ausgiebigen Betrachtung der vorhandenen Literatur zu jener Zeit die Definitionen von Präsenz in sechs verschiedene Gruppen: Präsenz als (1) *Social Richness*, (2) *Realism*, (3) *Transportation*, (4) *Immersion*, (5) *Social Actor Within Medium* und (6) *Medium As Social Actor*. Die Taxonomie ergab, dass allen Gruppen ein gemeinsamer Gedanke zugrunde liegt und zwar „the perceptual illusion of nonmediation", eine Wahrnehmungsillusion, die dann entsteht, wenn der Nutzers seine Umgebung nicht mehr für technisch erzeugt hält und sich in dieser verhält, als sei sie real. [37]

Aktuellere Konzeptualisierungen segmentieren Präsenz anhand unterschiedlicher Dimensionen, die auf Erfahrungsbereichen basieren, wie beispielsweise die Ausführungen von Biocca, Heeter und Lee [38–40]. Obwohl sich die Segmente ihrer Modelle und deren Betitelung nicht exakt gleichen, gibt es inhaltlichen Konsens, den Tamborini und Skalski als S*patial Presence*, S*ocial Presence* und S*elf-Presence* bezeichnen. Ersteres steht hierbei für das Gefühl, sich physisch in einer virtuellen Umgebung zu befinden. Social Presence beschreibt die Erfahrung mit virtuellen Entitäten, die als reale Entitäten erachtet werden. Schließlich wird mit Self-Presence ein Zustand gekennzeichnet, in welchem der Nutzer die virtuelle Repräsentation seiner selbst in dem Maße wahrnimmt, als sei es sein reales Ich. [41]

All diese Konzeptualisierungsversuche sowie die Literatur an sich legen dar, dass es viele verschiedene Ansichten in der Präsenzforschung gibt und Präsenz nicht als ein eindeutiges, einfaches Phänomen definiert werden kann. Um eine Konsistenz der Begrifflichkeiten zu gewährleisten und die Relation zwischen Immersion und Präsenz aufzuzeigen wird für diese Thesis Präsenz ebenfalls im Sinne Slaters und Wilburs verstanden. Sie definieren Präsenz wie folgt:

> *„Presence is a state of consciousness, the (psychological) sense of being in the virtual environment."* [3]

Hierbei wird Präsenz als Bewusstseinszustand definiert sowie der mentale Aspekt, sich in einer virtuellen Umgebung anwesend zu fühlen, explizit hervorgehoben [3].

Um das Verhältnis von Immersion und Präsenz zu verdeutlichen, behilft sich Slater einer Analogie aus der Farblehre: Eine Farbe kann aufgrund ihrer Wellenläge objektiv beschrieben werden. Die Wahrnehmung der Farbe ist jedoch eine andere Sache, denn unterschiedliche Wellenlängen können vom Menschen als gleiche Farbe wahrgenommen werden (Metamerie). Immersion ist vergleichbar mit der Wellenlänge, denn prinzipiell kann sie objektiv beurteilt werden. Präsenz wäre in dieser Analogie gleichzusetzen mit der Farbwahrnehmung. Präsenz (Farbe) ist eine menschliche Reaktion auf

Immersion (Wellenlänge), wobei durch das gleiche VR-System verschiedene Menschen einen ungleichen Grad an Präsenz erfahren können. Genauso gilt, dass unterschiedliche VR-Systeme den gleichen Grad an Präsenz bei verschiedene Menschen hervorrufen können. Immersion und Präsenz lassen sich logisch trennen, beeinflussen sich empirisch jedoch stark. [42]

Was Slater unter Präsenz versteht, führt er in einem Gedankenspiel weiter aus: Man sitzt bei einem Freund, schließt die Augen und hört sich Musik über das neue 5.1 Soundsystem an. Die erste Reaktion wäre: „Das hört sich ja an als ob ich im Theater bin, in dem das Orchester spielt." Anschließend sagt man: „Die Musik ist aber nicht so meins, fand ich nach kurzer Zeit uninteressant." Die erste Aussage ist ein Zeichen von Präsenz, wohingegen die zweite in keinem Verhältnis zu Präsenz steht. Nur weil einem die Musik nicht gefällt, heißt es nicht, dass man sie nicht auf solche Weise wahrgenommen hat, als ob man da gewesen wäre. Erstere Aussage beschreibt die Form, letztere den Inhalt. Demnach steht Präsenz für die Form respektive für das Ausmaß an Vereinigung, das künstlich erzeugte Sinnesreize mit dem Wahrnehmungsprozess eingehen, um eine kohärente Anwesenheit in der virtuellen Welt zu vermitteln und in welcher das Potential besteht, in ihr zu handeln. VR-Systeme können eine starke Präsenz auslösen, aber einen uninteressanten Inhalt besitzen und umgekehrt. [43]

Ein Präsenzgefühl ist dann erreicht, wenn sich ein Nutzer in der virtuellen Welt genauso verhält, wie er es unter gleichen Umständen in der realen Welt getan hätte. Beispielsweise duckt sich der Nutzer eines VR-Systems vor einem fliegenden, virtuellen Objekt. Dabei vergisst der Nutzer völlig, dass das Objekt nicht real ist. Voraussetzung für dieses Verhalten ist laut Slater eine Kombination aus Immersion, *Place Illusion*, *Plausibility Illusion* und einer Vereinigung der beiden zuletzt genannten in der Vorstellung von einem *Virtual Body* (siehe Abbildung 5). [44] Slaters Auffassung von Immersion wurde bereits im vorangegangen Kapitel aufgezeigt, daher werden im Folgenden die anderen Teilaspekte beschrieben:

> Place Illusion (PI): Bezieht sich auf die bereits erwähnte, nichtmessbare Art von Präsenz sich an einem Ort anwesend zu fühlen, im Wissen, dass dem nicht so ist. Immersion stellt dabei den Bereich zur Verfügung, in welcher PI auftreten kann. Insbesondere dem Aspekt des Matchings kommt hierbei eine wichtige Rolle zu.
>
> Plausibility Illusion (Psi): Entsteht, wenn Vorgänge in der VR in solcher Weise wahrgenommen werden, als ob sie wirklich passieren, im Wissen, dass dem nicht so ist. Während sich PI auf die korrekte Darstellung der virtuellen Welt bezieht, basiert Psi darauf, was wahrgenommen wird. Ein großer Einflussfaktor auf Psi sind Ereignisse, die der Nutzer nicht steuern kann, aber ihn betreffen. Beispielsweise antwortet der Nutzer einem virtuellen Charakter automatisch, obwohl er weiß, dass keine reale Person vor ihm steht.

Virtual body (VB): Beschreibt einen zentralen Punkt, an dem PI und Psi verschmelzen. Die virtuelle Repräsentation des Nutzers ist ein enormer Nachweis von PI. Entsprechen die Bewegungen des Nutzers in der realen Welt denen in der virtuellen, ist dies ein eindeutiges Ereignis, welches sich auf den Nutzer bezieht und damit eine starke Psi hervorruft. In der Folge identifiziert sich der Nutzer mit der dargestellten Repräsentation seiner selbst in der virtuellen Welt und nimmt an, er selbst sei in derselben Welt anwesend. [44]

Treffen die oben genannten Faktoren ein, sprich der Nutzer fühlt sich in der virtuellen Welt anwesend (PI) und was den Anschein hat zu passieren, geschieht wirklich (Psi), dann passiert dies in Bezug auf den Nutzer. Er wird daher vermutlich so reagieren, als ob es real sei. Slater führt für diesen Fall den Begriff RAIR, *Response-As-If-Real*, ein. [44]

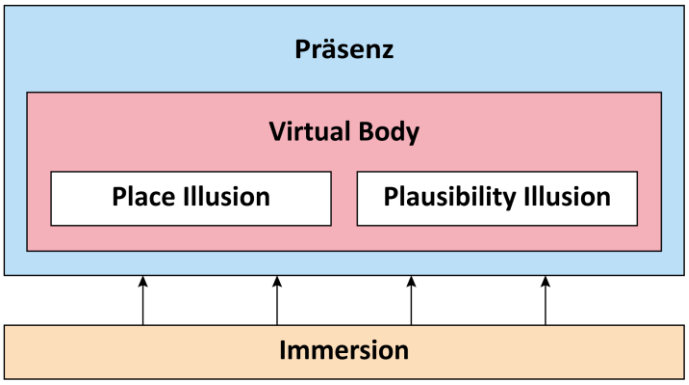


Abbildung 5 – Präsenzgefühl (eigene Darstellung)

Zusammengefasst betrachtet, ist Präsenz ein mentaler und damit subjektiver Zustand, der als eine menschliche Reaktion auf einen objektiven Grad an Immersion eintritt und durch das Zusammenspiel von Place Illusion und Plausibility Illusion beeinflusst wird.

2.4 Haptik

Im vorherigen Kapitel wurde hervorgehoben, dass Präsenz das zentrale Ziel von VR und eine Reaktion des Menschen auf Immersion ist. Immersion beruht dabei auf den technischen Aspekten eines VR-Systems, die Sinnesmodalitäten aus der realen Welt adäquat in einer virtuellen Umgebung wiederzugeben. Die Verarbeitung dieser Sinnesreize und der damit verknüpften Informationen wird im Folgendem kurz aufgezeigt. Anschließend soll genauer auf die haptische Wahrnehmung sowie deren Verwendung in VR eingegangen werden, da dies einen wichtigen Aspekt der vorliegenden Arbeit darstellt.

2.4.1 menschliche Informationsverarbeitung

Der Mensch nimmt seine Umwelt über mehrere Sinne wahr: Sehen (visuell), Hören (auditiv), Fühlen (taktil), Riechen (olfaktorisch) und Schmecken (gustatorisch). Im Kontext von VR sind hierbei die visuelle, auditive und taktile Wahrnehmung besonders relevant, denn sie liefern den Großteil an Informationen über unsere Umwelt. [45, S. 41] Herkömmliche VR-Systeme unterstützen die Stimulation dieser drei Sinne, wohingegen die olfaktorische und gustatorische Wahrnehmung so speziell sind, dass sie zum jetzigen Zeitpunkt nur experimentell untersucht werden [46] [47]. Es gilt zu beachten, dass die Wahrnehmung über die einzelnen Sinnesreize keinesfalls als separate Ereignisse zu betrachten sind, sondern vielmehr das Ergebnis aller Sinneseindrücke darstellen, die in Relation zueinander stehen [1, S. 34].

Die Informationsverarbeitung des Menschen besteht aus komplexen Mechanismen. Zum besseren Verständnis ist es daher hilfreich, einen Vergleich zu verwenden, wie beispielsweise das *Model Human Processor* (MHP) von Card, Moran und Newell. Bei diesem sehr vereinfachten Modell wurde die menschliche Informationsverarbeitung in drei aufeinander wirkende Subsysteme unterteilt: das perzeptuelle System, das kognitive System und das motorische System (siehe Abbildung 6). Jedes System verfügt dabei über eigene Prozessoren und Speicher, wodurch ersichtlich ist, dass eine Analogie zu Computersystemen bewusst aufgegriffen wurde. Bei der elektronischen Datenverarbeitung werden Eingaben durch Prozessoren und Speicher verarbeitet und anschließend auf einem Ausgabemedium dargestellt. Entsprechend werden beim MHP Stimuli der Umwelt von den menschlichen Sinnen aufgenommen und an das perzeptuelle System übergeben. Dort werden sie vom perzeptuellen Prozessor unter Zuhilfenahme des dazugehörigen Speichers verarbeitet und an das kognitive System weitergeleitet. Der kognitive Prozessor plant unter Einbeziehung der Inhalte des Arbeits- und Langzeitgedächtnisses Handlungen, die anschließend im motorischen System von dessen Prozessor ausgeführt werden und in Bewegungen resultieren. [48, 24f]

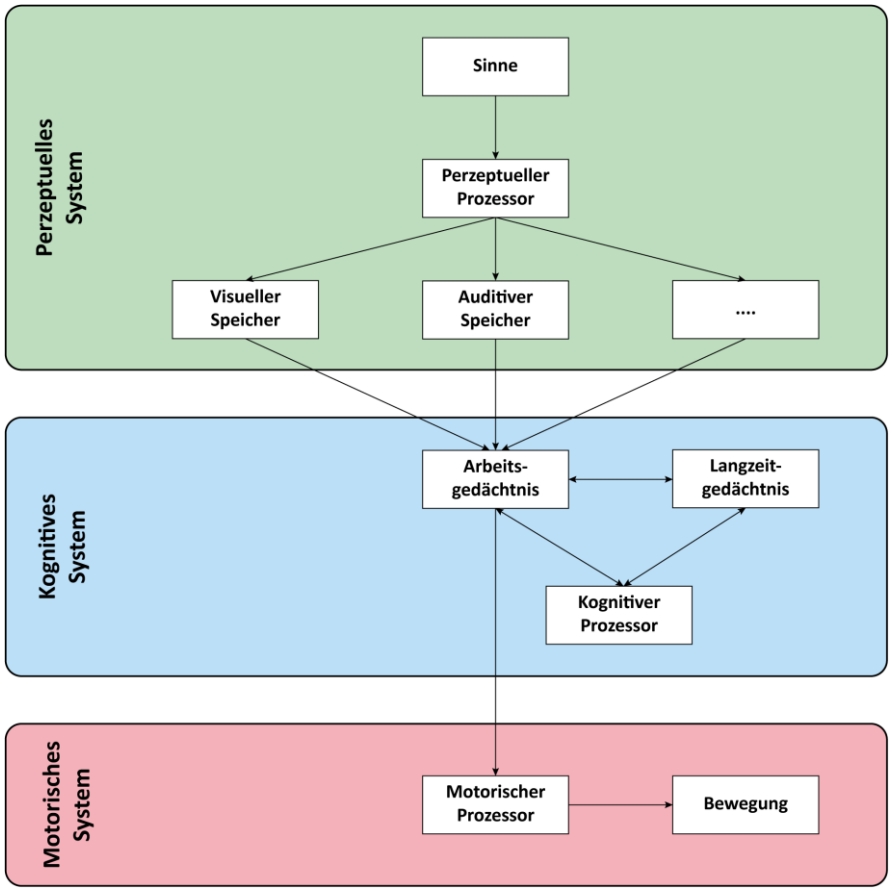


Abbildung 6 – Model Human Processor nach [1, S. 35]

Die Wechselwirkung zwischen dem perzeptuellen und kognitiven System kann aus zwei Perspektiven betrachtet werden. Die *Bottom-up*-Verarbeitung oder reizgesteuerte Wahrnehmung basiert auf Stimuli, die von den Sinnesorganen in das perzeptuelle System aufgenommen, dort verarbeitet und anschließend an das kognitive System übergeben werden. Sinnesreize stellen somit immer den Startpunkt der Informationsverarbeitung dar, denn ohne sie gäbe es keine Wahrnehmung. Bei der *Top-down*-Verarbeitung, die auch wissensbasierte Wahrnehmung genannt wird, interpretiert das kognitive System die ankommenden Daten aus dem perzeptuellen System und beruft sich dabei auf Wissen aus unserem Langzeitgedächtnis. Folgendes Beispiel soll der Veranschaulichung dienen: Eine Apothekerin liest das handschriftliche Rezept eines Arztes, das für manche Menschen nach einer unverständlichen Kritzelei aussieht und beginnt mit der Bottom-up-Verarbeitung, indem sie die handschriftlichen geschwungenen Linien visuell wahrnimmt. Zusätzlich verwendet sie aber auch die Top-down-Verarbeitung, welche auf ihr Wissen über Medikamentennamen und Vorerfahrungen mit der Handschrift dieses Arztes zurückgreift, um das Rezept zu entziffern. Daher entsteht der Wahrnehmungsprozess oft durch eine Koproduktion der beiden Verarbeitungsweisen. [49, 10f]

In VR führt die Bottom-up-Verarbeitung dazu, dass der Nutzer durch Sinnesreize, wie beispielsweise Pixel auf einem Display, Präsenz erfährt und die Top-down-Verarbeitung verdrängt, dass er nur ein

HMD trägt. Andererseits kann wissensbasierte Wahrnehmung dazu verwendet werden, interessante und reichhaltige Erfahrungen in VR zu produzieren. [15, S. 73]
Nachdem durch das MHP die sehr komplexen Vorgänge der menschlichen Informationsverarbeitung stark vereinfacht aufgezeigt wurden, soll jetzt speziell auf die haptische Wahrnehmung eingegangen werden.

2.4.2 haptische Wahrnehmung

Das Wort Haptik leitet sich aus dem griechischen Verb *hapto* ab, das übersetzt *berühren* bedeutet und sich demnach auf die Fähigkeit bezieht, Gegenstände anzufassen und zu manipulieren [50, S. 35].
Aus der Bedeutung des Begriffs Haptik geht bereits hervor, dass die haptische Wahrnehmung eine aktive Komponente beinhaltet. Damit ist die Wahrnehmung durch aktive Erkundung der Umgebung mit Bewegungen des Körpers gemeint. Wohingegen die taktile Wahrnehmung passiv erfahren wird, als Reaktion des Körpers auf Berührungen. Beide Wahrnehmungsarten können dem Sinn des Fühlens zugeordnet werden, wobei die haptische Wahrnehmung den Großteil des täglichen Fühlens einnimmt (siehe Abbildung 7). [51, S. 3]
Die haptische Wahrnehmung entsteht durch Reize der Oberflächen- sowie Tiefensensibilität. Eine Hand ertastet ein Stück Holz. Dabei wirken Scher- und Druckkräfte auf die Handflächen. Das Holzstück hat eine bestimmte Textur, Größe und Form. All diese Eigenschaften lassen sich ohne den visuellen Sinn anhand von Mechano- und Thermorezeptoren in der Haut erfassen und werden als Oberflächensensibilität bezeichnet. Beim Ertasten des Holzstücks verändern sich außerdem Finger, Hand, Arm sowie Schulter in ihrer Position und ihrem Winkel, ausgelöst durch das Zusammenziehen und Dehnen von Muskeln und Sehnen. Rezeptoren an diesen Stellen liefern Informationen über Stellung, Kraft und Bewegung von Körperteilen, was als Tiefensensibilität oder Propriozeption bezeichnet wird. [52, S. 56]

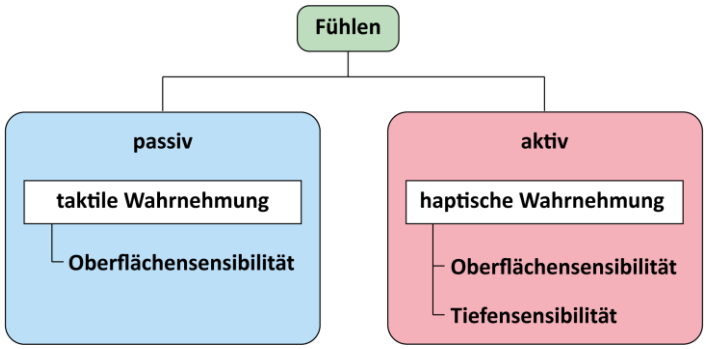


Abbildung 7 – Wahrnehmungsarten des Fühlens (eigene Darstellung)

Haptische Wahrnehmung kann jedoch auch ohne eine direkte Berührung zwischen einem zu ertastenden Objekt und der Haut stattfinden. David C. Simpson beschreibt wie ein Gegenstand, den eine Person in ihrer Hand hält, quasi zu einem Fortsatz der Person wird. Er spricht dabei von *Extended Physiological Proprioception* (EPP). Die Person verknüpft die eigenen natürlichen Rezeptoren mit dem Gegenstand, den sie in der Hand hält, sodass ihre Propriozeption in den Gegenstand übertragen und in diesem Sinne erweitert wird. Beispielsweise weiß ein Tennisspieler, ohne den Schläger anzuschauen, an welchem Punkt er den Ball mit ihm trifft. Aus Erfahrung kennt er die Länge und das Gewicht des Schlägers. Basierend auf propriozeptiven Reizen, die von seinem Hand-, Arm- und Schultergelenk ausgehen, kennt er die Position des Schlägers im Raum. Damit hat er seine Propriozeption in den Tennisschläger erweitert. [53]
Dies ist ein wichtiger Aspekt, denn bei der später beschriebenen Evaluation in Kapitel 6 interagieren die Probanden neben der Verwendung ihrer Hände und Füße auch anhand eines HTC-Vive Controllers mit einem realen Objekt, sodass hierbei auch von einer haptischen Wahrnehmung gesprochen werden kann.

2.4.3 Haptik in VR

Der visuelle und auditive Sinn sind essentielle Bestandteile bei der Wahrnehmung virtueller Welten. Daher bieten herkömmliche VR-Systeme wie die HTC-Vive oder Oculus Rift HMDs mit einem weitem Sichtfeld und integriertem 3D-Audio-Display an. Die haptische Wahrnehmung beschränkt sich bei diesen Modellen jedoch lediglich auf die Funktionalität traditioneller Spielecontroller, wie zum Beispiel Vibrationen, wodurch die Oberflächensensibilität nur marginal und die Propriozeption des Nutzers in keiner Weise stimuliert werden. Erstrebenswert wäre es, den Nutzer die visuell wahrgenommene virtuelle Umgebung auch haptisch erkunden zu lassen, indem er virtuelle Objekte berühren oder mit ihnen physisch interagieren kann [54]. In der realen Welt interagieren wir auf völlig natürliche Art und Weise mit Objekten. Wir fassen sie an, nehmen sie auf oder verformen sie. In VR sind diese Interaktionen mit virtuellen Objekten jedoch schwer umzusetzen. [24, S. 50] Angenommen ein Nutzer möchte mit seiner Hand oder dem Controller eine virtuelle Wand berühren, dann ist es unausweichlich, dass irgendwann der Zeitpunkt kommt, an dem er die Wand durchdringt und seine Hand oder der Controller dahinter verschwindet. Ein Ereignis das der Nutzer in der realen Welt niemals erleben wird und welches ihn daran erinnert, sich in einer virtuellen Umgebung zu befinden, was seine Präsenz verringern kann. [4]

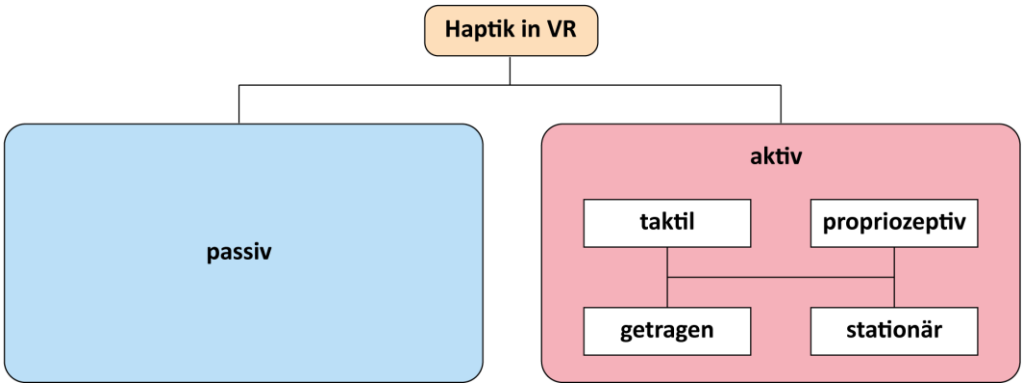


Abbildung 8 – Unterscheidung der Haptik in VR (eigene Darstellung)

Um eine adäquate haptische Wahrnehmung in VR zu ermöglichen, ist Haptik seit Mitte der 90er Jahre immer mehr zum Untersuchungsgegenstand geworden [2]. Jerald unterteilt die Haptik in VR nach einem aktiven und passiven Merkmal (siehe Abbildung 8). Diese Trennung ist jedoch nicht zu verwechseln mit der zuvor genannten Unterscheidung zwischen aktivem und passivem Fühlen. [15, S. 37]

Passive Haptik stellt eine einfache und kostengünstige Möglichkeit dar, haptische Wahrnehmung in VR zu ermöglichen. Hierbei wird ein reales Objekt verwendet, zu dem ein virtuelles Äquivalent in der VR erzeugt wird, das den Dimensionen, der Textur oder anderen Eigenschaften des realen Objekts entspricht. [55] Im Idealfall ist es daher eine Eins-zu-eins-Abbildung des realen Objekts. Sollen diese Objekte bewegt werden, zum Beispiel durch Hochheben, ist zusätzliches Tracking nötig, um die Position und Orientierung des realen Objekts in der virtuellen Welt adäquat darstellen zu können. Untersuchungen belegen, dass passive Haptik die Präsenz verstärkt, die Orientierung im virtuellen Raum verbessert und die Trainingsleistung steigert [5, 56]. Ein interessanter Versuch fand hierbei an der University of North Carolina statt [4]. Die Probanden befanden sich zuerst in einem virtuellen Raum mit passiver Haptik. Wände sowie ein Podest wurden beispielsweise aus Styropor nachgebaut und entsprechend virtuell abgebildet. Nachdem die Probanden unterschiedliche Elemente angefasst hatten, gingen sie in einen zweiten virtuellen Raum mit einem Loch im Boden. Eine Erhöhung des Herzschlags war zu beobachten, genauso wie eine Veränderung im Verhalten der Probanden, was sich nochmals verstärkte, als sie mit ihren Zehen die Kante eines Abgrunds spürten. Da die Probanden im Raum zuvor Elemente anfassen und spüren konnten, nahmen sie jetzt an, vor ihnen im Boden sei tatsächlich ein circa sechs Meter tiefes Loch. In der Realität war es jedoch nur ein kleiner Absatz (siehe Abbildung 9).

Abbildung 9 – Proband in der Chapel Hill Pit Demo [4]

Obwohl die Einbindung haptischer Wahrnehmung bisher keinen Einzug in herkömmliche VR-Systeme gefunden hat, wird in der VR-Unterhaltungsindustrie bereits passive Haptik benutzt. Zwei Beispiele dafür sind *Tag-Tower*[8] und *The Void*[9]. Bei ersterem bekämpfen sich zwei Personen gegenseitig mit Waffen. Jedem Spieler steht dabei eine reale, mannshohe Plexiglassäule zur Verfügung, hinter welcher er sich vor den Projektilen des Gegners verstecken kann. The Void ist ein standortbasiertes VR-Unterhaltungszentrum. In einer Gruppe erleben die Besucher eine themenbasierte VR, wie beispielsweise ein Raumschiff aus dem Star Wars Universum inklusive Angriff von Sturmtruppen. Passive Haptik wurde hierbei eingesetzt, um das komplette Innere des Raumschiffs nachzubauen, samt Schalter, Hebel und Türen. The Void stellt zum jetzigen Zeitpunkt vermutlich das Maximum der VR-Erfahrung dar.

Die weitverbreitetste Form von haptischer Wahrnehmung in VR ist die aktive Haptik. Bei dieser Art werden die Sinnesreize von einem Computer gesteuert. Der Vorteil besteht darin, die haptische Wahrnehmung von einer Vielzahl an virtuellen Objekten durch eine dynamische Steuerung der Kräfte zu simulieren. Hierbei wird die Oberflächensensibilität des Nutzers anhand mechanischer Reize (Vibration) oder elektronischer Reize (Elektroden) stimuliert. Des Weiteren ist es möglich, die Propriozeption des Nutzers durch Kraftrückkopplung (Force-Feedback) zu steuern [15, 37f]. Greift der Nutzer beispielsweise nach einem virtuellen Objekt, übt ein Mechanismus Kraft auf die einzelnen Finger aus, sodass er sie nur bis zu einem bestimmten Grad schließen kann. Dadurch wird der Anschein erweckt, der Nutzer halte das virtuelle Objekt zwischen seinen Fingern. An der Stanford University wurde solch ein Prototyp mit dem Namen „The Wolverine“ in Form eines Exoskeletts umgesetzt (siehe

[8] http://tower-tag.com
[9] https://www.thevoid.com

Abbildung 10). [54] Einen ähnlichen Ansatz verwendet das Projekt „CLAW“ jedoch in Gestalt eines Controllers, der gehalten wird [57].

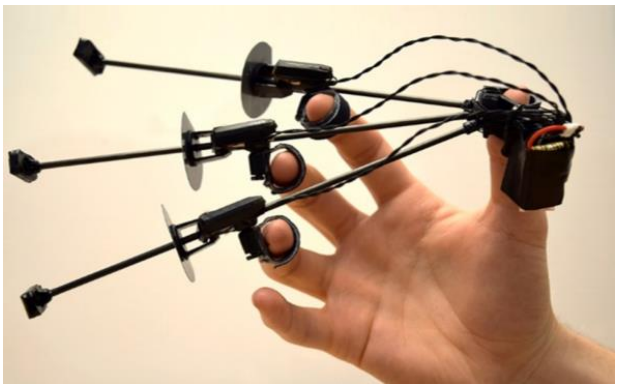


Abbildung 10 – Exoskelett von „The Wolverine“ [54]

Neben der Möglichkeit die aktive Haptik an den Händen zu tragen oder zu halten, gibt es auch auf dem Boden oder einer Erhöhung stehende Systeme [15, 38f]. An der University of Toronto wurde beispielsweise ein Roboterarm namens „Snake Charmer“ entwickelt, an dessen Ende ein Würfel mit unterschiedlichen Texturen an den Seitenflächen angebracht ist. Möchte ein Nutzer nun in der VR einen virtuellen Würfel berühren, wird dies vom System erkannt. Der Roboterarm fährt den befestigten realen Würfel an die Position des virtuellen Pendants und dreht dem Nutzer die Seitenfläche mit der entsprechenden Textur zu. Somit ist es möglich, unterschiedliche Würfel mit verschiedenen Texturen in der VR anzufassen (siehe Abbildung 11). Zusätzlich lässt sich der Würfel in der VR tatsächlich greifen und bewegen. [58]

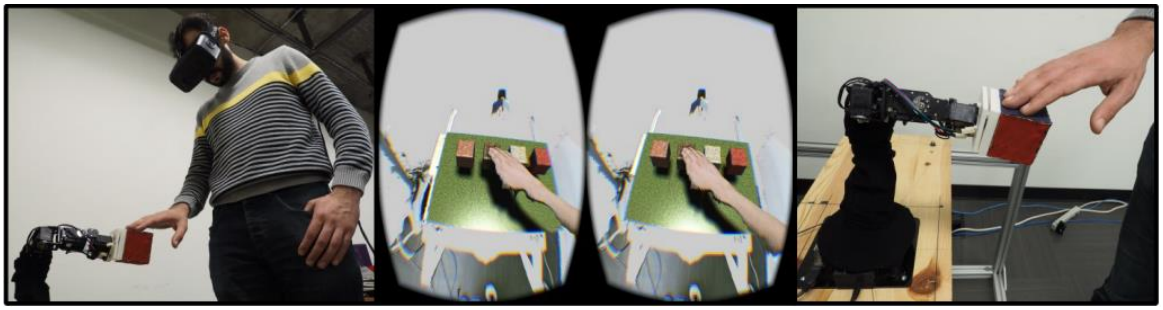


Abbildung 11 – Roboterarm des „Snake Charmers“ [58]

Eine andere Herangehensweise zeigt die Firma HaptX[10] mit dem *HaptX Glove* (siehe Abbildung 12). Statt die Oberflächen- und Tiefensensibilität elektronisch zu stimulieren, verwenden sie eine sogenannte mikrofluidische Haut. Dabei können 130 mikropneumatische Polster an den Innenflächen

[10] https://haptx.com

des Handschuhs unabhängig voneinander aufgeblasen werden, wodurch es beispielsweise möglich ist, das Gefühl von virtuellen Regentropfen oder krabbelnden Insekten auf der Haut abzubilden. Dieselbe Technik wird auch für das Force-Feedback verwendet, um virtuelle Objekte greifbar zu machen.

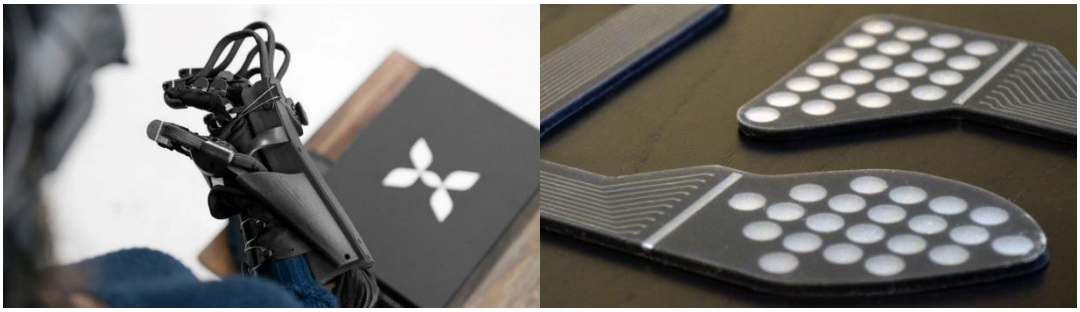


Abbildung 12 – HaptX Glove mit mikropneumatischem Polster [59]

Ein wichtiger Aspekt, den es beim Einsatz passiver Haptik zu beachten gilt, ist der, dass es zu keinen Diskrepanzen in Form und Ausmaß zwischen dem realen Objekt und seiner virtuellen Abbildung kommt. Fährt ein Nutzer in der VR mit seinen Fingern die Kante eines virtuellen Würfels entlang, spürt er die Kante des realen Würfels. Stimmen beide Elemente jedoch nicht genau überein, kann es dazu kommen, dass die Finger die Ecke des realen Würfels spüren, obwohl sich in VR die Finger noch auf der Kante und damit vor der Ecke des virtuellen Würfels befinden. Die visuelle Wahrnehmung stimmt folglich nicht mit der haptischen überein. Es kommt zu einer Kontradiktion in der Wahrnehmung und damit zu einem Präsenzbruch [60]. Diese Schwierigkeit galt es bei der Umsetzung von Saltar VR zu beachten, da hierfür passive Haptik eingesetzt wurde.

Widersprüche in der Wahrnehmung des Nutzers sind auch der Grund für *Cybersickness*, die immer wieder im Zusammenhang mit VR genannt und im nächsten Abschnitt genauer betrachtet werden soll.

2.5 Cybersickness

Ein häufig genanntes Problem bei der Verwendung eines VR-Systems ist Cybersickness. Hierbei entwickelt der Nutzer während oder nach der VR-Erfahrung Symptome, die vergleichbar mit der herkömmlichen Reisekrankheit (Motion Sickness) sind. Dazu zählen beispielsweise Kopfschmerzen, Schwindelgefühl, Übelkeit, Schweißausbrüche, Desorientierung, Blässe und im schlimmsten Fall Erbrechen. Wenngleich sowohl Cybersickness als auch die Reisekrankheit dieselben Symptome hervorrufen, sind sie in ihrer Entstehung verschieden. Bei letzterem reicht die Stimulation der vestibulären Wahrnehmung aus, um die Symptome zu verursachen, bei Cybersickness hingegen kann allein die visuelle Wahrnehmung den auslösenden Faktor darstellen. [61]

Die anerkannteste Erklärung für die Entstehung von Cybersickness liefern Reason und Brand mit ihrer *Sensory Conflict Theory*. Grundlage der Theorie bildet eine Diskrepanz zwischen den Informationen, die von den unterschiedlichen Sinnen des Nutzers geliefert werden und die sein Körper nicht richtig zu verarbeiten weiß. In VR ist dies ein Widerspruch in der visuellen und vestibulären Wahrnehmung. Zum Beispiel erlebt ein Nutzer eine virtuelle Achterbahnfahrt und sitzt dabei auf einem Stuhl. Der Nutzer nimmt die Bewegung visuell über das HMD wahr, obwohl er sich in der realen Welt weiterhin an derselben physischen Position im Raum befindet. Durch diese Inkonsistenz in der Wahrnehmung kann Cybersickness auftreten. [15, S. 165]

Neben diesem inhaltlichen Aspekt können auch technische Makel Cybersickness begünstigen. Ein fehlerhaftes oder ungenaues Positionstracking des Nutzers kann beispielsweise zu einem Zittern im Bild führen, obwohl der Nutzer seinen Kopf nicht bewegt [61]. Ein weiterer Faktor ist Latenz. Diese gibt an, wie lange es dauert, bis eine Aktion des Nutzers in der VR dargestellt wird. Weist das VR-System eine hohe Latenz auf, kann es passieren, dass eine reale Bewegung auf dem HMD und damit in der virtuellen Welt verzögert wiedergegeben wird. Es entsteht eine Asynchronität, infolge derer Symptome von Cybersickness auftreten können. [1, S. 56] Gleiches gilt für das Flimmern bei der Bildwiedergabe über das HMD, was der Nutzer ab einem bestimmten Grenzwert wahrnimmt. Zusätzlich zum technologischen Gesichtspunkt spielen die individuelle Veranlagung und der Zustand des Nutzers eine Rolle, denn Cybersickness wird nicht von jedem Menschen in gleichem Maße erfahren. Faktoren sind hierbei Geschlecht, Alter, Erkrankungen und die Körperhaltung. Wird eine VR-Erfahrung beispielsweise im Sitzen statt im Stehen erlebt, scheinen sich die Symptome von Cybersickness zu reduzieren. [61]

Um dem Nutzer eine möglichst angenehme VR-Erfahrung zu bieten, sollte somit darauf geachtet werden, Diskrepanzen zwischen der visuellen und vestibulären Wahrnehmung zu vermeiden. Ebenso gilt es, technische Fehler zu reduzieren, zum Beispiel durch das Abdunkeln des Raums, um das Tracking zu optimieren. Unerfahrene VR-Nutzer sollten sich zudem zu Beginn nicht allzu lange (circa 10 Minuten) in der virtuellen Umgebung aufhalten, damit eine etwaige Cybersickness in ihrer Ausprägung gering gehalten wird. [1, S. 56] Für eine ausführliche Betrachtung von Cybersickness sei an dieser Stelle auf „Motion Sickness – Symptomatology and Origins“ von Ben D. Lawson verwiesen [62].

Cybersickness tritt, wie zuvor bereits erwähnt, im Zusammenhang mit einem wichtigen Bestandteil einer VR-Erfahrung auf, bei Bewegung, genauer gesagt Fortbewegung. Welche Arten von Fortbewegung es in der VR gibt, soll folgendes Kapitel aufzeigen.

2.6 Fortbewegung in VR

Fortbewegung in VR wird als die gewöhnlichste und allgemeinste Art der Interaktion in virtuellen Welten angesehen, auch wenn es Anwendungen gibt, in welchen sich der Nutzer nicht fortbewegt, bilden diese eher die Ausnahme. Darüber hinaus stellt Fortbewegung einen Türöffner für weitere Interaktionsmöglichkeiten dar. [63] Nicht nur deshalb ist eine genauere Betrachtung wichtig. Da es sich bei Saltar VR um ein VR-Plattformspiel handelt, ist Fortbewegung ein essentieller Bestandteil, der wiederum Einfluss auf die verwendete passive Haptik hat (siehe Kapitel 5.5.2).

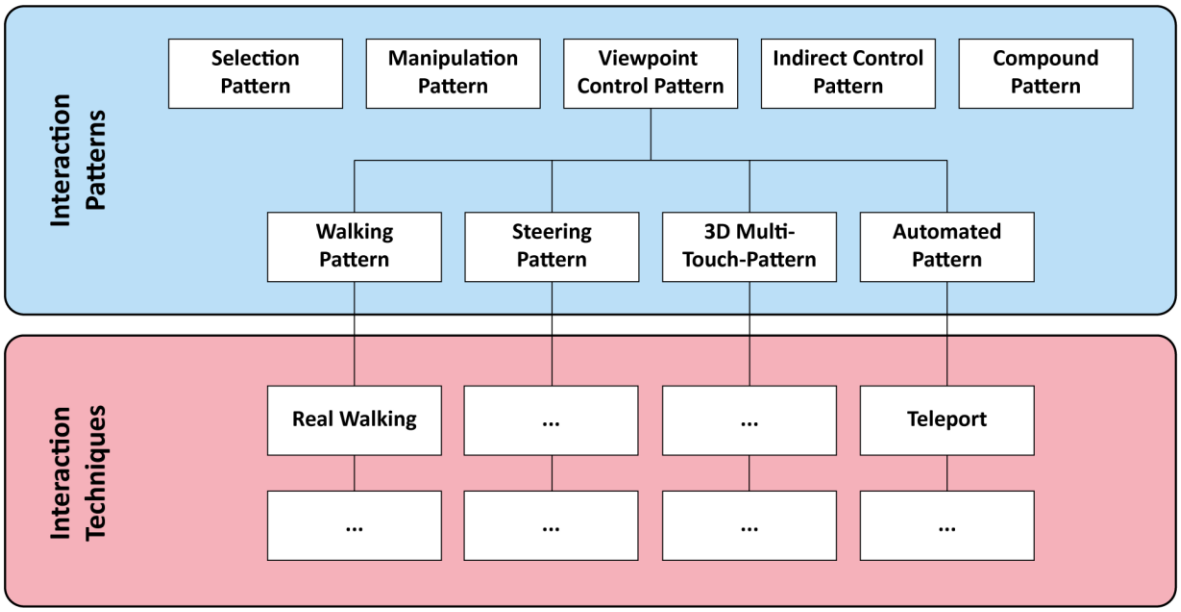


Abbildung 13 – Fortbewegung in VR nach [15]

Jerald fasst Interaktionen in VR in mehrere Muster (Interaction Patterns) zusammen, die ihrerseits aus verschiedenen Techniken (Interaction Techniques) bestehen (siehe Abbildung 13) [15, S. 323]. Folgende Muster hat er dabei identifiziert:

> Selection Pattern: Kennzeichnet die Auswahl eines oder mehrerer Objekte, um eine Aktion auf diese auszuführen, den Start einer Veränderung zu kennzeichnen oder das Ziel einer Fortbewegung anzugeben [15, S. 325].
>
> Manipulation Pattern: Beschreibt die Veränderung von Attributen, wie beispielsweise Position, Orientierung, Skalierung, Farbe und Texturen, von einem oder mehrerer Objekte. Eine Veränderung erfolgt üblicherweise auf eine vorherige Auswahl [15, S. 332].
>
> Viewpoint Control Pattern: Stellt die Veränderung vom wahrgenommenen Bildausschnitt des Nutzers dar und kann Verschiebung, Orientierung und Skalierung beinhalten. Den Ausschnitt

zu verändern, ist nichts anderes, als die virtuelle Welt zu bewegen, drehen oder skalieren. [15, S. 335]

Indirect Control Pattern: Bietet Kontrolle über einen Vermittler, um ein Objekt, die Umwelt oder das System zu verändern. Dieses Muster ist abstrakter als die vorherigen und wird idealerweise dann eingesetzt, wenn es beispielsweise schwer ist, ein bestimmtes Merkmal der virtuellen Umgebung zu verändern. [15, S. 334]

Compound Pattern: Verbindet zwei oder mehr Muster zu einem komplexeren Muster [15, S. 350].

Wie aus der Ausführung der Interaktionsmuster hervorgeht, wird die Fortbewegung in VR mit dem Viewpoint Control Pattern in Verbindung gebracht. Dieses lässt sich wiederum in mehrere Muster unterteilen:

Walking Pattern: Die physische Bewegung der Füße ruft eine Veränderung des Bildausschnitts hervor [15, S. 336].

Steering Pattern: Die kontinuierliche Kontrolle über die Richtung, in welche sich der Bildausschnitt des Nutzers verändern soll, ohne die physische Bewegung der Füße [15, S. 338].

3D Multi-Touch-Pattern: Die simultane Veränderung der Position, Orientierung und Skalierung der virtuellen Welt unter der Verwendung beider Hände [15, S. 340].

Automated Pattern: Die passive Veränderung vom wahrgenommenen Bildausschnitt des Nutzers [15, S. 342].

Eine Interaktionstechnik, die zur Fortbewegung im Prototyp verwendet wird, ist reales Laufen. Jerald bezeichnet diese Technik als *Real Walking* und ordnet sie dem Walking Pattern zu. Hierbei wird die Bewegung des Laufens anhand einer Positionsverfolgung des Kopfs eins zu eins ins Virtuelle übertragen. Leider steht dem Nutzer damit nur ein begrenzter Bereich in der virtuellen Welt für seine Bewegungen zur Verfügung, der dem Trackingbereich in der realen Welt entspricht. Ein Vorteil, der sich aus der Eins-zu-eins-Übertragung ergibt, ist die Reduzierung von Cybersickness durch eine kongruente visuelle und vestibuläre Wahrnehmung (von technischen Fehlern abgesehen). [15, S. 337] Ein weiterer positiver Effekt der durch das Real Walking gefördert wird, ist eine Steigerung der Präsenz, da sich der Nutzer auf seine natürliche und gewohnte Weise bewegt [64]. Neben dem Real Walking gibt es noch weitere Interaktionstechniken, die dem Walking Pattern zuzuordnen sind: *Redirected Walking, Walking In Place, The Human Joystick* sowie *Treadmill Walking And Running*. Eine detailliertere Beschreibung dieser Techniken ist in Jeralds „The VR Book“ zu finden. [15, 337f]
Eine weitere Interaktionstechnik, die im Prototyp als Fortbewegung eingesetzt wird, ist die Teleportation. Sie gehört zu den Automated Pattern und beschreibt eine unmittelbare Veränderung

vom Bildausschnitt des Nutzers, sodass dieser in keiner Weise eine Bewegung wahrnimmt und die Gefahr von Cybersickness verringert wird. Teleportation eignet sich besonders dafür, große Distanzen in der virtuellen Welt zurückzulegen, da der Nutzer sich physisch immer an derselben Stelle befindet und somit die Begrenzung durch den Trackingbereich hinfällig ist. [15, S. 334] Ein Nachteil der Teleportation besteht in einer möglichen Desorientierung des Nutzers nach dieser, da er sich augenblicklich an einer neuen Stelle in der virtuellen Welt wiederfindet und nicht die Zeit hat, sich des virtuellen Raums bewusst zu werden [65].

3 Projektbeschreibung

Das Projekt „Saltar VR – ein Virtual Reality Plattformspiel“ versucht neben der visuellen und auditiven Wahrnehmung, die bereits vom HMD stimuliert wird, ebenfalls die haptische Wahrnehmung in den Kontext eines VR-Spiels einzubetten. Dabei kommt die zuvor in Kapitel 2.4.3 beschriebene passive Haptik zum Einsatz, indem von einem realen Objekt ein virtuelles Pendant erzeugt wird. Um welche Objekte es sich hierbei handelt, zeigt Kapitel 3.2 auf. Zuerst soll das Spielprinzip von Saltar VR erläutert werden.

3.1 Spielprinzip

Das Grundgerüst des Spieleprototyps bilden zehn Stationen, die für sich genommen einem abgeschlossenen Spielabschnitt entsprechen und als fliegende Inseln dargestellt sind (siehe Abbildung 14). Bewältigt der Spieler die erste Station, setzt er das Spiel an der zweiten Station fort. Das Ziel jeder Station ist es, ein Portal zu erreichen, welches den Wechsel zur nächsten Station ermöglicht. Dieser Übergang wird durch eine Teleportation realisiert ausgelöst, sobald der Spieler das Portal durchschreitet. Das Endziel des Spieleprototyps ist erreicht, wenn der Spieler alle zehn Stationen gemeistert hat, indem er durch das letzte Portal bei der zehnten Station läuft.

Abbildung 14 – Spielwelt von Saltar VR (eigene Darstellung)

Grundsätzlich besitzt der Spieler bei Spielbeginn eine gewisse Anzahl an Leben. Bei folgenden Ereignissen kommt es jedoch zum Verlust eines Lebens: Die Kollision mit einem Hindernis oder Gegner, das Herunterfallen von einer Plattform oder die Anzahl der verfügbaren Beam Cubes reicht nicht aus, um die Zielplattform zu erreichen. Verliert der Spieler an einer Station ein Leben, beginnt er wieder solange an derselben Station, bis ihm keine Leben mehr zu Verfügung stehen. Dann ist er *Game Over* und muss das Spiel von der ersten Station beginnend neu starten.

3.2 passive Haptik

Drei dieser zehn Stationen enthalten passive Haptik. Das erste Element ist ein 3D-gedrucktes Schloss, wobei der vordere Teil des HTC Vive Controllers als Gegenstück fungiert und dadurch wie ein Schlüssel eingesetzt werden kann. Dreht der Spieler den Controller (Schlüssel) in der passiven Haptik (Schloss) wird ein Vorgang initiiert, der eine Voraussetzung für die Bewältigung der Station ist. Das nächste haptische Element, mit welchem der Spieler in Kontakt gerät, ist ein Holzbrett. Dieses liegt an einer bestimmten Position auf dem Boden im Trackingbereich und soll beim Spieler den Eindruck erwecken, tatsächlich über eine schmale Brücke zu laufen. Intensiviert wird der Eindruck dadurch, dass die Brücke in der virtuellen Welt sehr hoch über dem Boden positioniert ist. Zum Erreichen des Zielportals der Station ist eine Überquerung der Brücke notwendig. Als letzte passive Haptik wird ein verschiebbarer Kasten verwendet, dessen Position vom VR-System verfolgt wird, sodass sich beim Bewegen durch den Nutzer sein virtuelles Abbild mitbewegt. Der Spieler muss seinen Controller auf dem Kasten ablegen, um einen Bereich in der virtuellen Welt angezeigt zu bekommen, an den er ihn schieben muss. Befindet sich der Kasten im Zielbereich, wird wie beim Schloss eine Aktion ausgelöst, die für das Fortschreiten innerhalb der Station essentiell ist. Durch ihren interaktiven Charakter sind der Kasten und das Schloss als Rätsel ausgelegt, sodass dem Spieler hierbei keine Hilfestellung geboten wird.

3.3 Spielmechaniken

Neben den Rätseln gibt es noch weitere Spielmechaniken, die vom Spieler eingesetzt werden müssen, um eine Station zu absolvieren. Zu Beginn des Spiels variieren diese von Station zu Station. Im späteren Verlauf trifft der Spieler jedoch auf eine Aneinanderreihung mehrerer Spielmechaniken oder auf eine Kombination von diesen, sodass sich der Schwierigkeitsgrad erhöht. Zu den wichtigsten Spielmechaniken gehören Laufen, Springen, Ausweichen und gezieltes Werfen.

Das gezielte Werfen tritt dabei immer in Kombination mit einer Teleportation auf und wird als Beam Cube bezeichnet. Der Beam Cube ermöglicht es dem Spieler, einen Würfel in einen gekennzeichneten Bereich zu werfen. Landet der Würfel im Zielbereich, hat der Spieler zehn Sekunden Zeit, eine bestimmte Taste am Controller zu drücken, um sich an die Stelle des Würfels zu teleportieren. Trifft er nicht innerhalb des markierten Bereichs, wird der Würfel sofort zerstört. Das Werfen entspricht somit der Selektion der Zielposition, die in anderen VR-Spielen dem Spieler durch die Anzeige eines Strahls ermöglicht wird. Folglich wird dem ansonsten monotonen Vorgang des Teleportierens eine Geschicklichkeitskomponente beigefügt, die auch dem Geiste des Plattformspiels entspricht. Neben dem realen Laufen dient der Beam Cube somit als weitere Fortbewegungsart in Saltar VR.

Abbildung 15 – Beam Cube und gekennzeichnete Bereiche (eigene Darstellung)

Die benannten Beam Cubes können an verschiedenen Stellen im Spiel eingesammelt werden. Zur Erzeugung eines Beam Cubes muss der Spieler eine Taste am Controller drücken. Solange er diese gedrückt hält, ist der Beam Cube vorne an der Spitze des Controllers angebracht und kann durch eine Wurfbewegung sowie dem Loslassen der Taste im richtigen Moment geworfen werden. Gleichzeitig erscheinen Umrandungen um alle Plattformen, auf welchen der Beam Cube liegen bleiben darf (siehe Abbildung 15). Somit kommuniziert die Erzeugung eines Beam Cubes dem Spieler welche Plattformen teleportierbar sind, wobei nicht nur notwendige Plattformen zum Meistern der Station angezeigt werden. Daraus ergibt sich eine neue Spielmechanik, denn es können Spielabschnitte einer Station abgekürzt werden, um das Zielportal zu erreichen. Dem Spieler ist es daher möglich unter Einsatz der Beam Cubes schweren Aufgaben aus dem Weg zu gehen. Zugleich muss der Spieler jedoch auch abwägen, ob er das Risiko eines Fehlwurfs eingeht.
Für eine genauere Beschreibung aller Spielmechaniken sei hierbei auf die Masterthesis von Jonas Schöls verwiesen.

3.4 Stationen

Um eine bessere Vorstellung von Saltar VR zu erhalten, werden im Folgenden die zehn Stationen kurz einzeln beschrieben:

Station 1: Der Spieler befindet sich auf einer einzelnen großen Plattform und muss lediglich das Zielportal durchschreiten. Diese Station dient dazu, den Spieler mit der virtuellen Welt vertraut zu machen und ihm die Funktionsweise des Portals vor Augen zu führen.

Station 2: Das Zielportal befindet sich auf einer anderen Plattform wie der Spieler. Er muss daher zum ersten Mal einen Abgrund mit einem größeren Schritt überqueren.

Station 3: Der Spieler wird mit der Spielmechanik des Ausweichens vertraut gemacht. Er muss immer im Wechsel springend und sich duckend einem rotierenden Hindernis ausweichen und es umlaufen, um zum Zielportal zu gelangen.

Station 4: Das Zielportal befindet sich wieder auf einer anderen Plattform wie der Spieler. Dieses Mal ist der Abstand jedoch zu groß, als dass er mit einem Schritt überquert werden kann. Der Spieler muss daher zum ersten Mal einen Beam Cube werfen, den er zuvor auf seiner Plattform eingesammelt hat und sich anschließend teleportieren.

Station 5: Erstmals verwendet der Spieler eine bewegende Plattform, indem er sich im richtigen Moment auf sie stellt. Anschließend wird er passiv durch die virtuelle Welt bewegt und muss sich unter Einsatz eines Beam Cubes auf eine separate Plattform teleportieren. Dort interagiert er mit der ersten passiven Haptik, dem Schloss, infolgedessen das Zielportal erscheint und der Spieler sich Gegnern ausweichend einen Weg dorthin bahnen muss.

Station 6: Vor dem Spieler erscheinen für eine gewisse Zeit kleine Platten, die nach einer bestimmten Zeit wieder verschwinden. Der Spieler muss im richtigen Moment auf die Platte treten, um nicht herunterzufallen. Absolviert er diese Aufgabe erfolgreich, erwartet ihn ein Aufzug, der ihn in der virtuellen Welt nach oben fährt. Oben angekommen, läuft er über eine Brücke beziehungsweise in der realen Welt über die zweite passive Haptik, das Holzbrett. Anschließend muss sich der Spieler unter Verwendung von Beam Cubes von Plattform zu Plattform teleportieren, um das Zielportal zu erreichen.

Station 7: Der Spieler muss sich ein bestimmtes Muster von vielen kleinen Platten merken. Danach bahnt er sich seinen Weg durch das Feld der Platten, wobei er nur solche betreten darf, die im Muster erschienen sind. Andernfalls fällt die Platte weg und der Spieler stürzt mit ihr zusammen ab. Im weiteren Verlauf befindet er sich dann auf einer sich bewegenden Plattform und muss einer Reihe von Hindernissen in Form von Säulen ausweichen, die auf ihn zukommen. Anschließend gilt es wieder, sich durch Werfen von Beam Cubes zum Zielportal zu teleportieren.

Station 8: Um das Zielportal der Station zu erreichen, muss sich der Spieler über viele kleine Platten dorthin bewegen. Erschwert wird das ganze durch eine Vielzahl an Hindernissen, die auf ihrer horizontalen Achse rotieren.

Station 9: Der Spieler muss die letzte passive Haptik in Gestalt eines Kastens in einen gekennzeichneten Bereich schieben. Diese Markierung erscheint, sobald er seinen Controller auf den Kasten ablegt. Anschließend verändert sich die Umgebung um ihn herum und es erscheint eine sich bewegende Plattform. Der Spieler bewegt sich mit ihr fort und weicht einem Gegner aus, indem er auf kleine statische Platten springt. Daraufhin tritt er wieder auf

die sich bewegende Plattform, die in der Zwischenzeit unter dem Gegner hindurch gefahren ist. Am Ende der sich bewegenden Plattform erwartet den Spieler das Zielportal.

Station 10: Die letzte Station beinhaltet die Kombination vieler vorheriger Spielmechaniken. Unter anderem muss der Spieler auf sich bewegenden Plattformen Hindernissen ausweichen, im richtigen Moment auf erscheinende sowie verschwindende Platten treten und gleichzeitig die Kollision mit rotierenden Hindernissen vermeiden. Den Abschluss bildet eine Reihe von gezielten Würfen, um sich mit Hilfe von Beam Cubes auf kleine Plattformen zu teleportieren, an deren Ende das Zielportal der Station und somit vom Spieleprototyp steht.

Die Stationen 1-4 dienen im Kontext des Spieleprototyps dem Spieler als eine Art Einführung. Hier wird er mit den grundlegenden Spielmechaniken vertraut gemacht, auf welche dann in den folgenden Stationen aufgebaut wird und was letztendlich in der zehnten Station gipfelt. Entsprechend steigert sich der Schwierigkeitsgrad mit jeder gemeisterten Station.

4 Technische Grundlagen

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher VR-Systeme, die bei der Entwicklung virtueller Welten genutzt werden können. Für die Umsetzung von Saltar VR wurde sich für die Verwendung einer HTC Vive entschieden. Das folgende Kapitel soll daher den Entscheidungsprozess und die zugrunde liegende Technologie der HTC Vive genauer erläutern.

4.1 Head-Mounted Displays

Ein Head-Mounted Display (HMD) stellt das Fenster zur Virtual Reality dar. Wie der Name bereits vermuten lässt, wird das HMD in Form eines leichtgewichtigen Helms oder als Brille auf dem Kopf getragen und bewegt sich entsprechend der Kopfbewegungen des Nutzers mit [14, S. 151]. Eine binokulare Optik im HMD ermöglicht stereoskopisches Sehen und vergrößert die von einem miniaturisierten Bildschirm dargestellten, computererzeugten Inhalte (siehe Abbildung 16). Folglich trägt der Nutzer ein mobiles Visualisierungs- und Interaktionssystem auf dem Kopf. Eine Elektronik im HMD steuert den integrierten Bildschirm sowie andere Sensoren und ist mit einem Rechner zur Übertragung von Videodaten verbunden [1, S. 142]. Bei der für das Projekt Saltar VR verwendeten HTC Vive bestand die Verbindung aus mehreren Kabeln. Das neuere Modell (HTC Vive Pro) bietet jedoch die Möglichkeit, die Übertragung kabellos zu realisieren[11].

Abbildung 16 – HMD der HTC Vive [66]

Ein wichtiges technisches Merkmal von HMDs ist das sogenannte *Field of View* (FOV). Slater ordnet es nach seinem Verständnis von Immersion dem Surrounding zu, einem Einflussfaktor bei der Erzeugung von Immersion (siehe Kapitel 2.3.1). Das FOV beschreibt den horizontalen und vertikalen Winkel, gemessen vom Auge des Nutzers aus, innerhalb welchem er die vom Bildschirm dargestellten, visuellen

[11] https://www.vive.com/uk/wireless-adapter/

Informationen wahrnimmt [1, S. 143]. Hierin liegt bereits ein Entscheidungskriterium für die Verwendung der HTC Vive bei der Umsetzung des Projekts. Sie bietet dem Nutzer mit einem horizontalen FOV von 110° ein vergleichsweise großes Sichtfeld. Gerade bei der Spielmechanik des Ausweichens in Saltar VR kommt dem Spieler das große FOV zugute, denn dadurch kann er Hindernisse oder andere spielerische Elemente besser und früher erkennen.

Daneben bietet die HTC Vive mit einer hohen nativen Auflösung von 2160 x 1200 Pixeln beziehungsweise 1080 x 1200 Pixeln pro Auge und einer Bildfrequenz von 90 Hertz dem Nutzer eine detaillierte und flüssige Wiedergabe der virtuellen Welt [67]. Auflösung und Bildfrequenz sind laut Slater Eigenschaften eines VR-Systems die dem Faktor Vivid (bei Steuer Depth) zuzuordnen sind, der beschreibt, in welcher Qualität die Sinne des Nutzers angesprochen werden (siehe Kapitel 2.3.1).

Eine weitere essentielle Eigenschaft eines VR-Systems ist die Verfolgung der Position und Orientierung des HMDs im Raum. Dreht der Nutzer seinen Kopf, bewegt sich der integrierte Bildschirm entsprechend mit. Um die visuelle Wahrnehmung entsprechend der realen Welt darzustellen, sollte sich ein virtuelles Objekt nicht mit der Kopfdrehung mitbewegen, sondern stabil in der virtuellen Welt angezeigt werden. Der Bildschirm im HMD muss daher entsprechend aktualisiert werden. Bewegt der Nutzer seinen Kopf beispielsweise nach links, muss sich die virtuelle Welt auf dem Bildschirm nach rechts bewegen, damit virtuelle Objekte im Raum stabil erscheinen, genauso wie in der realen Welt. [15, S. 32] Slater ordnet diese Eigenschaft eines VR-Systems der Dimension des Matchings zu. Sie sollte seiner Meinung nach erfüllt sein, um die Präsenz des Nutzers zu verstärken (siehe Kapitel 2.3.1). Die technische Realisierung der Positions- und Orientierungsverfolgung bei der HTC Vive wird im nachfolgenden Kapitel genauer betrachtet.

4.2 Tracking

In der Entwicklungsgeschichte von VR-Systemen gab es viele verschiedene Ansätze zur Positions- und Orientierungsverfolgung von HMDs, dem sogenannten Tracking. Zum Einsatz kamen beispielsweise elektromagnetisches, mechanisches, akustisches oder auch optisches Tracking [14, S. 78]. Die HTC Vive verwendet ein von Valve entwickeltes, auf Infrarot-LEDs, Lasern sowie Lichtsensoren basierendes System namens *Lighthouse*. Zentraler Bestandteil der Lighthouse-Technologie sind die sogenannten Basisstationen, die als Referenzpunkt für alle zu verfolgenden Objekte dienen. Jede Basisstation enthält eine Fläche von Infrarot-LEDs und zwei drehbare Laser, jeweils einen für die horizontale sowie vertikale Achse (siehe Abbildung 17). [68]

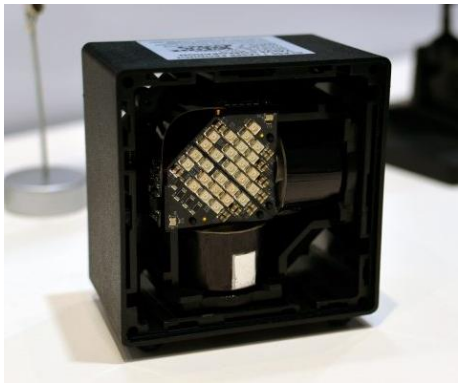


Abbildung 17 – Geöffnete Basisstation einer HTC Vive [69]

Die Hülle des HMDs sowie der Controller sind mit kleinen Lichtsensoren versehen, welche die Signale (Infrarot und Laser) der Basisstationen empfangen. Die Basisstationen senden ihre Signale in einem raschen, sich wiederholenden Zyklus, der wie folgt aussieht:

1. Die Fläche von Infrarot-LEDs leuchtet kurz auf, vergleichbar mit einem Fotoblitz. Dies dient als Startsignal für den horizontalen Laser.
2. Der horizontale Laser fährt den Raum mit einem breit gefächerten Strahl einmal von links nach rechts in einem 120° Winkel ab.
3. Die Fläche von Infrarot-LEDs leuchtet nochmals kurz auf und signalisiert damit den Startpunkt für den vertikalen Laser.
4. Daraufhin fährt der vertikale Laser den Raum von oben nach unten ebenfalls in einem 120° Winkel ab.

Die Lichtsensoren speichern währenddessen den exakten Zeitpunkt des Aufleuchtens der Infrarot-LEDs sowie wann ein Laser sie trifft. Die Rotationsgeschwindigkeit der Laser ist bekannt, ebenso die Zeit, welche vergangen ist, bis ein Laser die Lichtsensoren trifft. Beide Werte ermöglichen es zu berechnen, in welchem Winkel (aufgrund der beiden Laser sowohl der vertikale als auch der horizontale) der Sensor zur Basisstation steht. Liefern mindestens fünf Lichtsensoren auf einem zu verfolgenden Objekt diese Information, kann seine exakte Position und Rotation im Raum berechnet werden. Diese mathematischen Berechnungen sind für einen Computer keine große Herausforderung, wodurch sie oft wiederholt werden können, sodass ein sehr genaues und schnelles Tracking-System entsteht. [70]
Die Basisstationen werden idealerweise diagonal in über 2 Metern Höhe einander gegenüber aufgestellt. Eine Diagonale von 5 Metern sollte dabei nicht überschritten werden, woraus sich die Möglichkeit ergibt, Objekte in einer bis zu circa 4,5 x 4,5 Meter großen Fläche zu verfolgen[12]. Andere

[12] https://www.vive.com/de/support/vive/category_howto/tips-for-setting-up-the-base-stations.html

VR-Systeme bieten eine sehr viel geringere Spielfläche, wie zum Beispiel die Oculus Rift mit maximal 2,7 x 4,3 Metern[13]. Dies stellte das wichtigste Entscheidungskriterium für die HTC Vive dar. Durch sie ist es möglich, dem Nutzer eine große Bewegungsfreiheit zu garantieren, die für die Umsetzung des Projekts Saltar VR ein essentieller Bestandteil war.

4.3 Eingabegeräte

Nach Jeralds Einteilung sind die Controller der HTC Vive der Kategorie *Tracked Hand-Held Controllers* zuzuordnen. Sie zeichnen sich typischerweise durch sechs Freiheitsgrade (unabhängige Bewegungsmöglichkeiten) aus und können Funktionalitäten von Controllern klassischer Spielekonsolen wie der Xbox oder Playstation enthalten. Tracked Hand-Held Controllers bieten im Moment die beste Möglichkeit, mit einer dreidimensionalen virtuellen Welt zu interagieren, denn sie sind aufgrund ihrer natürlichen und direkten Abbildung von Handbewegungen einfach zu benutzen. Zusätzlich können sie durch ihre Repräsentation in der virtuellen Welt sowie der Tatsache, dass der Nutzer sie in seinen Händen fühlt, als passive Haptik angesehen werden und somit das Präsenzgefühl des Nutzers fördern. Um andere passive Haptik mit den Händen wahrnehmen zu können, muss der Controller jedoch aus der Hand gelegt werden. [15, 314f] Dieser Vorgang muss allerdings nicht unbedingt ein Nachteil sein, wenn das Ablegen des Controllers zu einem Rätsel oder einer Spielmechanik gehört, wie es bei Station 9 im Spieleprototyp bei der passiven Haptik des Kastens zum Einsatz kam. Zudem wurde in den theoretischen Grundlagen bereits erläutert, dass eine haptische Wahrnehmung auch ohne direkte Berührung zwischen einem zu erstastenden Objekt und der Haut stattfinden kann (siehe Kapitel 2.4.2).

Das VR-System der HTC Vive enthält bei Erwerb zwei dieser Tracked Hand-Held Controllers, welche über die zuvor beschriebene Lighthouse-Technologie in ihrer Position und Orientierung verfolgt werden können. Der Controller an sich besteht aus einem Multifunktions-Trackpad, zwei seitlich angebrachten Greifknöpfen, einem zweistufigen Abzug (Trigger) und einer System- sowie Menütaste (siehe Abbildung 18). Zusätzlich kann er die Oberflächensensibilität des Nutzers durch mechanische Reize in Form von Vibrationen stimulieren. [67]

[13] https://support.oculus.com/1814957818761397/

Abbildung 18 – Controller der HTC Vive [71]

4.4 Vive Tracker

Der Vive Tracker ist eines der neuesten Zubehöre, der für die HTC Vive erworben werden kann. Er besteht im Grunde genommen aus dem oberen Teil des HTC Vive Controllers, in welchem die Lichtsensoren verbaut sind. Die scheibenähnliche Form des Vive Trackers ist darauf ausgelegt, ihn einfach an physischen Objekten befestigen zu können. Dies entspricht auch seinem Ziel, denn er soll reale Objekte in die virtuelle Welt bringen. Der Vive Tracker besitzt an seiner Unterseite sechs Federkontaktstifte, über die alle Eingaben eines HTC Vive Controllers abgebildet werden können. Dadurch lassen sich beispielsweise Knöpfe oder der Abzug an einem speziell für den Vive Tracker produzierten Gewehr als Eingaben detektieren (siehe Abbildung 19). [72]

Abbildung 19 – Hyper Blaster mit befestigtem Vive Tracker [73]

Das virtuelle Objekt, an dem der Vive Tracker angebracht ist, wird der passiven Haptik entsprechend eins zu eins auf sein reales Gegenstück abgebildet. Die Positions- und Orientierungsverfolgung im

Raum erfolgt, wie beim HMD und den Controllern, anhand der Lighthouse-Technologie. Eine Kommunikation mit dem Computer wird dabei kabellos per Funkverbindung mit Hilfe eines USB-Dongles realisiert. Neben der Funktion reale Objekte in die virtuelle Welt zu bringen, kann der Vive Tracker auch in Verbindung mit dem Körper des Nutzers verwendet werden. Hierzu wird er mit Hilfe eines Gurts beispielsweise am Arm oder Fuß des Nutzers befestigt und ein virtuelles Abbild des entsprechenden Körperteils erzeugt. [72] Dieses Anwendungsszenario kam bei Saltar VR zum Einsatz, indem die Vive Tracker dazu benutzt wurden, eine virtuelle Repräsentation der Füße in der virtuellen Welt zu erzeugen. Eine detaillierte Beschreibung der Verwendung wird in Kapitel 5.5.1 dargestellt.

4.5 Unity und SteamVR

Unity ist eine plattformübergreifende Spiele-Engine des Unternehmens Unity Technologies aus Dänemark zur Entwicklung von 2D- und 3D-Spielen sowie anderen interaktiven Anwendungen. Weltweit wird die Hälfte aller Spiele mit ihr erstellt, wozu hauptsächlich die Programmiersprache *C-Sharp* (C#) zum Einsatz kommt. Unity unterstützt eine Vielzahl an verschiedenen VR-Systemen, wie beispielsweise die HTC Vive, ohne diese selbst integrieren zu müssen. Daneben besitzt die Spiele-Engine eine große und lebendige Community, die sich in Form diverser Foren etabliert hat, sodass eine schnelle Hilfestellung bei Problemen geboten wird. Die Verwendung von Unity ist kostenlos, solange die Einnahmen des entwickelten Spiels oder der Anwendung 100.000 US-Dollar pro Jahr nicht überschreiten. Eine beliebte Ergänzung zur Spiele-Engine ist der sogenannte *Unity Asset Store*, ein Online-Shop, der eine reichliche Anzahl an für Unity optimierten Assets, wie beispielsweise 3D-Modellen oder speziellen Plug-ins, anbietet. Viele davon können kostenlos heruntergeladen werden. [74, 4f]

Um mit einem VR-System kommunizieren und es verwenden zu können, benötigt die Spiele-Engine eine Schnittstelle. Diese wird bei der HTC Vive von der *SteamVR-SDK* zur Verfügung gestellt. Über SteamVR findet ebenfalls die Einrichtung der Spielfläche im Trackingbereich sowie die Kalibrierung der HTC Vive statt. Zugleich bietet sie in einer kleinen Statusanzeige einen aktuellen Überblick über die einzelnen Komponenten des VR-Systems wie beispielsweise, ob das HMD und die Controller von den Basisstationen gefunden werden. Für die Verwendung in Unity wird SteamVR per Plug-in aus dem Unity Asset Store geladen, sodass alle grundlegenden Elemente zur Entwicklung einer VR-Anwendung gleich vorhanden sind. [74, S. 368]

Auf Basis der in diesem Kapitel erläuterten Technologien, wurde Saltar VR mit einer HTC Vive und zwei Vive Trackern mit der Unity Spiele-Engine umgesetzt. Wie genau diese Umsetzung aussah, im Speziellen in Hinblick auf die passive Haptik, zeigt das folgende Kapitel.

5 Technische und gestalterische Umsetzung

Dieses Kapitel vermittelt einen detaillierten Einblick in die technische und gestalterische Umsetzung des Projekts Saltar VR. Insbesondere werden hierbei die Integration der passiven Haptik in die Spielwelt sowie die daraus entstandenen Probleme und dafür gefundenen Lösungen beleuchtet. Zuerst erfolgt eine Betrachtung des *User-Centered Design* Ansatzes, anhand dessen das Spiel entwickelt wurde. Anschließend werden die daraus entstandenen Phasen des Projekts dargestellt, wobei es zu einer genauen Aufarbeitung des daraus hervorgegangenen Spieleprototyps kommt.

5.1 User-Centered Design

Dem evaluierten Spieleprototyp liegt ein User-Centered Design Ansatz (nutzerorientierte Gestaltung) zugrunde. Der Begriff wurde durch Donald Norman in den 80er Jahren geprägt und gewann mit der Veröffentlichung des Buchs „User-Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction“, bei welchem er Mitautor war, an Popularität [75]. Die Philosophie hinter dem User-Centered Design Ansatz ist der Fokus auf den (zukünftigen) Nutzer des computergestützten Produkts, womit sich eine bessere Usability (Gebrauchstauglichkeit) versprochen wird. Statt den Nutzer zu zwingen, sich an das Produkt anzupassen, wird das Produkt an ihn angepasst. Er steht mit seinen Bedürfnissen im Mittelpunkt des Entwicklungsprozesses und wird während diesem bereits früh miteinbezogen. Folglich beeinflusst er das Endprodukt. In welcher Weise der Nutzer involviert ist, variiert. Auf der einen Seite des Spektrums wird er zu bestimmten Zeitpunkten während des Prozesses konsultiert, um typischerweise die Usability zu testen. Am anderen Ende ist der Nutzer tief im Entwicklungsprozess verankert und fungiert als Partner des Entwicklers, sodass er das gesamte Projekt mitbegleitet. Unabhängig vom Grad der Involvierung ist der relevante Aspekt die Einbeziehung des Nutzers. [76]

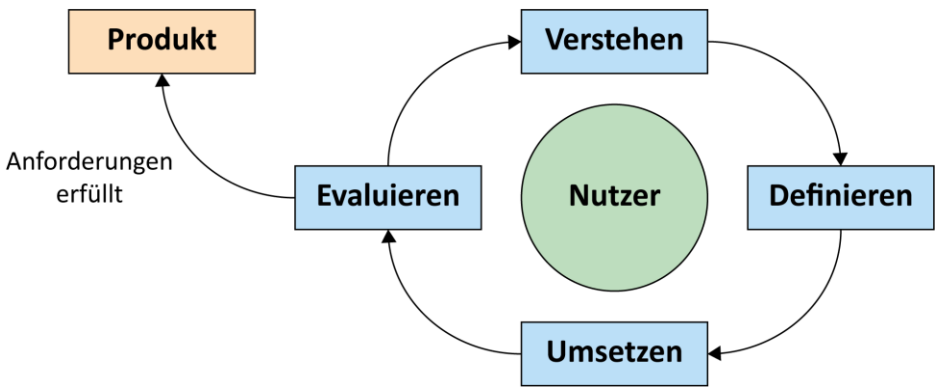


Abbildung 20 – Visualisierung des UCD Ansatzes nach [77]

Der User-Centered Design (UCD) Ansatz lässt sich generell in vier Phasen unterteilen (siehe Abbildung 20), die eng miteinander verknüpft sind:

Verstehen: Es werden Informationen über die Nutzer gesammelt sowie analysiert, was deren Bedürfnisse sind.

Definieren: Basierend auf den gesammelten Informationen werden Anforderungen an das Produkt abgeleitet.

Umsetzen: Für die identifizierten Anforderungen werden Lösungen entwickelt.

Evaluieren: Die Umsetzung wird mit Hilfe der Nutzer überprüft. Anhand der Rückmeldung lassen sich Rückschlüsse darüber ziehen, ob die Anforderungen erfüllt wurden.

Diese vier Phasen werden solange iterativ durchlaufen, bis das computergestützte Produkt allen Anforderungen entspricht. [77]

Bezogen auf das Projekt Saltar VR wurden bestimmte Stadien des Spiels von Nutzern unter verschiedenen Gesichtspunkten getestet (siehe Abbildung 21). Der Test eines ersten Prototyps fand bereits vier Wochen nach Projektstart statt und diente der Überprüfung des Konzepts. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden aufbereitet und flossen in die Umsetzung des zweiten Prototyps mit ein. Dieser wurde wiederum drei Monate später getestet, um von den Nutzern Rückmeldung zu Spielmechaniken zu erhalten, die seit der letzten Iteration neu- und weiterentwickelt wurden. Die aus den Ergebnissen dieses Tests gezogenen Rückschlüsse wurden schließlich im evaluierten Spieleprototyp umgesetzt.

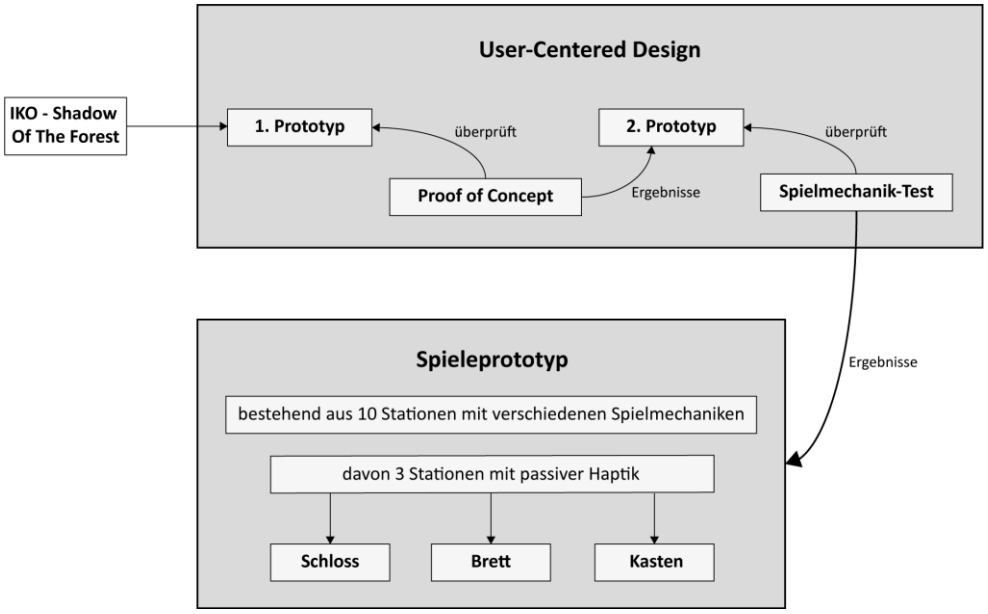


Abbildung 21 – Entwicklungsprozess von Saltar VR (eigene Darstellung)

5.2 IKO – Shadow Of The Forest

Die Prämisse des Projekts Saltar VR stellt ein 2D-Puzzle-Plattformer-Spiel namens „IKO – Shadow Of The Forest“ dar, entwickelt als Prototyp mit Unity im Rahmen einer Vorlesung an der Hochschule der Medien Stuttgart (siehe Abbildung 22). Das Spiel handelt von IKO, einem Waldwesen das von seinem Schatten getrennt wurde, ohne den sein Leben jedoch unvollständig ist. Um IKO wieder mit seinem Schatten zu vereinen, müssen magische Kristalle in einem verwunschenen Wald aktiviert werden, welche die Schattenwelt mit der hellen Welt verbinden. IKO und sein Schatten müssen sich dabei sowohl in der hellen Welt als auch in der Schattenwelt verschiedenen Aufgaben stellen. Sind alle Kristalle aktiviert, wird IKO wieder mit seinem Schatten vereint. Die Zielplattform, für welche das Spiel entwickelt wurde, war der Computer mit einer Tastatur als Eingabegerät.
In einem weiteren Projekt wurde IKO – Shadow Of The Forest im Anschluss daran für mobile Geräte mit Touchscreen umgesetzt. Die Adaption fand jedoch nur hinsichtlich der Steuerung des Spielcharakters statt, alle anderen Elemente, wie beispielsweise die Spielmechanik oder Ästhetik, blieben von dieser Adaption unbeeinflusst. Eine Evaluation verglich die Steuerung des Spiels per Tastatur an einem Computer und die adaptierte Version an einem Smartphone per Touch-Gesten. Die Auswertung ergab eine deutliche Überlegenheit der Tastatursteuerung in den Bereichen Effizienz, Spielspaß und Kontrolle über den Spielcharakter. Demnach sollte in Erwägung gezogen werden, nicht nur die Steuerung bei der Adaption von Spielen auf mobile Touchscreen-Geräte anzupassen, sondern Änderungen am Gesamtkonzept des Spiels vorzunehmen, sodass es besser für Touch-Eingaben geeignet ist. (siehe Anhang 9.12)

Abbildung 22 – Screenshot von IKO – Shadow Of The Forest (eigene Darstellung)

Nachdem es zu der Umsetzung von IKO – Shadow Of The Forest sowohl für den Computer als auch das Smartphone kam, sollte eine weitere Adaption für VR erfolgen, die im Rahmen dieser Masterthesis praktisch umgesetzt wurde. Obwohl der evaluierte Spieleprototyp nur noch einen marginalen Bezug zu IKO – Shadow Of The Forest aufweist, ist es dennoch relevant, den Ursprung von Saltar VR zu kennen.

5.3 Proof of Concept

In einem ersten Prototypen wurden 2D-Hintergrundgrafiken des Spiels IKO – Shadow Of The Forest in eine dreidimensionale virtuelle Welt integriert. Zusätzlich zu den 2D-Grafiken gab es einen Weg, bestehend aus 3D-Modellen von Felsen und Baumstämmen (siehe Abbildung 23). Einige wenige Interaktionen waren im ersten Prototyp bereits implementiert, wie zum Beispiel das Aufnehmen und Herumwerfen eines Würfels per Controller. Neben dem realen Laufen innerhalb der Grenzen der Spielfläche gab es, wie beim Großteil der VR-Spiele üblich, die Möglichkeit, sich durch Teleportation fortzubewegen.

Das Proof of Concept diente dazu, herauszufinden, ob das Konzept einer Kombination von 2D- sowie 3D-Elementen in VR funktioniert und welche Spielmechaniken in einer solchen Welt vorstellbar wären. Hierzu wurden drei männliche sowie eine weibliche Testperson ausgewählt, die unterschiedliche VR-Erfahrung (keine bis viel) besaßen und nach Richard Bartle verschiedene Spielertypen (Achiever, Explorer und Killer) aufwiesen [78]. Sie konnten die virtuelle Welt frei erkunden und ausprobieren, was ihnen in den Sinn kam. Dabei gab es keine zeitliche Beschränkung, sodass sie sich alles in Ruhe anschauen konnten. Die Testpersonen wurden aufgefordert, laut zu denken, folglich alle Gedanken zu kommunizieren, die ihnen während des Spielens aufkamen.

Das Verhalten der Testpersonen wurde ebenso notiert wie ihre Aussagen. Die daraus gewonnenen Daten sind im Anhang unter 9.1 zu finden und wurden in *allgemeine Kommentare* zum Spiel sowie *genannte Mechaniken* unterteilt. Aus dieser Fülle an wünschenswerten Mechaniken für die virtuelle Welt wurden ähnliche zusammengefasst, kategorisiert und als *identifizierte Mechaniken* in einer extra Spalte festgehalten. Auf Basis dessen wurden in einem Gespräch unter den Entwicklern fünf Spielmechaniken ausgewählt, welche für die nächste Entwicklungsstufe des Spiels umgesetzt und anschließend in einem weiteren Test überprüft werden sollten. Hierbei handelte es sich um folgende Mechaniken: Gegner bekämpfen, Angriffe beweglicher und statischer Gegner, Wandel zwischen 2D- und 3D-Objekten, Rätsel aktiv lösen und Interaktion mit Objekten.

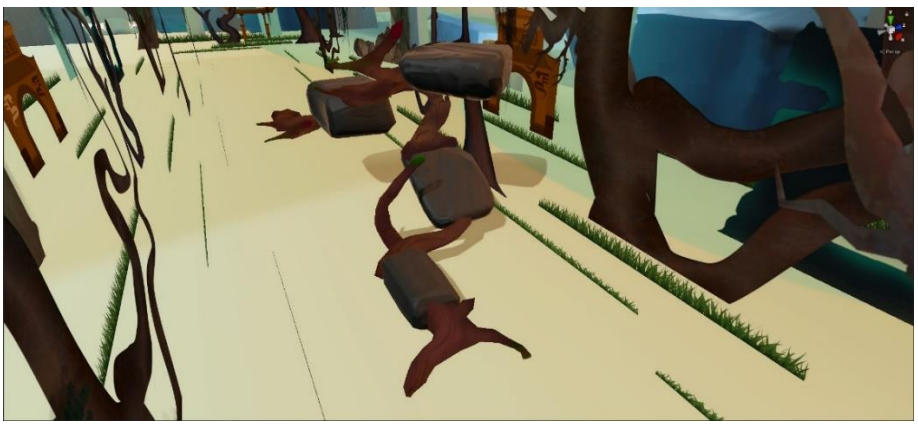


Abbildung 23 – Spielwelt des Proof of Concepts (eigene Darstellung)

Anhand der allgemeinen Kommentare traten weitere interessante Aspekte zum Vorschein. Die Testpersonen versuchten immer wieder, virtuelle Objekte mit dem Controller zu berühren. Dazu wurde kommentiert, dass eine Interaktion mit einem realen Objekt, wie beispielsweise einem Hebel, vorstellbar wäre. Das Element der Höhe oder genauer gesagt, an einem Abgrund zu stehen, empfanden drei von vier Testpersonen als aufregend. Ein weiterer Punkt, der aus den Kommentaren der Testpersonen hervorging, war der, dass die Testpersonen eine Interaktion mit der LEAP Motion argwöhnisch betrachteten. Eine Überprüfung dieser Bedenken sollte im nächsten Test überprüft werden. Diese Aspekte, in Kombination mit den identifizierten Mechaniken Rätsel aktiv zu lösen und mit Objekten zu interagieren, bildeten die Ausgangslage für die später entwickelte passive Haptik.

5.4 Spielmechanik-Test

Der zweite Test diente der Überprüfung der identifizierten und anschließend umgesetzten Spielmechaniken des Proof of Concepts, insbesondere ob diese Spaß machen und an welchen Stellen es Verbesserungspotenzial gibt. Für den Test standen eine männliche und zwei weibliche Testpersonen zur Verfügung, die wie zuvor unterschiedliche Erfahrung in VR (keine bis viel) aufwiesen und den Spielertypen Achiever und Explorer zuzuordnen sind. Die virtuelle Welt enthielt weiterhin die 2D-Hintergrundgrafiken des Spiels IKO – Shadow Of The Forest, doch statt eines langen Weges aus 3D-Elementen wurden für diesen Prototypen schwebende dreidimensionale Plattformen verwendet, die Stationen bildeten (siehe Abbildung 24). Insgesamt mussten die Testpersonen elf dieser Stationen durchspielen. Dabei enthielt jede Station eine bestimmte Spielmechanik oder eine Kombination von Spielmechaniken an deren Ende ein Lichtkegel existierte, welcher die Testperson beim Reinlaufen zur nächsten Station teleportierte. In den Stationen konnte sich die Testperson, wie gehabt, anhand von realem Laufen oder Teleportation fortbewegen. Eine der Stationen enthielt bereits passive Haptik in Gestalt einer verschiebbaren Kiste, welche die Testpersonen in einen gekennzeichneten Bereich bewegen mussten. Für diese Interaktion wurde eine LEAP Motion eingesetzt, sodass die Testpersonen ein Abbild ihrer Hände in der virtuellen Welt sahen. Für die Bewältigung der elf Stationen wurde entsprechend dem Proof of Concept kein Zeitlimit gesetzt. Ebenso wurden die Testpersonen wieder darum gebeten, laut zu denken, sodass die Aussagen und Beobachtungen beim Spielen schriftlich festgehalten werden konnten. Den Abschluss des Tests bildete die Nennung der drei Stationen, welche den Testpersonen am besten gefielen.

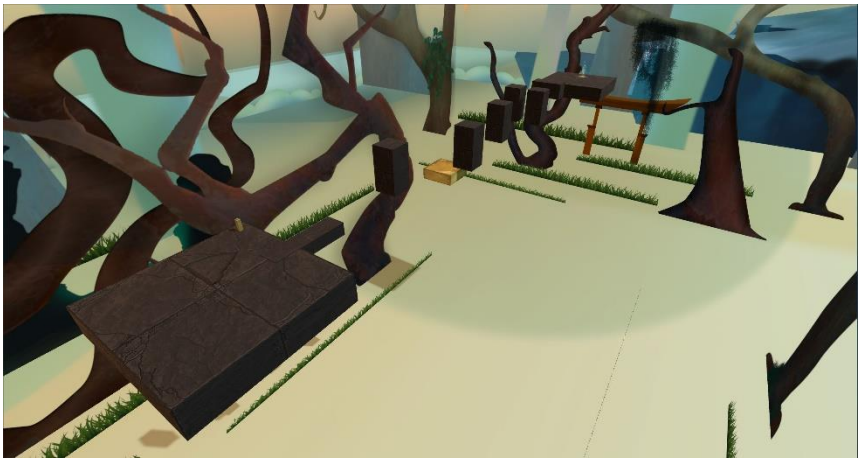


Abbildung 24 – Spielwelt des Spielmechanik-Tests (eigene Darstellung)

Die Aussagen und Beobachtungen wurden für jede Station einzeln erfasst, wie aus der Tabelle im Anhang 9.2 ersichtlich ist. Des Weiteren wurden Bemerkungen, die das Spiel in seiner Gesamtheit betrafen, separat unter der Bezeichnung *allgemeine Kommentare* zusammengefasst. Nach einer genauen Betrachtung und Auswertung der Aufzeichnungen sowie abermaligen Besprechung zwischen den Entwicklern wurden Spielmechaniken abgeändert, verbessert oder komplett neu realisiert. Im nächsten und zugleich letzten Entwicklungsschritt kam es dann zu einer Integration dieser Spielmechaniken in den evaluierten Spieleprototyp.

Aus den Aufzeichnungen ging hervor, dass vor allem die Spielmechanik des Ausweichens sehr gut abschnitt, denn diese wurde von jeder Testperson als Lieblingsstation angegeben. Ebenfalls beliebt war die Station, bei der sich die Testperson ein Muster von vielen kleinen Plattformen merken und anschließend betreten musste, um sicher zur nächsten Station zu gelangen. Die Spielmechanik des Werfens, Bekämpfens von Gegnern und Lösens von Rätseln erscheint ebenso bei den Lieblingsstationen.

Darüber hinaus geht aus den Bemerkungen der Testpersonen hervor, dass eine Interaktion mit passiver Haptik grundsätzlich sehr interessant ist, jedoch nicht in Kombination mit der LEAP Motion, da es Aufgrund von Tracking-Fehlern immer wieder zu Diskrepanzen zwischen dem realen Objekt (Kiste) und der Repräsentation der Hände in der virtuellen Welt gekommen war. Deshalb wurde entschieden, den Einsatz einer LEAP Motion in Kombination mit passiver Haptik zu verwerfen und stattdessen den Controller zur Interaktion zu verwenden (wie beispielsweise beim Schloss) und beim Verschieben der Kisten auf ein Abbild der Hände in der virtuellen Welt zu verzichten. Ein Aspekt, der auch häufig in den Kommentaren auftaucht, ist das Element der Höhe in Kombination mit einem realen Objekt. Zwei der drei Testpersonen wünschten sich, einen realen Gegenstand unter ihren Füßen zu spüren, während sie bei einer Station über einen schmalen Steg liefen.

5.5 Spieleprototyp

Basierend auf dem Grundgedanken das 2D-Puzzle-Plattform-Spiel IKO – Shadow Of The Forest in VR umzusetzen, wurde der Prototyp, wie zuvor beschrieben, iterativ an die Wünsche sowie Bedürfnisse der Nutzer angepasst und ist somit das Ergebnis eines User-Centered Design Ansatzes. Zusätzlich flossen die persönlichen Auffassungen der Entwickler mit ein, sodass durch diese Synthese schließlich ein Spieleprototyp entstand, welcher bei der Evaluation in Kapitel 6 zum Einsatz kam.
Für die Erschaffung der Spielwelt wurde das *3D Game Kit*[14] aus dem Unity Asset Store verwendet. Dabei wurde vor allem auf die 3D-Modelle von Plattformen, Felsen und Pflanzen zurückgegriffen sowie deren Texturen. Alle Funktionen und Mechaniken der Spielwelt sind hingegen selbst programmiert und das Ergebnis der Entwickler.

Der Aufbau und Ablauf des Spiels Saltar VR wurde bereits in Kapitel 3 beschrieben. An dieser Stelle wird daher auf die Umsetzung des Prototyps eingegangen, insbesondere auf solche Bestandteile, die den Einsatz der verwendeten passiven Haptik direkt betrafen oder beeinflussten. Dazu zählt die passive Haptik an sich (Schloss, Holzbrett und Kasten), die Fortbewegung im Spiel sowie die Repräsentation der Füße. Mit Letzterem soll im Folgenden begonnen werden.

5.5.1 Repräsentation der Füße

In den technischen Grundlagen wurde bereits erwähnt, dass zur Abbildung der Füße in der virtuellen Welt zwei HTC Vive Tracker zum Einsatz kamen. Jeweils ein Tracker wurde am Rist des linken und rechten Fußes des Spielers mit Hilfe von Gurten befestigt, sodass eine freie und unbeschwerte Bewegung möglich war. Die virtuelle Repräsentation der Füße bestand dabei aus einem 3D-Fuß-Modell, allerdings wurde lediglich dessen Mesh, also die Form des 3D-Objekts, verwendet. Für den Spieleprototypen entschieden wir uns dazu, die Füße des Spielers abstrakt zu halten, um eine Akzeptanzlücke (Uncanny Valley) beim Spieler durch zu realistische Füße zu vermeiden. Wie aus Abbildung 25 erkenntlich ist, sind die Umrisse der Füße nur ansatzweise zu erkennen. Die Form des virtuellen Fußes, welche dem 3D-Fuß-Modell entspricht, wurde zusätzlich mit einem Partikeleffekt, bestehend aus vielen kleinen dynamischen Kugeln, gefüllt.

[14] https://assetstore.unity.com/packages/essentials/tutorial-projects/3d-game-kit-115747

Abbildung 25 – Repräsentation der Füße in Saltar VR (eigene Darstellung)

Neben der Vermeidung einer Akzeptanzlücke bietet die abstrakte Abbildung einen weiteren positiven Nutzen, denn so konnte eine eventuelle Diskrepanz zwischen realem und virtuellem Fuß des Spielers kaschiert werden. Das abstrakte Fußmodell wurde als ein Kindobjekt des Vive Trackers in Unity angelegt. Dadurch verhält es sich in der virtuellen Welt dem realen Fuß entsprechend in seiner Position und Orientierung. Während der Umsetzung des Spieleprototyps wurde das abstrakte Fußmodell einmal exakt in seiner Stellung und Rotation dem Fuß eines Spielers angepasst. Die physiologische Individualität eines jeden Menschen führt jedoch zu unterschiedlich großen Füßen. Daher würde ein realistisches Fußmodell niemals exakt zum Fuß eines jeden Spielers passen. Die abstrakte Abbildung der Füße hingegen kann diese minimalen Unterschiede und die daraus resultierenden Diskrepanzen zwischen virtuellem und realem Fuß in Position und Rotation weitestgehend verbergen, weil sie dem Spieler keine klaren Konturen vermittelt.

Eine Repräsentation der Füße in der virtuellen Welt ermöglicht es dem Spieler neben den propriozeptiven Informationen, welche die Rezeptoren an den Muskeln und Sehnen liefern, seine Füße auch visuell wahrzunehmen. Dadurch erhält er ein sehr genaues Gefühl dafür, wo sich seine Füße in der VR befinden. Dieser Aspekt ist für die Verwendung des Holzbretts als passive Haptik äußerst relevant. Zusätzlich zur haptischen Wahrnehmung, die auch ohne eine Abbildung der Füße in der virtuellen Welt durch die passive Haptik gegeben wäre, erhält der Nutzer jetzt zudem noch eine visuelle Bestätigung seines Gefühls. Statt eines Erahnens weiß er beispielsweise ganz genau, wann eine Kante des Holzbretts erreicht wird und kann diese exakt mit seinen Füßen in der virtuellen Welt ertasten. Nach Slater stellt dies eine Verstärkung der Place Illusion dar, die sich im Virtual Body manifestiert und zu einer Steigerung der Präsenz beim Spieler führen kann [44].

Unabhängig von der Darstellung der Füße wurden die Vive Tracker außerdem dafür verwendet, um Kollisionsabfragen mit Hindernissen in der virtuellen Welt zu ermöglichen. Einige Stationen enthalten

Elemente, die sich auf Fußhöhe des Spielers befinden oder bewegen und welchen er ausweichen muss. Gelingt ihm das nicht, verliert er ein Leben und beginnt die Station von neuem.
Analog verhält es sich mit dem Ereignis des Herunterfallens, infolgedessen der Spieler in der virtuellen Welt für wenige Sekunden nach unten fällt, bevor er ein Leben abgezogen bekommt und die Station neu startet. Der Einsatz der Vive Tracker ermöglichte es, eine Unterscheidung zu treffen, ob sich der Spieler auf einer Plattform oder Platte in der virtuellen Welt befindet oder nicht. Genauer noch kann differenziert werden, ob sich der Spieler mit einem, beiden oder keinem Fuß auf einem Element befindet. Folglich konnten eine Reihe an Bedingungen erfasst werden, die den Spieler dazu veranlassen, in der virtuellen Welt herunterzufallen, zum Beispiel falls sich beide Füße auf keiner Platte oder Plattform befinden. Für eine genauere Unterscheidung dieser Fälle sei hierbei auf die Masterthesis von Jonas Schöls verwiesen. Die Möglichkeit zu erkennen, wann sich ein Spieler auf einem Element in der virtuellen Welt befindet oder nicht, ist ein äußerst, wenn nicht sogar der wichtigste Faktor bei der Umsetzung des Projekts Saltar VR im Hinblick auf die Kernelemente eines Plattformer-Spiels, nämlich die des Springens und Laufens.

5.5.2 Fortbewegung

In Saltar VR gibt es drei verschiedene Arten, sich durch die virtuelle Welt fortzubewegen: reales Laufen, Teleportation oder anhand einer passiven Bewegung. Bevor die drei genannten Arten genauer betrachtet werden, ist es wichtig, ein grundlegendes Verständnis vom technischen Aufbau des VR-Systems zu erhalten.

Der Trackingbereich der HTC Vive ergibt sich aus dem diagonalen Abstand der Basisstationen. HTC empfiehlt eine maximale Distanz von 5 Metern, die dem Spieleprototyp zum Zweck jedoch auf circa 6,3 Meter erweitert wurde. Aufgrund der Überschreitung der maximal empfohlenen Distanz wurde zusätzlich ein Synchronisierungskabel verwendet, das beide Basisstationen verband. Damit sollte das Risiko von Aussetzern beim Tracking minimiert werden. Der Grund für die große Distanz zwischen den Basisstationen war der, eine möglichst große Spielfläche (Play Area) zur Verfügung zu haben, um dem Spieler in der virtuellen Welt eine hohe Bewegungsfreiheit zu bieten. Die Spielfläche ergibt sich bei einer Einrichtung der HTC Vive über SteamVR, indem mit einem Controller die Fläche, in welcher sich der Spieler beim Spielen bewegt, im Trackingbereich einmal abgeschritten wird. Das VR-System kennt nun die äußeren Grenzen der Spielfläche und kann den Spieler anhand eines Schutzsystems (Chaperone System) in der virtuellen Welt rechtzeitig davor warnen, wenn er die Spielfläche verlässt. Dadurch sollen Kollisionen mit realen Gegenständen oder Wänden vermieden werden. Bei der HTC Vive wird dem Spieler ein blaues Gitternetz in die virtuelle Welt projiziert, welches die Grenzen markiert. Um Saltar VR spielen zu können, wird eine Spielfläche von 4 x 4 Quadratmetern

vorausgesetzt. Diese reale Spielfläche kommt in der virtuellen Welt beziehungsweise in Unity dem Camera Rig gleich, welches dieselben virtuellen Ausmaßen besitzt. Das Camera Rig enthält einen Camera Head, der in der realen Welt dem HMD entspricht, welches der Spieler trägt. Bewegt sich der Spieler nun innerhalb der Spielfläche, wird die Position des Camera Heads entsprechend im Camera Rig verändert. Somit ist es möglich die genaue Position des Spielers im Camera Rig respektive der virtuellen Welt zu kennen.

5.5.2.1 reales Laufen

Beim realen Laufen bewegt sich der Spieler daher immer nur innerhalb der Spielfläche und in der virtuellen Welt innerhalb der Grenzen des Camera Rigs. Somit dürfen für ihn in der virtuellen Welt keine Elemente erreichbar sein, die sich außerhalb des Camera Rigs befinden. Das Schutzsystem würde ihn zwar davor warnen, dass er die Spielfläche verlässt, aber es bestände trotzdem die Gefahr einer Kollision mit einem realen Objekt. Neben einer Gefährdung des Spielers wird er dadurch auch daran erinnert, sich in einer virtuellen Welt zu befinden, was das Risiko einer Verringerung der Präsenz in sich trägt. Zudem würde der Spieler die virtuelle Welt in Frage stellen. In der Realität hat er immer die Möglichkeit, sich zu einem Objekt zu bewegen, das er physisch erreichen kann. In VR hätte er diese Option nicht, was sich ebenfalls in einer Verringerung seiner Präsenz widerspiegeln kann. Bei Saltar VR wurde daher darauf geachtet, dass die Plattformen, auf welchen sich der Spieler befindet, nicht größer sind, als die Spielfläche beziehungsweise das Camera Rig in der virtuellen Welt. Gleiches gilt für Spielbereiche, bei denen er von Platte zu Platte springen muss, um eine andere Plattform zu erreichen. Alle Elemente befinden sich dabei innerhalb des Camera Rigs. Versucht der Spieler trotzdem die Grenzen der Spielfläche zu erreichen, müsste er neben die Platte oder Plattform treten und würde infolgedessen in der virtuellen Welt herunterfallen, ein Leben abgezogen bekommen und die Station von vorne beginnen. Zusätzlich wird bei Saltar VR mit visuellen Hinweisen gearbeitet, die den Spieler innerhalb des Camera Rigs halten. Dreidimensionale virtuelle Objekte wie Felswände, Mauern oder Säulen weisen ihn darauf hin, dass es für ihn in diese Richtung nicht weitergeht.
Wie aus manchen Abbildungen bereits ersichtlich war, beschränken sich viele Stationen jedoch nicht auf die Größe der Spielfläche beziehungsweise des Camera Rigs. In diesen Fällen kommen die zuvor genannten Fortbewegungsarten des Teleportierens und der passiven Bewegung ins Spiel, wodurch der Spieler in der virtuellen Welt Distanzen zurücklegen kann, die über das Camera Rig hinausreichen. Zuerst sei hierbei das Prinzip der passiven Bewegung erklärt.

5.5.2.2 passive Fortbewegung

Eine passive Bewegung findet beispielsweise bei sich bewegenden Plattformen im Spiel statt, die einen vordefinierten Pfad entlangfahren. Der Spieler kann sich auf eine solche Plattform stellen und wird somit durch die virtuelle Welt bewegt, ohne jedoch Einfluss auf die Geschwindigkeit der Bewegung oder das Ziel zu haben. Nach Jerald ist diese Art der Fortbewegung der Interaktionstechnik *Passive Vehicles* zuzuordnen [15, S. 344]. Beim Betreten einer sich bewegenden Plattform wird das Camera Rig zu einem Kindobjekt von dieser Plattform und bewegt sich infolgedessen dem vordefinierten Verlauf der sich bewegenden Plattform in der virtuellen Welt mit. In der realen Welt hingegen bleibt der Spieler an Ort und Stelle stehen. Die Verbindung zwischen Camera Rig und sich bewegender Plattform bleibt so lange bestehen, bis der Spieler von ihr heruntergeht. In VR hat der Spieler einen bestimmten Weg zurückgelegt, in der Realität hat sich seine Position innerhalb der Spielfläche jedoch nicht verändert. Dies erschafft Bedingungen für die nachfolgende Plattform, wie aus Abbildung 26 hervorgeht. Nach dem Absteigen von der sich bewegenden Plattform müssen begehbare Bereiche in der virtuellen Welt so angelegt sein, dass sie in das verschobene Camera Rig passen. Ansonsten besteht die zuvor bereits beschriebene Gefahr, in virtuelle Bereiche gehen zu wollen, die außerhalb der Spielfläche liegen. Ähnlich verhält es sich bei einer Teleportation.

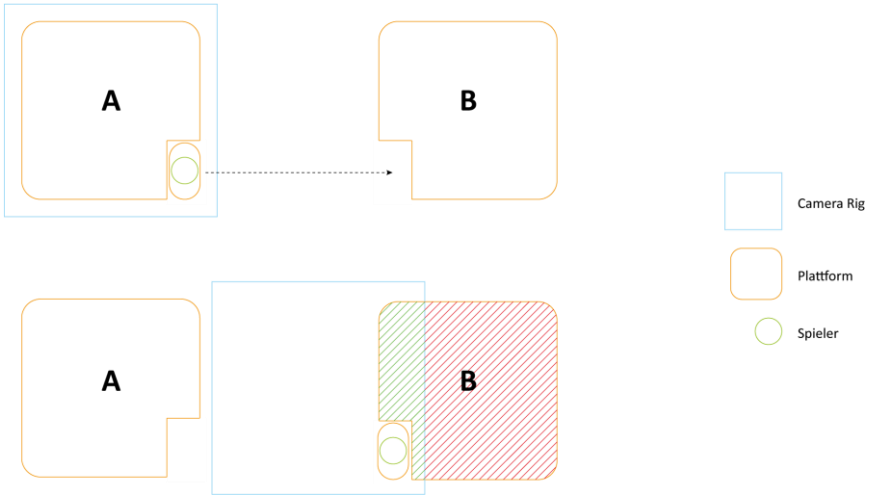


Abbildung 26 – Einfluss der passiven Bewegung auf das Camera Rig (eigene Darstellung)

5.5.2.3 Teleportation

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Arten von Teleportation, die im Spiel verwendet werden. Die eine entspricht der Art, wie sie in den meisten VR-Spielen angewandt wird. Der Spieler wählt sein Ziel per Teleportstrahl aus und wird augenblicklich dorthin versetzt. Analog zu Saltar VR steht dem Spieler dort kein Teleportstrahl sondern ein Beam Cube zur Verfügung, den er auf eine gekennzeichnete Plattform wirft und anschließend eine Taste am Controller drückt, um die Teleportation zu initiieren.

Der Spieler wird daraufhin sofort an die Position des Würfels versetzt, indem das Camera Rig in der virtuellen Welt so verschoben wird, dass die Position des Spielers mit der Position des Würfels übereinstimmt, wie Abbildung 27 zeigt.

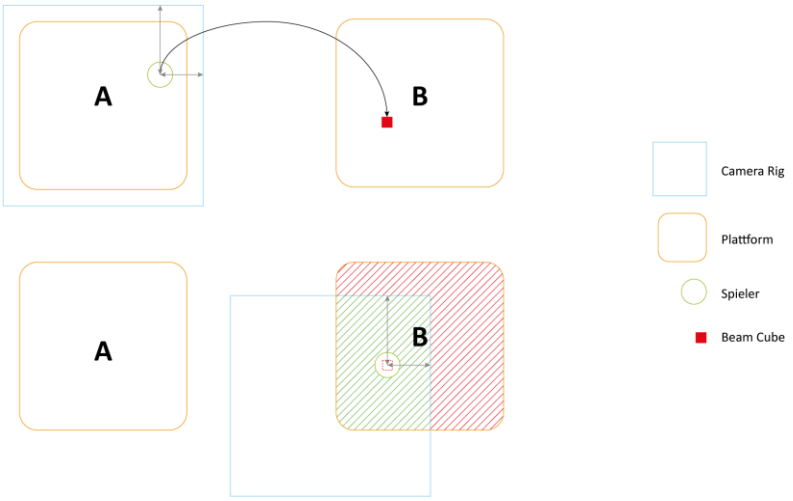


Abbildung 27 – Verschiebung des Camera Rigs zur Position des Beam Cubes (eigene Darstellung)

Abermals werden Bedingungen für die Plattform geschaffen, auf welcher der Spieler erscheint. Da es nicht vorherzusagen ist, von welcher Position aus der Spieler den Beam Cube von Plattform A wirft und ebenfalls nicht an welcher Position der Beam Cube auf Plattform B landet, gilt es, die Station unabhängig davon zu gestalten. Hierzu können die Plattformen in ihrer Größe variiert und Hindernisse eingebaut werden. Felsen, Pflanzen oder Mauern eignen sich dazu, sowohl das Werfen von einer bestimmten Position aus zu forcieren als auch Bereiche auf der Plattform auszuschließen, auf die geworfen werden kann (siehe Abbildung 28).

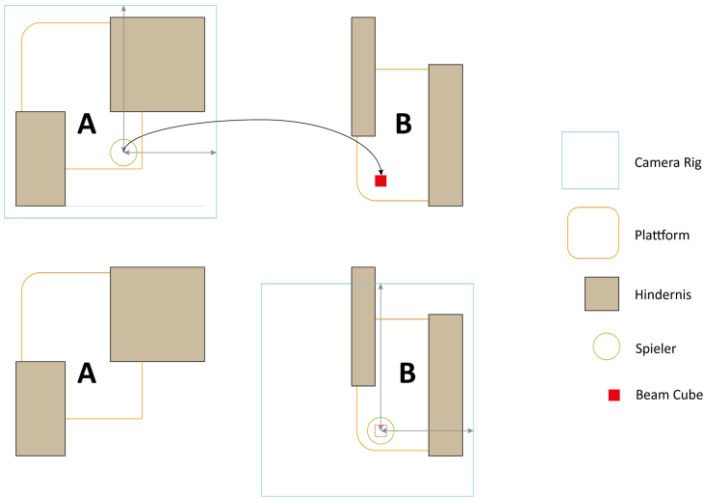


Abbildung 28 – Forcierung der Möglichkeiten zur Teleportation (eigene Darstellung)

Wäre beispielsweise das vordere Hindernis in Abbildung 28 bei Plattform B nicht vorhanden, könnte der Spieler den Beam Cube weiter nach links werfen (siehe Abbildung 29). Folglich deckt das Camera Rig nach der Teleportation nicht komplett die Plattform B ab und der Spieler erhält den Eindruck, er könne zu diesem Bereich laufen. Bei einem Versuch würde er jedoch die Spielfläche verlassen und, wie bereits erwähnt Gefahr laufen, mit einem realen Objekt zu kollidieren.

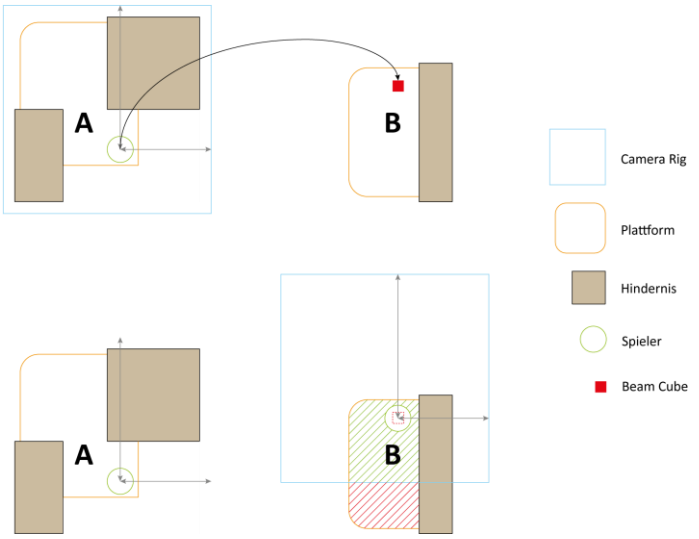


Abbildung 29 – Möglichkeiten der Teleportation ohne Forcierung (eigene Darstellung)

Eine Teleportation findet ebenso beim Durchschreiten eines Portals am Ende einer Station statt. Dabei wird das Camera Rig an eine festgelegte Position im Spiel verschoben, die dem Startpunkt der nächsthöheren Stationsnummer entspricht. Zum Beispiel läuft der Spieler durch das Portal bei der dritten Station. Das Camera Rig wird dann an die Startposition von der vierten Station versetzt. Dabei ist es wichtig, den Standort des Portals im Verhältnis zum Camera Rig zu kennen. Befinden sich die Startposition des Spielers und das Portal einer Station innerhalb des Camera Rigs, ist es klar ersichtlich, an welcher Position im Camera Rig der Spieler das Portal durchschreitet und damit auch an welcher Position er sich in der neuen Station befindet. Finden zuvor jedoch eine oder gar mehrere Teleportationen, wie gerade aufgezeigt, per Beam Cube statt, ist es unmöglich, die genaue Position im Camera Rig zu kennen, an welcher der Spieler durch das Portal läuft.

Daher gibt es bei Saltar VR eine zweite Art der Teleportation, die ebenfalls über den Beam Cube initiiert wird und die normalerweise vom Spieler unbemerkt bleibt. Um zu gewährleisten, dass die genaue Position beim Durchschreiten eines Portals bekannt ist, wird bei dieser Teleportation das Camera Rig nicht so verschoben, dass die Position des Spielers mit der des Würfels übereinstimmt, sondern es wird mittig auf eine Plattform gesetzt (siehe Abbildung 30). Dadurch erfolgt gewissermaßen ein Reset des Camera Rigs. Diese Art der Teleportation findet nur bei sogenannten Zielplattformen statt, also Plattformen, die ungefähr der Größe des Spielbereichs entsprechen und auf denen sich ein Portal

befindet. Unabhängig davon, wo sich das Camera Rig vor der Teleportation im Verhältnis zum Portal befand, ist es mit Hilfe der Zielplattform möglich, die genaue Position des Spielers im Camera Rig beim Durchschreiten eines Portals vorherzusagen und damit ebenfalls die Startposition in der folgenden Station. Diese kann somit so aufgebaut werden, dass alle Bereiche vom Spieler erreichbar sind, wie aus Abbildung 30 hervorgeht.

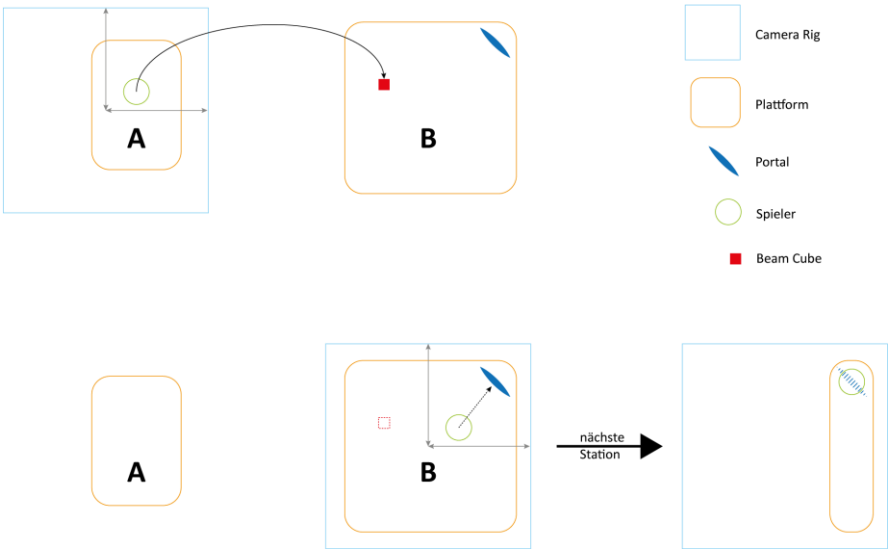


Abbildung 30 – Verschiebung des Camera Rigs bei einer Zielplattform (eigene Darstellung)

Befinden sich Objekte auf der Zielplattform, gilt es zu beachten, die Wurfposition des Spielers zu forcieren, sodass er sich nach der Teleportation nicht in diesem Objekt befindet (siehe Abbildung 31).

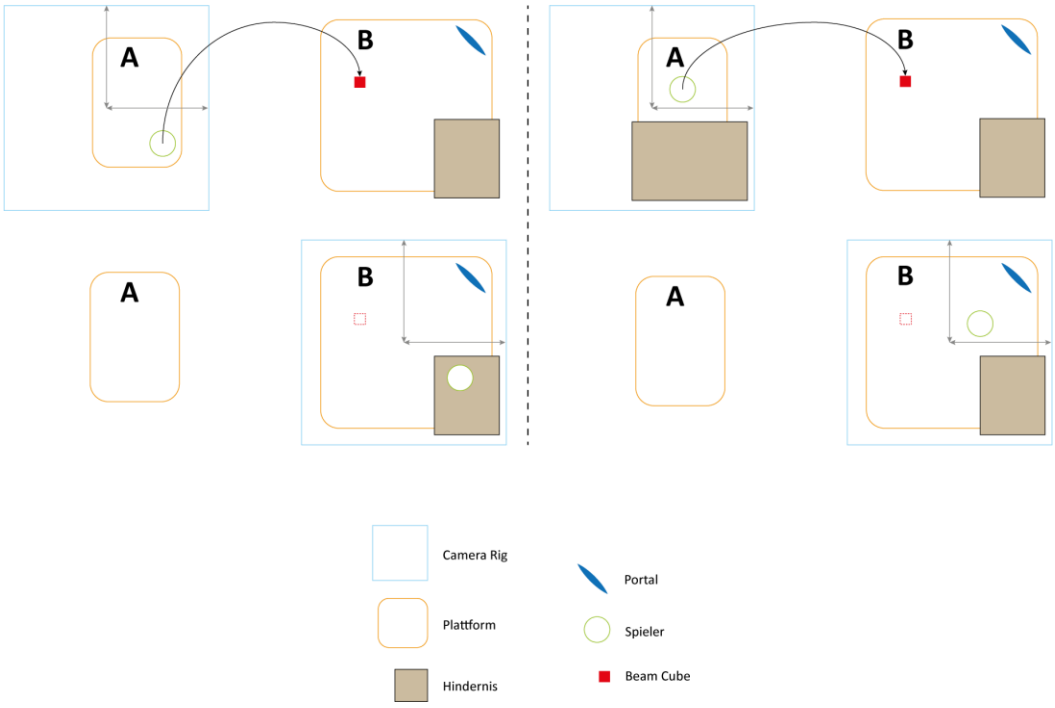


Abbildung 31 – Forcierung der Möglichkeiten des Abwurfs vom Beam Cube (eigene Darstellung)

An dieser Stelle soll die Verbindung zur passiven Haptik geknüpft werden. Um eine korrekte Interaktion mit ihr sicherzustellen, muss eine der beiden folgenden Bedingungen erfüllt sein: Es darf vor der Interaktion zu keiner Teleportation gekommen sein oder falls es doch zu einer Teleportation kam, muss sich die passive Haptik auf einer Zielplattform befinden. Dadurch ist in beiden Fällen sichergestellt, dass die passive Haptik und dementsprechend das virtuelle Pendant an der vorgesehenen Position in der Spielwelt korrekt dargestellt wird.

Die Stationen 6 (Holzbrett) und 9 (Kasten) erfüllen die erste Bedingung. Sie sind so aufgebaut, dass der Spieler von seiner Startposition aus die passive Haptik nur per realem Laufen erreichen kann. Spieler und Holzbrett beziehungsweise Kasten befinden sich somit von Beginn der Station an innerhalb des Camera Rigs. Eine Teleportation und dementsprechend eine Verschiebung des Camera Rigs findet nicht statt.
Bei Station 5 (Schloss) hingegen befindet sich die passive Haptik beim Start außerhalb des Camera Rigs auf einer Zielplattform. Eine Zielplattform deshalb, weil der Spieler zuerst die Option hat, eine sich bewegende Plattform durch reales Laufen oder unter Einsatz eines Beam Cubes zu erreichen. Somit ist es unmöglich vorherzusagen, in welcher Weise das Camera Rig verschoben ist, wenn der Spieler die sich bewegende Plattform erreicht. Um dennoch eine korrekte Interaktion mit dem Schloss sicherzustellen, ist es daher nötig, den Spieler von dieser sich bewegenden Plattform aus auf eine Zielplattform werfen zu lassen. Das Camera Rig wird infolgedessen mittig auf die Plattform gesetzt. Dadurch ist ersichtlich, an welcher Position im Camera Rig sich die passive Haptik befindet sowie sichergestellt, dass die virtuelle Abbildung des Schlosses an der korrekten Position in der Spielwelt angezeigt wird.

Allgemein ist der komplette Spieleprototyp so aufgebaut, dass sich der Spieler in allen zehn Stationen uneingeschränkt per realem Laufen, Beam Cube oder sich bewegender Plattform fortbewegen kann. Mit Hilfe des Einsatzes visueller Hindernisse und dem Forcieren des Werfens ist gewährleistet, dass der Spieler während des Spielens zu keinem Zeitpunkt die Spielfläche verlässt.

5.5.3 Schloss

Die in Station 5 verwendete passive Haptik ist ein zylinderförmiges Schloss mit einem Durchmesser von 16 Zentimetern und einer Tiefe von 8 Zentimetern, bei dem die Spitze des HTC Vive Controllers als Schlüssel fungiert. Der Spieler steckt den Controller in die passgenaue Aussparung des Schlosses und kann dieses anhand einer Drehbewegung nach links um 90 Grad rotieren. Um zu gewährleisten, dass der Controller exakt in das Schloss passt, wurde es mit einem 3D-Drucker erzeugt. Dies erforderte eine vorherige Modellierung des Schlosses in Blender, einer 3D-Grafiksoftware. Die Modellierung in Blender

erfolgte, indem das 3D-Modell eines HTC-Vive Controllers importiert wurde. Der Rohling des Schlosses ist im Wesentlichen ein Zylinder. Die Aussparung in Form des Controllers im Zylinder wurde dann mit Hilfe eines sogenannten *Boolean-Modifiers* erzeugt. Das 3D-Controller-Modell wurde in Blender in die gerade Fläche des Zylinders geschoben und anschließend eine Differenz gebildet. Folglich wurde das Volumen, welches der Controller im Zylinder einnahm, herausgelöscht (siehe Abbildung 32).

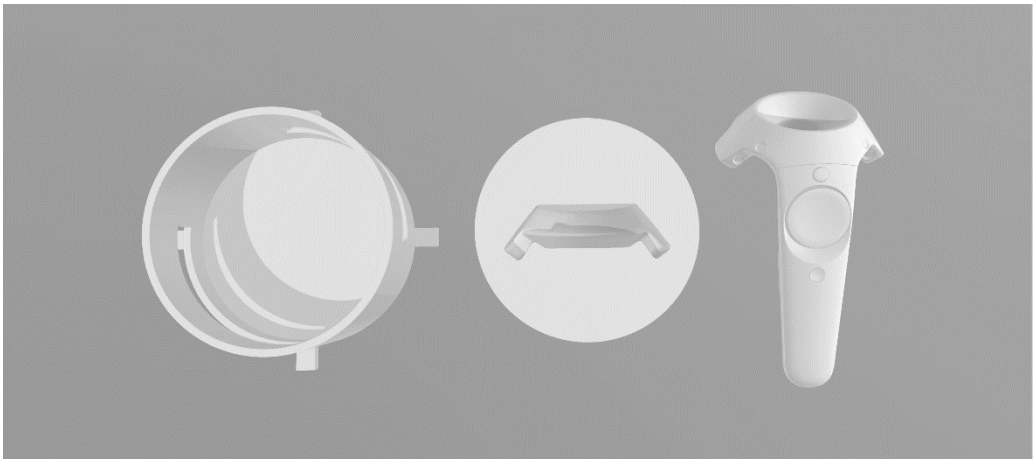


Abbildung 32 – 3D-Modelle zur Fertigung des Schlosses (eigene Darstellung)

In gleicher Weise entstand die Fassung, in welcher sich das Schloss dreht. Auch hier wurde die Differenz vom Schloss zu einem etwas größeren Zylinder gebildet. Die 3D-Modelle des Schlosses und der Fassung wurden anschließend in 3D-Druck-Daten umgewandelt und an einen 3D-Drucker übergeben, der die Objekte innerhalb von zwei Tagen druckte. Im Anschluss daran kam es zu einer Optimierung der Objekte, indem Schleifpapier verwendet wurde, um Ungenauigkeiten auszubessern und eine mühelose Drehung des Schlosses in seiner Fassung zu gewährleisten.

Das komplette Schloss wurde an einen Holzquader montiert, der ein hohes Eigengewicht besaß, um ein Verschieben des Aufbaus beim Drehen zu vermeiden. Der Aufbau wurde dann an einem äußeren Bereich der Spielfläche positioniert, um das Risiko einer Kollision mit dem Spieler auszuschließen. Zusätzlich ist jede Station in der virtuellen Welt so angelegt, dass in dem Bereich, in welchem der Aufbau des Schlosses steht, sich Hindernisse wie Säulen oder Pflanzen befinden, um den Spieler von dort fernzuhalten. Wie es der Einsatz passiver Haptik voraussetzt, wurde im Spiel ein virtuelles Abbild des Schlosses eins zu eins in Position und Orientierung über das reale Schloss gelegt. Dazu war das virtuelle Pendant bereits als 3D-Modell durch die Modellierung in Blender vorhanden und wurde mit einer zur Ästhetik des Spiels passenden Textur versehen (siehe Abbildung 33).

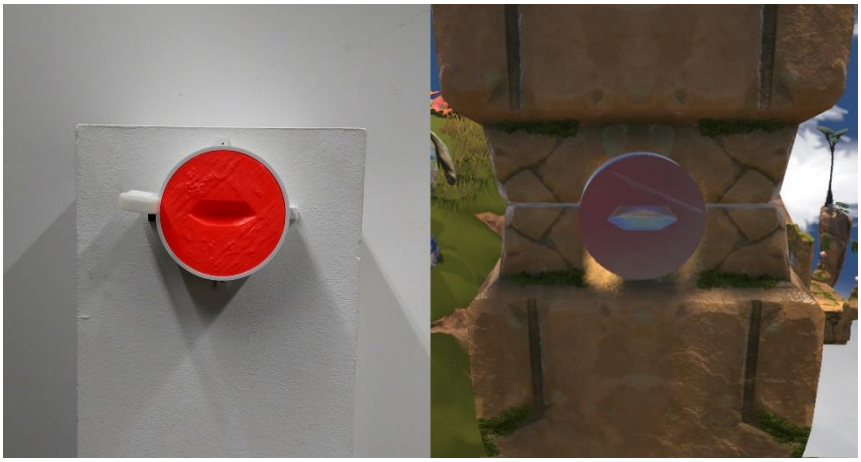


Abbildung 33 – reales Schloss und virtuelles Pendant (eigene Darstellung)

Eine Problematik, die während der Entwicklung des Spieleprototyps auftauchte, war die von Trackingfehlern. Trotz einer genauen Positionierung des virtuellen Schlosses auf das reale kam es immer wieder zu Diskrepanzen. Der Controller steckte zwar exakt im realen Schloss, in VR hingegen war es um circa ein bis zwei Zentimeter versetzt. Zurückzuführen waren diese Abweichungen auf ein fehlerhaftes beziehungsweise für kurze Zeit unterbrochenes Tracking des Controllers. Um dem entgegenzuwirken, wurde sich dazu entschlossen, einen zweiten Controller an der Fassung des Schlosses anzubringen und vor jedem Spielstart eine Kalibrierung durchzuführen. Der zweite Controller enthielt das virtuelle Schloss als ein Kindobjekt. Demnach war es möglich, die Position des Schlosses im Trackingbereich zu verfolgen. Der erste Controller wurde nun in das reale Schloss gesteckt und das virtuelle Schloss verschoben, bis beide genau übereinstimmten. Anschließend kam jetzt jedoch ein Script zum Einsatz, das sich den genauen Abstand zwischen dem virtuellem Schloss und dem im Schloss steckenden Controller merkte. Dieser Vorgang wurde ein einziges Mal im Verlauf des Projekts durchgeführt. Vor jedem Spielbeginn hingegen wurde der erste Controller in das reale Schloss gesteckt und überprüft, ob es in der virtuellen Welt zu Diskrepanzen kam. War dies der Fall, wurde ein weiteres Script ausgeführt, das den zuvor einmalig gemerkten Abstand zwischen erstem Controller und virtuellem Schloss herstellte, sodass dieses perfekt auf dem realen Schloss lag. Auch wenn durch dieses Vorgehen die Diskrepanzen minimiert werden konnten, kam es beim Spielen trotz allem vereinzelt zu Verschiebungen, die jedoch dem Aufbau geschuldet waren. Beispielsweise befand sich das Schloss sehr nahe an den Grenzen des Trackingbereichs und außerdem konnte der Körper des Spielers beim Benutzen des Schlosses die Sensoren des Controllers vor den Basisstationen verbergen. Beide Aspekte haben Einfluss auf die Qualität des Trackings.

Abbildung 34 – Spieler steckt den Controller ins Schloss (eigene Darstellung)

Das virtuelle Pendant des Schlosses war für den Spieler nicht zu jedem Zeitpunkt sichtbar, sondern lediglich solange er sich auf der Zielplattform der fünften Station befand. War dies der Fall, erschien das Schloss an einer Steinsäule mit einer rotblauen pulsierenden Textur.
Die Ergebnisse des Proof of Concept und Spielmechanik-Tests legten nahe, dass die Spieler gerne Rätsel lösen möchten. Daher wurde auf eine weitere visuelle Hilfestellung zur Interaktion mit dem virtuellen Schloss verzichtet. Der Spieler musste mit dem Schloss interagieren, um zur nächsten Station zu gelangen (siehe Abbildung 34). Drehte er das Schloss schließlich in die Endposition, veränderte sich die Textur des Schlosses. Dadurch sollte dem Spieler das visuelle Feedback gegeben werden, er habe etwas ausgelöst. Gleichzeitig fuhr ein Portal aus dem Boden hinter dem Spieler hoch, welches ihn zur sechsten Station brachte. Diese enthält als passive Haptik das Holzbrett, auf welches im nächsten Punkt eingegangen wird.

5.5.4 Holzbrett

In der sechsten Station läuft der Spieler über eine brüchige Steinbrücke. In der realen Welt überquert er analog dazu ein Holzbrett. Es wurde sich dabei bewusst für ein Holzbrett aufgrund seiner Leichtigkeit und der kostengünstigen Anschaffung entschieden. In der virtuellen Welt wurden die Dimensionen der Steinbrücke gemessen und ein entsprechendes Holzbrett mit den Maßen 199 x 17 x 2 Zentimetern im Baumarkt gekauft.

Abbildung 35 – Holzbrett und virtuelles Pendant (eigene Darstellung)

Das Brett wurde auf dem Boden der Spielfläche so ausgerichtet, dass es mit der Brücke im Spiel eins zu eins übereinstimmte und anschließend seine Position markiert (siehe Abbildung 35). Trotz der exakten Ausrichtung kam es auch hier hin und wieder wie beim Schloss zu Diskrepanzen zwischen realem und virtuellem Objekt, die jedoch nicht zu sehr zum Tragen kamen. Zum einen kaschierte die bereits erwähnte abstrakte Repräsentation der Füße kleine Ungenauigkeiten, zum anderen ist das Ertasten von Objekten mit den Füßen allgemein ungenauer. Daher wurden die möglichen minimalen Abweichungen zwischen der virtuellen Steinbrücke sowie dem realen Holzbrett vernachlässigt.
Ein bedeutenderer Aspekt war die Positionierung des Bretts während des Spielens. Das Brett konnte nicht von Anfang an auf dem Boden liegen, da der Spieler sich in Station 6 zuerst zu einem Aufzug bewegen muss. Auf dem Weg dorthin läuft er über den Bereich, in dem später das Holzbrett liegt. Würde das Brett bereits am Anfang dort liegen, bestände die Gefahr, dass der Spieler stolpert und sich verletzt. Es musste daher ein Moment abgewartet werden, in welchem sich der Spieler nur in einem bestimmten und kleinen Bereich bewegen kann. Diese Vorrausetzung schuf der Aufzug. Im Spiel betritt der Spieler eine kleine Plattform mit einem leuchtenden roten Kreis. Nach kurzer Zeit setzt sich die Platte in Bewegung und fährt mit ihm nach oben. Hierbei handelt es sich wie bei der sich bewegenden Plattform um eine passive Bewegung, doch statt entlang der horizontalen Achse wird der Spieler entlang der vertikalen Achse bewegt. Da keine Teleportation dem Aufzug vorrausgeht, ist es klar ersichtlich, an welcher Position im Camera Rig der Spieler die Brücke in der virtuellen Welt betritt und damit auch an welcher Stelle auf der Spielfläche er auf das Holzbrett läuft. Während der Spieler mit der Platte in der virtuellen Welt nach oben fährt, öffnet sich ein Zeitfenster, in dem das Brett in den markierten Bereich am Boden gelegt werden kann. Hier zahlt sich das leichte Gewicht eines Holzbretts aus. Oben angekommen, sieht der Spieler die Steinbrücke vor sich, die nun auch mit dem Brett übereinstimmt. Neben dem Umstand, dass der Aufzug den Spieler während des Hochfahrens für eine gewisse Zeit an einem bestimmten Ort hält, fügt er den Faktor der Höhe als ein weiteres wichtiges

Element hinzu. Die Höhe wurde immer wieder beim Proof of Concept und Spielmechanik-Test von den Probanden als positiv erwähnt, sobald sie in der virtuellen Welt einen schmalen Bereich in gewisser Höhe entlanggingen. Hat der Spieler die Brücke in Station 6 überquert, befindet er sich auf einer kleinen Plattform, von wo er einen Beam Cube auf eine andere Plattform werfen muss (siehe Abbildung 36). Das Holzbrett bleibt so lange in der Spielfläche liegen, bis der Spieler sich auf die Plattform teleportiert hat. Ein frühzeitiges Wegnehmen hätte zur Folge, dass der Spieler eventuell nochmals über die Brücke zurück zum Aufzug gehen möchte und nun nicht mehr das Holzbrett unter seinen Füßen spürt. Diese Inkonsistenz hätte vermutlich einen Einfluss auf die Präsenz des Spielers in der virtuellen Welt.

Abbildung 36 – Aufzug und Brücke von Station 6 (eigene Darstellung)

5.5.5 Kasten

Die letzte passive Haptik, welche in Saltar VR zum Einsatz kommt, ist ein verschiebbarer Kasten bei Station 9. In der realen Welt ist dies ein etwas schwererer Kasten aus Holz mit einer Länge von 76, einer Breite von 43 und einer Höhe von 59 Zentimetern. An seiner Unterseite sind Rollen befestigt. Der Holzkasten wurde ausgemessen und entsprechend seiner Größe in Unity nachmodelliert sowie mit einer passenden Textur versehen. Anders als beim Holzbrett wurde der Kasten wie das Schloss von den Basisstationen in seiner Position und Orientierung verfolgt. Verschiebt der Spieler den Kasten in der realen Welt, bewegt sich sein virtuelles Abbild im Spiel entsprechend mit. Realisiert wurde dies über einen zweiten HTC Vive Controller, welcher an der Seite des Kastens angebracht war (siehe Abbildung 37). Der zweite Controller muss beim Spielen von einer außenstehenden Person zuvor aus der Fassung des Schlosses herausgenommen und in die Vorrichtung des Kastens gesteckt werden.

Abbildung 37 – Kasten und virtuelles Pendant (eigene Darstellung)

In Unity enthielt der Controller den virtuellen Kasten als Kindobjekt. Dadurch verändert sich die Position und Orientierung des Kastens abhängig von der Position und Orientierung des zweiten Controllers. Das virtuelle Abbild des Kastens wurde anschließend, wie beim Schloss und der Brücke bereits beschrieben, eins zu eins auf sein reales Pendant abgebildet. Auch hier kam es wieder zu Diskrepanzen. Beim Schloss fand die Interaktion über den Controller statt. Der Controller wird in seinen Umrissen vom VR-System exakt in der virtuellen Welt dargestellt. Selbst kleinste Abweichungen beim Interagieren mit dem Schloss waren somit gleich wahrnehmbar. Beim Interagieren mit dem Kasten hingegen verwendet der Spieler keinen Controller sondern seine Hände, um ihn zu verschieben. Diskrepanzen zwischen dem virtuellen und realen Kasten sind daher nicht so stark wahrnehmbar, da in der virtuellen Welt keine Repräsentation der Hände des Spielers vorhanden ist. Es gab eine bewusste Entscheidung gegen die Verwendung der LEAP Motion, die eine Abbildung der Hände ermöglicht hätte, wie bereits beim Spielmechanik-Test in Kapitel 5.4 beschrieben wurde. Genauso wie beim Holzbrett erreicht der Spieler die passive Haptik per realem Laufen innerhalb des Camera Rigs. Es findet keine Teleportation und damit auch keine Verschiebung des Camera Rigs statt.

Während der Spieler sich in Station 8 befindet, wird der Kasten langsam und möglichst geräuschlos in die Spielfläche geschoben. Dabei wird darauf geachtet, einen Bereich auszuwählen, der weit entfernt vom Spieler ist, um eine Kollision mit dem Kasten zu verhindern. Der virtuelle Kasten und damit auch der reale wird erst dann für den Spieler sichtbar, sobald er sich in Station 9 befindet. Auf der Oberseite des virtuellen Kastens ist der dreidimensionale Umriss eines HTC Vive Controllers zu sehen (siehe Abbildung 38).

Abbildung 38 – Zielbereich des Kastens (eigene Darstellung)

Der Spieler sollte nun seinen Controller in den Umriss legen, um einen Zielbereich angezeigt zu bekommen, in welchen er den Kasten schieben muss. Gleichzeitig verändert sich die Textur des virtuellen Kastens zur rotblau pulsierenden, die bereits beim Schloss verwendet wurde. Durch das Ablegen des Controllers ist zudem gewährleistet, dass der Spieler beide Hände frei hat um den Kasten präzise zum Zielbereich manövrieren zu können. Die komplette Interaktion findet, wie auch schon beim Schloss, ohne Hilfestellung statt und soll den Spieler zum Rätseln animieren. Wird der Kasten in den Zielbereich geschoben, wechselt seine Textur zur alten zurück und der Zielbereich verschwindet. Dieses visuelle Feedback soll den Spieler darauf hinweisen, dass er den Kasten an die richtige Stelle geschoben hat. Zugleich fängt hinter ihm die virtuelle Welt an, sich zu verändern. Plattformen fahren zur Seite und verschwinden, neue Tauchen auf und ein Portal kommt aus den Tiefen hochgefahren. Der Spieler muss sich nun über sich bewegende sowie statische Plattformen zum Portal bewegen (siehe Abbildung 39).

Abbildung 39 – Station 9 nach der Aktivierung durch den Kasten (eigene Darstellung)

6 Evaluation

Der zuvor beschrieben und auf Basis des User-Centered Design Ansatzes entwickelte Spieleprototyp wurde nach seiner Umsetzung evaluiert. Das folgende Kapitel befasst sich daher mit der Methodik, Realisierung und Auswertung der Evaluation, die aus einer zweiteiligen Forschungsfrage bestand:

1. Steigert passive Haptik in einem VR-Spiel die Präsenz des Spielers in der virtuellen Welt?
2. Welche Aspekte beeinflussen das Präsenzempfinden?

Nach Slaters Verständnis von Immersion werden durch den Einsatz von passiver Haptik mehr Sinnesmodalitäten des Spielers angesprochen (Extensive), sodass dies zu einer stärkeren Präsenz beim Spieler führen kann (siehe Kapitel 2.3). Saltar VR scheint demnach in der Theorie dafür geschaffen zu sein, die Präsenz des Spielers zu steigern. Eine praktische Überprüfung dessen fand anhand der vorliegenden Evaluation statt.

Die Evaluation wurde in Zusammenarbeit mit Jonas Schöls durchgeführt. Sein Hauptaugenmerk bei der Evaluation lag jedoch darauf, in Erfahrung zu bringen, ob der Spieler den Spieleprototyp mit einem positiven Erlebnis und Spielfreude verknüpft und welche Spielmechaniken hierzu beitragen. Hierfür verwendete er mitunter andere Datenerhebungsmethoden, als in diesem Kapitel beschrieben werden.

6.1 Theoretische Grundlagen

Für die Bestimmung des Ausmaßes, das ein Nutzer in Bezug auf Präsenz erfahren hat, ist es nötig, experimentelle Untersuchungen mit Probanden durchzuführen. Genau wie es sich bei der Definition von Präsenz verhält, gibt es keine allgemein gültige Messmethodik, um sie zu erfassen.

Eine Möglichkeit besteht darin, Präsenz anhand spezieller Fragebögen wie beispielsweise dem „Slater-Usoh-Steed Questionnaire“ (SUS) [29], dem „Presence Questionnaire“ (PQ) von Witmer und Singer [27] oder dem „Igroup Presence Questionnaire“ (IPQ) von Schubert, Friedmann und Regenbrecht [79] zu bestimmen. Letzterer fand bei dieser Evaluation Anwendung.
Die Beobachtung des Probanden während der VR-Erfahrung stellt eine weitere alternative Messmethodik dar. Tritt beim Nutzer das bereits erwähnte RAIR ein (siehe Kapitel 2.3.2), verhält er sich also so wie in der realen Welt, ist dies ein Indikator für Präsenz.
Eine weitere Verfahrensweise besteht in der Messung physiologischer Daten, wie dem Puls oder des Hautwiderstands. Rufen Situationen in der virtuellen Umgebung die gleichen körperlichen Reaktionen wie in der realen Welt hervor, ist dies ein Zeichen von Präsenz. [42]

Slater führt eine weitere Möglichkeit an, um Präsenz zu messen, und zwar in Form von *Breaks In Presence* (BIP). Ein BIP tritt dann auf, wenn die Wahrnehmung des Nutzers, in der virtuellen Umgebung zu sein, unterbrochen wird und er realisiert, dass er sich eigentlich in der realen Welt befindet. Es kommt folglich zu einem Bruch der Präsenz. Hervorgerufen werden BIPs etwa durch die Kollision mit in der VR nicht vorhandenen, realen Gegenständen, wenn sich der Nutzer beispielsweise in Kabeln verfängt oder einfach nur von jemandem außerhalb der VR angesprochen wird. [80]

6.2 Evaluationsmethodik

Für die Evaluation wurde ein sogenannter Mixed-Methods-Ansatz gewählt (siehe Abbildung 40). Dieser kombiniert und integriert qualitative und quantitative Methoden innerhalb desselben Forschungsprojekts [81, S. 33]. Dabei verwenden quantitative Methoden numerische Daten, um vermehrt Hypothesen zu testen, wohingegen die qualitativen Methoden auf visuelles oder verbales Material zurückgreifen, um Hypothesen zu generieren, was eine intensive Analyse des Materials voraussetzt [82, S. 285]. Der erste Teil der Forschungsfrage wird daher mit quantitativen, der zweite entsprechend mit qualitativen Methoden untersucht.

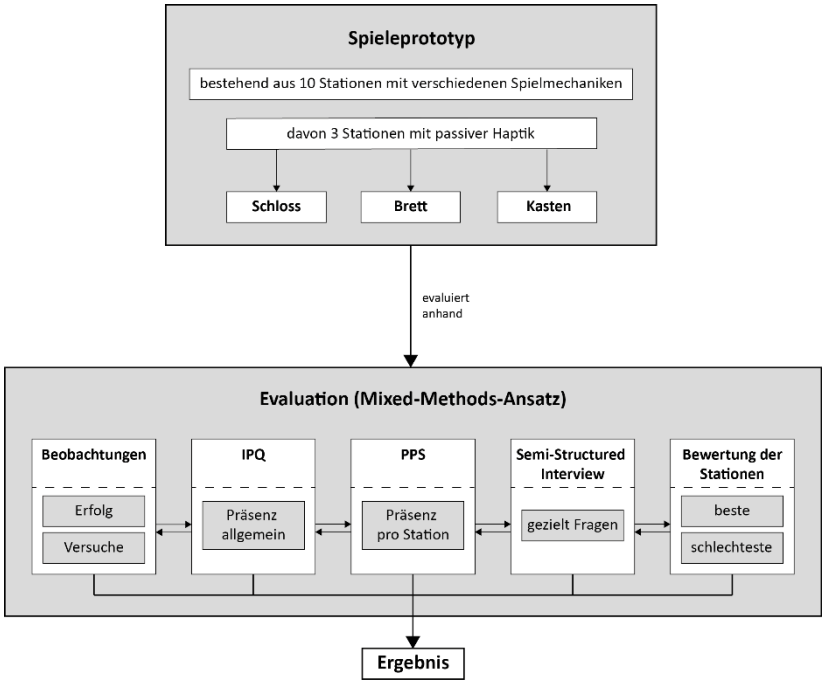


Abbildung 40 – Evaluationsmethodik des Projekts Saltar VR (eigene Darstellung)

Neben einem Fragebogen zur Feststellung der soziodemografischen Daten eines Probanden sowie dessen Vorerfahrungen mit VR und Computerspielen im Allgemeinen kamen bei der Evaluation folgende quantitative Methoden zum Einsatz:

Beobachtungen: Während der Proband Saltar VR spielt, wird tabellarisch notiert, welche Stationen er alle erfolgreich absolviert und wie viele Versuche er für jede benötigt. Somit lassen sich bei der späteren Auswertung der Evaluation negative Beurteilungen eines Probanden hinsichtlich einer bestimmten Station eventuell erklären. Stimmten die Fähigkeiten des Probanden nicht mit den Herausforderungen, vor die er in einer Station gestellt wurde überein, spiegelt sich dies in einer hohen Anzahl an Versuchen wider, was zu einer Frustration und schlechteren Bewertungen durch den Probanden führen kann.

IPQ: Für die allgemeine Präsenz (bezogen auf den gesamten Spieleprototyp), die ein Proband beim Spielen erfahren hat, wird der bereits im Kapitel zuvor erwähnte Fragebogen IPQ verwendet. Eine generelle Kenntnis der Präsenz ist ein interessanter Aspekt und dient als Referenzrahmen, in welchem die passive Haptik wirken kann.

PPS: Zusätzlich zum IPQ wird ein weiterer Fragebogen eingesetzt, um in Erfahrung zu bringen, wie ausgeprägt die Präsenz eines Probanden bei jeder einzelnen Station war (Präsenz pro Station). Etwaige Unterschiede im Präsenzempfinden zwischen den Stationen können möglicherweise mit der passiven Haptik in Verbindung gesetzt werden, die in drei Stationen zum Einsatz kam.

Station Ranking: Eine Bewertung der einzelnen Stationen dient in erster Linie dazu herauszufinden, welche Station einem Probanden am besten beziehungsweise am schlechtesten gefallen hat. Anhand dessen können Rückschlüsse zu Spielmechaniken oder Elementen gezogen werden, die einem Probanden gut gefallen haben und ebenfalls wieder potenziell in Beziehung zur passiven Haptik stehen.

Das Station Ranking bildet die Ausgangslage für die Verwendung einer qualitativen Methode der Evaluation, die in Form eines *Semi-Structured Interviews* stattfindet. Hierbei wird anhand der Bewertung der einzelnen Stationen und einem persönlichen Gespräch mit dem Probanden auf bestimmte Aspekte der Präsenz eingegangen, die er während des Spielens erfahren hat.

6.3 Evaluationsmethoden

Methoden sind unverzichtbare Werkzeuge, die in der empirischen Wissenschaft zur Erkenntnisgewinnung eingesetzt werden [82, S. 7]. Nachdem im vorherigen Kapitel ihr Nutzen für die vorliegende Evaluation erläutert wurde, folgt nun eine genaue Beschreibung dieser verwendeten Methoden.

6.3.1 Informationen zum Probanden

Mittels eines Fragebogens werden Informationen zum Probanden erhoben (siehe Anhang 9.3). Dieser erfasst in einem soziodemografischen Teil das Alter und Geschlecht sowie die Ausbildung und den Beruf des Probanden. Zusätzlich gibt es einen weiteren Abschnitt, in welchem der Proband seinen Spielertyp und zuletzt gespielte Videospiele sowie seine Anfälligkeit für Cybersickness und seine VR-Vorerfahrung angibt. Letztere wird anhand einer fünfstufigen Likert-Skala mit den Endpunktnennungen „gering“ und „sehr viel“ erfasst.

6.3.2 Beobachtungen

Die Erfolge und Versuche des Probanden werden während des Spielens tabellarisch notiert (siehe Anhang 9.7). Erreicht der Proband das Portal einer Station, wird diese als erfolgreich abgeschlossen vermerkt. Der Verlust eines Lebens, hervorgerufen durch das Herunterfallen von einer Plattform oder die Kollision mit einem Hindernis, generiert einen Versuch. Die Versuche werden pro Station erfasst und summieren sich damit so lange auf, bis der Proband das Portal einer Station erreicht.

6.3.3 Igroup Presence Questionnaire (IPQ)

Zur Messung der erfahrenen Präsenz des Probanden in Bezug auf den gesamten Spieleprototyp wird der Igroup Presence Questionnaire verwendet (siehe Anhang 9.4). Der IPQ wurde in einem zweistufigen Verfahren von Schubert, Friedmann und Regenbrecht entwickelt. In einer ersten Phase beantworteten 246 Teilnehmer in einer Umfrage eine Vielzahl an Elementen früherer Präsenzfragebögen sowie selbsterstellten Fragen, die auf theoretischen Modellen von Präsenzerfahrung basieren. Die daraus resultierenden Ergebnisse wurden dann in einer zweiten Phase anhand von 296 Teilnehmern überprüft. Das Resultat war der aus 14 Elementen bestehende IPQ. Er kombiniert unter anderem Fragen des bereits genannten Slater-Usoh-Steed Questionnaire und Presence Questionnaire von Witmer und Singer sowie eigenen entwickelten Fragen. Jedes Element wird dabei auf einer siebenstufigen Likert-Skala mit unterschiedlichen Endpunktbenennungen beantwortet. [79]

Zwei Gründe sprachen für die Verwendung des IPQs. Zum einen entspricht die Auffassung von Immersion und Präsenz der Autoren des Fragebogens den in dieser Masterthesis dargelegten Ansichten (siehe Kapitel 2.3) zum anderen der IPQ eine Messung dreier unabhängiger Dimensionen von Präsenz:

Spatial Presence (SP): Das Gefühl sich physisch in der VR anwesend zu fühlen.

Involvement (INV): Die Aufmerksamkeit, welche der Spieler der virtuellen Umgebung widmet und die Einbeziehung in diese.

Experienced Realism (REAL): Die subjektive Empfindung von Realismus in der VR.

Ein zusätzliches Element betrifft das allgemeine Präsenzgefühl (G), welches die drei zuvor genannten Dimensionen von Präsenz beeinflusst, insbesondere die Spatial Presence. Auf Spatial Presence beziehen sich fünf Elemente des IPQ, auf Involvement und Experienced Realism jeweils vier. Das allgemeine Präsenzgefühl wird über eine Frage ermittelt [79]. Dadurch lässt sich die erfahrene Präsenz des Probanden spezifischer betrachten.

6.3.4 Präsenz pro Station (PPS)

In einem weiteren, selbsterstellten Fragebogen wird das Präsenzgefühl des Probanden pro Station ermittelt. Dieser besteht aus folgender Frage, die für alle zehn Stationen wiederholt wird: „Wie ausgeprägt war Ihr Präsenzgefühl, „das Gefühl sich anwesend zu fühlen“, in der Station?“. Entsprechend dem IPQ kann der Proband über eine siebenstufige Likert-Skala mit den Endpunktbenennungen „überhaupt nicht“ und „sehr stark“ sein Präsenzgefühl bewerten (siehe Anhang 9.5).
In ihrer Formulierung orientiert sich die Frage am ersten Element des IPQs, dem allgemeinen Gefühl sich in der virtuellen Welt anwesend zu fühlen. Dieses Präsenzgefühl drückt sich, wie zuvor erwähnt, vor allem in der Spatial Presence aus, die nach Steuer wiederum das Produkt einer reichhaltigen Stimulierung der Sinnesmodalitäten des Nutzers in der VR ist und somit unter anderem von der haptischen Wahrnehmung beeinflusst wird [6]. Stationen, die passive Haptik verwenden, sollten beim Probanden eine stärkere Präsenz hervorrufen und von ihm im Fragebogen besser bewertet sein.
Statt alle fünf Elemente des IPQ einzubeziehen, die der Spatial Presence zugeordnet werden können, wurde sich auf diese eine Frage festgelegt. Dadurch musste der Proband statt fünf Fragen pro Station nur eine beantworten und wurde damit zeitlich sowie mental nicht zu sehr beansprucht.

6.3.5 Station Ranking

Beim Station Ranking findet eine persönliche Bewertung des Probanden zu den Stationen statt. Als visuelle Stütze dient dem Probanden hierbei ein Bild jeder Station. Zudem darf er nachfragen, falls Unklarheiten bei einer Station oder bestimmten Elementen bestehen, die darin vorkommen. Die Bewertung ergibt sich, indem der Proband die Bilder der Stationen in einer absteigenden Reihenfolge von „hat mir am besten gefallen“ zu „hat mir am wenigsten gefallen“ anordnet. Um eine

Vergleichbarkeit zu erreichen, erhalten die Stationen je nach Platz unterschiedliche Punkte. Die Station an erster Stelle erhält zehn Punkte, nachfolgende immer einen Punkt weniger. Somit bekommt die Station, welche dem Probanden am wenigsten gefällt und daher an letzter Stelle steht, nur einen Punkt (siehe Anhang 9.10).

6.3.6 Semi-Structured Interview

Das Interview ist vermutlich, die am häufigsten verwendete qualitative Methode zur Datenerhebung. Es findet in Form eines Gesprächs statt, bei dem die Rollen meist von vornherein klar geregelt sind. Der Forschende stellt Fragen und der Proband antwortet, sodass Informationen verbal gewonnen werden. Dazu können verschiedene Interviewverfahren eingesetzt werden, die sich in Bezug auf das Ausmaß der Standardisierung unterscheiden. [82, S. 224]
Eine Ausprägung davon sind halbstandardisierte Interviews, zu denen das Semi-Structured Interview gehört. Hierbei werden Fragen in einem Interviewleitfaden zusammengestellt, womit gewährleistet ist, dass alle relevanten Aspekte des Untersuchungsgegenstands zur Sprache kommen. Des Weiteren stellt der Leitfaden eine annähernde Vergleichbarkeit zwischen den Interviews der Probanden her. Die Reihenfolge der Fragen im Leitfaden kann dem Verlauf des Interviews angepasst und die Fragen können so formuliert werden, dass sie sich an den verwendeten Begriffen des Probanden anlehnen. Somit stellt der Leitfaden nur einen Anhaltspunkt für das Interview dar, in dessen Verlauf zu jedem Zeitpunkt sogenannte Ad-hoc Fragen, also Nachfragen, um bestimmte Aspekte genauer zu beleuchten, gestellt werden können. [82, S. 225]

Das Semi-Structured Interview findet bei der Evaluationsdurchführung im Anschluss an das Station Ranking statt und nimmt daher unter anderem Bezug auf dieses. Das Gespräch mit dem Probanden wird zusammen mit Jonas Schöls durchgeführt, sodass auch die folgenden Fragen für den Leitfaden gemeinsam entwickelt wurden:

- Was hat Ihnen an den Stationen weiter vorne besonders gut gefallen? (in Bezug auf das Station Ranking)
- Was hat Ihnen an Stationen weiter hinten nicht so gut gefallen? (in Bezug auf das Station Ranking)
- Welche Spielmechaniken haben Ihnen allgemein gut gefallen?
- War Ihnen bewusst, dass Sie jederzeit einen Beam Cube hätten verwenden können, um Hindernisse zu umgehen?
- Was denken Sie über die Repräsentation der Füße?

- Hat Sie der plötzliche, wahrnehmbare Widerstand der passiven Haptik erschrocken/aus der virtuellen Welt „herausgerissen“?
- Nahmen Sie Unterschiede bei der Interaktion mit der passiven Haptik wahr (beispielsweise beim Bewegen und Darüberlaufen von realen Objekten)?
- Empfanden Sie die passive Haptik im Spiel als eine Bereicherung?

6.4 Aufbau der Evaluation

Die Evaluation fand in den Räumlichkeiten der Hochschule der Medien Stuttgart an drei aufeinanderfolgenden Tagen statt. Insgesamt standen zehn Probanden im Alter von 22 bis 31 Jahren zur Verfügung. Die Räumlichkeiten für die Durchführung der Evaluation wurden dem Anliegen entsprechend eingerichtet. Eine 4 x 4 Meter große Fläche wurde abgemessen, Markierungen für das Holzbrett am Boden angebracht und die Spielfläche anhand von SteamVR kalibriert (siehe Abbildung 41). Zusätzlich zur Spielfläche gab es einen Bereich für die Versuchsleiter bestehend aus Computer, Bildschirmen und einer Anschlussbox, die das HMD der HTC Vive mit dem Computer verbindet. Von diesem Platz aus konnte die Spielfläche gut eingesehen werden. Daneben existierte ein Bereich für die Probanden mit einer Couch und einer Ecke mit Getränken und Kleinigkeiten zum Essen. Pro Proband wurden 90 Minuten veranschlagt, sodass für etwaige technische Probleme eine ausreichende Zeitreserve zur Verfügung stand.

Bei Ankunft des Probanden wurde dieser von den beiden Versuchsleitern begrüßt. Nach kurzer Vorstellung wurde der Proband, ohne zu viel zu verraten, mit dem Projekt Saltar VR sowie dem Ablauf der Evaluation vertraut gemacht. Anschließend wurde er gebeten, eine Einverständniserklärung zur Teilnahme zu unterschreiben und den Fragebogen zur Erfassung der Informationen zum Probanden auszufüllen.

Hatte der Proband seine Angaben gemacht, wurde er auf die Spielfläche geführt, wo es zu letzten Instruktionen kam. Er wurde darauf hingewiesen, dass:

- er das Spiel nun 30 Minuten lang spielt, es aber auch jederzeit vorher abbrechen kann.
- er keine Angst haben braucht, Fehler zu machen, denn alles was er macht, sind wertvolle Erkenntnisse.
- es bei dem Spiel um einen Prototyp handelt, infolgedessen es zu technischen Fehlern kommen kann.
- er sich bei länger andauernden Ladevorgängen bitte auf der Stelle verweilt, um die richtige Position im Spiel beizubehalten.

- es einfacher und genauer ist, den Beam Cube von unten zu werfen.

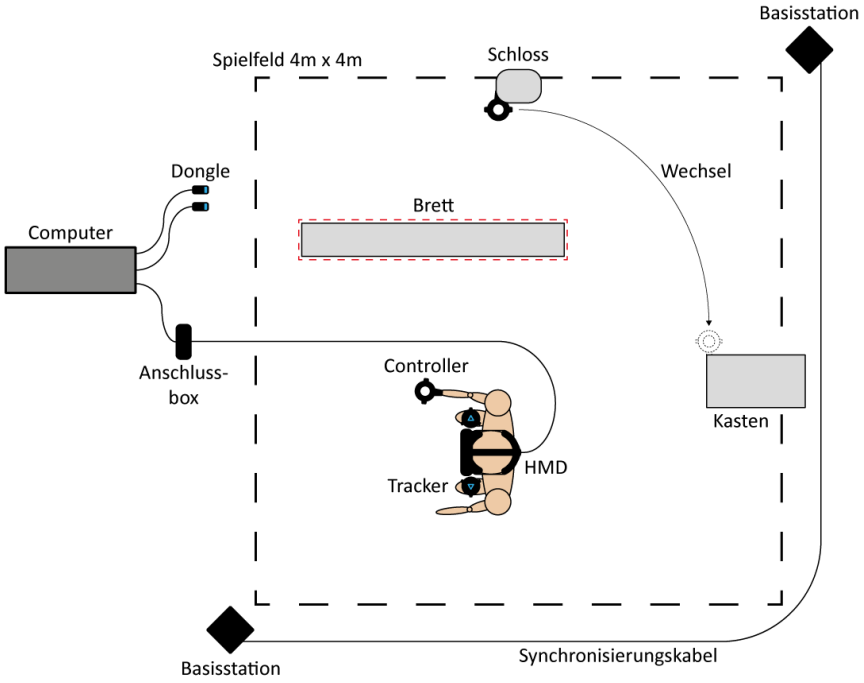


Abbildung 41 – Evaluationsaufbau (eigene Darstellung)

Im Anschluss daran wurden die beiden HTC Vive Tracker mittels Gurte an den beiden Füßen des Probanden befestigt und richtig ausgerichtet sowie das HMD der HTC Vive auf seinem Kopf richtig angebracht. Ein Controller zum Interagieren wurde ihm in seine bevorzugte Hand übergeben, der zweite in die Fassung des Schlosses gesteckt, um die Position der passiven Haptik in der virtuellen Welt zu bestimmen. Daraufhin wurde das Spiel gestartet. Während der Proband Saltar VR spielte, beobachtete ein Versuchsleiter sein Spielen über einen Bildschirm und notierte dabei die Versuche und erreichten Stationen (siehe Kapitel 6.3.2). Ein zweiter Versuchsleiter achtete darauf, dass sich der Proband nicht im Kabel, welches das HMD mit der Anschlussbox verband, verfing. Dies war ein wichtiger Aspekt, denn eine bewusste Wahrnehmung des Kabels hätte möglicherweise ein BIP zur Folge. Zudem wurde darauf geachtet, den Probanden bei einem plötzlich eintretenden Schwindelgefühl zu stützen. Eine weitere Aufgabe, die den zweiten Versuchsleiter betraf, war die Regie der passiven Haptik. Dazu gehörte es, das Holzbrett möglichst geräuschlos im richtigen Moment in den markierten Bereich am Boden zu legen, den zweiten Controller von der Fassung am Schloss in die Vorrichtung am Kasten zu stecken und diesen dann zu einem geeigneten Zeitpunkt lautlos in die Spielfläche zu schieben.

Wusste der Proband innerhalb einer Station trotz mehrmaligem Probieren nicht weiter oder erforderten es andere dringende Vorkommnisse, erhielt er Hilfestellungen in Form von Hinweisen, die vorab in einer Liste festgelegt wurden (siehe Anhang 9.6). Benötigte der Proband mehr als zehn

Versuche bei einer Station, wurde er automatisch zur Startposition der nächsthöheren Station versetzt und die Station als nicht abgeschlossen bei den Beobachtungen notiert. Dadurch war gewährleistet, dass der Proband jede passive Haptik benutzt und alle Spielmechaniken des Spieleprototyps kennenlernt. Erreichte der Proband das Portal der zehnten Station nicht innerhalb der festgesetzten Zeit, wurde das Spielen spätestens nach den 30 Minuten unterbrochen und beendet.

Nach dem Spielen hatte der Proband kurz Zeit, sich zu erholen. Dann wurde er gebeten, den IPQ auszufüllen. Anschließend erfolgte das Station Ranking anhand der Bilder, gefolgt vom Semi-Structured Interview, das mit einem Aufnahmegerät aufgezeichnet wurde. Danach folgte der PPS-Fragebogen und abschließend wurde dem Probanden noch ein AttrakDiff-Fragebogen[15] vorgelegt, welcher Teil der Evaluationsmethodik von Jonas Schöls war.

6.5 Auswertung der Evaluation

Die anhand der in Kapitel 6.3 beschriebenen Evaluationsmethoden gewonnenen Informationen sollen nun in ihrem Ergebnis dargestellt und anschließend jeweils analysiert werden.

6.5.1 Informationen zum Probanden

Die Angaben der Probanden wurden digitalisiert, in einer Tabelle zusammengefasst und ausgewertet, sodass sich folgendes Ergebnis herausbildete.

6.5.1.1 Ergebnis

Insgesamt nahmen zehn Personen an der Evaluation teil, sieben männliche und drei weibliche. Das Durchschnittsalter der Probanden betrug 26,9 Jahre. Alle Personen haben bereits ein grundständiges Studium abgeschlossen, wobei die Hälfte einer beruflichen Tätigkeit nachgeht und die andere noch studiert.
Die Probanden können zwei Spielertypen zugeordnet werden, sechs waren Explorer und vier Achiever. Bei den Beispielspielen wurde eine Vielzahl an VR-Spielen, Egoshootern, Rollen-, Adventure- und Strategiespielen sowie Indie-Games genannt. Die aus der fünfstufigen Likert-Skala errechnete durchschnittliche VR-Erfahrung betrug 3,5 (1 = gering, 5 = sehr viel). Vier der zehn Probanden hatten bereits Erfahrung darin, selbst VR-Anwendungen zu entwickeln. Bezüglich der Cybersickness ergab sich

[15] Der AttrakDiff-Fragebogen ist eine quantitative Evaluationsmethode, die es ermöglicht interaktive Produkte hinsichtlich ihrer pragmatischen und hedonischen Qualität zu bewerten.

folgendes Bild: zwei Probanden waren anfällig, bei zweien war es unbekannt und sechs hatten keine Anfälligkeit hinsichtlich Cybersickness.

6.5.1.2 Analyse

Das Durchschnittsalter der Probanden liegt mit 26,9 Jahren im Bereich einer Altersgruppe (25-34 Jahre), die sich verstärkt dafür interessiert, ein VR-System für Spiele zu benutzen beziehungsweise es bereits dafür verwendet[16]. Des Weiteren zeigt der Wert von 3,5 auf, dass eine sehr hohe VR-Erfahrung bei den Probanden vorliegt. Dies ist ein wichtiges Kriterium, denn es wurde bei der Auswahl der Probanden darauf geachtet, nur solche für die Evaluation zu selektieren, die bereits erste Erfahrungen mit VR aufwiesen. Dadurch sollte eine Beeinflussung der Evaluationsergebnisse durch die Faszination einer ersten VR-Erfahrung vermieden werden. Mehr als die Hälfte der Probanden ist dem Spielertyp Explorer zuzuordnen. Dieser Spielertyp entspricht der Zielgruppe von Saltar VR, sodass unter anderem eine zweckgerichtete Rückmeldung gegeben ist. Eine geringe Anfälligkeit für Cybersickness ist ein weiterer wichtiger Aspekt, da der Spieleprototyp aufgrund von vielen passiven Bewegungen geradezu dafür prädestiniert ist Cybersickness hervorzurufen. Durch die hohe Anzahl an Probanden, die nicht für Cybersickness anfällig sind, ist davon auszugehen, dass eine negative Beeinträchtigung des Spielerlebnisses aufgrund dessen nicht stattfindet.

6.5.2 Beobachtungen

Ausgehend von der erstellten Tabelle im Anhang 9.7 werden alle Versuche der zehn Probanden für die jeweilige Station aufsummiert und anschließend der Mittelwert daraus gebildet. Zur besseren Darstellung wurde ein Diagramm erstellt (siehe Diagramm 1).
Die Stationen, welche die Probanden erreicht haben, gehen aus der Tabelle hervor.

[16] Deloitte. *Anteil der Befragten, die sich vorstellen können, eine Virtual-Reality-Brille für elektronische Spiele zu benutzen in den Jahren 2016 und 2018 (nach Altersgruppen)*. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/936868/umfrage/interesse-an-der-nutzung-von-virtual-reality-brillen-in-deutschland/ (zugegriffen am 10.12.18 13:45).

6.5.2.1 Ergebnis

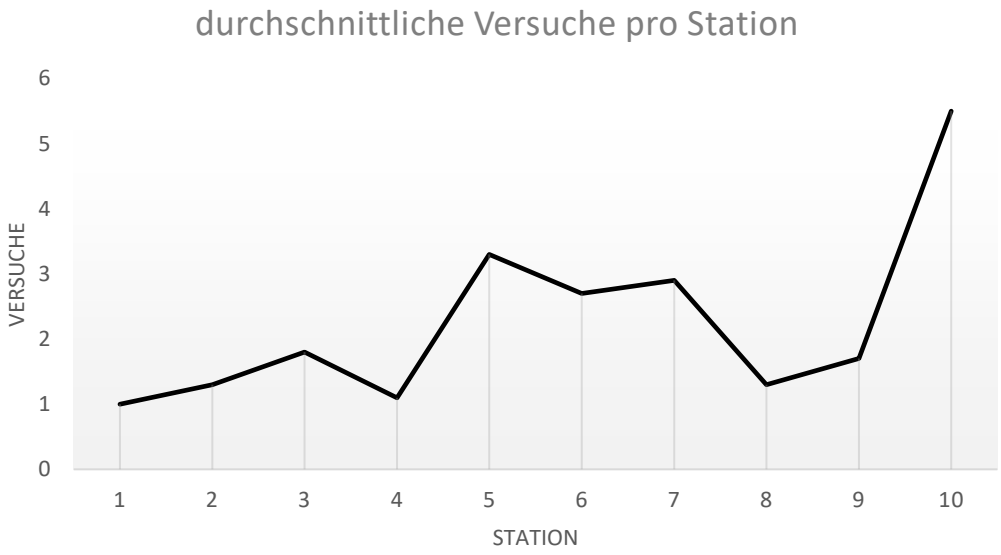


Diagramm 1 – Ergebnis der Beobachtungen (eigene Darstellung)

Mit 5,5 Versuchen im Schnitt benötigten die Probanden für die letzte Station am meisten Versuche, gefolgt von Station 5 mit 3,3 Versuchen. Die geringste Anzahl an Versuchen zeigt die erste Station mit gerade einmal einem Versuch auf.

Sechs der zehn Probanden erreichten das Portal bei Station 10 und beendeten damit den Spieleprototyp innerhalb der 30 Minuten erfolgreich. Auch die anderen vier gelangten alle zu Station 10, bei der aufgrund des zeitlichen Limits das Spielen jedoch abgebrochen werden musste.

6.5.2.2 Analyse

Die größte Anzahl an Versuchen ist bei Station 10 zu finden und lässt sich anhand ihrer Komplexität und der Steigerung des Schwierigkeitsgrades im Verlauf des Spiels erklären. In der letzten Station wurden viele Spielmechaniken kombiniert sowie rasch aneinander gereiht, um für den Spieler eine besondere Herausforderung zu schaffen.

Auffällig ist, dass Station 5 mit 3,3 die zweitmeisten Versuche und einen relativ hohen Wert aufweist. Ein Grund dafür waren technische Schwierigkeiten in Form von Trackingfehlern bei dieser Station, die gerade bei den ersten Probanden auftraten. Dies ist insofern relevant, da sich in Station 5 das Schloss befindet und die Probanden wegen der hohen Anzahl an Versuchen diese Station beim PPS und Station Ranking schlechter bewerten könnten. Die beiden anderen Stationen mit passiver Haptik weisen einen verhältnismäßigen mittleren (Station 6: 2,7) bis niedrigen (Station 9: 1,7) Wert auf, sodass eine negative Beeinflussung auf die anderen Evaluationsmethoden ausgeschlossen werden kann.

Alle Probanden erreichten mindestens Station 10, ohne vorher infolge der maximal erlaubten Anzahl an Versuchen pro Station automatisch zur nächsthöheren Station versetzt zu werden. Dadurch war eine Interaktion mit der passiven Haptik in den Stationen 5, 6 und 9 gegeben und alle Probanden konnten eine fundierte Meinung dazu abgeben.

6.5.3 IPQ

Um mit Mittelwerten arbeiten zu können, wurde die siebenstufige Likert-Skala in Zahlenwerte umgerechnet. Dadurch ist jede Frage mit einem Wert im Bereich von 0 und 6 beantwortet. Der linke Endpunkt der Skala entsprach dabei immer dem Wert 0 und der rechte Endpunkt dem Wert 6. Drei der vierzehn Elemente waren verneinte Fragen, sodass der vom Probanden angegebene Wert zuerst mit -1 multipliziert und anschließend 6 dazu addiert werden musste, um die Skala beizubehalten.
Nun können die Werte der jeweiligen Elemente, die sich auf die drei unabhängigen Dimensionen SP, INV, REAL sowie das allgemeinen Präsenzgefühl (G) beziehen, zusammengerechnet und der Mittelwert daraus gebildet werden (siehe Anhang 9.8). Zur besseren Übersicht wurde zusätzlich ein Diagramm mit drei Achsen (für jede unabhängige Dimension eine) und dem Wertebereich von 0 bis 7 erstellt sowie G in Form eines Bogens im linken Bereich dargestellt (siehe Diagramm 2).

6.5.3.1 Ergebnis

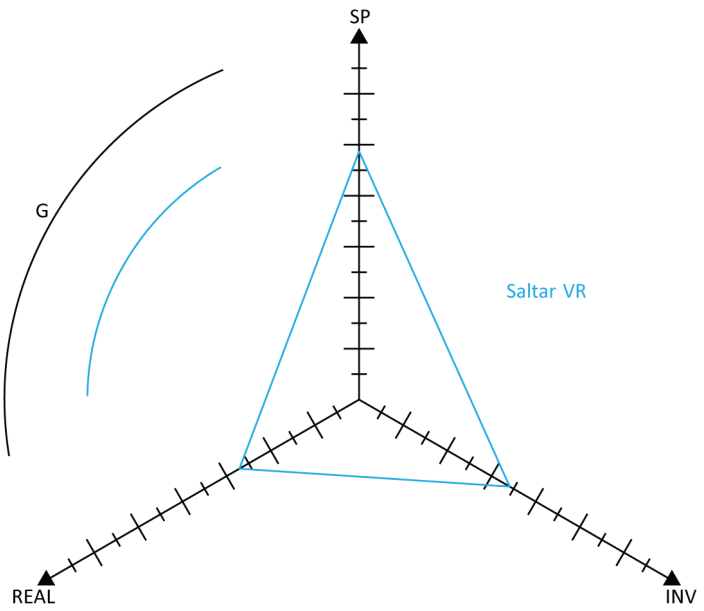


Diagramm 2 – Ergebnis des IPQs (eigene Darstellung)

Für die Spatial Presence (SP) ergibt sich ein genauer Wert von 4,86 sowie für Involvement (INV) 3,4 und Experienced Realism (REAL) 2,7. Die allgemeine Präsenz (G) erreicht einen Wert von 5,3.

6.5.3.2 Analyse

Der maximale zu erreichende Wert bei allen vier Faktoren (SP, INV, REAL und G) beträgt 6. Das Ergebnis des IPQ zeigt daher insbesondere für SP und G hohe Werte auf.

SP betrifft das Gefühl, sich physisch in der virtuellen Welt anwesend zu fühlen. Ihre starke Ausprägung kann zum einen auf die kontinuierliche Fortbewegung des Real Walkings zurückgeführt werden. Der Proband erkundet seine Umgebung größtenteils physisch zu Fuß und muss sich im Spiel vergleichsweise selten teleportieren. Falls doch eine Teleportation stattfindet, ist diese als Spielmechanik in Form des Beam Cubes oder Portals begründet und unterscheidet sich somit von der herkömmlichen Teleportation in anderen VR-Spielen, bei der sie nur eine einfache Fortbewegungsart darstellt. Zum anderen kann die passive Haptik SP beeinflusst haben. Der Proband sieht nicht nur virtuelle Gegenstände im Spiel, sondern kann sie auch fühlen und mit ihnen interagieren, wie beispielsweise beim Schloss oder dem Kasten. Die Spatial Presence ist nach Steuer unter anderem das Produkt einer reichhaltigen Stimulierung der Sinnesreize des Nutzers in der VR und wird somit neben der visuellen und auditiven auch von der haptischen Wahrnehmung beeinflusst [6]. Ein weiterer Aspekt kann die Kombination der passiven Haptik des Holzbretts sowie der durch den zuvor verwendeten Aufzug entstandenen Höhe sein. Ein plötzlich auftretender Höhenschwindel vermittelt dem Probanden das Gefühl, sich tatsächlich auf einer Brücke in großer Höhe zu befinden.
G beschreibt das allgemeine Präsenzgefühl und hat Einfluss auf die anderen drei Dimensionen, insbesondere auf SP. Der hohe Wert von G betrifft daher alle Aspekte des Spiels, zu denen auch die gerade genannte Fortbewegung und passive Haptik gehören. Darüber hinaus kann, wie aus Kapitel 2.3 hervorgeht, das verwendete VR-System G stark prägen. Die HTC Vive verfügt über ein großes FOV, eine hohe native Auflösung und mit der Lighthouse-Technologie über eine genaue Positionsverfolgung des HMDs sowie der Controller. All diese Bestandteile erschaffen eine hohe Immersion, infolgedessen der Proband eine starke Präsenz erfahren kann.

REAL erreicht den niedrigsten Wert aller Faktoren. Begründet werden kann dies anhand der Ästhetik sowie der übernatürlichen Interaktionen in der virtuellen Welt von Saltar VR. Es gibt beispielsweise schwebende Inseln sowie Plattformen, fantasievolle Pflanzen und Portale. Der Proband kann sich teleportieren und in der Luft befindliche Würfel einsammeln. All diese Elemente kennt der Spieler aus der realen Welt nicht. Ein niedriger Wert von REAL ist daher nicht überraschend.
Ebenso wenig wie, dass der zweitniedrigste Wert das INV darstellt. Saltar VR ist ein Prototyp und enthält keine richtige Handlung. Der Proband spielt das Spiel daher, ohne ein wirkliches Ziel vor Augen zu haben. Dadurch ist es möglich, dass er sich nicht in die Spielwelt einbezogen fühlt.

6.5.4 PPS

Ebenso wie beim IPQ wurde auch die siebenstufige Likert-Skala des PPS-Fragebogens in Zahlenwerte umgerechnet. Daraus ergibt sich ein Wertebereich von 0 bis 6 für dieselbe Frage zu jeder Station. Die gesamten Antwortwerte aller Probanden wurden zusammengerechnet und anschließend ein Mittelwert für jede Station gebildet. Das Ergebnis ist in Diagramm 3 zu sehen. Für eine genaue Darstellung der Werte pro Station sei auf die Tabelle im Anhang 9.9 verwiesen.

6.5.4.1 Ergebnis

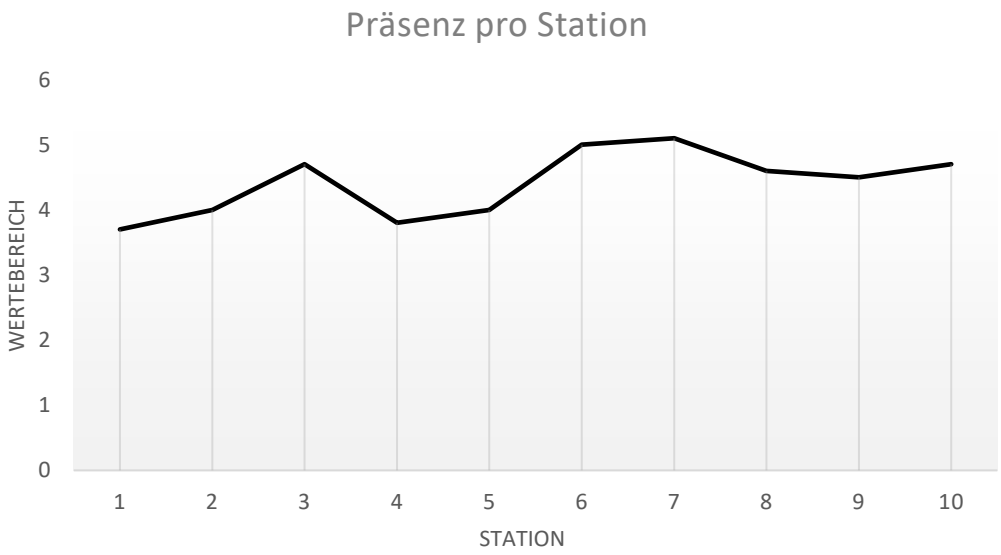


Diagramm 3 – Ergebnis des PPS-Fragebogens (eigene Darstellung)

Die Station, in welcher die Probanden das stärkste Präsenzempfinden hatten, ist Station 7 mit einem Wert von 5,1, dicht gefolgt von Station 6 mit 5,0. Am wenigsten ausgeprägt war die Präsenz bei den Stationen 1, 2, 4 und 5.

6.5.4.2 Analyse

Den theoretischen Grundlagen aus Kapitel 2.3 zufolge kann haptische Wahrnehmung in der VR zu einem verstärkten Präsenzempfinden führen. Das Ergebnis des PPS-Fragebogens bestätigt dies teilweise. Station 6 mit dem Holzbrett erzielt mit 5,0 den zweithöchsten Wert, wohingegen Station 5, die das Schloss enthält, mit einem Wert von 4,0 den viertniedrigsten Wert erreicht. Station 9 mit dem Kasten schneidet mit einem Wert von 4,5 etwas besser ab als das Schloss. Die Abgeschlagenheit von Station 5 und 9 zur Spitze lassen vermuten, dass es möglicherweise eine unterschiedliche

Wahrnehmung der passiven Haptik gibt. Diese kann davon abhängig sein, ob mit der passiven Haptik tatsächlich interagiert und sie bewegt wird oder ob sie nur einen Teil der virtuellen Welt darstellt, den der Spieler nicht aktiv verwendet, wie beispielsweise das Laufen auf dem Holzbrett.

Die Stationen, welche laut PPS die höchsten Werte aufweisen, beinhalten außer Station 6 alle die Spielmechanik des Ausweichens. Insbesondere Station 3 erreicht einen hohen Wert, wobei diese eigentlich nur den Spieler mit dem Ausweichen von Hindernissen vertraut machen soll. Trotzdem erreicht Station 3 zusammen mit Station 10 den drittbesten Wert. Station 10 enthält ebenfalls mehrere Abschnitte, in welchen der Spieler aufpassen muss, nicht mit virtuellen Objekten zu kollidieren. Die Station, welche laut Auswertung das stärkste Präsenzempfinden beim Probanden hervorruft, ist Station 7. Diese enthält eine sehr lange Passage, bei welcher der Proband auf einer sich bewegenden Plattform steht und auf ihn zukommenden Säulen ausweichen muss. Es scheint daher, dass Spielelemente, auf die der Spieler keinen Einfluss hat und auf die er reagieren muss, die wahrgenommene Präsenz verstärken.
Entsprechend verhält es sich mit der ebenfalls hoch bewerteten Station 6. Wie zuvor erläutert, liegt das Holzbrett auf dem Boden und der Spieler betritt es. Er kann das Element nicht aktiv beeinflussen, sondern reagiert auf die neu eintretende Situation, indem er balancierend versucht, das Ende der Brücke zu erreichen.

6.5.5 Semi-Structured Interview

Die aufgenommenen Gespräche mit den Probanden wurden angehört und relevante Aussagen, also alles was mit Präsenz oder der passiven Haptik an sich in Verbindung steht, transkribiert (siehe Anhang 9.11). Nach einer genauen und intensiven Betrachtung des Transkripts wurden ähnliche oder inhaltlich übereinstimmende Aussagen zusammengefasst. Daraus ergaben sich Unterkategorien, die einen bestimmten Aspekt der Präsenz oder verwendeten passiven Haptik betreffen. Diese Unterkategorien wiederum ließen sich anhand ihres wertenden Charakters in fünf Kernkategorien gliedern, sodass folgendes Gefüge identifiziert wurde:

Kernkategorien	Unterkategorien
Verstärkung der Präsenz	durch anspruchsvolle Aufgabe
	durch Anordnung virtueller Objekte
	durch Repräsentation der Füße
	durch passive Haptik
Verringerung der Präsenz	durch technische Fehler
	durch Unnatürlichkeit
	durch äußere Einflüsse
	durch Diskrepanz zwischen virtuellem Objekt und passiver Haptik
	durch unerwartete Interaktion mit passiver Haptik
positive Aussagen zu passiver Haptik	Gefühl
	Spielmechanik
	Interaktion
neutrale Aussagen zu passiver Haptik	Unterscheidung zwischen agieren und reagieren
	ungewohnte Denkweise
negative Aussagen zu passiver Haptik	unklare Interaktion

Tabelle 1 – identifizierte Kategorien des Semi-Structured Interviews (eigene Darstellung)

Insgesamt wurden 55 Aussagen getätigt, wovon 27 die Präsenz (siehe die ersten beiden Kernkategorien von Tabelle 1) und 28 die verwendete passive Haptik betreffen.

6.5.5.1 Ergebnis

Die erste Kernkategorie enthält alle Aspekte in Unterkategorien zusammengefasst, die zu einer Verstärkung der Präsenz des Probanden im Spieleprototyp beigetragen haben. Drei der zehn Probanden empfanden eine Steigerung der Präsenz durch eine anspruchsvolle Aufgabe, denn komplexe Spielmechaniken oder eine Kombination mehrerer fordern den Spieler nicht nur körperlich, sondern auch mental heraus. Ein Proband meinte zum Beispiel: „[…] man konzentriert sich so auf den Ablauf, den man jetzt irgendwie gleich machen möchte, dass man dann auch so ein bisschen vergisst, dass man sich in einer VR befindet."

Ein Proband erwähnte die Anordnung virtueller Objekte als steigernden Faktor: „[…] weil es sich halt realistischer angefühlt hat und man Angst hat, da runter zu fallen […], weil Elemente da drüber und da drunter und links und rechts waren […]." Insbesondere bei Station 6 wird dadurch ein Gefühl der Höhe erzeugt.

Zwei Probanden empfanden die Repräsentation der Füße als einen positiven Einfluss auf ihr Präsenzgefühl. Durch die visuelle Referenz hatten sie ein besseres Gefühl für ihren Körper in der VR und dieser Aspekt „[…] die Welt ja auch realer irgendwie erscheinen lässt […]."

Sieben von zehn Probanden erwähnten die passive Haptik im Zusammenhang mit einer Verstärkung der Präsenz, sodass dieser Aspekt den größten Teil ausmacht und es insgesamt elf Äußerungen diesbezüglich gibt. Das Holzbrett wird dabei vorwiegend als ein Element betrachtet, welches das

Gefühl von Höhe verstärkt und infolgedessen sowohl körperliche als auch emotionale Reaktionen hervorruft. Ein Proband sagte beispielsweise: „[…] ich habe auch gemerkt, wie ich anfange aufzupassen, dass ich da jetzt nicht daneben laufe und auch wie es irgendwie körperlich Reaktionen hervorgerufen hat, obwohl ich weiß, dass ich da nicht irgendwie runterfallen kann." Beim Kasten in Station 9 wird vor allem die Möglichkeit des Verschiebens und der tatsächlichen haptischen Wahrnehmung über die Hände hervorgehoben. Ein Proband beschrieb es folgendermaßen: „[…] fand ich cool, weil ich halt quasi durch die Haptik gedacht hab, ok ich schieb jetzt wirklich diesen kompletten Würfel hier rum […]." Das Schloss wird in Verbindung mit der Präsenz kaum erwähnt. Nur ein Proband hob hervor, dass eine Interaktion mit einem Schloss ohne passive Haptik keinen Sinn für ihn mache, weil er den Controller dann .in der Luft hätte halten und drehen müssen, aber „dadurch, dass ich halt auch einen Widerstand spüre, fand ich es gut."

Demgegenüber stehen Aussagen, die zu einer Verringerung der Präsenz während des Spielens geführt haben. Ein Proband erwähnte technische Fehler, im speziellen Trackingfehler, wodurch sich beispielsweise die virtuelle Welt ohne Auslöser bewegt oder die Repräsentation der Controller und Füße nicht mehr mit dem eigenen Körpergefühl übereinstimmen.
Ein weiterer Proband berichtete von einer Unnatürlichkeit der wahrgenommenen Sinnesreize, die bei einem Wechsel von sich bewegenden auf statische Plattformen stattfand. Der Körper registriert eine Bewegung „[…] die man gar nicht ausgleichen muss, dann merkt man halt kurz…reißt es einen schon kurz raus (Präsenz) […]"
Zwei Probanden beschrieben eine Verringerung der Präsenz aufgrund von äußeren Einflüssen, wie beispielsweise des Kabels des HMDs, welches dem Spieler gelegentlich um den Hals hing, oder Geräuschen, die nicht der VR entstammten. Dementsprechend hat der Proband realisiert, „dass ich ja eigentlich gar nicht in dem Spiel bin." Dieser Moment kann mit Slaters BIP gleichgesetzt werden.

Die nächsten beiden Unterkategorien betreffen die passive Haptik im Zusammenhang mit einer Minderung des Präsenzempfindens. Hervorgerufen zum einen durch eine Diskrepanz zwischen virtuellem Objekt und passiver Haptik. Vier Probanden beschrieben speziell beim Schloss eine Abweichung in dem Dargestellten und haptisch Wahrgenommenen. Ein Proband meinte zum Beispiel: „[…] die Realität und das Bild haben nicht ganz zusammengepasst, gefühlt irgendwie und das hat ein bisschen gestört […]."
Zwei der zehn Probanden berichteten von einer unerwarteten Interaktion mit passiver Haptik. Sie haben sich erschrocken, plötzlich einen Widerstand zu spüren, wodurch es zu einem Präsenzverlust kam. Ein Proband begründete dies mit: „[…] also, wenn ich in der virtuellen Welt bin und ich spiel da so, dann erwarte ich halt natürlich auch, dass ich das dann virtuell irgendwie empfinde […]."

Die drei letzten Kernkategorien der Tabelle 1 enthalten positive, neutrale und negative Aussagen zur passiven Haptik an sich. Positiv hervorgehoben wurden zum einen von sechs Probanden Gefühle, welche die passive Haptik vermitteln, wie beispielsweise „[…] das Gefühl so darüber zu laufen ist super“ oder „[…] der haptische Schalter war natürlich klasse“. Zum anderen wurde die passive Haptik von drei der zehn Probanden bei der Nachfrage, welche Spielmechaniken ihnen gefallen haben, genannt. Ein Proband meinte etwa: „[...] die ganzen haptischen Interaktionselemente fand ich auch echt cool.“ Des Weiteren wird die Interaktion mit der passiven Haptik von vier Probanden positiv erwähnt, denn „[…] diese drei Dinger (Schlüssel, Brett, Kasten) die jetzt bei den Stationen hier waren, bringen eben dem Plattformer, sag ich jetzt mal, noch quasi zusätzlich Interaktion, was ich irgendwie cool fand.“

Als neutral aufgenommen wurden Aussagen, die eine Unterscheidung zwischen agieren und reagieren auf beziehungsweise mit der passiven Haptik enthalten. Für vier der zehn Probanden sind das Schloss und der Kasten Elemente, mit welchen tatsächlich über eine Verschiebung oder Bewegung interagiert wird, wohingegen beim Brett, „[…] da muss man ja nicht interagieren damit, nur drauf laufen […]. “ Ebenfalls als neutral eingestuft wurden Aussagen von Probanden, die eine ungewohnte Denkweise betreffen. Zwei Probanden fanden es schwer zu realisieren, dass sie den Kasten bei Station 9 tatsächlich verschieben können, denn „[…] dieses reale Objekt in das Virtuelle reinzukriegen gedanklich, ist irgendwie nicht ganz einleuchtend erstmal.“

Den positiven Aussagen zur passiven Haptik stehen negative gegenüber und zwar in Form von einer Unterkategorie, die eine unklare Interaktion betrifft. Dies hängt mit dem Schloss zusammen, bei dem fünf von zehn Probanden nicht genau klar war, wie sie mit ihm interagieren sollen. Viele steckten den Controller zwar in das Schloss, aber wussten anschließend nicht, was sie als Nächstes tun sollten. Ein Proband empfand es folgendermaßen: „[…] ich hab quasi den Controller da reingesteckt und hatte dann eigentlich nicht so wirklich den Plan, was ich machen soll, ob ich jetzt nach links, nach rechts drehen soll, ob ich überhaupt drehen soll, ob es schon reicht da reinzustecken. Das war mir nicht so ganz klar, ich habe dann halt einfach gedreht irgendwann und dann ist auch was passiert.“

6.5.5.2 Analyse

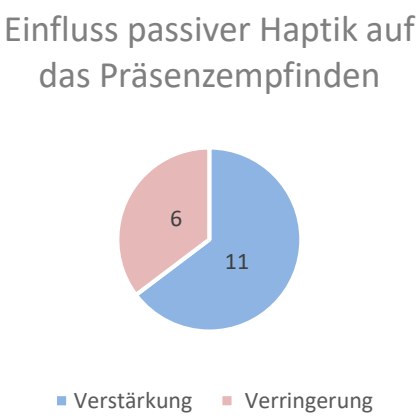


Diagramm 4 – Ergebnis (1) des Semi-Structured Interviews (eigene Darstellung)

Das Ergebnis des Semi-Structured Interviews hinterlässt einen positiven Eindruck der verwendeten Haptik. Werden bei den ersten beiden Kernkategorien lediglich die Unterkategorien verglichen, welche die passive Haptik betreffen, stehen elf Aussagen von sieben Probanden, die eine Verstärkung erwähnen, sechs Aussagen von fünf Probanden gegenüber, die eine Verringerung beschreiben (siehe Diagramm 4). Zur Verstärkung der Präsenz tragen insbesondere der Kasten und das Holzbrett bei. Letzteres erzeugt besonders in Kombination mit der Höhe in der virtuellen Welt ein starkes Präsenzgefühl, wohingegen der Kasten durch seine Beweglichkeit und der haptischen Wahrnehmung über die Hände Präsenz erzeugt.

Das Schloss dagegen wurde diesbezüglich nicht erwähnt. Das Gegenteil ist der Fall, denn es ist mit den meisten Aussagen zur Verringerung der Präsenz in Verbindung zu bringen. Die Diskrepanz zwischen dem realen Schloss und seinem virtuellen Abbild wurde bemängelt. In Kapitel 5 wurde bereits die Möglichkeit des Auftretens von Diskrepanzen aufgrund von Trackingfehlern beschrieben, ebenso wie dass diese sich beim Schloss stärker bemerkbar machen als beim Holzbrett oder Kasten. Daher sind Aussagen, die das Schloss im Zusammenhang mit Diskrepanzen erwähnen, nicht überraschend. Ebenfalls wurden Aussagen in der Unterkategorie „unerwartete Interaktion mit passiver Haptik“ einzig im Zusammenhang mit dem Schloss genannt. Dies kann jedoch darauf zurückgeführt werden, dass das Schloss die erste passive Haptik im Spiel war, mit welcher die Probanden interagierten. Daher hätten das Holzbrett und der Kasten bei einer anderen Reihenfolge vermutlich auch das Ziel dieser Aussagen sein können.

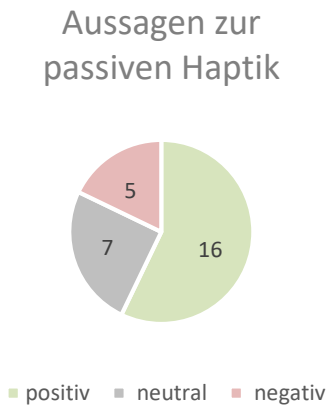


Diagramm 5 – Ergebnis (2) des Semi-Structured Interviews (eigene Darstellung)

Der negativ behaftete Charakter des Schlosses spiegelt sich auch in der Gegenüberstellung der Aussagen wider, welche die passive Haptik an sich betreffen (siehe Diagramm 5). Mehr als die Hälfte aller Äußerungen diesbezüglich sind positiv, was die Verwendung von passiver Haptik grundsätzlich befürwortet. Alle fünf negativen Aussagen, die von fünf Probanden gemacht wurden, gelten jedoch der Interaktion mit dem Schloss. Die Probanden waren verunsichert, ob und wie sie es zu bedienen haben. Sie empfanden es nicht als ein Rätsel, sondern eher als ein Bedienelement einer Benutzeroberfläche dessen Handhabung sie nicht verstehen. Dahingegen nahmen sie den Kasten aufgrund seiner Beweglichkeit und der damit zusammenhängenden Reichweite seiner Interaktion positiver und als Rätsel wahr.

Diesbezüglich ist auch die Unterscheidung zwischen agieren und reagieren bei der passiven Haptik interessant, die aus den neutralen Aussagen hervorgeht. Allgemein führte das Holzbrett, auf welches der Körper des Probanden reagiert, zu einem stärkeren Präsenzgefühl als die passive Haptik, bei welcher der Proband agieren muss. Hier wiederum muss zwischen dem Kasten und dem Schloss unterschieden werden. Der Kasten ist dem Schloss hinsichtlich der Präsenzsteigerung sowie der Interaktion, wie im Abschnitt zuvor aufgeführt wurde, überlegen. Möglicherweise geht aus dieser Unterscheidung eine Abstufung in der Anwendbarkeit von passiver Haptik in der VR hervor.

6.5.6 Station Ranking

Die anhand der Reihenfolge vergebenen Punkte der zehn Probanden (siehe Kapitel 6.5.3) werden für jede der zehn Stationen addiert. Eine Station kann demnach maximal 100 Punkte erreichen. Das Ergebnis des Station Rankings ist in Diagramm 6 veranschaulicht.

6.5.6.1 Ergebnis

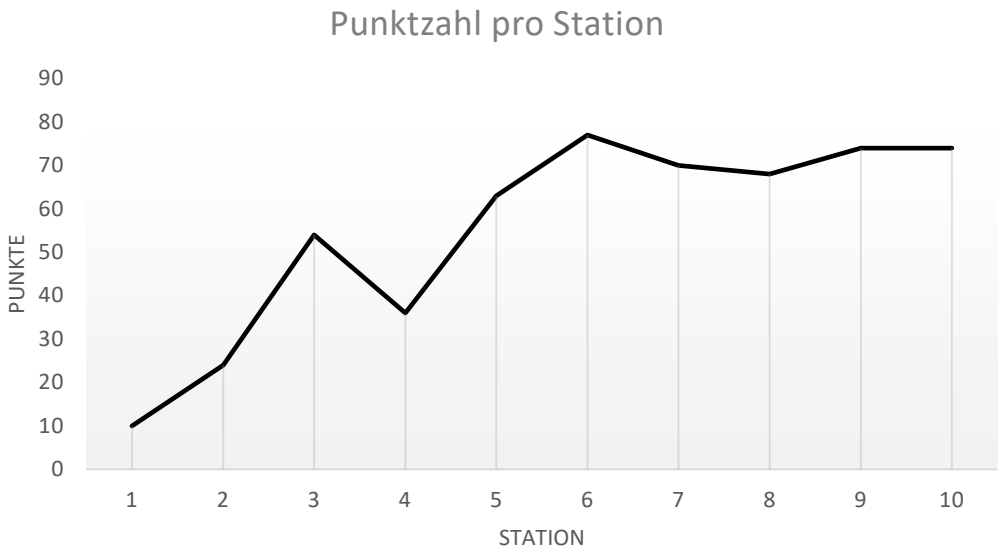


Diagramm 6 – Ergebnis des Station Rankings (eigene Darstellung)

Die beliebteste Station ist Station 6 mit einer Gesamtpunktzahl von 77, dicht gefolgt von Station 9 und 10 mit jeweils 74 Punkten. Am schlechtesten schnitten die Stationen 1 (10 Punkte), 2 (24 Punkte) und 4 (36 Punkte) ab. Eine detaillierte Auflistung hierzu ist im Anhang 9.10 zu finden.

6.5.6.2 Analyse

Die Stationen 6-10 haben durchweg eine hohe Punktzahl erreicht. In diesen Stationen wird der Spieler auch stärker gefordert als in den Stationen zuvor. Entsprechend sind Stationen 1-4 eher schlechter bewertet, da sie die grundlegenden Spielmechaniken, wie beispielsweise laufen, springen, ausweichen und werfen, zuerst einmal einführen. Entsprechend kurz und simpel sind sie gehalten. Station 3 sticht hierbei etwas heraus, was vermuten lässt, dass die Spielmechanik des Ausweichens, die ebenfalls in den Stationen 7-10 vorkommt, ein positives Spielerlebnis beim Probanden hervorruft.

Die Stationen 6 und 9 mit passiver Haptik erreichen beide eine sehr hohe Punktzahl. Station 6 mit dem Holzbrett wird sogar als beliebteste Station der Probanden angegeben. Knapp dahinter befindet sich Station 9 mit dem verschiebbaren Kasten. Dies lässt die Vermutung zu, dass die passive Haptik einen positiven Einfluss auf das Spielerlebnis der Probanden hatte. Einzig Station 5 mit dem Schloss passt nicht in dieses Bild, denn sie schneidet im Vergleich zu den Stationen 6 und 9 deutlich schlechter ab. Möglicherweise ist hier eine Unterscheidung zwischen der passiven Haptik erforderlich. Station 5 und 9 unterscheiden sich insofern in der passiven Haptik, als dass der Kasten wirklich bewegt und aktiv dazu benutzt wird, ein Rätsel zu lösen, wohingegen beim Schloss die Bedienung an sich das Rätsel

darstellt. Eventuell wird daher ein aktiverer Umgang mit der passiven Haptik von den Probanden bevorzugt. Bei Station 6 hingegen kann das Holzbrett durch die implizierte Höhe bei den Probanden eine starke emotionale Reaktion hervorgerufen haben, an die sich die meisten nach dem Beendigen des Spiels eher zurückerinnern und mit einem positiven Erlebnis verknüpfen.

6.6 Diskussion

In den Kapiteln zuvor wurden die einzelnen Evaluationsmethoden für sich ausgewertet und analysiert. Um die Forschungsfrage fundiert beantworten zu können, muss die Evaluation jedoch in ihrer Gesamtheit betrachtet und damit die Ergebnisse der Methoden in Zusammenhang gebracht werden.

Ob passive Haptik die Präsenz des Spielers verstärkt, lässt sich anhand des PPS-Fragebogens nicht eindeutig klären. Am besten wurde Station 7 in dieser Hinsicht bewertet, dicht gefolgt von Station 6. Demnach rief eine Station ohne passive Haptik das stärkste Präsenzempfinden bei den Probanden hervor. Hätten alle Stationen mit passiver Haptik besser abgeschnitten als die Stationen ohne, wäre davon auszugehen, dass der erste Teil der Forschungsfrage eindeutig zu bejahen ist. Der Kasten und das Schloss sind jedoch hinter Stationen ohne passiver Haptik vorzufinden. Insbesondere das Schloss erreicht bei der Auswertung des PPS-Fragebogens den drittschlechtesten Wert. Der niedrige Wert lässt sich aber unter anderem durch die hohe Anzahl an Versuchen erklären, die das Ergebnis der Beobachtungen liefert. Die Probanden sind eventuell durch das oftmalige Wiederholen von Station 5 frustriert gewesen, was sich dann in ihrer Präsenz und damit auch im PPS-Fragebogen geäußert hat. Unterstützt wird diese Vermutung durch das Station Ranking, in welchem Station 5 im Vergleich nur mittelmäßig abschneidet. Diese Station erzeugte bei den Probanden demnach kein gutes Spielerlebnis. Das Semi-Structured Interview bekräftigt diese Ansicht. Aus ihm geht hervor, dass das Schloss im Vergleich zur anderen passiven Haptik negativer wahrgenommen wird, zum einen durch Diskrepanzen zwischen realem Schloss und seinem virtuellen Pendant, als auch aufgrund einer unklaren Interaktion. Ersteres ist auf Trackingfehler zurückzuführen, die sich in der Interaktion zwischen einem Controller mit klaren Umrissen in der VR und einer passiven Haptik mit ebenfalls klaren Umrissen in der virtuellen Welt stärker bemerkbar macht als beim Brett oder Kasten. Im Falle des Schlosses kann sogar von einer Interaktion zwischen passiver Haptik (Controller) mit passiver Haptik (Schloss) gesprochen werden, die daher in der VR schwer umzusetzen ist. Die unklare Interaktion mit dem Schloss, welche aus den Aussagen des Semi-Structured Interviews identifiziert wurde, trägt ihr Übriges dazu bei, dass Station 5 hinsichtlich des PPS-Fragebogens sowie im Station Ranking vergleichsweise schlecht abschneidet und damit keinen besonderen Beitrag zur Steigerung der Präsenz des Spielers geleistet hat. Dahingegen wurden das Holzbrett und der Kasten von den Probanden als präsenzsteigernd wahrgenommen, wie aus den Aussagen hervorgeht. Das Brett erzeugt insbesondere in Kombination mit virtueller Höhe eine

starke körperliche Reaktion beim Spieler, wodurch die VR realistischer erscheint. Der Kasten punktet hinsichtlich der Präsenz vor allem durch die Möglichkeit, ihn mit den Händen anzufassen und real beziehungsweise virtuell zu verschieben. Entsprechend erreichten Station 6 und 9 beim Ergebnis des PPS-Fragebogens höhere Werte als Station 5 mit dem Schloss. Eine positivere Wahrnehmung des Holzbretts und Kastens bestärkt ebenfalls das Station Ranking, bei welchem sie die ersten beiden Plätze erreichen. Nichtsdestotrotz ist anhand des PPS-Fragebogens ersichtlich, dass andere Spielmechaniken oder Elemente von Saltar VR die Präsenz des Probanden stärker beeinflussen, wie zum Beispiel das Ausweichen vor virtuellen Hindernissen. Speziell Station 3, die eine Einführung in das Ausweichen darstellt, sticht bei der Auswertung des PPS-Fragebogens hervor, übertrifft Station 5 deutlich und sogar Station 9 mit dem Kasten knapp.

Der zweite Teil der Forschungsfrage betrifft Aspekte von passiver Haptik, welche die Präsenz beeinflussen. Hierzu liefert das Semi-Structured Interview ziemlich klare Erkenntnisse. Aus dem Ergebnis geht hervor, dass eine Diskrepanz zwischen virtuellem und realem Objekt zu einem Präsenzbruch führen kann, wie es mit Verweis auf das Schloss oft erwähnt wurde. Zugleich sollten die Spieler darüber informiert werden, dass im Spiel passive Haptik verwendet wird, infolgedessen sie auf reale Objekte in der virtuellen Welt treffen werden. Dies könnte zum Beispiel verbal vor dem Spielen erfolgen oder anhand einer Einführung ins Spiel, in ähnlicher Weise wie die Spieler die Spielmechaniken kennenlernen. Hierdurch könnte vermieden werden, dass sich die Spieler erschrecken und eine Verringerung der Präsenz erleiden, falls sie einen Widerstand spüren.
Die Auswertung des Semi-Structured Interviews sowie die unterschiedlichen Bewertungen im PPS-Fragebogen und Station Ranking legen nahe, dass die passive Haptik ungleich wahrgenommen wird. Diese Unterscheidung wird auch von einigen Probanden erwähnt. Das Holzbrett, auf welches der Proband nur körperlich reagiert, schneidet am besten ab, wohingegen das Schloss und der Holzkasten, mit denen eine Interaktion stattfindet, vergleichsweise schlechter bewertet sind. Hierbei ist jedoch wiederum eine Trennung zu machen, denn der Kasten wird positiver wahrgenommen als das Schloss. Beide werden auf gewisse Weise bewegt, wobei die Bewegung beim Kasten sehr viel stärker vorhanden ist als beim Schloss, welches nur eine Drehung um 90 Grad erlaubt. Daher kann die Reichweite der Interaktion bei der passiven Haptik eine Rolle spielen sowie die tatsächliche Manipulation der passiven Haptik über die Hände, wie es beim Kasten der Fall war.

Zusammenfassend betrachtet, erzeugt das Spiel Saltar VR beim Probanden eine hohe Präsenz, wie aus der Auswertung des IPQ hervorgeht. Dies ist jedoch nicht allein auf die Verwendung von passiver Haptik zurückzuführen. Die Auswertung des PPS-Fragebogens legt nahe, dass beispielsweise bestimmte Spielmechaniken oder Elemente einen größeren Einfluss auf die Präsenz haben können. Anhand des Semi-Structured Interviews ist aber eine grundsätzliche Steigerung der Präsenz durch

passive Haptik ersichtlich, wenn keine Diskrepanzen auftreten und der Spieler darauf vorbereitet wird, auf spürbaren Widerstand zu stoßen. Dabei nimmt er insbesondere passive Haptik, auf die sein Körper reagiert, statt mit ihr zu interagieren, positiver wahr. Findet eine Interaktion mit passiver Haptik statt, scheint der Spieler solche zu bevorzugen, die ihm eine große Reichweite in der Interaktion ermöglicht und die er wirklich mit seinen Händen berühren kann.

7 Fazit und Ausblick

Die Konzeption und Entwicklung des Projekts „Saltar VR – ein Virtual Reality Plattformspiel“ war ein äußerst spannendes Vorhaben. Von der ersten Grundidee bis hin zum evaluierten Spieleprototyp vergingen fünf ereignisreiche Monate mit Höhen und Tiefen. Es galt, Lösungen für Probleme zu finden oder sich von interessanten Ideen zu verabschieden. Gerade die Gestaltung der Spielwelt sowie die Integration der passiven Haptik in diese stellte eine Herausforderung dar. Durch die Verwendung realer Objekte, die zum Teil erst 3D gedruckt wurden, entstand eine abwechslungsreiche Umsetzung auch abseits des Computerbildschirms. Bei Saltar VR handelte es sich zudem für die Entwickler um die erste VR-Anwendung. Daraus ergaben sich durch eine intensive Auseinandersetzung mit der VR-Thematik neue Einblicke, sodass jeder Aspekt des Projekts mit einem Kenntniszuwachs gleichbedeutend war.

Rückblickend ist es faszinierend zu sehen, wie sich das Projekt anhand des UCD-Ansatzes, ausgehend von einem 2D-Puzzle-Plattformer-Spiel nicht nur hinsichtlich der Ästhetik sondern auch in Bezug auf die Spielmechanik und verwendete passive Haptik, weiterentwickelt hat. Die Überprüfung des jeweiligen aktuellen Entwicklungsstands durch Tests lieferte wertvolle Erkenntnisse sowie neue Ideen, die das Projekt stetig vorantrieben. Zugleich war es immer wieder überraschend, die Sichtweise der Probanden auf bestimmte Elemente des Spiels kennenzulernen, die der Entwickler durch seine starke Involvierung so nie in Betracht gezogen hatte.

Entsprechend aufregend gestaltete sich die im Kapitel zuvor erläuterte Evaluation, die den letzten Meilenstein des Projekts bildete. Allgemein war es interessant zu sehen, wie die Probanden auf das Spiel, in das viel Zeit und Mühe investiert wurde, in seiner Gesamtheit reagierten. Erfreulicherweise gab es durchweg positive Rückmeldungen, die ein Ansporn sind, das Projekt nicht aus den Augen zu verlieren und das Spiel weiterzuentwickeln.
Anhand der Evaluation wurde in Erfahrung gebracht, dass passive Haptik, vorausgesetzt es sind keine Diskrepanzen vorhanden und der Spieler ist darauf vorbereitet, zu einer Steigerung der Präsenz führt. Zugleich kam es zur Identifikation diverser Aspekte der passiven Haptik, die das Präsenzempfinden des Spielers beeinflussen. Hierzu zählt die Verwendung von passiver Haptik, auf die der Körper des Spielers reagiert. Das Holzbrett in Verbindung mit virtueller Höhe erfüllte diese Gegebenheit und steigerte die Präsenz des Spielers. Eine ebenfalls positive Auswirkung war dem verschiebbaren Kasten aufgrund seiner Beweglichkeit und dem damit verbundenen großen Aktionsradius sowie seiner Manipulation über die Hände zuzuschreiben. Zu einer Verringerung der Präsenz kam es vor allem dann, wenn Abweichungen zwischen dem realen Objekt und seinem digitalen Pendant vorhanden waren. Diesem Aspekt sollte bei einer Weiterentwicklung von Saltar VR besondere Beachtung geschenkt werden.

Neben dem technischen Erkenntnisgewinn durch die Umsetzung des Projekts erfolgte auch ein persönlicher in wissenschaftlicher Hinsicht anhand der Evaluation. Diese zeigt auf, dass die haptische Wahrnehmung nicht nur in Bezug auf Präsenz sondern auch als neuartige Interaktionsform eine Bereicherung für die virtuelle Realität darstellt. Es bleibt abzuwarten, wie sich die Technik diesbezüglich weiterentwickelt und welchen Anteil die Forschung dazu beitragen kann. Erfreulich wäre eine baldige Integration der haptischen Wahrnehmung in Endverbraucher-VR-Systeme, sodass sie für alle Menschen erfahrbar wird.

8 Quellenverzeichnis

[1] R. Dörner, W. Broll, P. Grimm und B. Jung, *Virtual Und Augmented Reality (VR/AR): Grundlagen Und Methoden Der Virtuellen Und Augmentierten Realitt̃*. Vieweg + Teubner Verlag, 2014.

[2] V. Hayward, O. R. Astley, M. Cruz-Hernandez, D. Grant und G. Robles-De-La-Torre, „Haptic interfaces and devices“, *Sensor Review*, Jg. 24, Nr. 1, S. 16–29, 2004.

[3] M. Slater und S. Wilbur, „A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments“, 1997.

[4] M. Meehan, B. Insko, M. Whitton und F. P. Brooks, *Physiological Measures of Presence in Stressful Virtual Environmentstechniques*. New York, NY: ACM, 2002.

[5] M. Azmandian, M. Hancock, H. Benko, E. Ofek und A. D. Wilson, „Haptic Retargeting: Dynamic Repurposing of Passive Haptics for Enhanced Virtual Reality Experiences“ in *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '16*, Santa Clara, California, USA, 2016, S. 1968–1979.

[6] J. Steuer, „Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence“, *Journal of Communication*, Jg. 42, Nr. 4, S. 73–93, 1992.

[7] S. Bormann, *Virtuelle Realität: Genese und Evaluation,* 1. Aufl. Bonn, Paris, Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1994.

[8] M. Brill, *Virtuelle Realität*. Berlin: Springer, 2009.

[9] N. Negroponte, *Being digital*. London: Hodder and Stoughton, 1996.

[10] I. E. Sutherland, „The Ultimate Display“, 1965.

[11] L. Wachowski und L. Wachowski, *Matrix: The Matrix*, 1999.

[12] G. Coates, „Program from Invisible site - a virtual show, a multimedia performance work presented by George Coats Performance Works“. San Francisco, CA.

[13] C. Cruz-Neira, *Virtual Reality Overview*. SIGGRAPH '93 Course Notes, 1993.

[14] W. R. Sherman und A. B. Craig, *Understanding virtual reality: Interface, application, and design*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 2003.

[15] J. Jerald, *The VR book: Human-centered design for virtual reality*. [New York]: ACM, Association for Computing Machinery, 2016.

[16] H. Rheingold, *Virtuelle Welten: Reisen im Cyberspace,* 1. Aufl. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, 1992.

[17] o. V., *InventorVR.* [Online] Verfügbar unter: http://www.mortonheilig.com/InventorVR.html. Zugriff am: Nov. 15 2018.

[18] I. E. Sutherland, „A head-mounted three dimensional display“ in *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I on - AFIPS '68 (Fall, part I)*, San Francisco, California, 1968, S. 757.

[19] S. S. Fisher, E. M. Wenzel, C. Coler und M. W. McGreevy, „Virtual Interface Environment Workstations“, *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, Jg. 32, Nr. 2, S. 91–95, 1988.

[20] NASA, *The Virtual Interface Environment Workstation (VIEW), 1990.* [Online] Verfügbar unter: https://www.nasa.gov/ames/spinoff/new_continent_of_ideas/. Zugriff am: Nov. 15 2018.

[21] C. Cruz-Neira, D. J. Sandin und T. A. DeFanti, „Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE“.

[22] o. V., *Cave Automatic Virtual Environment – Wikipedia.* [Online] Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/wiki/Cave_Automatic_Virtual_Environment#/media/File:CAVE_Crayoland.jpg. Zugriff am: Nov. 15 2018.

[23] N. Negroponte, *Virtual Reality: Oxymoron or Pleonasm?* [Online] Verfügbar unter: https://www.wired.com/1993/06/negroponte-11/. Zugriff am: Nov. 14 2018.

[24] F. Steinicke, Hg., *Being Really Virtual*. Cham: Springer International Publishing, 2016.

[25] T. Urban, *Neuralink and the Brain's Magical Future.* [Online] Verfügbar unter: https://waitbutwhy.com/2017/04/neuralink.html. Zugriff am: Nov. 15 2018.

[26] J. H. Murray, „Hamlet on the Holodeck“, 1997.

[27] B. G. Witmer und M. J. Singer, „Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire“, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Jg. 7, Nr. 3, S. 225–240, 1998.

[28] W. Sadowski und K. M. Stanney, „Presence in virtual environments“ in *Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation, and Applications*, S. 791–806.

[29] M. Slater, M. Usoh und A. Steed, „Depth of Presence in Virtual Environments“.

[30] M. Slater, B. Lotto, M. M. Arnold und M. V. Sanchez-Vives, „How we experience immersive virtual environments: the concept of presence and its measurement“, 2009.

[31] M. Minsky, „Telepresence“, *OMNI*, 1980.

[32] T. B. Sheridan, „Musings on Telepresence and Virtual Presence“, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Jg. 1, Nr. 1, S. 120–126, 1992.

[33] R. M. Held und N. I. Durlach, „Telepresence“, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Jg. 1, Nr. 1, S. 109–112, 1992.

[34] G. Calleja, *In-game: Immersion to incorporation*. Cambridge, Mass., London: MIT Press, 2011.

[35] M. Lombard und M. T. Jones, „Identifying the (Tele)Presence Literature“, 2007.

[36] A. Sacau, L. M. B. Gouveia, N. M. Ribeiro, F. R. Gouveia und F. Biocca, „Presence in computer-mediated environments: A short review of the main concepts, theories, and trends“, 2003.

[37] M. Lombard und T. Ditton, „At the Heart of It All: The Concept of Presence“, *Journal of Computer-Mediated Communication*, Jg. 3, Nr. 2, JCMC321-JCMC321, 1997.

[38] F. Biocca, „The Cyborg's Dilemma: Progressive Embodiment in Virtual Environments“, *Journal of Computer-Mediated Communication*, Jg. 3, Nr. 2, JCMC324-JCMC324, 1997.

[39] C. Heeter, „Being There: The Subjective Experience of Presence“, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Jg. 1, Nr. 2, S. 262–271, 1992.

[40] K. M. Lee, „Presence, Explicated“, *Communication Theory*, Jg. 14, Nr. 1, S. 27–50, 2004.

[41] R. Tamborini und P. Skalski, „The Role of Presence in the Experience of Electronic Games“, 2006.

[42] M. Slater, „The Concept of Presence and its Measurement“, 2007.

[43] M. Slater, „A Note on Presence Terminology“, 2003.

[44] M. Slater, „Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments“ (eng), *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, Jg. 364, Nr. 1535, S. 3549–3557, 2009.

[45] M. Dahm, *Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion*. München: Pearson Studium, 2006.

[46] Y. Chen, „Olfactory Display: Development and Application in Virtual Reality Therapy“ in *Proceedings of the 16th International Conference on Artificial Reality and Telexistence-Workshops*, 2006, S. 580–584.

[47] T. Narumi, S. Nishizaka, T. Kajinami, T. Tanikawa und M. Hirose, „Meta Cookie+: An Illusion-based Gustatory Display“ in *Proceedings of the 2011 International Conference on Virtual and Mixed Reality: New Trends - Volume Part I*, 2011, S. 260–269.

[48] S. K. Card, A. Newell und T. P. Moran, *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Hillsdale, NJ, USA: L. Erlbaum Associates Inc, 1983.

[49] E. B. Goldstein, *Sensation and perception,* 8. Aufl. Belmont, Calif.: Wadsworth Cengage Learning, 2010.

[50] M. Mihelj und J. Podobnik, *Haptics for virtual reality and teleoperation*. Dordrecht: Springer, 2012.

[51] J. M. Loomis und S. J. Lederman, „Tactual perception“ in *Handbook of perception and human performance, Vol. 2: Cognitive processes and performance*, Oxford, England: John Wiley & Sons, 1986, S. 1–41.

[52] C. Alzheimer, B. Averbeck und K. Benndorf, *Physiologie: Mit 543 Abbildungen und 88 Tabellen,* 6. Aufl. München: Elsevier Urban & Fischer, 2013.

[53] D. C. Simpson, Hg., *The Choice of Control System for the Multimovement Prosthesis: Extended Physiological Proprioception (e.p.p.)*. Springfield, Ill.: Thomas: Thomas, 1974.

[54] I. Choi, E. W. Hawkes, D. L. Christensen, C. J. Ploch und S. Follmer, Hg., *Wolverine: A wearable haptic interface for grasping in virtual reality*. 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2016.

[55] R. W. Lindeman, J. L. Silbert und J. K. Hahn, „Hand-Held Windows Towards Effective 2D Interaction in Immersive Virtual Environments“, Jg. 1999.

[56] B. Insko und E., „Passive Haptics Significantly Enhances Virtual Environments“, 2001.

[57] I. Choi, E. Ofek, H. Benko, M. Sinclair und C. Holz, „Demonstration of CLAW: A Multifunctional Handheld VR Haptic Controller“ in *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2018, D205:1-D205:4.

[58] B. Araujo *et al.,* „Snake Charmerr: Physically Enabling Virtual Objects“ in *Proceedings of the TEI '16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction - TEI '16*, Eindhoven, Netherlands, 2016, S. 218–226.

[59] Ben Lang, *HaptX Glove Delivers Impressively Detailed Micro-pneumatic Haptics, Force Feedback.* [Online] Verfügbar unter: https://www.roadtovr.com/haptx-vr-glove-micro-pneumatic-haptics-force-feedback-axonvr/. Zugriff am: Nov. 15 2018.

[60] D. Harley, A. P. Tarun, D. Germinario und A. Mazalek, „Tangible VR: Diegetic Tangible Objects for Virtual Reality Narratives“ in *Proceedings of the 2017 Conference on Designing Interactive Systems - DIS '17*, Edinburgh, United Kingdom, 2017, S. 1253–1263.

[61] J. J. LaViola, „A discussion of cybersickness in virtual environments“, *SIGCHI Bull.*, Jg. 32, Nr. 1, S. 47–56, 2000.

[62] B. D. Lawson, *Motion Sickness Symptomatology and Origins: Handbook of Virtual Environments - Design, Implementation, and Applications, Second Edition*, 2014.

[63] J. J. LaViola, E. Kruijff, R. P. McMahan, D. A. Bowman und I. Poupyrev, *3D User Interfaces:: Theory and practice*. Boston: Addison-Wesley, 2017.

[64] M. Slater, M. Usoh und A. Steed, „Taking Steps: The Influence of a Walking Technique on Presence in Virtual Reality“, 1995.

[65] D. A. Bowman, D. Koller und L. F. Hodges, „Travel in Immersive Virtual Environments: An Evaluation of Viewpoint Motion Control Techniques“ in *Proceedings of the 1997 Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS ’97)*, 1997, 45-.

[66] VR Optician, *HTC Vive Prescription Lens Adapter - VR Optician.* [Online] Verfügbar unter: https://vroptician.com/prescription-lens-inserts/htc-vive/. Zugriff am: Dez. 01 2018.

[67] HTC Vive, *VIVE™ Deutschland | VIVE Hardware kaufen.* [Online] Verfügbar unter: https://www.vive.com/de/product/. Zugriff am: Dez. 01 2018.

[68] XinReality, *Lighthouse - Virtual Reality and Augmented Reality Wiki.* [Online] Verfügbar unter: https://xinreality.com/wiki/Lighthouse. Zugriff am: Nov. 24 2018.

[69] Ben Lang, *Latest HTC Vives Are Shipping with Tweaked Base Stations, Redesigned Packaging.* [Online] Verfügbar unter: https://www.roadtovr.com/latest-vive-shipping-with-tweaked-base-stations-redesigned-packaging/. Zugriff am: Dez. 01 2018.

[70] VR Jump, *Lighthouse von VALVE erklärt – HTC Vive – VR JUMP.* [Online] Verfügbar unter: https://vrjump.de/lighthouse-erklaert. Zugriff am: Nov. 24 2018.

[71] VRBound, *HTC Vive Controller Specs, Requirements, Prices & More.* [Online] Verfügbar unter: https://www.vrbound.com/accessories/htc/vive-controller. Zugriff am: Dez. 01 2018.

[72] VRHeads, *Everything you need to know about the Vive Tracker.* [Online] Verfügbar unter: https://www.vrheads.com/everything-we-know-about-vive-tracker. Zugriff am: Dez. 01 2018.

[73] Vive, *Hyper Blaster with VIVE Tracker.* [Online] Verfügbar unter: https://www.vive.com/us/VR-hyperkin-hyper-blaster-with-tracker/. Zugriff am: Dez. 01 2018.

[74] D. Korgel, *Virtual Reality-Spiele entwickeln mit Unity 3D: Grundlagen, Beispielprojekte, Tipps et Tricks*. München: Hanser, 2017.

[75] D. A. Norman und S. W. Draper, *User Centered System Design; New Perspectives on Human-Computer Interaction*. Hillsdale, NJ, USA: L. Erlbaum Associates Inc, 1986.

[76] C. Abras, D. Maloney-Krichmar und J. Preece, „User-Centered Design“ in *Encyclopedia of Human-Computer Interaction*, S. 763–768.

[77] *Deutsches Institut für Normung: DIN EN ISO 9241-210 Ergonomie der Mensch-System-Interaktion*. Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme.

[78] R. Bartle, *Hearts, clubs, diamonds, spades: Players who suit MUDs*, 1996.

[79] T. Schubert, F. Friedmann und H. Regenbrecht, „The Experience of Presence: Factor Analytic Insights“, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Jg. 10, Nr. 3, S. 266–281, 2001.

[80] M. Slater und A. Steed, „A Virtual Presence Counter“, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Jg. 9, Nr. 5, S. 413–434, 2000.

[81] U. Kuckartz, *Mixed Methods: Methodologie, Forschungsdesigns und Analyseverfahren*. Wiesbaden: Springer VS, 2014.

[82] W. Hussy, M. Schreier und G. Echterhoff, *Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften für Bachelor,* 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013.

9 Anhang

9.1 Test des Proof of Concepts

	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	Identifizierte Mechaniken
VR Vorerfahrung	keine Erfahrung	wenig Erfahrung	viel Erfahrung (Spielen und Entwicklung)	mittelmäßige Erfahrung	
Spielertyp	Achiever	Explorer	Achiever	Killer	
Beispielspiele	Splinter Cell, Minecraft	Age of Empires, Memoria	Ori and the Blind Forest	CS: GO	
genannte Mechaniken	• Avatar (Blick auf 2D Spiel und Eingriff in dieses)[1] • Spinnen mit Würfel abwerfen[3] • übermenschliche Kräfte[4] • magische Hand ("Götterblick", s. Black and White)[4] • Pfeil und Bogen[3] • allgemein Manipulation (Welt beeinflussen)[4]	• Spinne greift an (lieber schnell als langsam, z.B. Angriffssprung)[5] • Spinnt baut einen Kokon um den Spieler[5] • Knochen suchen (wenn es unterschiedliche und abwechselnde Aufgaben gibt, z.B. hinter Wasserfall suchen, aus Spinnenhöhle holen, ausgraben)[6] • Rätsel lösen (Indiana Jones, z.B. Dinge verschieben, Zahnräder drehen etc.)[7] • springen[8] • auf einem Vogel fliegen[9] • fliegen[9] • fleischfressende Pflanze als Gegner (greift aktiv an)[5] • Lianen zur Seite schieben[10] • kriechen[11] • Gegenstände hochheben[10] • Tür öffnen[10] • Floß paddeln[12]	• Münzen durch Springen einsammeln[8] • würde gerne mit der 2D Welt spielen/interagieren oder dort irgendetwas machen[2] • durchmanövrieren (z.B. Würfel durch Hindernisse in Brunnen legen, Äste sind im Weg, über/unter Hindernisse schauen um Würfel zu finden)[7] • generell Dinge suchen[6] • teleportieren als Mechanik darf nicht zu oft sein, nur an speziellen Momenten (wenn z.B. ein Baum zu steil ist)[13] • Wandel zwischen 2D und 3D z.B. Spinne kommt vom Baum (2D), sobald sie am Boden ist, wird sie 3D und greift an[14] • zusätzliche Waffe, um auf 2D Elemente (sehen aus wie	• in zwei Welten (Hell/Dunkel) unterschiedlich bewegen oder Dinge unterschiedlich nutzen[15]	• Steuerung eines Avatars[1] • Eingriff in die 2D Welt[2] • Gegner bekämpfen[3] • Manipulation der Spielwelt[4] • Bewegliche und statische Gegner greifen an[5] • Gegenstände suchen[6] • Rätsel aktiv lösen[7] • Springen[8] • Fliegen[9] • Interaktion mit Objekten[10] • Reale Bewegung benutzen[11] • Unterschiedliche Fortbewegungsarten[12] • Fortbewegungsarten einschränken[13] • Wandel zwischen 2D und 3D Objekten[14] • Unterschiedliche Interaktionen in den zwei Welten[15]

		• an Liane schwingen, Lasso schießen als Fortbewegung[12]	Zielscheiben) zu schießen[3] • besiegte 3D Gegner werden wieder zu 2D[14]		
allgemeine Kommentare	• ist im ersten Moment verwirrt, dass manche Objekte 3D sind • ihm fehlt etwas, dass sich bewegt (z.B. NPCs oder Gegner) • findet Interaktionen mit Spielphysik gut • erkennt die Mechanik des auftauchenden Baumstammes nicht • versucht mit der Hand die virtuelle Wand zu berühren • teleportieren findet er in Ordnung für die Fortbewegung • findet Controller besser als LEAP Motion (ungenau) • würde einen Mix aus realen Gegenständen und Controller als schwierig empfinden • mag die Momente an den Abgründen (Höhe erzeugt Angst)	• Rasen auf der ganzen Spielfläche verteilen • fühlt sich wie in einem gemalten Bild • findet Höhen und Abgründe sehr gut • gerade Plattformen empfindet er als beruhigend • würde lieber selber gehen, als sich zu teleportieren • erkennt die Mechanik des auftauchenden Baumstammes nicht (empfiehlt zusätzlichen Sound oder Zaun zur Verdeutlichung) • zu reale Box verschieben: weil er VR bewusst als VR wahrnimmt, wäre ihm eine Interaktion mit dem Controller lieber • würde reale Schaukel benutzen (z.B. über einem Abgrund schaukeln) • Boden realistischer machen oder mit bewegenden Objekten (z.B. Tiere) • findet die riesigen 2D Assets sehr gut • wünscht sich immer wieder neue Mechaniken	• erkennt die Mechanik des auftauchenden Baumstammes nicht • mag die Art der 2D Welt • schlägt zusätzliche 2D Äste am 3D Baum vor • findet, dass das Genre „Puzzle“ zu dem Spiel passt • bei möglicher Interaktion mit einem Gegner zwiegespalten • teleportieren könnte schwieriger werden • findet Ausweichen weniger spannend, lieber selber angreifen oder wegteleportieren • geht direkt zu 3D Objekten	• Teleportationssprünge sollten größer sein (es muss zu oft geklickt werden) • Lieber normales Laufen • Findet Teleportation langweilig • mag die Aussicht (Höhe) • möchte mehr 2D Wald • empfindet die Welt als zu groß • 2D/3D Unterschied zusätzlich durch Farbe hervorheben • könnte sich Shooter oder Erkundungsspiel vorstellen • möchte lieber Controller als LEAP Motion • könnte sich Interaktion mit einem Hebel (real und virtuell) vorstellen (Wechsel zwischen Dunkel/Hell) • von einem Aussichtspunkt die nächste Aufgabe erkennen (Aufmerksamkeit lenken)	

9.2 Spielmechanik-Test

		TP 1	TP 2	TP 3
VR Vorerfahrung		mittelmäßige Erfahrung	keine Erfahrung	viel Erfahrung (Spielen und Entwicklung)
Spielertyp		Explorer	Explorer	Achiever
Beispielspiele		The Climb, Eagle Flight	Oblivion, Skyrim	Rayman, Hitman
Stationen				
	Plattformen merken	• betritt die flachen Plattformen • Design mit hochfahrenden Pattformen klarer • visuelles Feedback für richtige Plattform • ohne Hilfestellung	• nachdem die es Testperson beim ersten Mal falsch gemacht hat, wusste sie wie e funktioniert • findet es ohne Cube herausfordernder • Unterscheidung zwischen 2D und 3D ist besser	• nicht ersichtlich warum tieferstehende Plattformen herunterfallen • Button beschweren um Zielportal zu generieren • kein Cube um es anspruchsvoller zu machen • Unterscheidung zwischen 2D und 3D eindeutiger
	Brücke bauen	• Pfeile nicht in beide Richtungen beim Hebel • Bedienung schwierig • Leuchten gut, vibrieren etwas seltsam • Abstände der Plattformen zu groß	• Interaktion mit dem Hebel war nicht gleich ersichtlich • Bedienung schwierig • wollte zusätzlich einen Button am Controller drücken um den Hebel zu bedienen • zusätzliche Zeitkomponente bei der Brücke um es anspruchsvoller zu gestalten	• Hebel war schwierig umzulegen • automatisches zurückgehen des Hebels stört • realer, haptischer Hebel wäre wünschenswert • findet es stupide sich über die Brücke zu teleportieren • Interessant die Spielwelt zu beeinflussen
	Beam Cube	• benötigt Erklärung • Gesamtaufgabe nicht verständlich • nicht ersichtlich, dass der Würfel verschiebbar ist	• Hinweis zur Bedienung des Beam Cubes wäre wünschenswert • gute Kombination von Spielmechaniken • findet Beam Cube als Fortbewegung äußerst interessant	• Funktion des Beam Cubes war nicht klar • ersichtlich, dass man den großen Cube verschieben kann • Fortbewegung per Beam Cube war interessant • Kombination aus schieben und Beam Cube gut
	erscheinende Plattformen	• gute Idee • schneller (mehr Stress) oder mehrere verfügbare Wege mit Sackgassen, aber dafür langsamer	• war gleich ersichtlich, was zu tun ist • schneller um die Schwierigkeit zu erhöhen oder mehrere Wege • faden stört, würde augenblickliches Erscheinen der Plattformen bevorzugen	• dachte man geht drauf und die Plattform verschwindet • schnellere erscheinen und verschwinden möglich • langes Warten bis die erste Plattform erscheint ist nervig
	bewegende Plattformen	• keine Motion Sickness • Feedback wenn man sich nicht teleportieren kann • ersichtlich, dass die bewegende Plattform betreten werden muss	• würde ebenerdiges besteigen bevorzugen • keine Motion Sickness • Zwischenplattformen und auf andere Plattformen Springen um es interessanter zu machen	• wollte sich auf das fahrende Objekt teleportieren • ebenerdige Fläche zum Draufsteigen wäre einfacher • keine Referenz, hätte gerne sichtbare Füße

	Wechsel hell / dunkel	• klar und verständlich	• weiß nicht, was sie mit dem Schwert machen soll • würde das Schwert mit mitnehmen • Schwert eher zum Bekämpfen von Gegnern als zum Zerstören von der Umgebung • für die Testperson war es offensichtlich, dass der Cube in den Brunnen muss	• war klar, dass der Cube in den Brunnen kommt • ist nicht der Wechsel zwischen heller und dunkler Welt aufgefallen • erscheinende Plattform einfaden lassen
	Zielwerfen	• macht Spaß • etwas zu einfach • findet schwebenden Brunnen cool	• war gleich ersichtlich, was zu tun ist • Distanz, bestimmte Anzahl an Cubes, kleinerer Brunnen oder Hindernisse als Schwierigkeit einführen	• weiß gleich, was zu tun ist • Ziel muss nicht unbedingt ein Brunnen sein • gezieltes Werfen macht Spaß
	Gegner	• virtuelle Spinnen rufen bei der Testperson ein ähnliches Gefühl hervor wie Reale (Angst) • bekämpfen macht Spaß • würde gerne ausprobieren wie sehr ein reales Element auf den Boden das Gefühl der Höhe verstärkt (bspw. Brett)	• verspürt keine Angst auf dem Steg • realistischer Untergrund würde mehr Angst hervorrufen (z.B. Wolken) • reales Element (Holzbrett) als Steg würde die Testperson sehr interessant finden • hat Spaß gemacht, weil es Action gab	• Steg ruft kein Angstgefühl hervor • Gegner bekämpfen macht Spaß • Wechsel zwischen 2D und 3D nicht ersichtlich und damit zu unspektakulär • hätte nicht versucht den Cube wieder herauszunehmen (wäre ein Rückschritt)
	Puzzle	• nicht ersichtlich wofür die Fackel da ist • Feedback beim Verbrennen erwünscht • Würfel suchen macht Spaß (könnte anspruchsvoller sein, z.B. unterschiedliche Formen oder Seiten)	• schwierige Handhabung, da die Würfel beim Einsetzen verkanten • Gegenstände suchen und einsetzen macht Spaß • Kriechen hat ebenso Spaß gemacht • Funktion der Fackel war schnell ersichtlich	• Cubes suchen und reinlegen war logisch • Funktion der Fackel ist klar • Kriechen war cool, aber nicht zu oft • nur Sachen suchen langweilig, aber als zusätzliche Spielmechanik interessant
	Ausweichen	• haptisches Feedback beim Herunterdrücken ist gut • Ausweichen gefällt der Testperson	• interessante Idee • mehr Hindernisse wünschenswert • Strategie überlegen, wie man am besten um die Hindernisse herumkommt • wollte Taste drücken um den Button zu betätigen • nicht ersichtlich, wann der Button aktiviert wurde	• wusste nicht, ob etwas durch den Button ausgelöst wurde • macht sehr viel Spaß, aber sich in VR zu bücken findet die Testperson nicht gut • Ausweichen als Spielmechanik ist cool
	reale Kiste verschieben (LEAP Motion)	• ist davon fasziniert ein reales Objekt in der virtuellen Welt anzufassen und bewegen zu können • würde die Interaktion mit einem realen Objekt auch ohne LEAP Motion interessant finden	• ist zuerst verwirrt ein reales Objekt anzufassen, findet dann aber schnell Gefallen daran dieses zu bewegen • erwähnt häufige Fehler zwischen abgebildeten Händen der LEAP Motion und dem realen Objekt	• reale Kiste kam unerwartet • dachte zunächst nicht daran die Kiste zu bewegen • würde gerne mit unterschiedlichen realen Objekten interagieren
Lieblings-stationen		• Ausweichen • Zielwerfen • Plattformen merken	• Ausweichen • Plattformen merken • Puzzle	• Ausweichen • Gegner • Beam Cube
allgemeine Kommentare		• würde lieber den Trigger zum Aufheben verwenden • könnte sich mehrere Hebel vorstellen, die man ausrichten muss	• fand es gut, wenn man sich Sachen merken musste oder es Action gab (unvorhergesehene Elemente) • fand viele Stationen zu einfach	• würde reales Laufen bevorzugen, wenn keine Hindernisse im Weg stehen (Spielfläche) • Teleportation zu einfach • Spinnen sterben, aber kleinere Spinnen entstehen

	• Beam Cubes und Plattformen visuell unterschiedlich gestalten • fände es interessant, mit mehreren Cubes einen Weg zu bauen und sich dann „durchzuteleportieren“ • würde reales Laufen bevorzugen oder Teleportation erschweren	• findet teleportieren an sich gut, aber wenn genug Platz vorhanden ist, würde die Testperson für das Gefühl lieber laufen (bspw. auf den großen Plattformen)	daraus • falls man von einer Spinne getroffen wird, sollte das Sichtfeld verschwimmen (Spieler vergiftet)

9.3 Fragebogen zum Probanden

ANGABEN ZUR PERSON

Proband Nr.:____
(wird vom Versuchsleiter ausgefüllt)

Im Folgenden bitten wir Sie, einige Angabe zu Ihrer Person und Ihrer Erfahrung mit VR Anwendungen zu machen.

A. Soziodemografische Daten

Alter: _____ Jahre

Geschlecht: ☐ weiblich ☐ männlich

Welche Ausbildung haben Sie? _____

Welchen Beruf üben Sie aus? _____

B. Vorerfahrung

Welcher Spieler-Typ sind Sie?

_____

Welche Spiele haben Sie zuletzt gespielt?

_____

_____

VR-Erfahrung:

gering ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ sehr viel

☐ Entwickler

☐ Spieler

☐ beides

Anfälligkeit für Motion Sickness:

☐ ja

☐ nein

☐ nicht bekannt

9.4 Igroup Presence Questionnaire (IPQ)

FRAGEBOGEN

Proband Nr.:____
(wird vom Versuchsleiter ausgefüllt)

In der computergenerierten Welt hatte ich den Eindruck, dort gewesen zu sein...

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

überhaupt nicht — **sehr stark**

Ich hatte das Gefühl, dass die virtuelle Umgebung hinter mir weitergeht.

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

trifft gar nicht zu — **trifft völlig zu**

Ich hatte das Gefühl, nur Bilder zu sehen.

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

trifft gar nicht zu — **trifft völlig zu**

Ich hatte nicht das Gefühl, in dem virtuellen Raum zu sein.

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

hatte nicht das Gefühl — **hatte das Gefühl**

Ich hatte das Gefühl, in dem virtuellen Raum zu handeln statt etwas von außen zu bedienen.

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

trifft gar nicht zu — **trifft völlig zu**

Ich fühlte mich im virtuellen Raum anwesend.

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

trifft gar nicht zu — **trifft völlig zu**

Wie bewusst war Ihnen die reale Welt, während Sie sich durch die virtuelle Welt bewegten (z.B. Geräusche, Raumtemperatur, andere Personen etc.)?

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

extrem bewusst — **mittelmäßig bewusst** — **unbewusst**

Meine reale Umgebung war mir nicht mehr bewusst.

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

trifft gar nicht zu — **trifft völlig zu**

Ich achtete noch auf die reale Umgebung.

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

trifft gar nicht zu — **trifft völlig zu**

Meine Aufmerksamkeit war von der virtuellen Welt völlig in Bann gezogen.

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

trifft gar nicht zu — **trifft völlig zu**

Wie real erschien Ihnen die virtuelle Umgebung?

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

vollkommen real — **weder noch** — **gar nicht real**

Wie sehr glich Ihr Erleben der virtuellen Umgebung dem Erleben einer realen Umgebung?

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

überhaupt nicht — **etwas** — **vollständig**

Wie real erschien Ihnen die virtuelle Welt?

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

wie eine vorgestellte Welt — **nicht zu unterscheiden von der realen Welt**

Die virtuelle Welt erschien mir wirklicher als die reale Welt.

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

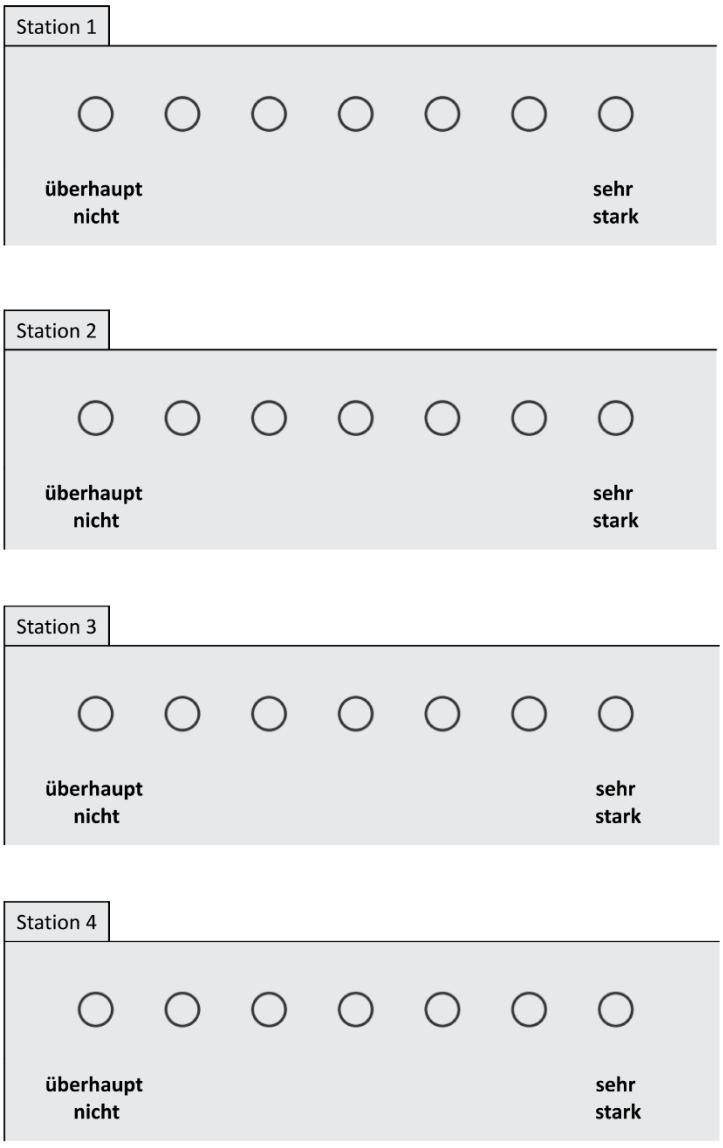
trifft gar nicht zu — **trifft völlig zu**

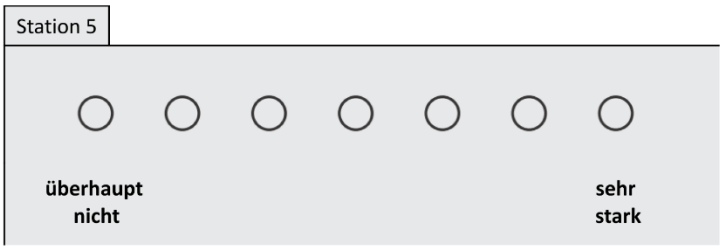
9.5 PPS-Fragebogen

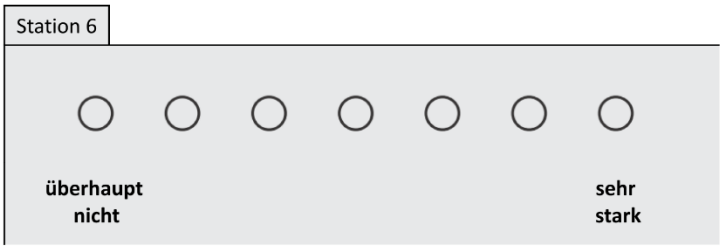
FRAGEBOGEN

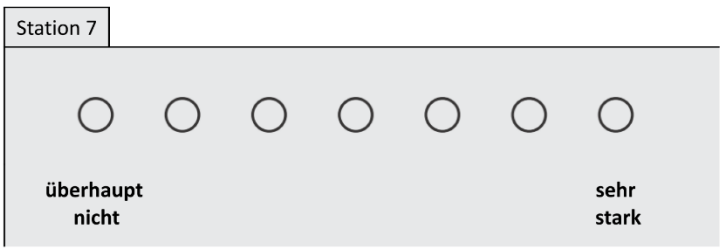
Proband Nr.:____
(wird vom Versuchsleiter ausgefüllt)

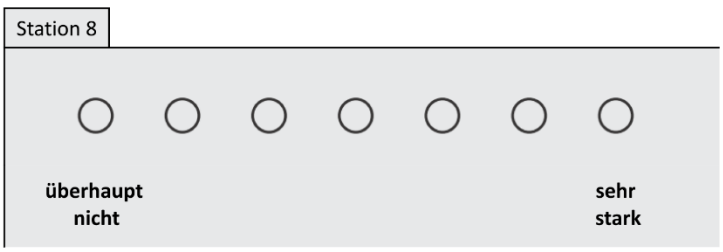
Wie ausgeprägt war dein Präsenzgefühl, „das Gefühl sich anwesend zu fühlen“, in der Station?

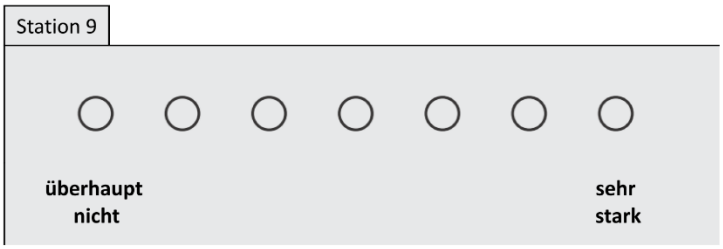


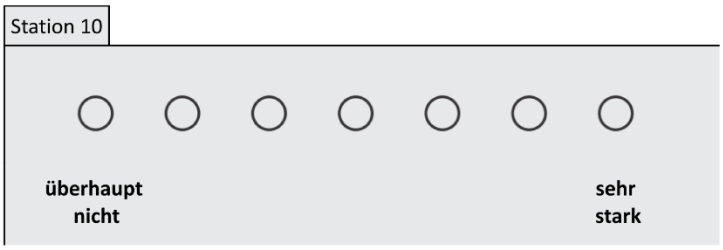

Station 5
überhaupt nicht
sehr stark


Station 6
überhaupt nicht
sehr stark


Station 7
überhaupt nicht
sehr stark


Station 8
überhaupt nicht
sehr stark


Station 9
überhaupt nicht
sehr stark


Station 10
überhaupt nicht
sehr stark

9.6 Hinweise für die Probanden

HINWEISE

Nr.	Hinweis	Station	Bezug
1	Schau Sie sich um bevor Sie loslaufen!	3	Sterben, ohne zu wissen warum
2	Seitlichen Grip-Button drücken!	4	Proband weiß nicht wie er sich teleportiert
3	Aliens nicht berühren, das sind Gegner!	5	Proband möchte Alien berühren
4	Schauen Sie sich die Säulen genauer an!	5	Proband findet das Schloss nicht
5	Drehen Sie den Controller nach links!	5	Proband weiß nicht wie er mit dem Schloss interagieren soll
6	Warte Sie einen Moment!	6	Aufzug braucht etwas Zeit bevor er losfährt
7	Warte Sie einen Moment, Plattform kommt!	7,10	Bewegende Plattform braucht zu lange
8	Beim letzten Hindernis ducken!	7	Ausweichen ist zu schwierig
9	Von unten werfen!	Immer	Probanden werfen zu ungenau
10	Das liegt am Tracking, bewegen Sie sich etwas nach…	Immer	Füße, Controller oder die Welt „fliegen“ umher

9.7 Auswertung der Beobachtungen

Erfolge (E) und Versuche (V)

	TP1		TP2		TP3		TP4		TP5		TP6		TP7		TP8		TP9		TP10	
Station	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V	E	V
1	x	1	x	1	x	1	x	1	x	1	x	1	x	1	x	1	x	1	x	1
2	x	1	x	1	x	1	x	2	x	1	x	1	x	1	x	2	x	2	x	1
3	x	1	x	3	x	1	x	1	x	2	x	1	x	3	x	1	x	3	x	2
4	x	1	x	1	x	1	x	1	x	1	x	1	x	1	x	1	x	1	x	2
5	x	9	x	4	x	2	x	2	x	2	x	2	x	6	x	2	x	2	x	2
6	x	1	x	1	x	1	x	5	x	3	x	4	x	7	x	3	x	1	x	1
7	x	1	x	3	x	1	x	6	x	2	x	4	x	3	x	7	x	1	x	1
8	x	1	x	1	x	1	x	3	x	1	x	2	x	1	x	1	x	1	x	1
9	x	3	x	1	x	2	x	1	x	1	x	3	x	1	x	2	x	1	x	2
10	-	10	-	5	x	6	-	4	x	5	x	5	x	4	-	4	x	3	x	9

9.8 Auswertung des IPQs

Nr.		Element	Mittelwert	Standardabweichung	Dimension
1	G1	In der computererzeugten Welt hatte ich den Eindruck, dort gewesen zu sein...	5,3	0,48	G (General Presence)
2	SP	Ich hatte das Gefühl, daß die virtuelle Umgebung hinter mir weitergeht.	4,86	0,98	SP (Spatial Presence)
3	SP	Ich hatte das Gefühl, nur Bilder zu sehen.			
4	SP	Ich hatte nicht das Gefühl, in dem virtuellen Raum zu sein.			
5	SP	Ich hatte das Gefühl, in dem virtuellen Raum zu handeln statt etwas von außen zu bedienen.			
6	SP	Ich fühlte mich im virtuellen Raum anwesend.			
7	INV	Wie bewußt war Ihnen die reale Welt, während Sie sich durch die virtuelle Welt bewegten (z.B. Geräusche, Raumtemperatur, andere Personen etc.)?	3,4	1,25	INV (Involvement)
8	INV	Meine reale Umgebung war mir nicht mehr bewußt.			
9	INV	Ich achtete noch auf die reale Umgebung.			
10	INV	Meine Aufmerksamkeit war von der virtuellen Welt völlig in Bann gezogen.			
11	REAL	Wie real erschien Ihnen die virtuelle Umgebung?	2,7	0,70	REAL (Experienced Realism)
12	REAL	Wie sehr glich Ihr Erleben der virtuellen Umgebung dem Erleben einer realen Umgebung?			
13	REAL	Wie real erschien Ihnen die virtuelle Welt?			
14	REAL	Die virtuelle Welt erschien mir wirklicher als die reale Welt.			

9.9 Auswertung des PPS-Fragebogens

Station	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	Mittelwert	Standardabweichung
1	4	1	4	4	4	5	4	1	5	5	3,7	1,49
2	5	1	4	4	5	5	5	1	5	5	4	1,63
3	6	3	5	6	5	5	4	2	6	5	4,7	1,34
4	4	3	5	5	4	6	4	2	3	2	3,8	1,32
5	4	3	6	3	1	5	6	2	6	4	4	1,76
6	5	4	6	4	5	6	6	2	6	6	5	1,33
7	4	6	6	6	5	6	5	2	5	6	5,1	1,29
8	6	6	5	6	5	4	4	3	4	3	4,6	1,17
9	5	6	5	6	2	3	6	4	6	2	4,5	1,65
10	3	6	6	6	5	5	5	4	6	1	4,7	1,63

9.10 Auswertung des Station Rankings

Station	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	Gesamtpunktzahl
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
2	6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24
3	8	6	3	6	6	5	3	6	4	7	54
4	2	4	4	3	3	4	5	3	3	5	36
5	10	3	8	4	4	6	8	5	7	8	63
6	9	5	10	5	7	10	9	4	8	10	77
7	4	8	7	9	8	8	7	7	6	6	70
8	5	10	5	10	10	7	4	9	5	3	68
9	7	7	6	8	5	3	10	10	9	9	74
10	3	9	9	7	9	9	6	8	10	4	74

9.11 Auswertung des Semi-Structured Interviews

Proband 1

Nr.	Wichtige Aussagen des Probanden	Hinweis	Audiostelle	Kernkategorie	Unterkategorie
1	„Aber ansonsten natürlich klar der haptische Schalter war natürlich klasse.“	zu Station 5 (Schloss)	Start: 00:52 Ende: 00:58	positive Aussagen zu passiver Haptik	Gefühl (Schloss)
2	„Ach so, genau das mit dem, da bin ich gar nicht drauf eingegangen mit dem Kasten, das war natürlich auch cool. […] Äh, genau das ist natürlich auch cool, dass man wirklich was bewegt.“	zu Station 9 (Kasten)	Start: 07:35 Ende: 07:48	Verstärkung der Präsenz	passive Haptik
3	„Also äh diese Plattform funktioniert natürlich gut, weil man natürlich jetzt irgendwie auch in der virtuellen Welt abschätzen muss wo geht mein Fuß hin, äh, komm ich dahin, reicht mir die Zeit noch also vor allen Dingen bei so Sachen wie Station neun wo man sagt ok man hat jetzt eine Zeitkomponente wo es aufs Timing ankommt und gleichzeitig Präzision, dass ich die Plattform treffe, das ist natürlich schon spannend, ähm, dass man sagt ok, das zieht einen auch noch ein bisschen mehr rein, das man sagt ok man konzentriert sich so auf den Ablauf den man jetzt irgendwie gleich machen möchte, dass man dann auch ein bisschen vergisst, dass man in der VR äh sich befindet.“	zu Station 9 (sich bewegende Plattform)	Start: 09:11 Ende: 09:44	Verstärkung der Präsenz	anspruchsvolle Aufgabe

Proband 2

Nr.	Wichtige Aussagen des Probanden	Hinweis	Audiostelle	Kernkategorie	Unterkategorie
1	„[…] und dann wars bei mir auch zu früh zu Ende […] also man macht dann ja wieder einen Schritt runter auf die vordere Spitze obwohl da ja nichts runtergeht geht […]“	s.o.	Start: 04:07 Ende: 04:16	Verringerung der Präsenz	Diskrepanz zwischen VR und Realität
2	„[…] aber an sich das Gefühl so darüber zu laufen ist super.“	s.o.	Start: 04:16 Ende: 04:20	positive Aussagen zu passiver Haptik	Gefühl (Brett)
3	„Es war klar, dass da was ist, es war auch ok, dass wenn man da quasi mit dem Kontroller reingeht, dass da was haptisches kommt, weil ich das ja nicht direkt mit mir selbst gemacht hab, sondern mit dem Kontroller, deswegen war für mich das irgendwie logischer, dass da tatsächlich was kommt, ich weiß auch nicht warum, aber ich hab quasi den Kontroller da reingesteckt und hatte dann eigentlich nicht so wirklich den Plan was ich machen soll, ob ich jetzt nach links, nach rechts drehen soll, ob ich überhaupt drehen soll, ob es schon reicht da reinzustecken, das war mir nicht so ganz klar, ich habe dann halt einfach gedreht irgendwann und dann ist auch was passiert. […]“	zu Station 5 (Schloss)	Start: 05:40 Ende: 06:16	negative Aussagen zu passiver Haptik	unklare Interaktion (Schloss)
4	„Aber an sich fand ich das haptische da logischer als bei dem anderen wo man drüberläuft (Brett bei Station 6), wo man selbst mit den Füßen was macht, weil da ist es unerwartet.“	s.o.	Start: 06:19 Ende: 06:29	neutrale Aussagen zu passiver Haptik	Unterscheidung zwischen agieren und reagieren
5	„Also quasi auch je mehr man sich drauf konzentrieren muss eine bestimmte Herausforderung zu schaffen, desto mehr ist man halt auch in dem Spiel drin und desto weniger (TP stockt) also desto mehr vergisst man alles um sich rum. Denn am Anfang wo man so wenig machen muss, da nimmst du alles um dich rum noch mega wahr, aber wenn du so schnell reagieren musst, irgendwas machen musst, dann vergisst du um dich rum was da passiert.“	allgemein zu Präsenz	Start: 09:51 Ende: 10:12	Verstärkung der Präsenz	anspruchsvolle Aufgabe

Proband 3

Nr.	Wichtige Aussagen des Probanden	Hinweis	Audiostelle	Kernkategorie	Unterkategorie
1	„Der Brett-Effekt ist auf jeden Fall super, weil man hat wirklich, also weil man das noch realer wahrnimmt und das Gefühl hat das es, das liegt wahrscheinlich auch an dem, an der Haptik oder dem Gefühl wenn man darauf läuft, dass es dann anders ist wie der restliche Boden und wackeliger und dadurch fühlt es sich noch realistischer an und man hat wirklich das Gefühl boah ich wenn ich jetzt nicht aufpasse dann kippe ich da runter oder falle ich runter. Das ist auf jeden Fall echt cool an dem äh an dem Brett und es ist, ja ich denke, je mehr, je mehr Sachen wie zum Beispiel so Gegenstände, Sachen andere Böden, Beläge oder alles, je mehr desto besser ist es um in die Welt einzutauchen, desto stärker fühlt man sich da drin und desto mehr Spaß macht‘s auch.“	zu Station 6 (Brett)	Start: 00:26 Ende: 01:23	Verstärkung der Präsenz	passive Haptik
2	Ne, klar die Höhe, weil man hat, weil es sich halt realistischer angefühlt hat und man Angst hat da runter zu fallen. Also grundsätzlich hat das gut funktioniert, dass man, dass man so ein gutes Gefühl hatte für den Raum, weil Elemente da drüber und da drunter und links und rechts waren und dadurch war das ähm hat man immer das Gefühl gehabt man, man ist, also die Welt geht unter einem weiter und man hat auch Angst, weil es da tief runter geht, weil man da unten noch was gesehen hat, was, wodurch man einschätzen könnte, konnte, dass es weit runter geht.“	zur Höhe bei Station 6	Start: 01:36 Ende: 02:13	Verstärkung der Präsenz	Anordnung virtueller Elemente
3	„Fand ich cool, ja auf jeden Fall noch immersiver. […] Das die Plattform sich bewegt, dass man halt sich, dass man da im richtigen Moment drauf muss und dann durch die Welt schwebt sozusagen.“	zur Fortbewegung mit bewegender Plattform	Start: 02:52 Ende: 03:06	Verstärkung der Präsenz	anspruchsvolle Aufgabe
4	„Ja genau, dass da, dadurch, dass man den Sachen ausweichen musste, ähm, wird’s halt noch realer, man muss genau gucken wo befindet man sich auf der Plattform und wieviel Platz habe ich noch, wo muss ich mich hinstellen damit ich, ähm, dran vorbei komme und alles was irgendwie dann man sich Gedanken machen muss um den Raum und irgendwie interagiert mit dem Raum wirkt sich halt positiv	zu Sachen, die bei Station 10 Spaß gemacht haben	Start: 03:24 Ende: 03:58	Verstärkung der Präsenz	anspruchsvolle Aufgabe

	auf die Immersion aus hatte ich das Gefühl, hat mir Spaß gemacht dadurch.“				
5	„Ich denke, dass man in dem Moment, da wenn man dann, wenn man das, das ausgleicht, die Bewegung, die man gar nicht ausgleichen muss, so dann merkt man halt kurz, reißt es einen schon kurz raus (Präsenz) kurz, weil man dann merkt, dass es nicht äh ja das es gerade eine Fehlinterpretation von dem Gehirn war im Vergleich zu Real.“	zum Wechsel von bewegender Plattform auf statische Plattform	Start: 07:22 Ende: 07:44	Verringerung der Präsenz	Unnatürlichkeit (Wechsel von bewegender auf statische Plattform)
6	„Ja, genau ja. Das liegt auch glaub ich mit der Geschwindigkeit zusammen, also je schneller man halt da drauf zufährt und abspringen muss desto stärker ist die Gegenbewegung vom Körper von meinem Körper gewesen und desto mehr hat‘s mich dann rausgerissen (Präsenz) in dem Moment, glaube ich.“	zur Frage, ob sich der Wechsel unnatürlich angefühlt hat	Start: 07:45 Ende: 08:03	Verringerung der Präsenz	Unnatürlichkeit (Wechsel von bewegender auf statische Plattform)
7	„Ja also das Brett fand ich am coolsten, aber das ist ja keine Kombination gewesen.“	zur Frage, welche Spielmechanik am besten gefallen hat	Start: 10:55 Ende: 11:01	positive Aussagen zu passiver Haptik	Spielmechanik
8	„Das mit dem Schlüssel habe ich äh nicht gleich gerafft. […] Ja ich denke das ist, macht auf jeden Fall Spaß je mehr so Elemente man hat die man hat die mit denen man interagieren kann, desto besser, also nur ich hab‘s nur nicht, ich weiß nicht ob‘s an mir lag oder an den, an dem Aufbau hab ich‘s halt, die nicht gleich gerafft, also sowohl das mit dem Drehen als auch das mit dem Schieben (Kasten) halt, hab ich nicht, da hast du mir ja den Tipp gegeben, dass ich das Teil bewegen kann. Ich dachte halt nicht, dass ich das dann, ähm, dass ich das dann schieben kann.“	zum Schloss bei Station 5	Start: 11:59 Ende: 13:07	negative Aussagen zu passiver Haptik	unklare Interaktion (Schloss)
9	Ja und vor allem durch die, genau durch die Haptik oder keine Ahnung wie man das nennt durch das es halt anders war wie der restliche Boden, weil genau da wenn ich da jetzt noch wenn man da zum Beispiel noch andere Elemente hätte wie keine Ahnung irgendwie wenn er jetzt irgendwie eine Weichbodenmatte wäre oder so und man dann durch Moor laufen würde oder sowas, was weiß ich das, das wäre alles cool wo man das noch verbinden	zum Brett bei Station 6	Start: 13:12 Ende: 13:55	Verstärkung der Präsenz	passive Haptik

	könnte, das was man sieht und was man spürt, je stärker das irgendwie, ja die anderen Sinne das unterstützen was man sieht, desto immersiver denke ich.“				

Proband 4

Nr.	Wichtige Aussagen des Probanden	Hinweis	Audiostelle	Kernkategorie	Unterkategorie
1	„Fand ich an sich ne schöne Idee, das war, ähm, das Brett, auf das man getreten ist und rausbalanciert ist. Was mich gestört hat war, dass an dem Brett vorne in der virtuellen Welt war nochmal so eine kleine Miniplattform, die war rechteckig, glaube ich und die war, äh, physisch natürlich niedriger als das Brett auf dem man balanciert ist und da bin ich jedes Mal gestolpert, das heißt, da hätte ich mir irgendwie gewünscht, dass es virtuell dann so ein bisschen tiefer liegt, dass ich auch nach, also geistig darauf vorbereitet bin, dass ich nach unten trete oder das ein Brett ans Brett geschraubt ist.“	zu Station 6 (Brett)	Start: 01:06 Ende: 01:38	Verringerung der Präsenz	Diskrepanz zwischen virtuellem Objekt und passiver Haptik
2	„Ne, also ich erinnere mich, aber der war meiner Meinung nach irgendwie ein bisschen zu klein, also ich bin jedes Mal habe ich mich so ein bisschen vertreten.“	zur Frage, ob die TP den virtuellen Versatz nicht gesehen hat	Start: 01:42 Ende: 01:48	Verringerung der Präsenz	Diskrepanz zwischen virtuellem Objekt und passiver Haptik
3	„Hat mich eher rausgerissen, glaube ich, weil, ähm, also es gab diesen Schlüssel, also dieses Drehelement, als ich es dann gemacht habe fand ich es ziemlich cool, aber als ich, ähm, das erste mal draufgestoßen bin mit dem Kontroller habe ich mich erschreckt und habe gedacht äh ich habe irgendwas kaputt gemacht (TP lacht), ähm, dann finde ich es natürlich cool […]“	zur Frage, ob die haptischen Elemente eine Bereicherung waren	Start: 09:39 Ende: 10:06	Verringerung der Präsenz	unerwartete Interaktion mit passiver Haptik
4	„[…] die Kiste zum hin und her schieben fand ich, ähm, ein schönes Element eigentlich […]“	s.o.	Start: 10:10 Ende: 10:15	positive Aussagen zu passiver Haptik	Interaktion (Kiste)

Proband 5

Nr.	Wichtige Aussagen des Probanden	Hinweis	Audiostelle	Kernkategorie	Unterkategorie
1	„Ja das mit dem drauf laufen, das fand ich irgendwie ganz spannend äh weiß auch nicht, weil man das auch noch so gefühlt hat mit den Füßen. Da hat's mich nicht so gestört, bei den anderen (Schlüssel und Kasten) fand ich es irgendwie total komisch, dass ich da so mit der echten Welt irgendwie, ähm, interagieren musste, da hat's mich irgendwie nicht gestört […] auch das mit dem drauf laufen, ich weiß nicht, das hat mich jetzt nicht übelst begeistert, aber es hat mich, aber irgendwie fand ich's auch ganz cool so, ähm, deshalb liegt das halt in der Mitte […]"	zu Station 6 (Brett)	Start: 03:11 Ende: 03:53	neutrale Aussagen zu passiver Haptik	Unterscheidung zwischen agieren und reagieren
2	„Ach so, das war der Schlüssel, ja genau, ja gut, das fand ich einfach, das hat mich total rausgerissen aus der […] also wenn ich, wenn ich in der virtuellen Welt bin und ich spiel da so dann erwarte ich halt natürlich auch, dass ich das dann virtuell irgendwie äh also dann empfinde ich das schon als quasi real auch wenn ich weiß das es natürlich virtuell ist, aber wenn dann wieder was reales kommt äh dann holt es mich komplett raus […] das ist für mich ein Bruch, ja."	zu Station 5 (Schloss)	Start: 05:40 Ende: 06:17	Verringerung der Präsenz	unerwartete Interaktion mit passiver Haptik
3	„Das habe ich auch so noch nie gesehen deswegen habe ich es auch überhaupt nicht verstanden, vielleicht kam auch der Bruch daher, dass ich es einfach gar nicht gecheckt hab (TP lacht), ähm, was ich da tun muss, ja aber ich fand's dann auch bei der Kiste, ja gut da habe ich dann schon irgendwie gedacht ok da ist jetzt was reales und irgendwie war schon ein bisschen vorsichtiger, ja, ja, weil ich da auch nicht sicher war, ähm, dadurch, dass es halt immer neue Sachen waren, also hier musste man irgendwie so drehen (Station 5) und dann die Kiste irgendwohin schieben (Station 6) weil ich mir dann nicht sicher, weil das durfte ich nicht verschieben (Podest an Schlüssel), die Kiste sollte ich dann verschieben, dadurch war ich mir nicht ganz sicher."	s.o.	Start: 06:18 Ende: 06:52	negative Aussagen zu passiver Haptik	unklare Interaktion (Schloss)

4	„Das kann gut sein, ja, dass das passiv OK ist, aber das aktiv irgendwie zu viel.“	zur Frage, ob für die TP passive Haptik (Brett) akzeptabler war	Start: 07:05 Ende: 07:11	neutrale Aussagen zu passiver Haptik	Unterscheidung zwischen agieren und reagieren

Proband 6

Nr.	Wichtige Aussagen des Probanden	Hinweis	Audiostelle	Kernkategorie	Unterkategorie
1	„[…] und dann eben überlegen was man jetzt anfängt mit diesem Schloss oder was man damit machen kann.“	zu Station 5 (Schloss)	Start: 02:23 Ende: 02:30	negative Aussagen zu passiver Haptik	unklare Interaktion (Schloss)
2	„Hmm, der Balken war cool, das war gut […]	zur Frage, ob die haptischen Elemente die TP mehr in die Welt eintauchen ließen	Start: 07:22 Ende: 07:26	positive Aussagen zu passiver Haptik	Gefühl (Brett)
3	„[…] wenn man halt interagieren muss, gerade bei dem (Schlüssel) ist es halt schwierig, dass dann das echte und das virtuelle auch eins zu eins übereinander liegt […] das war zum Beispiel nicht ganz oder auch bei, bei dem Dinger (Kasten) ging’s aber gerade […]“	s.o.	Start: 07:33 Ende: 07:50	Verringerung der Präsenz	Diskrepanz zwischen virtuellem Objekt und passiver Haptik
4	„[…] ja bei dem Balken war’s halt so zum Beispiel, da muss man ja nicht interagieren damit, nur drauf laufen, das war dann schon gut.“	s.o.	Start: 07:51 Ende: 07:58	neutrale Aussagen zu passiver Haptik	Unterscheidung zwischen agieren und reagieren
5	„Ja, das war schon, hat sich echt angefühlt (Brett).“	zur Frage, ob der TP haptische Elemente gefallen haben, bei denen man nicht aktiv handeln muss	Start: 08:02 Ende: 08:11	Verstärkung der Präsenz	passive Haptik

Proband 7

Nr.	Wichtige Aussagen des Probanden	Hinweis	Audiostelle	Kernkategorie	Unterkategorie
1	„Bei der Station 9, das war das mit der Kiste, das fand ich irgendwie ziemlich cool, da war ja quasi eine doppelte Interaktion, das ich einmal, ähm, den Kontroller gebraucht hab und den quasi wie in so eine Schatzkiste irgendwie da drauf legen musste und dann noch das komplette Teil verschieben äh fand ich cool weil ich halt quasi äh durch die Haptik quasi gedacht hab, ok ich schieb jetzt wirklich diesen kompletten Würfel hier rum […].“	zu Station 9 (Kasten)	Start: 00:54 Ende: 01:20	Verstärkung der Präsenz	passive Haptik
2	„[…] was bisschen Schade fand, dass man quasi, also ich hab halt davor schon gehört, dass ihr die Box hingeschoben habt deswegen hab ich‘s mir sowas schon in der Art gedacht. Wenn das jetzt von äh also wenn ich jetzt irgendwie Kopfhörer aufgehabt hätte und, ähm, hätte nicht gehört, dass ihr irgendwie was rumschiebt, dann fände ich es wahrscheinlich hätte ich es wahrscheinlich noch cooler gefunden, weil dann wäre ich voll überrascht, hey warum steht jetzt das Ding da, aber ja vom Prinzip her fand ich es voll gut […].“	s.o.	Start: 01:21 Ende: 01:52	Verringerung der Präsenz	äußere Einflüsse
3	„Klar man ist dann irgendwann oben und muss dann diese, dieses, wie sagt man, Sprungbrett quasi, Planke entlang laufen, das war schon ziemlich krass vor allem als ich dann gemerkt habe, ok ihr Arschlöcher habt mir noch ein Brett drunter gelegt (TP lacht) da war der äh Soundeffekt natürlich wieder ganz geil, dass man quasi auch dieses quietschen von dem Brett unter einem hatte und man wirklich dachte, ok man steht jetzt wirklich auf dem scheiß Brett und wenn man halt nebendran tritt, dann fällt man irgendwie fünfzehn Plattformen weiter runter.“	zu Station 6 (Brett)	Start: 02:16 Ende: 02:52	Verstärkung der Präsenz	passive Haptik
4	„Der Kussmund den fand ich natürlich also wo man quasi den Kontroller in die Kussvorrichtung stecken muss äh vom Prinzip mega cool […] aber vom Prinzip so ein Schlüsseleffekt schon ziemlich cool und hat dann im Endeffekt auch gut funktioniert äh coole Interaktion […]“	zu Station 5 (Schloss)	Start: 03:28 Ende: 04:05	positive Aussagen zu passiver Haptik	Interaktion (Schloss)

5	„Genau, also diese drei Dinger (Schlüssel, Brett, Kasten) die jetzt bei den Stationen hier waren, ähm, bringen eben den Plattformer, sag ich jetzt mal noch quasi zusätzlich Interaktion, was ich irgendwie cool fand.“	zu den haptischen Elementen allgemein	Start: 04:12 Ende: 04:24	positive Aussagen zu passiver Haptik	Interaktion
6	„Und dann natürlich die ganzen haptischen Interaktionselemente fand ich auch echt cool.“	zur Frage, welche Spielmechanik am besten gefallen haben	Start: 09:47 Ende: 09:51	positive Aussagen zu passiver Haptik	Spielmechanik
7	„Ähm, nö im Gegenteil fand ich positiv dafür […] aber prinzipiell, wenn du irgendwie was haptisch zum Anfassen hast, wo du auch visuell siehst, ähm, das ist natürlich eine Bereicherung für das Spiel. Klar ich meine ihr habt jetzt einen Plattformer gebaut, es wäre jetzt wahrscheinlich nicht zwingend notwendig gewesen, aber dadurch hat man halt eben noch so ein bissel, ich sag mal so ein zwei kleine Rätsel eingebaut, was auf jeden Fall spannend war.“	zur Frage, ob die TP durch die haptischen Elemente rausgerissen wurde	Start: 13:50 Ende: 14:32	Verstärkung der Präsenz	passive Haptik
8	„Ähm, ja klar, also die, die Brücke beziehungsweise die Planke, ähm, da hat ich ja jetzt nicht wirklich haptisches Feedback, ich hab ja Schuhe an, ich hab ja jetzt nicht wirklich gemerkt, dass ich irgendwie da drauf lauf, also ich hab’s schon gecheckt, weil’s irgendwie leicht gewackelt hat äh, aber da war’s tatsächlich eher so der äh auditive äh Eindruck, dass es eben halt so gequietscht hat und so, also das fand ich äh fast krasser als dass ich es gespürt hab.“	zur Frage, ob es Unterschiede zwischen den haptischen Elementen gab	Start: 14:47 Ende: 15:19	neutrale Aussagen zu passiver Haptik	Unterscheidung zwischen agieren und reagieren
9	„Genau, genau, das ist eben die Höhe war und ich dachte ok ich laufe jetzt über ein Brett und es hat sich halt auch durchs Anhören so angefühlt als ob ich jetzt wirklich auf einem Brett lauf und bei den anderen zwei Sachen, ähm, da habe ich natürlich, mit meinen Händen spüre ich natürlich mehr als mit meinen Füßen würde ich jetzt mal behaupten und klar wenn ich eine Box im Spiel sehe und ich kann auch wirklich eine Box anfassen und ich kann da was drauf legen und so, ist natürlich schon cool und ich kann da quasi besser mit interagieren als wenn ich irgendwie ins leere greife und diese,	zur Frage, welchen Einfluss die Höhe hatte	Start: 15:21 Ende: 16:30	Verstärkung der Präsenz	passive Haptik

	diese Schlüssel-Aktion die war eigentlich im Nachhinein echt geil, ziemlich geil, ähm, wie gesagt, bisschen schade, dass die so schwerläufig ist, aber vom Grundprinzip da noch quasi so einen, wie so ein Mini-Rätsel quasi einzubauen, fand ich schon gut und dadurch, dass ich es auch gespürt hab, hätte ich jetzt einfach irgendwie in die Luft, Luft meinen Kontroller halten müssen und hätte umdrehen müssen dann hätte es für mich keinen Sinn gemacht, aber dadurch, dass ich halt auch einen Widerstand spüre, fand ich es gut.“				

Proband 8

Nr.	Wichtige Aussagen des Probanden	Hinweis	Audiostelle	Kernkategorie	Unterkategorie
1	„Ähm neun hat mir am besten gefallen das mit dem Block schieben, weil es am Anfang etwas schwer zu verstehen war für mich, ähm, das war ganz cool […].“	zu Station 9 (Kasten)	Start: 00:37 Ende: 00:53	positive Aussagen zu passiver Haptik	Interaktion (Kasten)
2	„Ah ja genau, das fand ich ganz, ja stimmt das hatte ich schon wieder fast vergessen, ähm, das ist ganz nice […]“	zu Station 5 (Schloss)	Start: 05:45 Ende: 05:53	positive Aussagen zu passiver Haptik	Gefühl (Schloss)
3	„[…] auch wenn man, wenn ich es am Anfang nicht verstanden habe wie ich drehen muss […] also irgendwie war es klar, dass man da jetzt den Kontroller reintun muss, aber wie genau […]“	s.o.	Start: 05:54 Ende: 06:07	neutrale Aussagen zu passiver Haptik	unklare Interaktion (Schloss)
4	[…] die Realität und das Bild haben nicht ganz zusammengepasst gefühlt irgendwie, ähm, und das hat ein bisschen gestört […]“	s.o.	Start: 06:08 Ende: 06:16	Verringerung der Präsenz	Diskrepanz zwischen virtuellem Objekt und passiver Haptik
5	„[…] ansonsten ist es ganz cool mit dem Interagieren, ähm, würde ich vielleicht sogar fünf vor drei setzen, aber das gibt sich glaube ich nicht so arg viel, aber das mit dem Interagieren war, ist auf jeden Fall eine nette Sache.“	s.o.	Start: 06:17 Ende: 06:31	positive Aussagen zu passiver Haptik	Interaktion (Schloss)
6	„Das war cool (Brett), ja, ich habe auch gemerkt wie ich äh anfange aufzupassen, dass ich da jetzt nicht daneben laufe und auch wie es irgendwie körperlich Reaktionen hervorgerufen hat obwohl ich weiß, dass ich da nicht irgendwie runterfallen kann, aber das ist ganz nett.“	zu Station 6 (Brett)	Start: 07:22 Ende: 07:37	Verstärkung der Präsenz	passive Haptik
7	„Ist definitiv cool, weil, ähm, ja weil’s einfach den, die Welt, ähm, ja auch realer irgendwie erscheinen lässt, weil ich nicht, ähm, ich sehe wo ich bin auf der Plattform was sonst wahrscheinlich ziemlich schwer wäre bei so einem begrenzten Raum, also man hat ja kein Gefühl wo man ungefähr steht ohne ein optisches Feedback zu haben, ähm, und ich glaube es hat einen, halt noch so eine kleine Komponente mehr reingebracht um äh ein Realitätsgefühl mehr herzustellen, weil ich eben nicht nur das optische habe sondern also optisch in Form vom, vom Sehen, von der Welt und dem Kontroller sondern auch noch sehe wo meine Füße in der Welt sind.“	zu Füßen	Start: 10:40 Ende: 11:29	Verstärkung der Präsenz	Repräsentation der Füße

8	„Ne, eher im Gegenteil, glaube ich es hat noch so ein, weil in die, die Haptik mit der Optik dann zusammenpasst, ähm, ist noch so ein bisschen wie mit den Füßen so ein bisschen vielleicht mehr ein Verschmelzen eingetreten.“	zur Frage, ob die haptischen Elemente die TP aus der Welt herausgerissen haben	Start: 12:41 Ende: 12:58	Verstärkung der Präsenz	passive Haptik
9	„Also was mit mehr gestört hat war eher das Kabel was teilweise um den Hals hängt oder auch Rauschen von was war das ein Kühlschrank oder was hier drinsteht […] das war schon, das hat mich eher irgendwie noch zurückgekriegt in die, also, dass ich realisiert habe oder mehr realisiert habe, dass ich ja eigentlich gar nicht in dem Spiel bin.“	s.o.	Start: 13:00 Ende: 13:23	Verringerung der Präsenz	äußere Einflüsse
10	„Äh, ich hat es nicht erwartet, ich habe es am Anfang auch gar nicht verstanden so genau, also mir war klar, dass ich da irgendwie jetzt in irgendeinem Loch drin bin, aber ich habe erstmal gar nicht erwartet, dass sich die Realität mit dreht, irgendwie war das so ein erstmal ein komischer Moment, aber dann wo es dann funktioniert hat, war’s, hat es sich normal angefühlt, aber es war erst ungewohnt auf jeden Fall.“	zur Frage ob die TP beim Schloss widerstand erwartet hat	Start: 13:31 Ende: 13:56	neutrale Aussagen zu passiver Haptik	ungewohnte Denkweise
11	„Ja, das habe ich nicht verstanden […] ja weil eben, ja irgendwie ist es doch, diese, dieses reale Objekt das in das Virtuelle reinzukriegen gedanklich ist irgendwie nicht ganz einleuchtend erstmal.“	zur Frage, ob die TP den Kasten gleich verstanden hat	Start: 14:01 Ende: 14:33	neutrale Aussagen zu passiver Haptik	ungewohnte Denkweise
12	„Ne ich glaube es ist konsistent, aber vielleicht ist es äh die Denkweise noch eher so, ah ja ich bin jetzt in der virtuellen Welt, hier gibt es keine realen Objekte […].“	zur Frage, ob Inkonsistenz die Ursache war (oben)	Start: 14:35 Ende: 14:49	neutrale Aussagen zu passiver Haptik	ungewohnte Denkweise

Proband 9

Nr.	Wichtige Aussagen des Probanden	Hinweis	Audiostelle	Kernkategorie	Unterkategorie
1	„Station sechs, ähm, hatte ich zum ersten Mal dieses Gefühl von Höhe, weil du fängst relativ unten an und dann fährst du hoch und dann das mit dem Brett auch da bin ich so ein bisschen, du versuchst es halt einfach obwohl, also da hätte ich am liebsten auch einmal kurz probiert wie es ist wenn ich da quasi ins Leere trete, aber da ging es mir dann schon darum das Spiel jetzt irgendwie nicht zu verlieren oder so (TP lacht). Ich hätte es aber echt gerne ausprobiert, aber auch da weil der, du hast das mit dem Brett war halt mega geil auch unterwartet, weil ich wusste nicht, dass da ein Brett kommt und ja dann, dass du da halt diese Höhe hast und denkst du bist halt irgendwo oben, das fand ich ziemlich cool.“	zu Station 6 (Brett)	Start: 02:38 Ende: 03:24	Verstärkung der Präsenz	passive Haptik
2	„Und halt Brett war geil.“	zur Frage, welche Spielmechaniken gefallen haben	Start: 08:41 Ende: 08:43	positive Aussagen zu passiver Haptik	Spielmechanik (Brett)
3	„[…] und ich hatte das zum ersten Mal, dass irgendwas an meinen Füßen dran war und ich glaub das machts auch ein bisschen realer, das Ganze. Also, weil dir ist schon bewusst, dass du halt eben nur die Brille aufhast und dann halt diesen Kontroller noch der eigentlich fast alles, mit allem interagieren kann, aber sonst nichts. Ich hätte halt auch so machen können bei dem Balken und dann wäre nichts passiert oder so mit meiner freien Hand und an den Füßen, wenn du da halt deine Füße auch siehst, weißt du halt, dass deine Füße auch in dieser Welt drin sind und ja, das gibt dir das Gefühl, als wäre dein ganzer Körper da fast.“	zu Füßen	Start: 10:42 Ende: 11:18	Verstärkung der Präsenz	Repräsentation der Füße
4	„Ja, genau so.“	zur Frage, ob die Repräsentation der Füße die TP mehr in die Welt gezogen haben	Start: 11:23 Ende: 11:25	Verstärkung der Präsenz	Repräsentation der Füße

5	„Ja, auf jeden Fall, also in neun war […] ah genau der Kasten, ja, das war interessant, weil du kommst erstmal gar nicht auf die Idee, dass du auch etwas verschieben kannst, ähm, klar wenn dann ein Kommentar kommt, an was erinnert dich die Form und so, dann ist's schon klar, aber, ähm, das fand ich ziemlich cool, weil das klar, also da denkt dein Kopf dann auch, wow du bewegst halt gerade nicht irgendwie ein Schrank oder so oder sonst irgendwie so ein Rollcontainer sondern wirklich das Ding halt. Auch das mit dem Brett hat dazu geführt, dass, weil das hätte man auch ohne Brett machen können, aber, dass du da wirklich auf etwas steigst und es sich auch noch anfühlt wie ein Brett, ähm, das man auch gemerkt wie ich dann plötzlich so neben mir gemacht habe (TP breitet Arme aus als ob sie balancieren würde), ähm, also versucht habe das Gleichgewicht zu halten, ähm, das es auf jeden Fall eine Bereicherung ist."	zur Frage, ob die haptischen Elemente eine Bereicherung waren	Start: 11:37 Ende: 12:34	Verstärkung der Präsenz	passive Haptik
6	„Ne, das fand ich mega geil, weil das sind so unerwartete Dinge, deshalb kommt man halt auch nicht so ganz auf die Idee, dass, dass du das auch noch rumschieben kannst und so vielleicht […]	zur Frage, ob es die TP gestört hat, dass haptische Elemente auf einmal da waren	Start: 12:38 Ende: 12:47	neutrale Aussagen zu passiver Haptik	ungewohnte Denkweise
7	[…] ich fand's mega gut, weil das ist, ähm, du erwartest es ja nicht und dann macht's das irgendwie noch interessanter, also macht halt noch mehr Spaß, wenn du dann plötzlich auf irgendwas trittst, was halt vorher, wo du eigentlich weißt, das war vorher nicht da, weil du bist ja in diesen Raum gekommen, hast den Raum gesehen und ich habe jetzt nicht diesen, dieses Holzbrett hab ich nicht gesehen davor, aber ich fand's cool."	s.o.	Start: 12:48 Ende: 13:07	positive Aussagen zu passiver Haptik	Gefühl

Proband 10

Nr.	Wichtige Aussagen des Probanden	Hinweis	Audiostelle	Kernkategorie	Unterkategorie
1	„Also sechs ist halt überragend wegen dem Balken, das ist eigentlich die beste Erfahrung in dem ganzen Spiel finde ich, weil du da wirklich das Gefühl hast, das was passiert.“	zu Station 6 (Brett)	Start: 00:56 Ende: 01:08	positive Aussagen zu passiver Haptik	Gefühl (Brett)
2	„Neun fand ich cool wegen dieser Kiste, ja also eigentlich alles wo du mit Sachen interagierst, das war glaube ich auch der Sinn der ganzen Angelegenheit. Das ist auf jeden Fall gut und macht Spaß.“	zu Station 9 (Kasten)	Start: 01:09 Ende: 01:26	positive Aussagen zu passiver Haptik	Interaktion (Kiste)
3	„Fünf, das war der erste Wurf glaube ich und oben dieses Portal […] ja also hier aus demselben Grund, dieses Schlüssel-Schloss-Prinzip fand ich ziemlich cool.“	zu Station 5 (Schlüssel)	Start: 01:27 Ende: 01:39	positive Aussagen zu passiver Haptik	Interaktion (Schloss)
4	„Ja schon, ich finde man merkt in Bruchteilen von Sekunden, wenn irgendwas nicht zusammenpasst, dann wird mir irgendwie gleich schlecht und alles wird komisch, irgendwas stimmt da halt nicht, merkt das Gehirn halt sofort.“	zur Frage, ob die technischen Fehler die TP aus der Welt gezogen hat	Start: 04:49 Ende: 05:12	Verringerung der Präsenz	technischer Fehler
5	„Ja haptisch auf jeden Fall das Beste, ja ist halt eine neue Erfahrung, dass du in VR auch irgendwas anfasst und das letztendlich was existiert.“	zur Frage, welche Gamemechanik am besten gefallen hat	Start: 06:41 Ende: 06:52	Verstärkung der Präsenz	passive Haptik
6	„Ne, ich war überrascht, erschrocken nicht. Ich hab’s ja vorhin gesagt es wäre cool, wenn auch am Rand hier überall so ein bisschen erhöht wäre, habe ich auch danach verstanden, wie ihr darauf reagiert habt, weil das war ja dann genau das und wo ich es dann gespürt habe, dachte ich oh ok du kannst halt echt mit so einem kleinen Brett voll den Effekt erreichen, also sowas habe ich mir auch am Rand gewünscht überall als wenn die ganze Plattform erhöht wäre […] das hat ja auch ziemlich oft reingepasst, das die Welt so ein bisschen da rauf gemappt ist. Ja erschrocken nicht, ich habe es eher gefeiert.“	zur Frage, ob die TP erschrocken ist Widerstand bei den haptischen Elementen zu spüren	Start: 12:58 Ende: 13:31	Verstärkung der Präsenz	passive Haptik

7	„Ne, ne, ne, das war voll gut.“	zur Frage, ob die haptischen Elemente die TP aus der Welt gerissen haben	Start: 13:34 Ende: 14:08	Verstärkung der Präsenz	passive Haptik
8	„Ja, auf jeden Fall.“	zur Frage, ob die haptischen Elemente die Präsenz verstärkt haben	Start: 14:14 Ende: 14:15	Verstärkung der Präsenz	passive Haptik

Mobile-Adaption: Steuerung eines Spiels per Touch-Gesten und Tastatur im Vergleich

Axel Braun
ab206@hdm-stuttgart.de
Hochschule der Medien
Nobelstraße 10, 70569 Stuttgart, Deutschland

ABSTRACT

Das vorliegende Paper vergleicht die Steuerung des Spiels *IKO - Shadow Of The Forest* anhand von Touch-Gesten an einem Android-Smartphone mit der Steuerung desselben Spiels per Tastatur an einem Computer. Das Spiel wurde rein für den Computer mit der Tastatur als Steuerung entwickelt. Anschließend fand eine Adaption der Steuerung für mobile Geräte mit Touchscreen statt, ohne Einfluss auf die Spielmechanik oder Ästhetik zu nehmen. In einem Experiment spielten die Teilnehmer das Spiel auf beiden Plattformen. Dabei wurde die Anzahl der Tode sowie die Zeit für das Durchspielen festgehalten. Im Verlauf des Experiments füllten die Teilnehmer Fragebögen aus, die das Empfinden hinsichtlich der Steuerung festhielten. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Steuerung per Tastatur den Spieler deutlich bessere Leistungen erzielen ließ. Genauer betrachtet, war die Sterberate beim Spielen am Smartphone um 127 Prozent höher als am Computer, während die Zeit für das Durchspielen am Computer um 81 Prozent schneller war. Es wird empfohlen, dass Game Designer bei der Adaption eines Spiels für mobile Geräte mit Touchscreen in Erwähnung ziehen sollten das Spiel nicht nur hinsichtlich der Steuerung sondern auch bezüglich anderer Spielmechaniken anzupassen.

CCS Concepts

•**Human-centered computing** → **Mobile devices;**
•**Hardware** → *Touch screens;*
•**Applied computing** → *Computer games;*

Keywords

Touchscreen; Tastatur; Steuerung; Touch-Gesten; Adaption; Mobile Gaming; Computerspiel

1. EINLEITUNG

Der *Mobile Gaming* Markt ist stetig am wachsen und erweist sich als sehr profitabel [1]. Das erkannte zuletzt auch der Spiele- und Konsolenhersteller *Nintendo* und brach damit seine jahrelange Tradition seine Spiele nicht plattformübergreifend anzubieten [2]. Der erste Schritt von Nintendo zum Mobile Gaming wurde im Juli 2016 mit *Pokémon Go* gewagt, ein standortbezogenes, Augmented-Reality Spiel für Android- und iOS-Geräte. Bis Juli 2017 hatte Pokémon Go 1.2 Milliarden Dollar an Einnahmen generiert und wurde 752 Millionen Mal gedownloadet [3]. Diese Zahlen sprechen für ein lohnenswertes Engagement im Mobile Gaming Bereich für Nintendo. Der nächste Schritt folgte im Dezember 2016 als Nintendo ein Spiel mit seinem populärsten Videospiel-Charakter für iOS und Android (März 2017) veröffentlichte: *Super Mario Run*. Interessant dabei ist, dass die Spielmechanik und Steuerung nicht eins zu eins von den bisherigen *Super Mario* Spielen übernommen wurde, wie es beispielsweise zuvor die Super Mario Klone *Super Jabber Jump* oder *Lep's World* taten. Stattdessen entschied sich Nintendo Super Mario Run als ein Auto-Runner-Game zu entwickeln. Das bedeutet, *Mario* bewegt sich von selbst und überwindet automatisch kleinere Hindernisse und Abgründe. Der Spieler muss lediglich aktiv werden, um Mario mit einem *Tap* springen zu lassen, damit er zum Beispiel Münzen einsammelt oder größere Abgründe überspringt. Nintendo entschied sich bewusst dafür von der etablierten Steuerung und Spielmechanik aus den bisherigen Super Mario Spielen abzuweichen, da sie das automatische Laufen von Mario als beste Art empfanden, Super Mario auf mobile Touchscreen-Geräte zu bringen [4].

Dass die Steuerung von Mobile Games ein interessanter Untersuchungsgegenstand darstellt, belegt unter anderem eine in Deutschland erhobene Statistik von 2016, die den Titel „Was würden Sie sich in Zukunft in Bezug auf das Thema mobiles Gaming wünschen?“ trägt. Daraus geht hervor, dass sich die meisten Menschen weniger Werbung in den Spielen wünschen oder günstigere Preise für diese. Der erste genannte Aspekt, welcher sich jedoch auf das Spiel an sich bezieht, ist der, dass sich jeder dritte Befragte eine bessere Bedienung wünscht. Ein weiterer Punkt der den Stellenwert der Steuerung bestärkt, ist folgender: 34 Prozent der Befragten wünschen sich bekannte Computer- und Konsolenspiele auf mobilen Geräten [5]. Mit dieser Aussage werden Spiele adressiert, welche bereits auf anderen Plattformen vorhanden sind und die eine etablierte Steuerung sowie Spielmechanik vorweisen.

Nintendo hat sich bei Super Mario Run für eine Veränderung der etablierten Spielmechanik und Steuerung entschieden. Welchen Einfluss lediglich eine Adaption der Steuerung auf die im Spiel erbrachten Leistungen hat, versucht dieses Paper zu ermitteln.

1.1 Theoretischer Hintergrund

1.1.1 Forschung

Spätestens seit der veröffentlich des *iPhones* im Jahr 2007 sind Touch-Gesten ein integraler Bestandteil mobiler Geräte mit Touchscreen. *Touch* als Bedienkonzept und Interaktionsmethode wurde daher bereits eingehend untersucht [6]

[7]. Ein Vergleich von Touch-Gesten mit anderen Eingabesystemen ist in der Literatur seltener anzutreffen und daher umso wichtiger zu erwähnen.

Moser und Tscheligi [8] verglichen Touch-Gesten auf einem mobilen Gerät mit der Bedienung per *Leap Motion* anhand des Spiels *Cut the Rope* in einer Studie. Daraus ging hervor, dass die Teilnehmer das Spiel mit Touch-Gesten mehr genossen als mit Leap Motion. Vor allem Probleme mit der Genauigkeit und Erkennung der Gesten wurden bei Leap Motion bemängelt.
Mit einem Vergleich zwischen mobilen Geräten mit Touchscreen und Computern befassten sich Adepu und Adler [9], indem sie das Spiel *Hangman*, zu deutsch *Galgenmännchen*, an einem Computer und auf einem Smartphone spielen ließen. Sie beobachteten während des Experiments, dass die Teilnehmer im Umgang mit dem Spiel am Computer schneller und effektiver waren als auf dem Smartphone. Nichtsdestotrotz würden die Teilnehmer der Studie das Spiel lieber auf einem Smartphone als auf einem Computer spielen. Dies ging aus einem Fragebogen hervor, der am Ende des Experiments von den Teilnehmern ausgefüllt wurde.
Wie es sich mit einem komplexeren Spiel verhält, untersuchten Zaman, Natapov und Teather [10]. In ihrer Studie verglichen sie das Spiel *Assassin's Creed: Altair's Chronicles* auf dem *iPhone 3G* und dem *Nintendo DS*. Die im Spiel erbrachten Leistungen, wie beispielsweise die Dauer für das Abschließen eines Levels, waren beim iPhone 3G im Vergleich zum Nintendo DS deutlich schlechter. Sie verbesserten sich mit der Zeit durch Übung, doch erreichten nie die Leistung, welche die Teilnehmer des Experiments auf dem Nintendo DS mit seiner physisch greifbaren Steuerung erbrachten. Erwähnt sei hierbei, dass das Spiel Assassin's Creed: Altair's Chronicles auf dem iPhone 3G per virtuellem Controller (siehe nachfolgendes Unterkapitel) bedient wurde. Ob das Ergebnis der Studie auch auf die Steuerung anhand von Touch-Gesten zutrifft, versucht dieses Paper herauszufinden.

1.1.2 Adaptionsmöglichkeiten

Im folgenden sollen mehrere Möglichkeiten der Adaption eines Computerspiels für mobile Geräte mit Touchscreen aufgezeigt und betrachtet werden, für welche Möglichkeit sich bei der Adaption von IKO – Shadow Of The Forest entschieden wurde.

Eine Möglichkeit besteht im Anschließen einer Tastatur und/oder Maus am Touchscreen-Gerät per Bluetooth, NFC oder kabelgebunden über USB. Dadurch wird das Spiel jedoch wieder per Tastatur gesteuert und nicht anahand des Touchscreens. Daher wurde diese Möglichkeit der Adaption nicht weiter beachtet.
Streaming stellt eine weitere Alternative dar. Dazu wird ein Computer als Client und eine App auf einem mobilen Gerät benötigt. Per WLAN wird dann der Bildschirminhalt des Computers auf das Tablet oder Smartphone gestreamt und der Spieler kann ungebunden an jedem beliebigen Ort das Computerspiel spielen. Zusätzlich bietet die App auf dem mobilen Gerät einen benutzerdefinierten virtuellen Controller an, wie er im nachfolgenden Abschnitt beschrieben wird. Statt diesem virtuellen Controller gibt es auch die Möglichkeit, wie zuvor erwähnt, eine Tastatur oder Maus anzuschließen und über diese am mobilen Gerät zu spielen [11].
Bei einer Steuerung anhand eines virtuellen Controllers wird auf dem Touchscreen eines mobilen Geräts die physische Steuerung des Spiels mit virtuellen Knöpfen simuliert. Beim Spiel *Assassin's Creed Identity* [12] in Abbildung 1 gibt es zum Beispiel in der unteren linken Hälfte einen virtuellen Joystick, analog zu einem Controller einer Spielekonsole. Der Daumen wird auf die weiße, kreisrunde Fläche des Touchscreens gelegt und ohne loszulassen bewegt sich der Spielcharakter in die entsprechende Bewegungsrichtung des Daumens auf dem Touchscreen. Am unteren rechten Bildschirmrand sind weitere virtuelle Knöpfe angebracht, welche die Spielfigur interagieren lassen, wie beispielsweise springen oder attackieren. Unter Game-Designern [13] wird der Ansatz

Abbildung 1: Virtueller Controller im Spiel Assassin's Creed Identity

des virtuellen Controllers zumeist negativ betrachtet, da ein bereits vorhandenes Bedienschema einer anderen Plattform nachgeahmt und nicht die Eigenheiten von Touchscreens für das Spiel genutzt wird. Darüber hinaus wird beim Spielen viel von der Bildschirmfläche mit den Fingern verdeckt, da der virtuelle Controller einen Großteil des Touchscreens einnimmt. Ein weiterer Punkt der gegen die Verwendung von einem virtuellen Controller spricht, ist der, dass eine doppelte Barriere erzeugt wird. Ein physischer Controller einer Spielekonsole bildet in der Hinsicht eine Barriere, indem er ein Übertragungsmedium zwischen Spieler und Spielcharakter darstellt. Der Charakter kann nur über dieses physische Objekt gesteuert werden. Bei einem Touchscreen gibt es zwar immer noch eine Barriere, diese ist jedoch bereits geringer als bei einem Controller. Der Spieler kann Objekte des Spiels direkt mit seinen Fingern manipulieren. Trotzdem sind diese Objekte nicht greifbar, sondern fühlen sich kalt und gläsern an. Wird nun ein virtueller Controller verwendet, addieren sich beide Barrieren. Der Spieler verwendet einen (virtuellen) Controller, der physisch nicht vorhanden ist und manipuliert damit eine Eingabe, welche die Spielwelt manipuliert [14]. Aufgrund dieser negativ behafteten Aspekte, wurde sich für eine Steuerung des Spiels IKO – Shadow Of The Forest per Touch-Gesten entschieden.
Bei einer Steuerung durch Touch-Gesten wird der Spielcharakter durch Fingerbewegungen auf dem Touchscreen des mobilen Geräts bewegt. Der Spieler kann dabei auf Gesten zurückgreifen, die er bereits von der Bedienung eines Smartphones oder Tablets her kennt, wie zum Beispiel ein Tap, *vertikaler Swipe* oder *horizontaler Swipe*. Diese Art der Steuerung wurde für die Adaption des Spiels IKO – Shadow Of The Forest für mobile Touchscreen-Geräte gewählt. Zum einen verdeckt bei Touch-Gesten kein virtueller Controller die Spielwelt, welche ein wesentlicher Bestandteil des Spiels

ist. Desweiteren sind dadurch präzisere Eingaben möglich, da der gesamte Touchscreen als Eingabe verwendet werden kann und nicht nur verhältnismäßig kleine virtuelle Knöpfe auf diesem. Ein weiterer Punkt, der für die Verwendung von Touch-Gesten spricht, ist die Eigenheit, welche der Touchscreen bietet. Das Spiel kann direkt mit den Fingern manipuliert werden und stellt damit, wie bereits zuvor erwähnt eine geringere Barriere zwischen Spieler und Spielcharakter dar.

1.2 IKO - Shadow Of The Forest

Das Spiel IKO – Shadow Of The Forest ist ein 2D-Puzzle-Plattformer der im Rahmen der Vorlesung *Game Design* an der *Hochschule der Medien Stuttgart* als Prototyp mit *Unity3D* entwickelt wurde. Das Spiel handelt von *IKO*, einem Waldwesen das von seinem Schatten getrennt wurde und ohne den sein Leben unvollständig ist. Um IKO wieder mit seinem Schatten zu vereinen, müssen magische Kristalle in einem verwunschenen Wald aktiviert werden, welche die Schattenwelt mit der hellen Welt verbinden. IKO und sein Schatten müssen sich dabei sowohl in der hellen Welt als auch in der Schattenwelt verschiedenen Aufgaben stellen. Sind alle Kristalle aktiviert, wird IKO wieder mit seinem Schatten vereint.

Die Zielplattform, für welche das Spiel entwickelt wurde,

Abbildung 2: Screenshot aus dem Spiel IKO - Shadow Of The Forest

war der Computer mit einer Tatstatur als Eingabegerät. Erst nach Abschluss der Entwicklung des Prototyps wurde das Spiel im Nachhinein für mobile Geräte mit Touchscreen adaptiert. Die Adaption fand jedoch nur hinsichtlich der Steuerung des Spielcharakters statt, alle anderen Elemente, wie beispielsweise die Spielmechanik oder Ästhetik, blieben von dieser Adaption unbeeinflusst.

In Tabelle 1 wurden alle Interaktionen des Spielcharakters identifiziert sowie aufgelistet, wie diese für den Computer umgesetzt und für den Touchscreen adaptiert wurden. Unter dem Ausdruck *swipe... and hold* wird ein Swipe in eine horizontale Richtung verstanden, doch statt den Finger vom Touchscreen zu nehmen, verweilt dieser so lange auf dem Touchscreen, wie der Spielcharakter in die entsprechende Richtung laufen soll. Zugleich kann ein Tap mit einem zweiten Finger erfolgen, sodass der Spielcharakter aus der Bewegung in die Richtung des Swipes springt und anschließend weiterläuft. Die Kombination mehrerer Interaktionen (laufen und springen) entspricht damit der Möglichkeit, die auch das Spiel bei einer Steuerung per Tastatur anbietet.

Tabelle 1: Interaktionen im Spiel IKO - Shadow Of The Forest

	Tastatur	**Touch-Gesten**
nach links laufen	Taste A	swipe left and hold
nach rechts laufen	Taste D	swipe right and hold
springen	Taste W	tap
Auswahl (Objekte)	Taste E	swipe down

2. METHODIK

Die Evaluation fand an der Hochschule der Medien Stuttgart statt und hatte das Ziel, die Steuerung des Spiels IKO - Shadow Of The Forest per Touch-Gesten und Tastatur zu vergleichen. Daher wurden zum einen die im Spiel erbrachten Leistungen gemessen und zum anderen Fragebögen ausgewertet, welche die Teilnehmer während und am Ende des Experiments ausfüllten. Die Forschungsfrage lautete: Ist es möglich, dass lediglich durch eine Adaption der Steuerung von Tastatur zu Touch-Gesten und ohne sonstigen Eingriff in das Spiel, der Spieler gleiche oder sogar bessere Leistungen im Spiel erreicht?

2.1 Teilnehmer

An der Evaluation nahmen 8 Personen (2 weiblich, 6 männlich) im Alter von 20 bis 28 Jahren (Durchschnittsalter 25,4 Jahre) teil. Vor Beginn des Experiments füllten die Teilnehmer einen Fragebogen aus, der Bezug auf soziodemografische Daten und Vorerfahrung im Bereich *Gaming* nahm. Speziell wurde abgefragt, wie oft der Teilnehmer Spiele auf dem Smartphone oder Tablet sowie dem Computer spielt und welche Spiele dies sind. Die Antwortmöglichkeiten lauteten: täglich, mindestens einmal in der Woche, mindestens einmal im Monat und nie.

Insgesamt spielten vier Teilnehmer mindestens einmal im Monat ein Spiel auf dem Smartphone oder Tablet, der Rest hat auf dieser Plattform noch nie ein Spiel gespielt. Am Computer sah die Verteilung wie folgt aus: ein Teilnehmer spielt täglich am Computer, zwei einmal in der Woche, weitere zwei einmal im Monat und drei haben noch nie am Computer gespielt. Die Vorerfahrung der Teilnehmer beim Spielen am Computer ist demnach eher gering, aber dennoch größer als auf dem Smartphone oder Tablet.

2.2 Geräte

Für die Steuerung per Touch-Gesten wurde das Android-Smartphone *Lenovo Moto G4 Play* (5 Zoll, Snapdragon 410, 2 GB) verwendet. Das Moto G4 Play besitzt keine physischen Eingabemethoden, die Eingabe erfolgt daher lediglich anhand eines multitouchfähigen Touchscreens und eines Beschleunigungssensors. Als Computer stand den Teilnehmern ein *Acer V 15 Nitro* (15,6 Zoll, i5-4210, 8 GB, NVIDIA GeForce 840) mit einer externen Tastatur zur Verfügung.

2.3 Ablauf

Zuerst erhielten die Teilnehmer der Evaluation eine Aufklärung über den Zweck des Experiments. Danach wurde ihre Zustimmung zur Teilnahme in Form einer Einverständniserklärung eingeholt und anschließend füllten sie den zuvor erwähnten soziodemografischen Fragebogen aus. Die Aufgabe der Teilnehmer bestand darin, das Spiel IKO – Shadow Of

The Forest schnellstmöglich durchzuspielen und dabei so wenig wie möglich zu sterben. Die Tode während des Spielens wurden dabei manuell mitgezählt und die Zeitdauer für das Durchspielen mit einer Stoppuhr erfasst. Die Zeiterfassung begann und endete nur im Zeitraum, indem die Teilnehmer die Kontrolle über den Spielcharakter hatten. Daher wurde der Vor- und Abspann des Spiels nicht in die Zeiterfassung miteinbezogen. Das Spielen von allen Teilnehmern sowohl am Smartphone als auch am Computer wurde durch eine Screen-Capturing-Software aufgenommen.

Um den Einfluss eines asymetrischen Lerneffekts zu verhindern, wurden die Teilnehmer des Experiments zufällig in zwei Gruppen eingeteilt. Die erste Gruppe begann damit das Spiel per Touch-Gesten auf dem Smartphone zu spielen. Nachdem das Spiel beendet wurde, füllten sie einen Fragebogen zur Steuerung aus. Als nächsten spielten sie das Spiel am Computer per Tastatur und füllten anschließend nochmals denselben Fragebogen aus, aber dieses mal in Bezug auf die Tastatur. Derselbe Prozess wiederholte sich für die zweite Gruppe, wie Abbildung 3 aufzeigt, einzig mit dem Unterschied, dass diese mit dem Computer begonnen und anschließend das Spiel auf dem Smartphone spielten. Unabhängig von der Gruppe, füllten alle Teilnehmer am Ende des Experiments einen weiteren kurzen Fragebogen aus, der Aufschluss darüber geben sollte, welches der beiden Gerät sie zum Spielen des Spiels vorziehen.

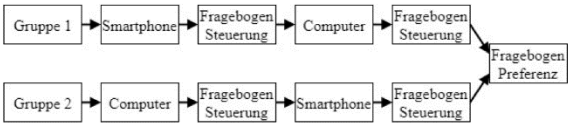


Abbildung 3: Ablauf des Experiments

3. ERGEBNISSE

3.1 Tode

Zuerst wird die Anzahl der Tode auf beiden Plattformen betrachtet. Der Spielcharakter konnte sterben, wenn er mit Stacheln in Berührung kam, die über das ganze Spiel verteilt waren. Um im Spiel fortzuschreiten, musste eine Vielzahl dieser Stachel übersprungen werden.

Die durchschnittliche Anzahl der Tode ist in Abbildung 4 dargestellt. Beim Spielen per Touch-Gesten waren es 8,5 Tode. Damit ist dieser Wert um 127 Prozent höher als beim Spielen am Computer per Tastatur mit 3,75 Tode im Durchschnitt. Die Teilnehmer starben demnach im Schnitt mehr als doppelt so oft am Smartphone als am Computer.
Es ist deutlich zu sehen, dass die Art der Steuerung einen großen Einfluss auf die Fähigkeit der Teilnehmer hatte, den Spielcharakter zu kontrollieren und ihn vor Berührungen mit den Stacheln zu bewahren.
Beobachtungen während des Experiments zeigten, dass die Teilnehmer bei der Steuerung per Touch-Gesten insbesondere an den ersten Stacheln häufig starben. Im Verlauf des Spiels nahm die Anzahl der Tode ab. Dem Anschein nach durchliefen die Teilnehmer einen Lernprozess bei dem sie zu Beginn schlecht mit der Steuerung zurecht kamen, dies nach einer Eingewöhungsphase dann jedoch besser wurde.

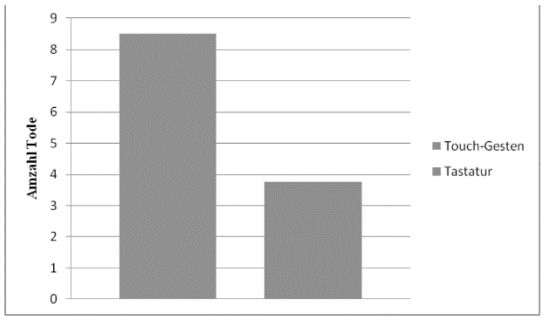


Abbildung 4: Durchschnittliche Anzahl der Tode

3.2 Zeit

Im Idealfall wäre die Zeiterfassung unabhängig von der Anzahl der Tode und würde daher nur die Zeit für das Durchspielen des Spiels widerspiegeln. Daher stieg der Spielcharakter nachdem er gestorben ist sogleich wieder ins Spiel ein. Dieser Wiedereinstieg war nur an bestimmten Punkten im Spiel möglich. In vielen Fällen befand sich der Wiedereinstiegspunkt recht nahe am Sterbeort des Spielcharakters, sodass der Tod (fast) keinen Einfluss auf die Spieldauer hatte. Starb der Spielcharakter jedoch weiter entfernt von einem Wiedereinstiegspunkt, hatte dies eine Verlängerung der Spieldauer zur Folge, da der Teilnehmer Teile des Spiels nochmals spielen musste. Aufgrund dessen hatte die Anzahl der Tode einen unterschiedlichen Einfluss auf die Spieldauer.

Die durchschnittliche Zeit für das Durchspielen des Spiels ist in Abbildung 5 veranschaulicht. An der Tastatur betrug die Zeit 12 Minuten und 14 Sekunden. Diese war damit um 81 Prozent schneller als die durchschnittliche Zeit von 22 Minuten und 12 Sekunden bei der Steuerung per Touch-Gesten. Folglich spielten die Teilnehmer das Spiel am Computer fast doppelt so schnell durch wie am Smartphone.

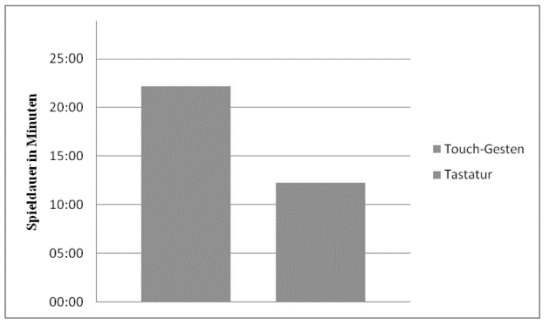


Abbildung 5: Durchschnittliche Dauer für das Durchspielen des Spiels

3.3 Fragebögen

Nachdem die Teilnehmer des Experiments das Spiel IKO – Shadow Of The Forest am Computer beziehungsweise am Smartphone gespielt hatten, erhielten sie einen Fragebogen hinsichtlich der Steuerung. Dieser war in vier Kategorien unterteilt: Kontrolle, Spaß, Immersion und Effizienz. Jede

Kategorie enthielt eine Frage, die anhand einer Ratingskala mit sieben Werten (-3 der schlechteste, +3 der beste) beantwortet werden konnten. Derselbe Fragebogen wurde den Teilnehmern nach dem Spielen an der zweiten Plattform vorgelegt.

Die Auswertung erfolgte, indem die Antwortwerte in eine Skala von 0 (schlecht) bis 6 (gut) umgerechnet und anschließend der Durchschnitt ermittelt wurde. Das Ergebnis ist in Tabelle 2 zu sehen und wird in einem Diagramm in Abbildung 6 veranschaulicht.

Tabelle 2: Auswertungsergebnisse der Fragebögen

	Touch-Gesten	Tastatur
Kontrolle	2,6	5
Spaß	2,9	4
Immersion	2,9	3,9
Effizienz	2,9	5,1

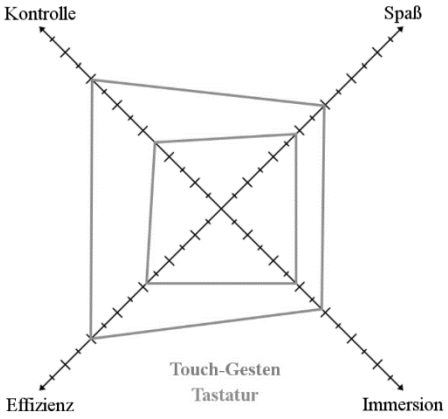


Abbildung 6: Veranschaulichung der Auswertungsergebnisse der Fragebögen

Die Steuerung per Tastatur schneidet in jeder Kategorie besser ab als die Steuerung per Touch-Gesten. Insbesondere bei Kontrolle und Effizienz ist ein deutlicher Unterschied zu erkennen, wohingegen im Vergleich dazu die Werte bei Spaß und Immersion nicht derart gravierend auseinandergehen.

Das Ergebnis des Fragebogens, welches der beiden Geräte die Teilnehmer zum Spielen des Spiels vorziehen, war wie folgt: 6 Teilnehmer präferieren den Computer und nur 2 das Smartphone.

4. DISKUSSION

Das Experiment besitzt eine kleine Einschränkung. Beim Spielen per Touch-Gesten war ein geringer *Input Lag* vorhanden, sodass der Spielcharakter mit einer minimalen Verzögerung die gewünschte Interaktion ausführte. Geschuldet war dieser Input Lag dem Umstand, dass das Spiel sehr hochauflösende Grafiken verwendet und zugleich eine Screen-Capturing-App im Hintergrund lief. Dadurch geriet das Smartphone an seine Leistungsgrenze. Obwohl diese Unstimmigkeiten vorhanden waren und das Spielen auf dem Smartphone dadurch geringfügig beeinträchtigt wurde, können sie dennoch nicht als der Grund für den gravierenden Leistungsunterschied in der Anzahl der Tode und der Dauer für das Durchspielen erachtet werden. Daher ist davon auszugehen, dass die Art der Steuerung die Ursache für den Unterschied war.

Wie bereits in Unterkapitel 3.2 beschrieben, macht es das Problem mit dem Wiedereinstiegspunkt in das Spiel schwierig die Zeiten für das Durchspielen zu vergleichen. Gerade wenn der Spielcharakter oft gestorben ist, was bei der Steuerung per Touch-Gesten sehr viel häufiger vorkam als bei der Steuerung per Tastatur, wird es problematisch die Spieldauer als maßgeblichen Vergleichswert zu nehmen. Werden nur die Zeiten der Teilnehmer (in diesem Fall 4) betrachtet, deren Tode sich am Smartphone und am Computer maximal um 3 unterscheiden, ist die Steuerung per Tastatur im Schnitt immer noch um 30 Prozent schneller als die Steuerung per Touch-Gesten. Unter Vorbehalt ist dieser Wert dennoch ein Indiz dafür, dass die Teilnehmer mit dem Spielen am Computer besser zurecht kamen als am Smartphone.

Einen eindeutigeren Beweis liefert die Anzahl der Tode beim Spielen. Hier ist klar ersichtlich, dass die Spieler bei der Steuerung per Tastatur bessere Leistungen erzielten als per Touch-Gesten. Eine Erklärung dafür ist, dass für bestimmte Sprünge im Spiel eine Feinjustierung des Spielcharakters von Nöten war und sich diese schwieriger am Smartphone als an der Tastatur gestalteten. Demnach war eine präzisere Steuerung des Spielcharakters am Computer möglich.
Ein ähnliches Bild spiegelt die Auswertung der Fragebögen wider. Auch hier liegt die Steuerung per Touch-Gesten in allen Bereich im Vergleich zur Tastatur zurück.

Die Evaluation in ihrer Gesamtheit betrachtet, lässt die Folgerung zu, dass eine reine Adaption der Steuerung, von Tastatur zu Touch-Gesten, eine deutliche Verschlechterung hinsichtlich der im Spiel erbrachten Leistungen und der Wahrnehmung der Teilnehmer bewirkte.

5. FAZIT

Früher durchgeführte Studien kamen bereits zu dem Ergebnis, dass der Touchscreen als Eingabesystem im Vergleich zu anderen Eingabesystemen mit taktiler Rückmeldung schlechter abschneidet [9] [10]. Das Ziel des vorliegenden Papers war es herauszufinden, ob dieser Befund auch auf die Steuerung eines Spiels per Touch-Gesten im Vergleich zur Steuerung per Tastatur zutrifft. Dieser Befund konnte mit Hilfe von quantitativer und qualitativer Verfahren anhand des Spiels IKO – Shadow Of The Forest bestätigt werden. Die Auswertung der Evaluation ergab, dass die Steuerung per Touch-Gesten in allen Bereichen der Steuerung per Tastatur unterlegen war.

Schlussfolgernd sollten es Game Designer bei der Adaption eines Spiels mit etablierter Steuerung und Spielmechanik auf mobile Touchscreen-Geräte in Erwägung ziehen, nicht nur die Steuerung anzupassen, sondern Änderungen am kompletten Spiel vorzunehmen, um damit möglicherweise einen ähnlichen Weg einzuschlagen, wie es Nintendo mit Super Mario Run tat.

[1] Statista: *Digital Market Outlook - Mobile Games*. https://de.statista.com/outlook/211/100/mobile-games/weltweit#marketStudy. Version: 2017. – Stand 23.09.2017

[2] Makuch, Eddie: *Nintendo explains why Mario won't come to smartphones*. https://www.gamespot.com/articles/nintendo-explains-why-mario-wont-come-to-smartphones/1100-6410004/. Version: 2013. – Stand 23.09.2017

[3] McAloon, Alissa: *Pokemon Go surpasses $1.2 billion in revenue*. https://www.gamasutra.com/view/news/301033/Pokemon_Go_surpasses_12_billion_in_revenue.php. Version: 2017. – Stand 23.09.2017

[4] Eadicicco, Lisa: *Shigeru Miyamoto Explains Nintendo's New iPhone Game*. http://time.com/4594652/super-mario-run-shigeru-miyamoto-interview. Version: 2016. – Stand 23.09.2017

[5] Statista: *Was würden Sie sich in Zukunft in Bezug auf das Thema "mobiles Gaming"wünschen?* https://de.statista.com/statistik/daten/studie/684600/umfrage/umfrage-zu-wuenschen-in-bezug-auf-das-thema/mobiles-gaming-in-deutschland/. Version: 2017. – Stand 23.09.2017

[6] Schlegel, T. (Hrsg.): *Multi-Touch. Interaktion durch Berührung*. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2013

[7] Wigdor, Daniel ; Wixon, Dennis: *Brave NUI World. Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture*. San Francisco, CA, USA : Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2011

[8] Moser, Christiane ; Tscheligi, Manfred: Physics-based Gaming: Exploring Touch vs. Mid-Air Gesture Input. In: *Proceedings of the 14th International Conference on Interaction Design and Children*. New York, NY, USA : ACM, 2015 (IDC '15), S. 291–294

[9] Adepu, S. ; Adler, R. F.: A Comparison of Performance and Preference on Mobile Devices vs. Desktop Computers. In: *2016 IEEE 7th Annual Ubiquitous Computing, Electronics Mobile Communication Conference (UEMCON)*. New York, NY, USA : IEEE, 2016, S. 1–7

[10] Zaman, Loutfouz ; Natapov, Daniel ; Teather, Robert J.: Touchscreens vs. Traditional Controllers in Handheld Gaming. In: *Proceedings of the International Academic Conference on the Future of Game Design and Technology*. New York, NY, USA : ACM, 2010 (Futureplay '10), S. 183–190

[11] RemoteApp: *Features*. http://remotrapp.com/en/features. Version: o. J.. – Stand 23.09.2017

[12] Ubisoft: *Assassin's Creed Identity*. [Android, iOS], 2014

[13] Alexander, Leigh: *Designing better controls for the touchscreen experience*. https://www.gamasutra.com/view/news/205434/Designing_better_controls_for_the_touchscreen_experience.php. Version: 2013. – Stand 23.09.2017

[14] Freeland, Muir: *Virtual Buttons Are Holding Mobile* MuirFreeland/20120924/178183/Virtual_Buttons_Are_Holding_Mobile_Games_Back.php. Version: 2012. – Stand 23.09.2017