

# Bachelor

# Thesis

Konzeption und Evaluation von  
Benutzerkonditionierung  
in Virtual Reality

<b>Autor</b>	Robert Zlomke
<b>Studiengang</b>	Angewandte Informatik Hochschule Heilbronn
<b>Matrikel-Nr.</b>	193045
<b>Abgabe</b>	13.12.2021
<b>Referent</b>	Prof. Dr.-Ing. Gerrit Meixner
<b>Korreferent:</b>	Philip Schäfer

## **I. Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Bachelorarbeit unterstützt haben.

Mein größter Dank geht an Herr M.Sc. Philip Schäfer, der mich bei meiner Bachelorarbeit betreut hat und zu jeder Zeit ein offenes Ohr für mich hatte.

Ebenso Dank ich den Teilnehmern und Teilnehmerinnen meiner Studie, ihrem großen Interesse und Spaß während der Durchführung und ihren interessanten und wertvollen Antworten auf meine Fragen.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mir mein Studium durch ihre Unterstützung erst ermöglicht haben.

Robert Zlomke

## **II. Abstract**

Virtual Reality ist noch ein sehr junges Gebiet und die Wissenschaft steht noch am Anfang. Zeitgleich hat sich die Technologie der VR immer weiter verbessert und der Einzug des Gebrauchs in privaten Haushalten hat begonnen. Die Fortbewegung in der virtuellen Welt ist einer der bedeutsamsten Bereiche und die Erkundung zu Fuß ist die realistischste und natürlichste Methode, jedoch ist die Art dieser Fortbewegung auch technisch am anspruchsvollsten. Durch den begrenzen physischen Raum im privaten Haushalten ergeben sich dadurch neue Probleme durch mögliche Kollisionen mit Wänden oder Gegenständen. Demnach ist das Ziel der vorliegenden Arbeit zu untersuchen, ob das Bewegungsverhalten der Benutzer von Virtual Reality konditioniert werden kann. Um die Forschungsfrage zu beantworten, werden zunächst der aktuelle Stand der Studienlage von Fortbewegungstechniken untersucht, um ein konkretes Konzept abzuleiten. Durch den Einsatz eines audiovisuellen und taktilen Reizes in einer an die Probanden gestellte Aufgabenstellung, wird die Auswirkung auf die Konditionierung in einer Studie geprüft und evaluiert. Die Ergebnisse zeigen, dass kein signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte. Jedoch zeigen die Aussagen und Freitextantworten einen Effekt des negativen Malus auf die Probanden.

# Inhaltsverzeichnis

<b>I.</b>	<b>Danksagung.....</b>	<b>II</b>
<b>II.</b>	<b>Abstract.....</b>	<b>III</b>
<b>III.</b>	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>IX</b>
<b>IV.</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>XII</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Problemstellung.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2</b>	<b>Zielsetzung .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3</b>	<b>Vorgehensweise .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Technik .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>Virtual Reality .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Technische Charakterisierung.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Immersion.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Präsenz.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2</b>	<b>Fortbewegungstechniken in Virtual Reality .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Natural Walking.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Redirected Walking .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.2.1</b>	<b>Repositionierung.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.2.2</b>	<b>Neuausrichtung .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Walking-In-Place .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.3.1</b>	<b>Physikalische Schnittstellen.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.3.2</b>	<b>Motion Tracking .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Abstrahierte Schnittstellen des Gehens.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.4.1</b>	<b>Joystick .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.4.2</b>	<b>Teleport.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.4.3</b>	<b>Point &amp; Teleport .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2.4.4</b>	<b>Arm basierte Bewegungserfassung.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.4.5</b>	<b>Neigungsbasierte Fortbewegung.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.5</b>	<b>Laufbänder .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>Konditionierung .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Klassische Konditionierung .....</b>	<b>18</b>

2.3.2	<b>Operante Konditionierung</b>	19
2.3.3	<b>Kontextkonditionierung</b>	19
2.3.4	<b>Konditionierung in Virtual Reality</b>	20
2.4	<b>Unity 3D</b>	20
2.5	<b>Oculus Quest</b>	22
2.6	<b>HTC Vive</b>	22
2.6.1	<b>Display</b>	23
2.6.2	<b>Controller</b>	23
2.6.3	<b>Tracking</b>	24
2.6.4	<b>Vive WLAN Adapter</b>	24
3	<b>Umsetzung</b>	26
3.1	<b>Einbindung der Oculus Quest</b>	26
3.1.1	<b>Schnittstelle zwischen PC und Oculus Quest</b>	26
3.1.2	<b>Einbindung in Unity</b>	27
3.1.3	<b>Ausführung der Anwendung</b>	28
3.2	<b>Einbinden der HTC Vive</b>	28
3.2.1	<b>Schnittstelle zwischen PC und SteamVR</b>	28
3.2.2	<b>Einbindung in Unity</b>	29
3.3	<b>Implementierung des Weges</b>	30
3.4	<b>Implementierung der Wegerkennung</b>	31
3.5	<b>Hindernisse</b>	33
3.6	<b>Hintergrundgeräusche</b>	34
3.7	<b>Entwicklung des Malus</b>	34
3.7.1	<b>Erstellen des Canvas</b>	35
3.7.2	<b>Erstellen der Animation</b>	35
3.7.3	<b>Implementierung</b>	37
3.8	<b>Positiver Verstärker</b>	39
3.8.1	<b>Erstellen der UI Elemente</b>	39
3.8.2	<b>Erstellen der Animation</b>	39
3.9	<b>Zentrale Datenspeicherung</b>	40
3.10	<b>Szenarien</b>	41
3.11	<b>Aufgabe der Szenarien</b>	42

<b>3.12</b>	<b>Menü .....</b>	<b>44</b>
<b>3.12.1</b>	<b>Implementierung der UI Elemente.....</b>	<b>44</b>
<b>3.12.2</b>	<b>Funktionalität des Menüs.....</b>	<b>45</b>
<b>3.12.3</b>	<b>Laserpointer mit der Oculus Integration.....</b>	<b>45</b>
<b>3.12.4</b>	<b>Laserpointer mit dem SteamVR Plugin.....</b>	<b>46</b>
<b>4</b>	<b>Evaluation und Auswertung der Ergebnisse.....</b>	<b>47</b>
<b>4.1</b>	<b>Beschreibung des Forschungsgegenstandes.....</b>	<b>47</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Unabhängige Variablen.....</b>	<b>47</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Abhängige Variablen.....</b>	<b>47</b>
<b>4.2</b>	<b>Datenerhebung .....</b>	<b>48</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Quantitative Daten.....</b>	<b>48</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Fragebogen .....</b>	<b>49</b>
<b>4.3</b>	<b>Vorgehensweise .....</b>	<b>51</b>
<b>4.4</b>	<b>Aufbau der Laborumgebung.....</b>	<b>52</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Aufbau des Weges .....</b>	<b>52</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Kalibrierung der HTC Vive .....</b>	<b>52</b>
<b>4.5</b>	<b>Stichprobe .....</b>	<b>52</b>
<b>4.6</b>	<b>Auswertung der Durchläufe.....</b>	<b>53</b>
<b>4.6.1</b>	<b>Deskriptive Datenanalyse .....</b>	<b>53</b>
<b>4.6.2</b>	<b>Test auf Normalverteilung .....</b>	<b>54</b>
<b>4.6.3</b>	<b>Test der Hypothesen .....</b>	<b>55</b>
<b>4.7</b>	<b>Auswertung der statistischen Daten .....</b>	<b>55</b>
<b>4.7.1</b>	<b>Aussage 1: Das Laufen in der VR hat sich für Sie sehr natürlich angefühlt.....</b>	<b>56</b>
<b>4.7.1.1</b>	<b>Baseline 1.....</b>	<b>56</b>
<b>4.7.1.2</b>	<b>Baseline 2.....</b>	<b>56</b>
<b>4.7.1.3</b>	<b>Baseline 3.....</b>	<b>57</b>
<b>4.7.1.4</b>	<b>Szenario 1 .....</b>	<b>58</b>
<b>4.7.1.5</b>	<b>Szenario 2 .....</b>	<b>58</b>
<b>4.7.1.6</b>	<b>Gesamte Wertung der Aussage 1 .....</b>	<b>59</b>
<b>4.7.2</b>	<b>Aussage 2: Sie haben Ihr Denken und Handeln in die VR projiziert.....</b>	<b>59</b>
<b>4.7.2.1</b>	<b>Baseline 1.....</b>	<b>59</b>
<b>4.7.2.2</b>	<b>Baseline 2.....</b>	<b>60</b>

4.7.2.3	Baseline 3.....	61
4.7.2.4	Szenario 1 .....	61
4.7.2.5	Szenario 2 .....	62
4.7.2.6	Gesamte Wertung der Aussage 2.....	63
<b>4.7.3</b>	<b>Aussage 3: Die physische Umgebung war Ihnen sehr bewusst, während Sie in VR waren.</b>	<b>63</b>
4.7.3.1	Baseline 1.....	63
4.7.3.2	Baseline 2.....	64
4.7.3.3	Baseline 3.....	64
4.7.3.4	Szenario 1 .....	65
4.7.3.5	Szenario 2 .....	66
4.7.3.6	Gesamte Wertung der Aussage 3 .....	66
<b>4.7.4</b>	<b>Aussage 4: Das Bewusstsein über die physische Umgebung hat Sie in Ihrer Bewegungsfreiheit beeinflusst.</b>	<b>67</b>
4.7.4.1	Baseline 1.....	67
4.7.4.2	Baseline 2.....	68
4.7.4.3	Baseline 3.....	68
4.7.4.4	Szenario 1 .....	69
4.7.4.5	Szenario 2 .....	70
4.7.4.6	Gesamte Wertung der Aussage 4 .....	70
<b>4.7.5</b>	<b>Aussage 5: Der negative Malus in der virtuellen Umgebung hat Ihren Bewegungsverhalten beeinflusst.....</b>	<b>71</b>
4.7.5.1	Szenario 2 .....	71
<b>4.8</b>	<b>Auswertung der qualitativen Daten.....</b>	<b>71</b>
4.8.1	<b>Frage 10: Was fanden Sie generell besonders positiv?</b> .....	71
4.8.2	<b>Frage 11: Was fanden Sie generell negativ?</b> .....	72
4.8.3	<b>Frage 12: Was genau hat Sie beim negativen Malus beeinflusst?</b> .....	72
4.8.4	<b>Frage 13: Welche konkreten Verbesserungsvorschläge haben Sie im Bereich Malus oder allgemein?</b> .....	72
<b>5</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>73</b>
<b>6</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>75</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>76</b>

<b>8</b>	<b>Eidesstattliche Erklärung .....</b>	<b>82</b>
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>83</b>

### **III. Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1: VR-Markt Umsatzentwicklung [1].....	1
Abb. 2: Verbreitung der VR-Hardware [1] .....	2
Abb. 3: Unterschiede von 3D-Computergraphik und Virtual Reality [5] .....	4
Abb. 4: Eine Taxonomie der Fortbewegungstechniken [3].....	6
Abb. 5: Eine Taxonomie für Umleitungstechniken [3] .....	8
Abb. 6: Redirected Walking [12] .....	10
Abb. 7: Diskreter Szenenwechsel [23] .....	11
Abb. 8: Teleport mit Hilfe des Controllers [30] .....	14
Abb. 9: Point & Teleport Technik basierend auf die Armbewegungen [3].....	15
Abb. 10: Wii-Leaning Technik auf dem Wii Balance Board [37] .....	16
Abb. 11: Sitzende, neigungsisierte Lokomotionstechniken [38].....	17
Abb. 12: Omnidirektionales Laufband Infinadeck (links) und HCP (rechts) [39] .....	18
Abb. 13: Unity Editor Übersicht .....	21
Abb. 14: Oculus Quest mit Controller [50] .....	22
Abb. 15: HTC Vive Pro Komponenten [53] .....	23
Abb. 16: HTC Vive Controller [55] .....	24
Abb. 17: Vive WLAN Adapter Komponenten [59] .....	25
Abb. 18: Gekoppelte Quest in Oculus Link .....	26
Abb. 19: XR Einstellungen in Unity .....	27
Abb. 20: OVRPlayerController.....	28
Abb. 21: Player Prefab .....	29
Abb. 22: Fortbewegung durch Teleport .....	30
Abb. 23: Aufbau des Weges.....	31
Abb. 24: Box Collider für die Wegerkennung .....	32
Abb. 25: HeadCollider Konfiguration.....	32
Abb. 26: Hindernisse.....	33
Abb. 27: Obstacle Monitor Skript .....	34
Abb. 28: Render Modus der Canvas .....	35
Abb. 29: Animation des Images .....	36
Abb. 30: PlayAudio Skript .....	37
Abb. 31: Animator ImageController .....	37
Abb. 32: Malus Animator in Player Skript.....	38
Abb. 33: Aktivierung und Deaktivierung des Malus.....	38
Abb. 34: Animator ImageFinishController .....	40
Abb. 35: Data Recorder Parameter.....	41
Abb. 36: Scenario Objekt .....	41

Abb. 37: Aktivieren und Deaktivieren eines Szenarios.....	42
Abb. 38: Scenario Handler Variablen .....	42
Abb. 39: Objekt mit Halo Hinweis.....	43
Abb. 40: HandCollider Objekt im Player Prefab.....	43
Abb. 41: Startpunkt im Szenario .....	44
Abb. 42: Startpunkt Objekt .....	44
Abb. 43: Menü zum Starten des Szenarios.....	45
Abb. 44: Button Objekt Inspector .....	45
Abb. 45: LaserPointer mit Raycast.....	46
Abb. 46: Fragebogen - Persönliche Daten.....	49
Abb. 47: Fragebogen - Allgemeine Angaben.....	50
Abb. 48: Fragebogen - Beurteilung Szenario .....	50
Abb. 49: Fragebogen - Persönliches Feedback .....	51
Abb. 52: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 1 in Baseline 1.....	56
Abb. 53: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 1 in Baseline 2.....	57
Abb. 54: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 1 in Baseline 3.....	57
Abb. 55: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 1 in Szenario 1 .....	58
Abb. 56: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 1 in Szenario 2 .....	58
Abb. 55: Mittelwerte und Median der Aussage 1.....	59
Abb. 58: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 2 in Baseline 1.....	60
Abb. 59: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 2 in Baseline 2.....	60
Abb. 60: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 2 in Baseline 3.....	61
Abb. 61: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 2 in Szenario 1 .....	61
Abb. 62: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 2 in Szenario 2 .....	62
Abb. 61: Mittelwerte und Median der Aussage 2.....	63
Abb. 64: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 3 in Baseline 1.....	63
Abb. 65: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 3 in Baseline 2.....	64
Abb. 66: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 3 in Baseline 3.....	65
Abb. 67: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 3 in Szenario 1 .....	65
Abb. 68: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 3 in Szenario 2 .....	66
Abb. 67: Mittelwerte und Median der Aussage 3.....	66
Abb. 70: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 4 in Baseline 1.....	67
Abb. 71: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 4 in Baseline 2.....	68
Abb. 72: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 4 in Baseline 3.....	69
Abb. 73: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 4 in Szenario 1 .....	69
Abb. 74: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 4 in Szenario 2 .....	70
Abb. 73: Mittelwerte und Median der Aussage 4.....	70

Abb. 76: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 5 in Szenario 2 ..... 71

Tabelle 1: Übersicht der abhängigen und unabhängigen Variablen.....	47
Tabelle 2: Gebrauchte Zeit (in Sekunden) nach Szenarien .....	53
Tabelle 3: Zeit abseits des Weges (in Sekunden) nach Szenarien.....	53
Tabelle 4: Zeit abseits des Weges prozentual nach Szenarien .....	54
Tabelle 5: Test auf Normalverteilung Ergebnisse.....	55

#### **IV. Abkürzungsverzeichnis**

HMD	Head-Mounted-Display
VR	Virtual Reality

# 1 Einleitung

„VR is a way to escape the real world into something more fantastic. It has the potential to be the most social technology of all time“

Palmer Luckey

Der Bereich der Virtual Reality ist noch sehr jung und befindet sich in einer sehr starken Entwicklung. Dies zeigt sich vor allem in der Umsatzentwicklung in Deutschland, dem zweitgrößten Markt für VR hinter Großbritannien. Abb. 1 zeigt die bisherigen und prognostizierten Umsätze in Deutschland von 2016 bis 2024. Dabei ist ein deutlicher und kontinuierlicher Anstieg in der Vergangenheit zu erkennen. Der durchschnittliche Zuwachs bis heute betrug 47,4 Prozent und das größte Wachstum des Umsatzes war von 2016 bis 2017 mit 95,7 Prozent. Darüber hinaus zeigt die Prognose einen weiteren kontinuierlichen Anstieg von durchschnittlich 19,5 Prozent im Jahr. Der größte Einfluss auf den Anstieg des Umsatzes haben dabei die Kategorie der VR-Games [1].

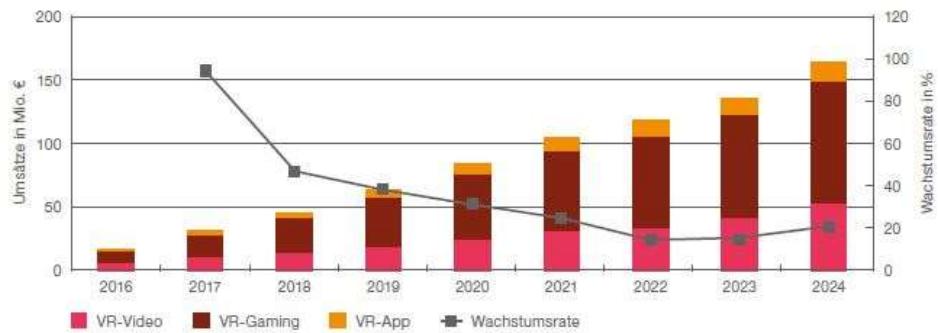
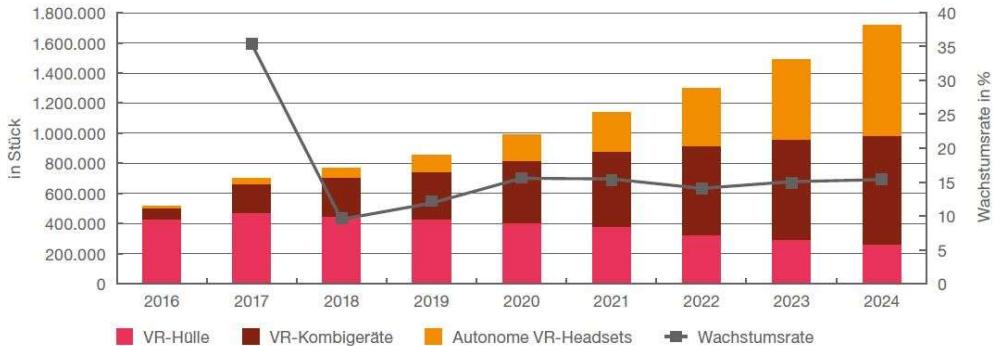


Abb. 1: VR-Markt Umsatzentwicklung [1]

Die Entwicklung von Hardware und Software ist dabei bedeutend. Wie in Abb. 2 zu erkennen, ist eine Trendwende auf leistungsstärkere VR Headsets erkennbar, da Marken wie Samsung und Google die Unterstützung im Gebiet VR einstellen. Bis zum jetzigen Zeitpunkt waren VR-Hüllen 49,8 Prozent am meisten verbreitet. Die Prognose deutet jedoch darauf hin, dass der Rückgang zukünftig bei 9,4 Prozent im Jahr liegt. Dabei werden VR Headsets bis 2024 das größte Wachstum mit einem Marktanteil von 42,9 Prozent haben. Kombigeräte werden ein durchschnittliches jährliches Wachstum von 18,0 Prozent und auf einen Anteil von 42,0 Prozent wachsen. Die Hardware wurde in den Umsätzen der Abb. 1 zwar nicht mitberücksichtigt, geben jedoch Schlussforderungen auf die steigende Beliebtheit von VR Anwendungen [1].

**Abb. 2: Verbreitung der VR-Hardware [1]**

Einer aktuelle Bitkom Studie zufolge steigt das Nutzungsinteresse für VR deutlich an. Nachdem im Jahr 2018 etwa 17 Prozent der Befragten angaben, dass sie zukünftig eine VR-Brille nutzen werden, waren das im Jahr 2019 schon 37 Prozent. Das ist in einem Zeitraum von zwei Jahren mehr als eine Verdoppelung der Interessenten. Ganz vorne in den Einsatzszenarien stehen Computer- und Videospiele mit 79 Prozent [2].

## 1.1 Problemstellung

Virtual Reality ist noch ein sehr junges Gebiet und die Wissenschaft steht noch am Anfang. Die Technologie der Virtual Reality ermöglicht es den Benutzer, komplett in eine virtuelle Umgebung einzutauchen und mit dieser zu interagieren. Einer der bedeutsamsten Bereiche ist die Fortbewegung in der virtuellen Welt. In den letzten Jahren hat sich die Technologie der VR immer weiter verbessert und der Einzug des Gebrauchs in privaten Haushalten hat begonnen. Der Grund ist die kommerzielle Veröffentlichung von VR Hardware wie der Playstation VR, Oculus Go, Quest 1 und 2. Diese ermöglichen eine immersive virtuelle Erfahrung, ohne die Notwendigkeit eines großen Labors oder eines aufwendigen Tracking Systems. [3]. Dabei ist die Erkundung von virtuellen Umgebungen zu Fuß die realistischste und natürlichste Schnittstelle. Zeitgleich ist dies auch technisch und logistisch am anspruchsvollsten. Durch den zumeist kleinen physischen Raum der privaten Haushalte ergeben sich neue Probleme, wie mögliche Kollisionen mit Wänden oder im Raum befindlichen Gegenständen. Deshalb stellt sich die Frage, ob die Benutzer und dessen Bewegungsverhalten konditioniert werden kann.

## 1.2 Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es zu untersuchen, ob das Bewegungsverhalten der Benutzer konditioniert werden kann. Zu diesem Zweck soll zunächst ein Konzept entwickelt werden, wie die Umsetzung der audiovisuellen und taktilen Reize zur Konditionierung realisiert werden soll. Anschließend sollen Szenarien entwickelt werden, worin die Konditionierung stattfinden soll. Ebenso muss eine dafür geeignete Aufgabenstellung entwickelt und umgesetzt werden, welche die Probanden ausführen. Neben der technischen Umsetzung muss ebenso der Prozess der Evaluation festgelegt werden. Vor allem ist der Einsatz von geeigneten Evaluationsmethoden zielgebend. Nach der Durchführung der Studie und der dazugehörigen Datenerhebung sollen die Ergebnisse dargestellt, ausgewertet und interpretiert werden.

### 1.3 Vorgehensweise

Im ersten Teil der Arbeit, der Einleitung, wird die Entwicklung der letzten Jahre, die ansteigende Bedeutsamkeit und eine zukünftige Prognose von Virtual Reality betrachtet. Daraufhin werden die Problemstellung und Zielsetzung beschrieben. Im zweiten Teil wird eine theoretische Basis geschaffen. Es werden die Grundlagen von Virtual Reality, die verschiedenen Fortbewegungstechniken und die Grundlagen der Konditionierung anhand der aktuellen Studienlage präsentiert. Ebenso wird ein technischer Überblick über die Entwicklungsumgebung Unity 3D und den VR-Brillen Oculus Quest und HTC Vive gegeben. Im darauffolgenden Teil, der Umsetzung, wird die technische Umsetzung des Projekts zum Erreichen der zuvor definierten Ziele in einzelnen Schritten erläutert. Zunächst werden die VR-Brillen Oculus Quest und HTC Vive eingebunden, was die Grundvoraussetzung zur Entwicklung darstellt. Daraufhin folgt der bedeutsamste Teil der Umsetzung, die Entwicklung der Szenarien. Dazu gehört die Implementierung der virtuellen Umgebung wie der zu laufende Weg, die Hindernisse und Hintergrundgeräusche. Die Entwicklung der Funktionalität beinhaltet die Wegerkennung, die Implementierung des Malus, die verschiedenen Szenarien und deren Aufgaben, die zentrale Datenspeicherung für die spätere Evaluation und das Menü, über welche die Probanden die Durchläufe starten können. Im vierten Teil werden die Evaluation und die Auswertung der Ergebnisse vorgestellt. Dies beinhaltet die Beschreibung des Forschungsgegenstandes, die Vorgehensweise der Studie, Aufbau der Laborumgebung und wie die Datenerhebung umgesetzt wird. Daraufhin werden die Durchläufe der Studie durch eine anfängliche deskriptive Datenanalyse und darauffolgenden Test der Hypothesen ausgewertet. Darauf folgt die statistische und qualitative Auswertung des Fragebogens. Im vorletzten Teil wird eine Diskussion über die erarbeiteten Ergebnisse dieser Arbeit geführt, indem die Ergebnisse nochmal dargestellt und interpretiert werden. Darauf folgt eine Empfehlung für weiterführende Forschung in diesem Bereich. Im letzten Teil erfolgt das zusammenfassende Fazit der Arbeit.

## 2 Stand der Technik

Wie in Kapitel 1 ersichtlich, liegt der Fokus dieser Arbeit auf die Benutzerkonditionierung in Virtual Reality. Zur Bearbeitung der Problemstellung wird zunächst der Begriff Virtual Reality näher erläutert. Daraufhin werden auf die verschiedenen Fortbewegungstechniken in der VR näher eingegangen. Anschließend werden die Grundlagen der Konditionierung und den Bezug zur VR aufgezeigt. In den letzten drei Unterkapiteln werden die genutzten Werkzeuge Unity 3D, Oculus Quest und HTC Vive und deren Funktionen definiert.

### 2.1 Virtual Reality

Mit Hilfe der Virtual Reality, im Nachfolgenden auch VR genannt, wird die reale Umgebung vollständig durch eine virtuelle Welt ersetzt. Die Umsetzung geschieht dabei heutzutage durch eine spezielle Hardware, meist durch spezielle Brillen, die am Kopf getragen werden [4].

#### 2.1.1 Technische Charakterisierung

Die technologische Charakterisierung beinhaltet grundlegende Unterschiede zur normalen Computergrafik (siehe Abb. 3). Der Hauptunterschied ist, dass beim Benutzer am Kopf angebrachte Display, was im Englischen meistens als Head-Mounted-Display bekannt ist. Durch diese zwei, vor den Augen angebrachten Displays, werden 3D Anwendungen, wie z.B. eine virtuelle Welt angezeigt, die sich den Umgebungen im normal bekannten Spiele Bereich ähnelt. Neben der Anzeige werden zusätzlich noch Sinne wie Audio oder Haptik mit einbezogen, was auch eine typische Charakterisierung von VR ist. Um eine Interaktion mit der virtuellen Welt zu ermöglichen, werden Eingabegeräte, wie Controller genutzt. Durch die Bestimmung der Position und Orientierung, im englischen Tracking genannt, sind natürliche Interaktionen, wie z.B. Zeigen, Greifen oder Werfen möglich. Ebenso werden auch die Position und Orientierung des Nutzers bestimmt, um eine freie Bewegung physischen Raum zu ermöglichen [5].

3D-Computergraphik	Virtuelle Realität
Rein visuelle Präsentation	Multimodale (d. h. mehrere Sinnesmodalitäten ansprechende also z. B. gleichzeitig visuelle, akustische und haptische) Präsentation
Präsentation nicht notwendigerweise zeitkritisch	Echtzeitdarstellung
Betrachterunabhängige Präsentation (exozentrische Perspektive)	Betrachterabhängige Präsentation (egozentrische Perspektive)
Statische Szene oder vorberechnete Animation	Echtzeitinteraktion und -simulation
2D-Interaktion (Maus, Tastatur)	3D-Interaktion (Körperbewegung, Hand-, Kopf- u. Körpertypik) + Spracheingabe
Nicht-immersive Präsentation	Immersive Präsentation

Abb. 3: Unterschiede von 3D-Computergraphik und Virtual Reality [5]

### 2.1.2 Immersion

Ein weiteres bedeutsames Merkmal ist die Erzeugung der Immersion, was den Grad des Eintauchens in die virtuelle Welt verstanden und diese als real empfunden wird. Dies lässt sich über die Einbeziehung möglichst vieler Sinne und durch die Darstellung der virtuellen Umgebung von hoher Qualität, wie einer guten Auflösung des Bildes mit einer hohen Bildwiederholungsrate, erreichen [4] [5] [6].

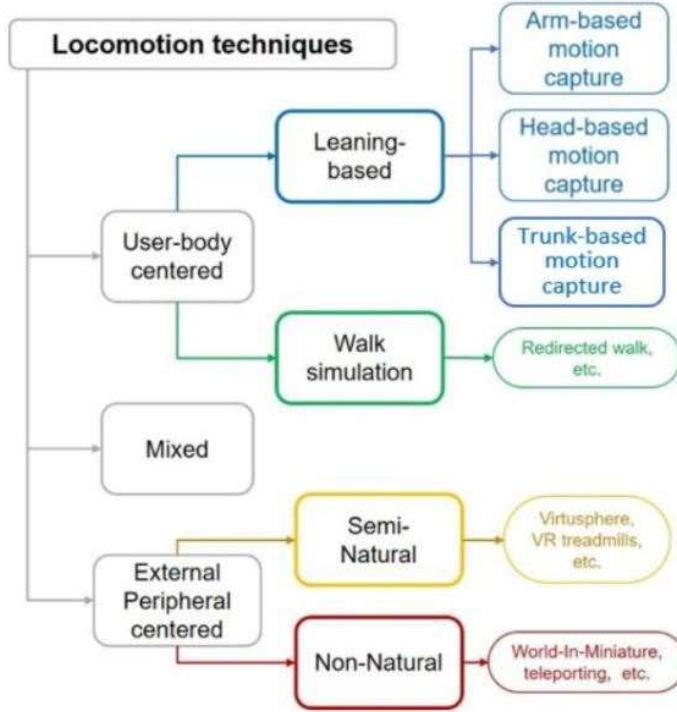
### 2.1.3 Präsenz

Neben der Immersion ist die Präsenz ein weiteres bedeutungsvolles Merkmal von Virtual Reality. Die Präsenz ist eine Beschreibung des Zustands einer Person in Bezug auf die Umgebung. Die Bewertung des subjektiven Empfindens, sich vollkommen in der virtuellen Umgebung zu befinden. Die Verhaltensweisen in der virtuellen Welt sollen den Verhaltensweisen in der realen Welt ähneln oder sogar übereinstimmend sein [5] [4] [6].

## 2.2 Fortbewegungstechniken in Virtual Reality

Die Technologie der Virtual Reality ermöglicht es den Benutzer, komplett in eine virtuelle Umgebung einzutauchen und mit dieser zu interagieren. Einer der bedeutungsvollsten Bereiche ist die Fortbewegung in der virtuellen Welt. In den letzten Jahren hat sich die Technologie der VR immer weiter verbessert und der Einzug des Gebrauchs in privaten Haushalten hat begonnen. Der Grund ist die kommerzielle Veröffentlichung von VR Hardware wie der Playstation VR, Oculus Go, Quest 1 und 2. Diese ermöglichen eine immersive virtuelle Erfahrung, ohne die Notwendigkeit eines großen Labors oder eines aufwendigen Tracking Systems. Die Suche nach der besten und effizientesten Methode der Fortbewegung bzw. Lokomotion stellt sich dadurch jedoch neuen großen Herausforderungen und ist einer der fundamentalen Fragen, da sie direkten Einfluss auf Faktoren, wie Spaß, Präsenz oder auch Probleme, wie Bewegungskrankheit oder Ermüdung hat. Aus diesem Grund ist dieser Bereich in den letzten Jahren die Grundlagen vieler durchgeführten Studien [3].

Chernie et al. veröffentlichten ein Literatur Review über die verschiedenen Techniken der Fortbewegung in Virtual Reality vor. Auf dieser Grundlage erstellen sie eine Taxonomie, um die vielen unterschiedlichen und aktuell verfügbaren Techniken der Fortbewegung Kategorisieren zu können (siehe Abb. 4). Die drei grundlegenden Unterscheidungen finden auf der obersten Ebene zwischen Methoden statt, ob der Fokus auf den Körper des Benutzers besteht, eine externe Peripherie genutzt wird, oder beides. Unter jeder dieser drei Kategorien gibt es zwei weitere Ebenen, die weitere Unterkategorien darstellen [3].



**Abb. 4: Eine Taxonomie der Fortbewegungstechniken [3]**

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die unterschiedlichen Methoden der Fortbewegung in virtuellen Umgebungen und dessen Stand der Technik genauer beschrieben.

### 2.2.1 Natural Walking

Beim Natural Walking handelt es sich um die natürlichste Art der Fortbewegung in virtuellen Umgebungen. Hier bewegt sich der Benutzer physisch durch das Gehen fort, wobei ein Schritt in der realen Welt ein Schritt in der VR von gleicher Länge bedeutet. Grundvoraussetzung für die Umsetzung ist, dass der physische Raum mindestens genauso groß, wie der virtuelle Raum ist [7].

Es ist jedoch mit verschiedenen Techniken wie Redirected Walking ebenso möglich, wenn der physische Raum kleiner als die virtuelle Umgebung ist. Laut Usoh et al. ist das natürliche Gehen in virtuellen Umgebungen leicht und unkompliziert. Dies kann den Gründen zu Schulden liegen, dass diese Schnittstelle im Vergleich mit Walking-in-Place und Fliegen das größte Gefühl der Präsenz erzeugt und am wenigsten körperliches Unbehagen auslöst [8].

Ruddle et al. führten eine Studie anhand einer Navigationsaufgabe durch, in der Ziele gesucht werden mussten. Diese hat gezeigt, dass das natürliche Gehen im Vergleich zu anderen Fortbewegungstechniken durch die höhere und feinmotorischere Beweglichkeit der Personen zu weniger Kollisionen mit Hindernissen führt [9].

Ebenso zeigten Ruddle et al. mit einer Navigationsaufgabe im Vergleich zur Fortbewegung mit einem Joystick, einem Laufband und echtem Gehen, dass das natürliche Gehen weniger Trainingszeit benötigt und die Aufgaben ohne Training schneller absolviert wurde, und dies unabhängig von der Schwierigkeit der virtuellen Umgebung [10].

Whitton et al. benutzen drei Metriken, um die Leistung von Bewegungsschnittstellen zu evaluieren. Genauer gesagt wurden diese genutzt, um zu bewerten, wie die Pfade der Fortbewegungen waren, die Qualität der Aufgabenleistung und die Zeit bis zu Kollisionen mit Hindernissen. Die Ergebnisse zeigten, dass der gelaufene Weg beim natürlichen Gehen mit der Fortbewegung in der realen Welt überwiegend übereinstimmen [11].

All diese Studien stimmen als Ergebnis überein, dass die Schnittstelle des Natural Walking die natürlichste Schnittstelle ist, die größte Präsenz beim Benutzer erzeugt und die Erreichung des Ziels bei zielsuchenden Aufgaben am schnellsten und unkompliziertesten erreicht wird.

### **2.2.2 Redirected Walking**

Wenn die virtuelle Umgebung erheblich größer ist als der physisch verfügbare Raum, stößt das natürliche Gehen schnell an seine Grenzen. Um das Problem lösen zu können, wurden einige Techniken zum Lösen dieses Problems entwickelt und vorgeschlagen. Diese werden unter dem Begriff *Redirected Walking* kategorisiert. Der Weg beim Fortbewegen des Benutzers in der virtuellen Umgebung wird manipuliert, ohne dass dieser dies im besten Falle bemerkt. Jedoch gibt es auch Techniken, die eine nicht subtile Lösung bieten. So hat der Benutzer die Möglichkeit, sich durch natürliches Gehen in großen virtuellen Umgebungen fortzubewegen, auch wenn der physische Raum erheblich kleiner ist [12] [7].

Suma et al. [13] und Steinicke et al. [14] stellten eine Taxonomie von Umleitungstechniken vor (siehe Abb. 5). Sie ermöglicht diese vielfältigen Techniken anhand verschiedener Kriterien auszuwählen, die zum Szenario der virtuellen Umgebung passen, auf die sie angewendet werden soll. Die Kategorisierung basiert zum einen darauf, ob die Manipulation auf die Translation oder Rotation Einfluss hat. Weitere Unterteilungen finden statt, ob die Veränderung dabei diskret oder kontinuierlich ist und für den Benutzer subtil oder auffällig [7].

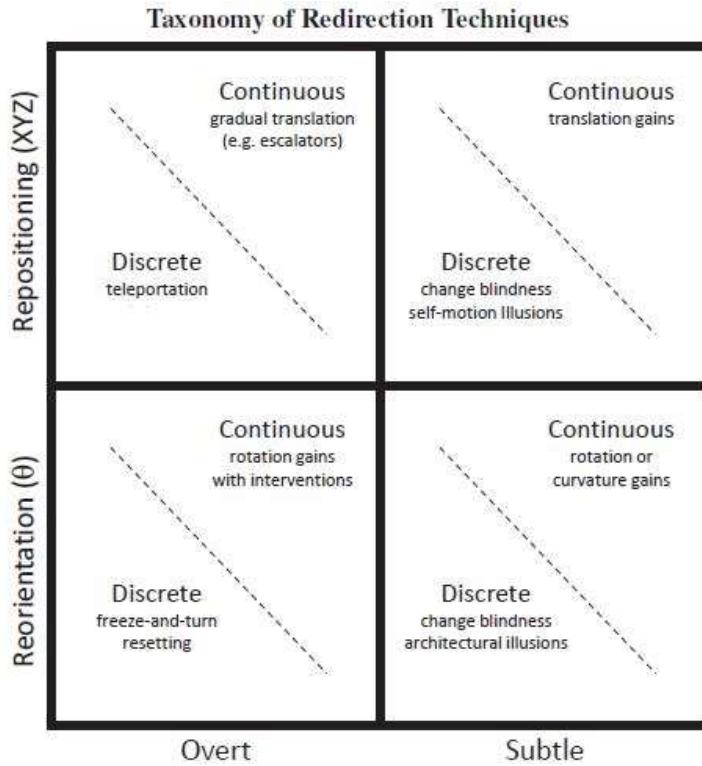


Abb. 5: Eine Taxonomie für Umleitungstechniken [3]

### 2.2.2.1 Repositionierung

Eine Repositionierung kann subtil angewendet werden, sodass der Benutzer dies nicht wahrnehmen kann. Eine Studie von Williams et al. untersuchten das Erkunden virtueller Umgebungen mit unterschiedlich skalierten Übersetzungen im Vergleich zum natürlichen Gehen in der realen Welt. Bewegt sich der Benutzer in eine bestimmte Richtung, wird eine Verstärkung der virtuellen Bewegungsgeschwindigkeit angewendet. Die Gehbewegung wird somit skaliert und kann eine größere Entfernung, als es im rein physischen Raum möglich wäre, zurückgelegt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass dies eine praktikable Technik ist, um die Erkundung großer virtueller Welten zu ermöglichen. [15] [13].

Steinicke et al. führten mehrere Analysen über die menschliche Sensibilität gegenüber diesen Manipulationen auf die Bewegungsgeschwindigkeit durch [16] [17]. Die Ergebnisse zeigen, dass diese Technik vom Benutzer unerkannt bleibt, solange die Skalierung klein genug ist. Genauer gesagt können gelaufene Distanzen im physischen Raum um 14 Prozent herunter- und um 26 Prozent hochskaliert werden, ohne erkannt zu werden. Dies deckt sich mit Erkenntnissen von Interrante et al. [18] und Bruder et al. [19], dass bei Benutzer das Phänomen auftritt, dass Distanzen in einer virtuellen Umgebung, durch Faktoren, wie die Auflösung und Latenz, unterschätzt werden und Entfernung in einer virtuellen Umgebung als komprimiert wahrnehmen [20] [13].

Bei der subtilen und diskreten Repositionierung findet die Veränderung der Position abrupt statt, um den virtuellen Raum zu vergrößern. Jedoch müssen Techniken zum Einsatz kommen, dass die Verschiebung

für den Benutzer unauffällig bleibt und nicht bemerkt wird. Bruder et al. haben experimentell nachgewiesen, dass ein optischer Fluss bzw. Selbstbewegungsillusionen am Rande des Blickfelds des Benutzers eingesetzt werden können, um eine abrupte Veränderung der Bewegungsgeschwindigkeit zu nutzen, ohne dass der Benutzer dies bewusst bemerkt [19] [13].

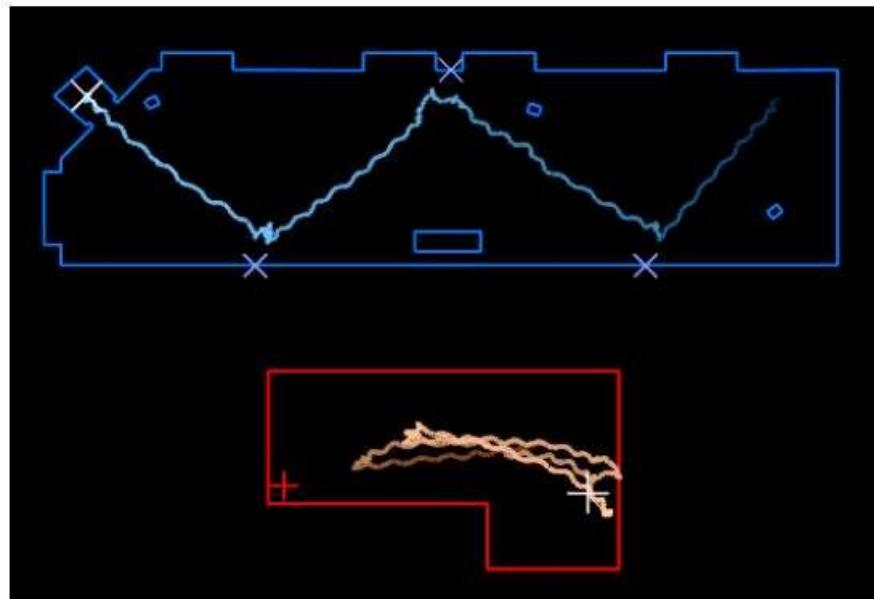
Ebenso kann eine offene und kontinuierliche Verschiebung der virtuellen Umgebung um den Benutzer angewendet werden. Da diese Technik der Repositionierung für den Benutzer desorientierend wirken kann, können Objekte wie Aufzüge und Autos als Navigationshilfen genutzt werden und der Benutzer nimmt sie bewusst wahr. Die Umsetzung dieser Technik wird durch die abrupte Teleportation an eine neue Position im virtuellen Raum umgesetzt. Für den Benutzer kann es jedoch desorientierend wirken, wenn er dies nicht erwartet. Aus diesem Grund werden häufig Portale eingesetzt, die vor allem aus Science-Fiction und Fantasy bekannt sind. Dies sind Objekte ähnlich einem Spiegel, ein Tor oder ein magischer Wirbel aus Energie, die zwei Orte miteinander verbinden. Steinicke et al. führten eine Studie durch, um in Erfahrung zu bringen, welche Auswirkungen ein Portal hat, um den Benutzer einen schrittweisen Übergang in die virtuelle Umgebung zu ermöglichen. Die Benutzer bestätigten nach der Durchführung des Experiments, dass ein höheres Gefühl der Präsenz wahrzunehmen und die Fähigkeit Distanzen korrekt zu schätzen verbessert war [21] [13].

### **2.2.2 Neuausrichtung**

Sobald der Benutzer die Grenze der physischen Umgebung, z.B. durch eine Wand, erreicht hat, wird die aktuelle Position zurückgesetzt. Dabei wird der optische Fluss so manipuliert, dass die Position in der virtuellen Umgebung gleichbleibt, sich der Benutzer aber vom physischen Hindernis entfernt. Williams et al. stellten die sogenannte „2:1-Turn“ Methode vor, in dieser der Benutzer angewiesen wird sich zu drehen. Dabei erfolgt die physische Drehung um 180 Grad, während die virtuelle Orientierung nach der Drehung übereinstimmend bleibt. Bei dieser Technik wird die Stärkung der virtuellen Drehung verdoppelt, d.h. die Drehung um 180 Grad im physischen Raum bedeutet eine 360 Grad Drehung in der virtuellen Umgebung. Die Rotationsverstärkung ist für den Benutzer nicht erkennbar, jedoch die aktive Aufforderung zur Drehung. [22] [13].

Bewegt sich der Benutzer durch die virtuelle Welt, kann sie kontinuierlich um den Benutzer gedreht werden. So kann der Benutzer auf seinem virtuellen Pfad bleiben, bewegt sich aber ständig auf die physische Wand oder ein Hindernis mit der größten Entfernung zu. Ist die Rotationsverzerrung klein genug, merkt der Benutzer diese nicht und nimmt sie als Eigenbewegung wahr. Hier muss ein Kompromiss gefunden werden. Denn je größer die Rotationsverzerrung ausfällt, desto kleiner kann der physisch vorhandene Raum sein und desto größer kann die virtuelle Umgebung ausfallen. Jedoch besteht dann auch eine höhere Gefahr, dass der Benutzer diese dann bemerkt. Steinicke et al. untersuchten in einer Studie die Erkennbarkeit von Rotationsverstärkungen von Kopf und Körper. Die Ergebnisse zeigten, dass der Benutzer, der sich in einer virtuellen Umgebung bewegt, körperlich um 49 Prozent mehr und 20 Prozent

weniger gedreht werden können, ohne dies zu bemerken. Der Nachteil ist jedoch, dass dies einen großen viel größeren physischen Raum im Vergleich zu anderen Techniken voraussetzt. Razzaque et al. testeten die Anwendung der Rotationsverzerrung in einer Studie mit einer virtuellen Feuerwehrübung. In dieser mussten sie einen Raum durchqueren und dabei an mehrerer Wegpunkte vorbei. Die virtuelle Umgebung war dabei doppelt so groß als der physische Raum. Die Ergebnisse zeigen, dass der benötigte physische Raum verkleinert werden kann, wenn mit strategischen Wegpunkten gearbeitet wird. Dies stellt jedoch auch eine Einschränkung dar, da man diese Technik nur zu bestimmten Aufgabenstellungen eignet. Die nachfolgende Abbildung (siehe Abb. 6) zeigt, wie der Benutzer sich einer Zickzack-Bewegung durch die virtuelle Umgebung fortbewegt, aber sich physischen Raum hin und her bewegt [20] [12] [13].

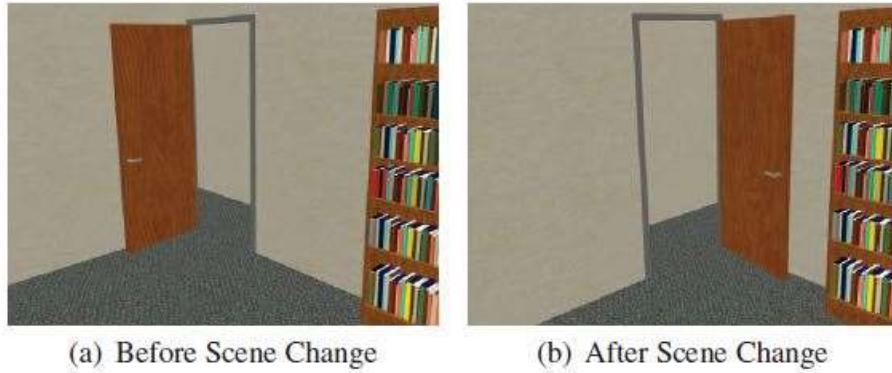


**Abb. 6: Redirected Walking [12]**

Williams et al. stellten neben der offenen kontinuierlichen Neuausrichtung ebenso eine Technik zur offenen und diskreten Neuausrichtung zum Zurücksetzen des Benutzers vor. Bei der „Freeze-and-Turn“ Methode wird dem Benutzer, sobald die Grenze des physischen Bereichs erreicht wird, signalisiert, dass eine Drehung notwendig ist. Das gesamte Display und somit auch die Ausrichtung wird eingefroren und wieder fortgesetzt, sobald der Benutzer die 180 Grad Drehung weg vom physischen Hindernis vollendet hat. Nun kann sich der Benutzer wieder uneingeschränkt bis zum nächsten physischen Hindernis im virtuellen Raum bewegen. Da die Immersion und Präsenz durch die Unterbrechung erheblich gestört werden kann, ist diese Technik für die meisten Szenarien nicht geeignet und dient lediglich als Notfall Lösung [22] [13].

Für eine subtile und diskrete Neuorientierung wurde die Technik "Change Blindness Redirection" von Suma et al. vorgeschlagen und arbeitet mit der Annahme, dass Änderungen außerhalb des Gesichtsfeldes eines Benutzers nicht wahrgenommen werden kann. Die Grundlage dafür basiert auf die Veränderungsblindheit bei Menschen. Der erste Eindruck einer Umgebung wird von der veränderten Umgebung überschrieben, ohne dies zu merken. Für die Umsetzung der diskreten Neuorientierung werden die Position und Ausrichtung von architektonischen Anhaltspunkten, vor allem Türen, verändert. Dies

geschieht, sobald der Benutzer in eine andere Richtung schaut. In nachfolgender Abbildung (siehe Abb. 7) wird ein Beispiel eines Szenenwechsels veranschaulicht. Sobald der Benutzer wegschaut, wird die Türe um 90 Grad gedreht. Somit verlässt der Benutzer den Raum in eine andere Richtig als beim Betreten des Raums. Es ist keine Unterbrechung für die Neuorientierung notwendig, sodass das Gefühl der Präsenz aufrechterhalten werden kann. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass nur einer der insgesamt 77 Testpersonen die Neuorientierung in der virtuellen Umgebung erkannt hat. Jedoch ist der Einsatz nur in Szenen geeignet und einsetzbar, sich dich in Innenräumen befinden und nicht für große und freie Umgebungen [23] [13] [24].



**Abb. 7: Diskreter Szenenwechsel [23]**

### 2.2.3 Walking-In-Place

Walking-in-Place ist eine Kategorie von einer Bewegungsschnittstelle, bei der das natürliche Gehen imitiert wird. Anstatt dem natürlichen Gehen, wie in Kapitel 2.2.1 und Kapitel 2.2.2 erläutert wird, wird ein stationärer Gang an Ort und Stelle genutzt, ohne sich tatsächlich physisch fortzubewegen. Eine oft genutzte und traditionelle Geste für die Eingabe ist eine Schrittgeste, die das Treppen steigen ähnelt. Dies wird in der virtuellen Umgebung mit zusätzlicher Verschiebung der Blickrichtung in eine Gehbewegung umgesetzt, um diese erkunden zu können [7] [3] [25].

Allgemein können die Techniken zur Umsetzung von Walking-in-Place in zwei Kategorien unterteilt werden. Zum einen wird die Manipulation einer physischen Schnittstelle, wie z.B. das Wii Balance Board, für die Schritterkennung genutzt. Zum anderen gibt es Techniken, die eine Bewegungserfassung bzw. Motion Tracking zum Erfassen von Position oder Geschwindigkeit von Körperteilen verwendet [25].

#### 2.2.3.1 Physikalische Schnittstellen

Bei den physikalischen Schnittstellen basiert die Technik zum größten Teil darauf, eine indirekte Abbildung zwischen der Schrittgeste und der Blickrichtung zu erzeugen. Zur Erkennung der Schritte werden die Kräfte gemessen, die erzeugt werden, wenn die Füße beim Auftreten den Boden berühren. Als Beispiel dient das Wii Balance Board, das mit mehreren Drucksensoren ausgestattet ist. Der entwickelte Wii Algorithmus erkennt dabei, wie schnell der Benutzer mit seinem Gewicht Druck auf die Ecken des Boards ausübt. Dies wird als Gehbewegung in der virtuellen Umgebung in Richtung des Blickwinkels übersetzt [25].

In einer Studie stellen Williams et al. die Fortbewegung auf dem Wii Balance Board, mit dem Joystick und dem natürlichen Gehen gegenüber. Die Ergebnisse zeigten, dass die Fortbewegung mit dem Joystick zu vermehrten Fehlern bei Drehbewegungen führt. Die räumliche Ausrichtung zeigte in Bezug auf Latenz und Fehler bei Drehbewegungen bei der Fortbewegung mit dem Wii Balance Board und dem natürlichen Gehen Ähnlichkeiten. Dies macht das Wii Balance Board zu einer kostengünstigen Alternative [25] [26].

### 2.2.3.2 Motion Tracking

Eine der frühesten Techniken für Walking-In-Place ist die *Virtual Treadmill*, was von Slater et al. vorgestellt wurde. Ein neuronales Netzwerk analysiert dabei das Head-Mounted-Displays des Benutzers und kann feststellen, ob der Benutzer an Ort und Stelle geht oder nicht. Wird ein Gehverhalten festgestellt, wird eine Fortbewegung in der virtuellen Umgebung in Blickrichtung des Benutzers umgesetzt. Die Studie deutet darauf hin, dass die Präsenz durch diese Technik verbessert werden kann [25] [27].

Von Zielinski et al. wurde *Shadow Walking* vorgestellt. Die Nutzung von Techniken zum Verfolgen der Schatten am Boden ermöglicht das Gehen an Ort und Stelle und Gesten wie ein Schritt zur Seite für die virtuelle Fortbewegung. Im Gegensatz zu früheren Implementierungen müssen beim Shadow Walking keine zusätzlichen technischen Geräte am Körper getragen werden. Dadurch ist es kostengünstig und problemlos zu implementieren und erfordert keine Benutzerkalibrierung. Allerdings ist es auf eine speziell dafür erstellte räumliche Umgebungen, wie z.B. eine sechseckige CAVE beschränkt [28].

Darüber hinaus wurden auch neue Varianten von Methoden entwickelt, die unter zusätzlicher Verwendung verschiedener Gesteneingaben arbeiten. Nilsson et al. [25] stellten *Tapping-In-Place* vor. Dabei heben die Benutzer abwechselnd jede Ferse vom Boden ab, während die Zehen in Kontakt mit dem Boden bleiben. In einem Experiment war es die Aufgabe von Probanden, eine einfache Zielfindungsaufgabe durchzuführen und von einem zum anderen Punkt über einen sichtbaren Pfad zu gelangen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Probanden die Fortbewegung mit der Tapping Methode im Vergleich zu anderen Walking-in-Place Methoden am natürlichsten und weniger anstrengend fanden [25].

In den letzten Jahren wurden viele weitere Studien durchgeführt, die zum Ergebnis kamen, das Walking-in-Place die meisten Techniken, wie Arm Swinging, Point & Teleport, Joystick, neigungsbasierte Techniken usw. übertrifft. Jedoch wurde auch aufgezeigt, das Walking-in-Place weniger realistischer ist als das natürliche Gehen. Darüber hinaus kann die stehende Position nicht immer geeignet sein, und die Erkundung großer virtueller Umgebungen mehr Zeit und körperliche Anstrengung benötigen. Ebenso kann die Immersion durch die Schwierigkeit verschiedener Gesten reduziert werden [7] [3] [29].

## 2.2.4 Abstrahierte Schnittstellen des Gehens

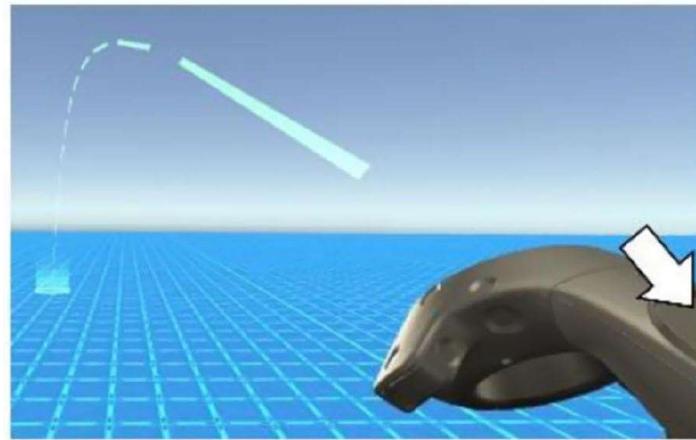
Abstrahierte Schnittstellen wie die Fortbewegung mit dem Joystick oder über Teleport sind weit verbreitete Techniken, die vor allem in VR Spielen auf Spielekonsolen oder am PC bekannt und weit verbreitet sind. Die virtuellen Umgebungen sind meist sehr groß und der physische Raum im privaten Gebrauch zeitgleich sehr begrenzt [7].

### 2.2.4.1 Joystick

Es bestehen zwei Möglichkeiten, sich mit Hilfe eines Joysticks bzw. Controller in einer virtuellen Umgebung fortzubewegen. Oft wird der Joystick nur zur Steuerung der Bewegungsgeschwindigkeit verwendet und die Rotation der Brille bzw. des Kopfes gibt die Richtung vor. Es kommt aber auch oft die Möglichkeit zum Einsatz, mit Hilfe des Joysticks die Bewegungsgeschwindigkeit und ebenso die Rotation im virtuellen Raum zu steuern. Dies ist vor allem im Bereich Gaming bekannt, um sich durch die großen komplexen Spielwelten zu bewegen. Buttussi et al. untersuchten die Auswirkungen von Joystick-, Teleport- und Neigungstechniken für die Fortbewegung. Die Ergebnisse zeigten, dass die Fortbewegung mit dem Joystick im Vergleich zum Teleportieren signifikant langsamer ist, weniger benutzerfreundlich und bei den Benutzern mehr Übelkeit verursachen kann. Jedoch waren keine Unterschiede im Gefühl der Präsenz festzustellen [30].

### 2.2.4.2 Teleport

Teleportation ist eine der häufigsten, nicht natürlichen genutzten Techniken zur Fortbewegung, die wie die Fortbewegung mit dem Joystick vor allem im Gaming Bereich bekannt ist. Die Popularität stieg signifikant durch ein kostenloses Plugin von Steam für Unity 3D und der Unreal Engine, mit dem diese Fortbewegungstechnik ohne Schwierigkeiten verwendet werden kann. Im Vergleich zu Point & Teleport wird die Fortbewegung in den meisten Fällen mit einem Joystick bzw. Controller gesteuert. Das gewünschte Ziel wird durch das Auswählen eines sichtbaren Markers mit Hilfe der Joysticks bestätigt und so die Position in der Umgebung geändert (siehe Abb. 8). Dabei fehlt jegliche Art von Selbstbewegungshinweisen. Ziele können frei wählbar sein oder feste vordefinierte Teleportpunkte in der Umgebung, die zur Auswahl stehen [7] [3] [30] [31] [32].



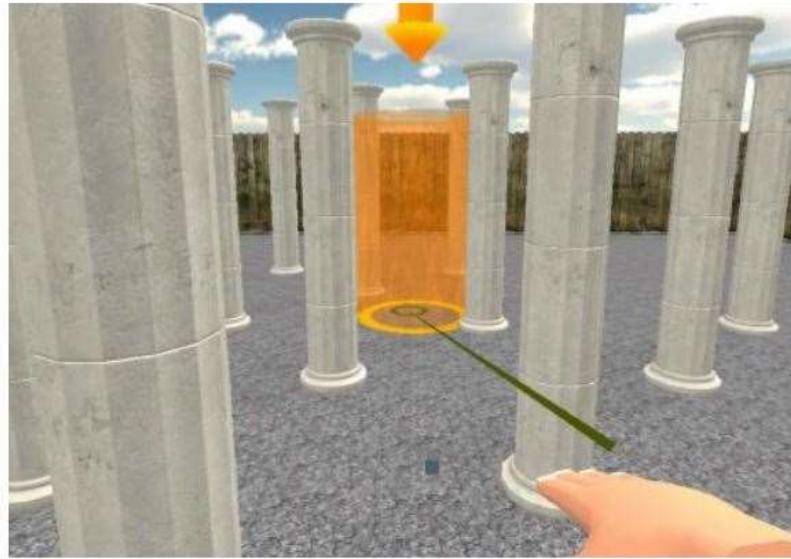
**Abb. 8: Teleport mit Hilfe des Controllers [30]**

Habgood et al. verglichen in einer Studie Point & Teleport, kontinuierliches Gehen mit einem Controller und einer neuen Variante des Points & Teleport, bei der die Wegpunkte bei der Fortbewegung durch den virtuellen Raum vordefiniert sind. Die Benutzer hatten die Aufgabe, durch ein virtuelles Haus zu navigieren. Die Ergebnisse zeigten, dass bei der Navigation mit dem Point & Teleport die Kollisionen verringert waren und weniger Bewegungskrankheit bei den Benutzern auftrat [33].

Buttussi et al. führten einen Vergleich zwischen der Fortbewegung mit Hilfe eines Joysticks, Teleport und Neigung des Körpers durch. Benutzer mussten in einer offenen virtuellen Umgebung in einer vorgegebenen Reihenfolge verschiedene Fässer, die verteilt aufgestellt wurden, erreichen. Dadurch kamen Sie zu dem Schluss, dass die Fortbewegung mit Point & Teleport schneller war, weniger Übelkeit bei den Benutzern auftrat und die Schnittstelle im Vergleich benutzerfreundlicher ist. Sie kann jedoch auch desorientierender wirken und somit Auswirkungen auf Präsenz und Immersion haben [30].

#### 2.2.4.3 Point & Teleport

Im Vergleich zum Teleport (siehe Kapitel 2.2.4.2), wo die Fortbewegung mit Hilfe eines Controllers umgesetzt wird, kann bei der Point & Teleport Technik der Arm des Benutzers zur Steuerung der Bewegung genutzt werden. Der Arm wird verwendet, um auf den Ort zu zeigen, zu dem sich der Benutzer bewegen mag (siehe Abb. 9). Hier können die Ziele wie bei der Teleportation mit dem Controller ebenso frei wählbar oder als Zielort fest vordefiniert sein. Das Ziel wird dann meist durch einen Tastendruck oder durch das längere Zeigen auf das Ziel ausgeführt und durch ein audiovisuellen Hinweis bestätigt wird [3] [32].



**Abb. 9: Point & Teleport Technik basierend auf die Armbewegungen [3]**

Bozgeyikli et al. verglichen die Techniken Point & Teleport, Walking-in-Place und die klassische Steuerung mit dem Joystick miteinander. Nach dem Zeigen in einer Dauer von 2 Sekunden auf einen Zielort wird die Teleportation ausgelöst und gesenkte Arme des Benutzers macht die Technik inaktiv. Die Aufgabe der Benutzer war, 10 Ziele nacheinander abzulaufen, ohne Kollisionen mit Hindernissen zu verursachen. Die Auswertungen zeigten, dass Point & Teleport die beiden anderen Technik übertraf, da die Zielpunkte schneller erreicht werden konnten und weniger Kollisionen mit den Objekten verursacht wurden. Jedoch war die Fortbewegung mit dem Joystick einfacher zu verstehen, weniger anstrengend, erzeugte weniger Ermüdungserscheinungen und die Benutzer hatten eine bessere Kontrolle [3] [34].

#### 2.2.4.4 Arm basierte Bewegungserfassung

Das Schwingen der Arme kann ebenso zur Fortbewegung in virtuellen Umgebungen genutzt werden. Dadurch kann sich der Benutzer in die Richtung bewegen, in der er schaut. Für die technische Umsetzung ist die Verfolgung der Position und Rotation der Hand durch Tracking Techniken erforderlich [3].

Wilson et al. stellten einen Vergleich zwischen dem natürlichen Gehen, Walking-in-Place und der Arm Swinging auf. Das Tracking der Arme wurde mit Hilfe eines Myo Armbandes vorgenommen, die mit einem Gyroskop, eines Beschleunigungssensors und einem Magnetometer ausgestattet ist. Die Probanden mussten als Aufgabe sich die Standorte verschiedener Objekte, die sich auf Säulen befanden, merken. Die Objekte waren kreisförmig um den Probanden angeordnet und bekam die Aufgabe, sich in einer vorgegebenen Reihenfolge den Objekten zuzuwenden. Das Experiment zeigte, dass die physische Fortbewegung die anderen beiden Methoden zur Fortbewegung bei Fehler in drehenden Bewegungen übertraf. Walking-in-Place war in diesem Bereich jedoch besser als die Arm-Swinging-Methode. Ebenso gab es Hinweise darauf, dass Arm Swinging möglicherweise mehr Training bei den Probanden erfordert [35].

### 2.2.4.5 Neigungsbasierte Fortbewegung

Bei der neigungsbasierten Fortbewegung wird die Neigung des Körperschwerpunktes in eine Richtung, wobei der ganze Körper oder nur ein Teil davon genutzt wird, in Bewegung umgesetzt. Die Neigung wird dabei meist durch ein Tracking System oder Geräte wie dem Wii Balance Board oder dem speziell entwickelten NaviChair realisiert [36].

### Kopfbasierte Fortbewegung

Zielasko et al. führten eine Studie durch, um verschiedene Fortbewegungsmethoden zu entwickeln und evaluieren, die im Sitzen am Tisch nutzbar sind. Eine Methode davon war das sogenannte *Shake your Head*, die das Tracken des Kopfes mit Hilfe der VR-Brille nutzt. Um sich Vorwärts oder Rückwärts zu bewegen, musste der Benutzer mit dem Kopf nach oben oder unten schauen. Ebenso war eine virtuelle Drehung anhand der Kopfneigung zur Seite möglich. Die Aufgabe der Studie war, den kürzesten Weg zwischen zwei Eckpunkten in einer virtuellen Umgebung zu finden. Die Ergebnisse zeigten, dass die Fortbewegung mit dem Joystick die Fortbewegung mit Hilfe des Kopfes übertraf. Das zeigte sich über die längere Zeit, die zur Bewältigung der Aufgabe gebraucht wurde. Ebenso äußersten sich die Probanden über weniger Präzision und eine erhöhte Fehleranfälligkeit [3] [36].

### Rumpfbasierte Bewegungserfassung

Neben der kopfbasierten Fortbewegung kann die Bewegungserfassung auch rumpfbasiert stattfinden. Die Fortbewegung in der virtuellen Umgebung wird hierbei durch die physische Neigung des Rumpfes im Stehen oder Sitzen umgesetzt (siehe Abb. 10). Die Rotation geschieht durch die Drehung des Rumpfes. Harris et al. verglichen in zwei Experimenten die rumpfbasierte Fortbewegung *Wii-Lean* auf dem Wii Balance Board mit der Navigation mit einem Joystick und Walking-in-Place. Die Ergebnisse zeigten, dass die Orientierung, die gebrauchte Zeit und die körperliche Anstrengung im Vergleich zu Walking-in-Place besser waren, jedoch auf Kosten von Fehlern in Drehbewegungen und Latenz [3] [37].



**Abb. 10: Wii-Leaning Technik auf dem Wii Balance Board [37]**

Neben den rumpfbasierten Techniken im Stehen, ist die Navigation ebenso im Sitzen möglich. Kitson et al. verglichen die Navigation mit Hilfe eines Joysticks mit neigungsbasierter Techniken im Sitzen, wie dem NaviChair, NuvMan, Head-directed und Swivel Chair (siehe Abb. 11). Die Aufgabe der Probanden war, verschiedene Objekte in einer virtuellen Stadt zu suchen. Die Ergebnisse zeigten, dass Illusion der Eigenbewegung, räumliche Wahrnehmung und Orientierung, Spaß sowie Immersion und Präsenz keine Vorteile zeigten. Die Fortbewegung mit dem Joystick zeigte eine höhere Genauigkeit, Kontrolle und Benutzerfreundlichkeit [38].



Abb. 11: Sitzende, neigungsbasierte Lokomotionstechniken [38]

## 2.2.5 Laufbänder

Laufbänder sollen das Gehen in jede Richtung simulieren, vor allem wenn die virtuellen Umgebungen deutlich größer sind als der verfügbare physische Raum. Für die Umsetzung sind verschiedene Konstruktionsschemen möglich. Kommerzielle Produkte, wie *Kat Walk* und *Cyberith Virtualizer* besitzen eine sehr reibungsarme Oberfläche, auf die der Benutzer steht und an der Hüfte fixiert ist, um die Fortbewegung zu kontrollieren und den Benutzer sicher an Ort und Stelle zu halten. Die Vorwärtsbewegung ist darauf einfach zu bewältigen. Bewegungen zur Seite jedoch nicht. Ebenso ist die Distanzmessung ungenau, da nur die Schritte gezählt werden und nicht die Entfernung. *StriderVR* ist ebenso ein kommerzielles Gerät und besteht aus einer Schicht aus Stahlkugeln. *Omnideck* ist eine große Plattform aus Rollen um das Zentrum herum, wo der Benutzer bei Inaktivität automatisch wieder hingezogen wird. Um eine omnidirektionale Fortbewegung zu ermöglichen, werden Interialmesseinheiten genutzt, wie z.B. bei *Infinadeck* oder *Hex-Core-Prototype Virtuix Omni* (siehe Abb. 12). Diesen Laufbändern ermöglichen die Fortbewegung in 360 Grad, während der Benutzer in der Mitte gehalten wird [7] [39].



**Abb. 12: Omnidirektionales Laufband Infinadeck (links) und HCP (rechts) [39]**

In einer Studie verglichen Warren et al. die Benutzererfahrung zwischen einem Gaming Controller und dem omnidirektionale Laufband *Virtuix Omni*. Die Aufgabe der Probanden war es, mehrere Fortbewegungsaufgaben zu bewältigen. Die Ergebnisse zeigten, dass der Controller eine bessere Benutzererfahrung bietet. Die Gründe hierfür sind, dass die Fortbewegung mit dem *Virtuix Omni* zwar natürlicher und auch unterhaltsamer ist, es aber den Gebrauch von einem unbequemen Gurt fordert und die Schwierigkeit beim Gehen und Drehen signifikant höher ist. Ebenso treten schnell Ermüdungserscheinungen auf. Dies zeigt, das Laufbänder im Vergleich zu gut entwickelten Techniken wie die Fortbewegung mit dem Controller zu einer schlechteren Benutzererfahrung führen kann [40].

## 2.3 Konditionierung

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen der Konditionierung erläutert und die Unterschiede zwischen der klassischen, operanten und der Kontextkonditionierung aufgezeigt. Anschließend wird die Schnittstelle zwischen der Konditionierung und der Virtual Reality beschrieben.

### 2.3.1 Klassische Konditionierung

Die Pawlowsche Konditionierung ist ein wertvolles Labor-Modell. Diese beschreibt den Erwerb, Ausprägung, die Abstrahierung und den Verlust von bedrohungsbezogenen Verhalten. Die klassische Konditionierung nach Pawlow besagt, dass ein zuvor neutraler Reiz (CS, konditionierter Stimulus) mit einem unkonditionierten affektiv bedeutsamen Reiz (US, unkonditionierter Stimulus) assoziiert wird. Der neutrale Reiz CS kann bei z.B. ein schmerzhafter Reiz, ein Ton oder Bild sein. Der neutrale Reiz wird so zu einem konditionierten Reiz, da dieser die emotionalen Eigenschaften des zuvor ausgelösten unkonditionierten Reiz erhält. Bei dem Experiment von Pawlow wurden bei Hunden Futter als unkonditioniertem Stimulus US verwendet, was bei den Tieren Speichelfluss als unkonditionierte Reaktion auslösten. Dabei wurde ein Glockenton bei der Vergabe des Futters als konditioniertem Stimulus CS eingesetzt. Danach zeigten die Hunde allein beim Hören der Glocke eine konditionierte Reaktion (CR),

die der dem Speichelfluss als unkonditionierte Reaktion (UR) ähnlich war [41]. Bei diesem Zustand löst der konditionierte Reiz allein die Reaktion aus. Dies können vor allem auch eine Angst bzw. eine Abwehrreaktion, wie Erstarren oder erhöhte Erregung sein. Mowrer stellte zusätzlich fest, dass die klassische Konditionierung durch die erworbene Erfahrung von Angst ein Vermeidungsverhalten hervorruft [42] [43].

### **2.3.2 Operante Konditionierung**

Die operante Konditionierung ist ein lernpsychologisches Verfahren, was Skinner zu Grunde liegt. Kontextreize können dabei die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Verhaltensweise, durch Verstärkung oder Bestrafung, verstärken oder vermindern. Dies wird weiter unterteilt in eine positive bzw. negative Verstärkung und eine positive bzw. negative Bestrafung [44].

Zusätzlich sorgt die operante Konditionierung für die Aufrechterhaltung der Angst. Aversive Assoziationen, die in der Evolution stattfanden, sind Grund einiger Phobien, wie die Angst vor Spinnen, oder Zwangsstörungen. Menschen weisen dabei eine unterschiedliche starke Konditionierbarkeit auf, was zur Folge hat, dass manche Menschen unter Angststörungen leiden und anderer wiederum nicht. Die operante Konditionierung ist ein Lernparadigma, was Skinner et al. zu Grunde liegt. Diese beschreibt die Veränderung des Antwortverhaltens durch eine angewendete positive oder negative Verstärkung [45] [43].

### **2.3.3 Kontextkonditionierung**

Tiermodelle haben dabei das Wissen über die neuronalen stattfindenden Prozesse bei einer Angstkonditionierung erweitert. Diese Versuche deuten darauf hin, dass länger anhaltende Ängste, wie die posttraumatische Belastungsstörung, durch Kontextkonditionierung verursacht werden und der konditionierte Kontext dabei eine anhaltende Angstreaktion auslöst. Lau et al. kamen zudem zur Erkenntnis, dass eine große Furcht gegenüber dem konditionierten Stimulus ein Vermeidungsverhalten in einem bestimmten Kontext vorhersagt. Der Kontext besteht meist aus Details in der Umgebung wie Dinge zum Sehen, Gerüche oder Geräusche. Bei der Kontextkonditionierung wird ein unkonditionierter Reiz US (nicht durch einen konditionierten Reiz CS) ausgelöst, während die Person sich in einer bestimmten Umgebung befindet. Wenn es keinen eindeutigen bedrohungsauslösenden Reiz in der Umgebung gibt bzw. kein Hinweis auf die Vorhersage eines unkonditionierten Stimulus, entsteht ein Zustand der freischwebenden Angst bei Menschen. Der Kontext interagiert dabei auch mit der operanten Konditionierung, da ein konditionierter Stimulus einen unkonditionierten Stimulus in einem Kontext vorhersagt, zu einem späteren Zeitpunkt in einem anderen Kontext dann ohne einen unkonditionierten Stimulus präsentiert werden. Die Kontextkonditionierung ist bei fehlenden unkonditionierten Stimulus besonders effektiv. Grillon et al. stellten fest, dass ein Kontext größere Angst und dadurch ein größeres Vermeidungsverhalten hervorruft, wenn ein unvorhersehbarer unkonditionierter Stimulus US in diesem Kontext auftrat im Vergleich zu einem vorhersehbaren unkonditionierten Stimulus. Ob eine Assoziation zwischen einem konditionierten Stimulus und dem Kontext vorliegt, wird beim Testen in einem zweiten Kontext, dem Extinktionskontext geprüft, nachdem im ersten Kontext, dem Akquisitionskontext, die

Kontextkonditionierung ausgelöst wurde. Bis heute wurden wenige Versuche beim Menschen und vermehrt bei Versuchstieren getestet, da der Laborversuchsraum als Kontext oft nicht das Ziel ist [46] [43] [42].

### 2.3.4 Konditionierung in Virtual Reality

Die Technologie im Bereich der Virtual Reality hat sich in den letzten Jahren signifikant verbessert. Zuvor war VR nicht weit verbreitet, da die Hardware sehr kostspielig, aufwendig zu installieren war und einen großen physischen Raum benötigte. Dies änderte sich vor allem durch die Veröffentlichung kommerzieller Geräte, die ab dem Zeitpunkt vor allem für den privaten Gebrauch konzipiert wurden. Dadurch ist der Einsatz in vielen Forschungslaboren möglich und so zunehmend nützlich für die Forschung im Bereich der Konditionierung beim Menschen. Der Vorteil von VR liegt darin, dass die Anwendung ein starkes Gefühl der Präsenz erzeugt. Dabei hat der Benutzer das vollkommene Empfinden vollständig in der virtuellen Welt zu sein und nicht mehr in der Realität. Der Begriff Immersion beschreibt dabei die Reduzierung der sensorischen Reize von der realen Umgebung und die einstimmende Bewegungsparallaxe bei der Kopfbewegung durch das Head Mounted Display. Aus diesen Gründen ist Virtual Reality eine gute Methodik, um den Einfluss und Stärke der Konditionierung beim Menschen zu untersuchen, ohne dabei den Verlust der experimentellen Kontrolle zu verlieren [43].

Glotzbach et al. konnten frühere Studien bestätigen und zeigten mit Hilfe von VR, dass durch Einsatz gezielter Konditionierung ein Vermeidungsverhalten bei einem Kontext auslöst, die mit einer unvorhersehbaren Bedrohung assoziiert wird. In einem Experiment mussten Probanden zwei Kontexte betreten. In einem Angstkontext wurden leichte Elektroschocks verabreicht, in einem zweiten Kontext, dem Sicherheitskontext jedoch nicht. Danach wurde ein dritter, neutraler Kontext hinzugefügt und die Probanden mussten zwei von drei Kontexten erneut besuchen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Probanden den Angstkontext gezielt vermieden haben [42].

## 2.4 Unity 3D

Unity 3D ist eine Entwicklungsumgebung für Spiele und anderer interaktive 3D-Grafik-Anwendungen. Ebenso das meistgenutzte Tool im Bereich VR-Entwicklung. In Szenen werden die 3D Umgebungen erstellt. Diese besteht zum größten Teil aus Objekten, Materialien bzw. Texturen, Animationen, Audio und Lichtquellen. So entsteht eine virtuelle Welt [47].

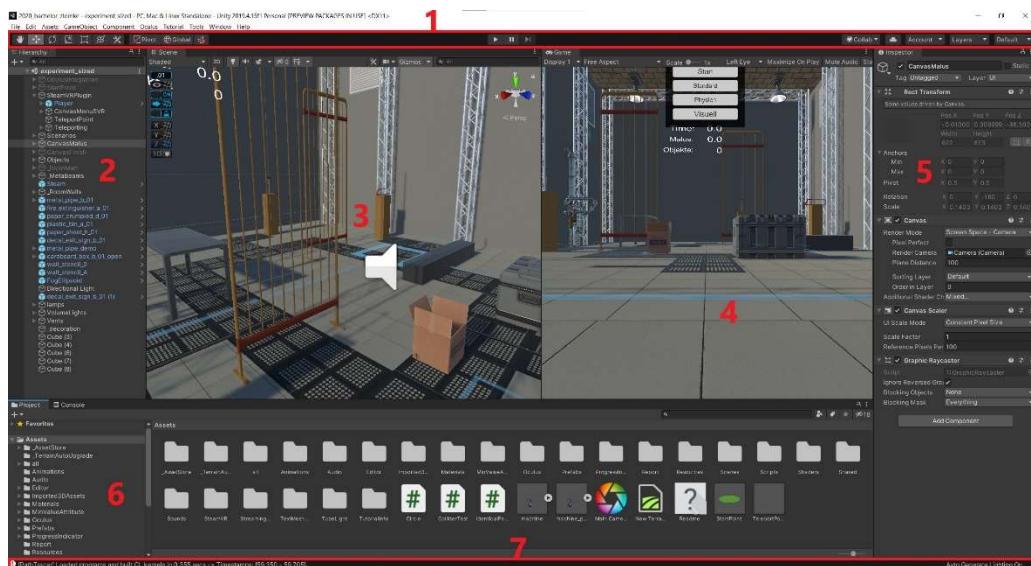


Abb. 13: Unity Editor Übersicht

Das Interface des Unity Editors besteht aus verschiedenen Bereichen (siehe Abb. 13), die im Folgenden genauer erläutert werden:

1. Die **Toolbar** im oberen Bereich des Editors beinhaltet die wichtigsten Funktionen. Auf der linken Seite befinden sich Werkzeuge für die Bearbeitung der Szenenansicht und der Objekte innerhalb der Szene. In der Mitte befinden sich Schaltflächen zum Abspielen, Pausieren und Stoppen der Simulation. Am Rand der rechten Seite befindet sich der Zugriff auf Unity Collaborate, den Unity Cloud Services und dem Unity Account. Ebenso befindet sich jeweils einen Menüpunkt für die Sichtbarkeit der Ebenen und dem Editor Layout Menü [48].
2. Im **Hierarchy** Fenster im linken mittleren Bereich befindet sich eine hierarchische Darstellung jedes GameObjects, die sich in der aktuellen Szene befinden, und zeigt dabei die Struktur auf, wie die verschiedenen GameObjects miteinander in Verbindung stehen. Die **Toolbar** im oberen Bereich des Editors beinhaltet die wichtigsten Funktionen. Auf der linken Seite befinden sich Werkzeuge für die Bearbeitung der Szenenansicht und der Objekte innerhalb der Szene. In der Mitte befinden sich Schaltflächen zum Abspielen, Pausieren und Stoppen der Simulation. Am Rand der rechten Seite befindet sich der Zugriff auf Unity Collaborate, den Unity Cloud Services und dem Unity Account. Ebenso befindet sich jeweils einen Menüpunkt für die Sichtbarkeit der Ebenen und dem Editor Layout Menü [48].
3. Die **Game** Ansicht in der Mitte des Editors zeigt eine Vorschau, wie das fertig gerenderte Spiel durch die aktive Kamera der Szene aussehen wird. Beginnt die Simulation durch das Betätigen der Play Schaltfläche, wird die gerenderte Simulation des Spiels hier angezeigt [48].
4. Die **Scene** Ansicht bietet eine visuelle Navigation durch die Szene und deren Bearbeitung [48].
5. Das **Inspector** Fenster auf der rechten Seite zeigt eine Übersicht und Bearbeitungsmöglichkeiten aller Eigenschaften des ausgewählten GameObjects [48].

6. Das **Project** Fenster in der unteren Hälfte des Editors zeigt die Bibliothek aller importierten Assets im Projekt, die genutzt werden können. Ebenso können hier eigene Objekte wie Skripte, Prefabs usw. erstellt und geordnet abgelegt werden [48].
7. Die **Statusleiste** am unteren Rand zeigt Benachrichtigungen von den Unity Prozessen an [48].

## 2.5 Oculus Quest

Bei der Oculus Quest handelt es sich um eine mobile VR Brille. Sie kann also genutzt werden, ohne zusätzlich einen leistungsstarken Computer oder Konsole zu benötigen. Ebenso werden keine externen Sensoren oder Kameras für das Tracking benötigt. Die Auflösung des Displays ist 1.600 x 1.440 Pixel pro Auge mit einer Wiederholrate von 72Hz. Das Tracking passiert über die Brille selbst. Auf dieser befinden sich an der Vorderseite 4 Kameras, die mit Weitwinkel arbeiten. Mit 6DoF, in Englisch Six Degrees of Freedom, ist die Nutzung aller sechs Freiheitsgrade möglich. Somit stehen viele Steuermöglichkeiten zur Verfügung und eine Bewegung im virtuellen Raum gegeben. Dafür elementar ist die Bedienung mit den zwei dazugehörigen Controllern (siehe Abb. 14) [49].



**Abb. 14: Oculus Quest mit Controller [50]**

## 2.6 HTC Vive

Die erste HTC Vive wurde in der Zusammenarbeit mit Valve (SteamVR) und HTC im April 2016 für den kommerziellen Verkauf mit der Consumer Edition freigegeben. Neben dem Spiele Bereich findet die VR-Brille auch Einsatz in den Bereichen wie Unterhaltung, Bildung, Gesundheitswesen oder auch im Automobilbau [51].

Im Jahr 2019 wurde die HTC Vive Pro Eye veröffentlicht, die eine verbesserte Auflösung bot. Ebenso befinden sich an der Vorderseite der Brille zwei nach vorne gerichteten Kameras um die Umgebungserkennung verbessern [52].

Neben dem Headset, werden zwei Controller und mindestens zwei Basisstationen zum Tracking benötigt (siehe Abb. 15). Auf diese Komponenten wird im Folgenden genauer eingegangen.



**Abb. 15: HTC Vive Pro Komponenten [53]**

### 2.6.1 Display

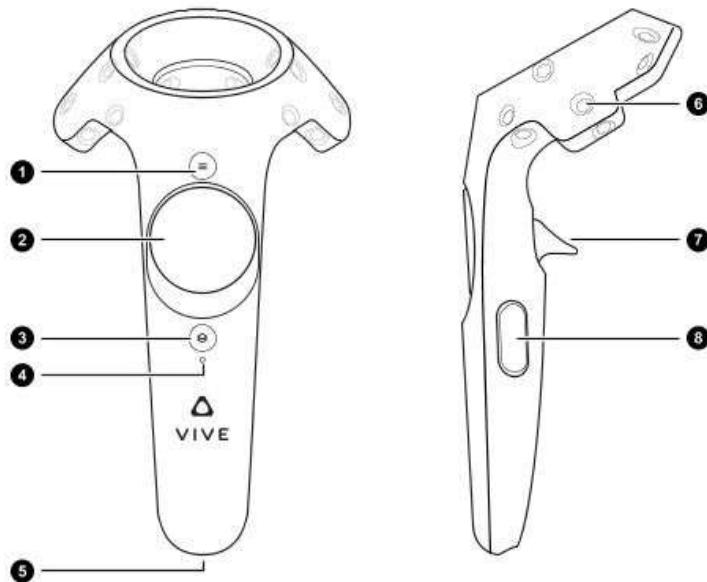
Beim Display handelt es sich um zwei OLED Displays mit der Größe von 3.5 Zoll Bilddiagonale mit einer Auflösung von 1440 x 1600 Pixel pro Auge. Die Bildwiederholungsrate beträgt 90Hz bei einem Gesichtsfeld von 110 Grad [54].

### 2.6.2 Controller

Über die beiden Controller wird eine Interaktion mit der virtuellen Umgebung ermöglicht. Die Controller besitzen verschiedene Tasten und Schnittstellen, auf die mit Hilfe der Abb. 16 genauer eingegangen wird [55] .

1. Mit der **Menütaste** kann jeder Zeit auf das Menü zugegriffen werden [55].
2. Über das **Trackpad** können Eingaben nach oben, unten, links und rechts getätigert werden [53].
3. Das Einschalten, Ausschalten oder Koppeln des Controllers kann über die **System Taste** umgesetzt werden [55].
4. Die **Statuslampe** zeigt die verschiedenen Zustände des Controllers an. Die Farbe Grün bedeutet, dass sich der Controller aktuell im normalen Modus befindet, roten Blinken, wenn der Akku fast leer ist, blaues Blinken beim Koppeln des Controllers mit dem Headset. Das dauerhafte blaue Leuchten signalisiert das erfolgreiche Verbinden mit dem Headset und Orange ist beim Auflade-Vorgang aktiv [55].
5. Der **Mico-USB-Anschluss** kann der Akku des Controllers mit Hilfe eines USB-Kabels aufgeladen werden [55].
6. Über die **Verfolgungssensoren** wird die Position und getätigten Eingaben durch die angebrachten Basisstationen verfolgt [55].
7. Die **Trigger Taste** wird vor allem für die Interaktion mit der virtuellen Umgebung benutzt und kann mit dem Zeigefinger betätigert werden [55].

8. Die **Griff Taste** wird vor allem zum Greifen von Objekten genutzt und kann mit dem Mittel- oder Ringfinger ausgelöst werden [55].



**Abb. 16: HTC Vive Controller [55]**

### 2.6.3 Tracking

Die *SteamVR Basisstationen 2.0* sind für das Tracking im physischen Raum zuständig. Die Basisstationen werden so außerhalb des Spielbereichs angebracht, dass die Vorderseiten mittig in den Spielbereich zeigen. So werden Signale an die VR Brille und den dazugehörigen Controller geleitet und die Positionen bestimmt [56].

Die Basisstationen basieren auf der von Valve und HTC entwickelten SteamVR Tracking 2.0 Ortungstechnologie. Der physische Raum wird durch die Basisstationen mit Laserstrahlen von bis zu 5m und Synchronimpulsen mit einer Aktualisierungsrate von 1000 Hz abgescannt. Damit lässt sich die Position und Rotation jedes Sensors millimetergenau im Raum orten. Ebenso erlaubt die Technologie den Einsatz von mehr als 2 Basisstationen unterstützt. Damit ist ein Spielbereich mit einer Größe von 10m x 10m bei dem Einsatz von 4 Basisstationen möglich [56] [57].

### 2.6.4 Vive WLAN Adapter

Durch die Zusammenarbeit mit Intel® WiGig, bietet Vive einen kabellosen WLAN Adapter an. Damit wird eine ungehinderte Bewegung im physischen Raum ermöglicht, da ein Kabel für die Schnittstelle zwischen der HTC Vive und einem PC damit nicht mehr benötigt wird. Der Adapter unterstützt die SteamVR Basisstationen 2.0 [58].

Um den WLAN Adapter nutzen zu können, werden mehrere grundlegende Hardwarekomponenten benötigt (siehe Abb. 17). Zum einen der WLAN Adapter mit der Halterung für die HTC VIVE, die PCIe WiGig

Karte und die WLAN Linkbox als Schnittstelle zu dem PC und die HTC QC 3.0 Powerbank zur Stromversorgung des Adapters [59].



**Abb. 17: Vive WLAN Adapter Komponenten [59]**

### 3 Umsetzung

Dieses Kapitel wird die Umsetzung genauer beschrieben. In den ersten beiden Unterkapiteln wird die Einbindung der VR-Brillen Oculus Quest und HTC Vive beschrieben. Daraufhin wird die Implementierung der virtuellen Umgebung genauer behandelt. Dazu gehören die Erstellung des Weges und der dazugehörigen Wergerkennung, die Hindernisse und Hintergrundgeräusche. Des Weiteren wird die Entwicklung des Malus und des positiven Verstärkers beschrieben. In den letzten Unterkapiteln wird auf die Implementierung der Szenarien, der Aufgabenstellung und das Menü genauer erläutert.

Für die Umsetzung wurde die Oculus Quest für die Entwicklung und die HTC Vive für die Datenerhebung eingesetzt. Zusätzlich wurde für die Entwicklung der Software die Entwicklungsumgebung Unity 3D mit der Version 2019.4.15 und Visual Studio 2019 verwendet.

#### 3.1 Einbindung der Oculus Quest

Um selbst entwickelte grafische Anwendung bzw. Spiele in Unity 3D ausführen oder testen zu können, muss eine aktive Verbindung von der Oculus Quest zum Computer und der Entwicklungsumgebung hergestellt werden. Bei der Entwicklungsumgebung handelt es sich, wie zuvor erwähnt, um Unity 3D in der Version 2019.4.15.

##### 3.1.1 Schnittstelle zwischen PC und Oculus Quest

Um die Verbindung zum PC erfolgreich herstellen zu können, wurde die Software *Oculus Link* benötigt. Diese stellt die Schnittstelle zum PC her und stellt Oculus Rift Inhalte zur Verfügung. Diese wird direkt von Oculus online angeboten. Erforderlich ist ebenso das Aktivieren der Oculus Quest Brille und der Oculus Link Software mit einem aktiven Facebook Account, um die beiden Komponenten erfolgreich miteinander koppeln zu können (siehe Abb. 18). So kann die Brille von Unity 3D erkannt werden, und die Oculus Quest im nächsten Schritt in die Entwicklungsumgebung eingerichtet werden.

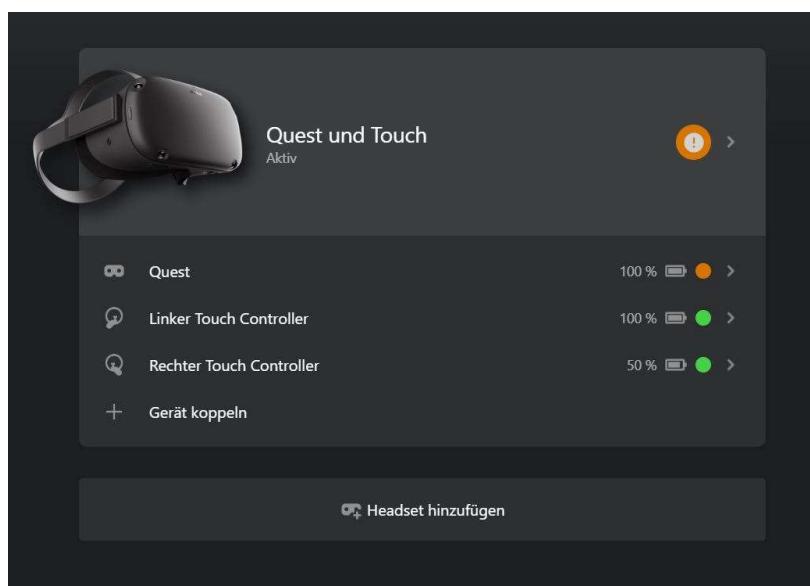


Abb. 18: Gekoppelte Quest in Oculus Link

### 3.1.2 Einbindung in Unity

In Unity 3D ist es nötig, den Oculus Support einzurichten. Dazu gab es zwei Möglichkeiten, die ihre Vorteile und Nachteile bieten. Das veraltete *XR-Plugin* Tool ist schon seit einiger Zeit standardmäßig integriert und bietet dazu die Möglichkeit, *OpenVR* zu nutzen. Dies wird benötigt, wenn weitere VR-Brillen in der Entwicklungsumgebung genutzt werden sollen. Ein Beispiel ist die im Projekt ebenso genutzte HTC Vive. Das *XR-Management* soll das *XR-Plugin* in Zukunft ablösen und eine zentrale Implementierung der meisten VR-Brillen ermöglichen. Diese befindet sich jedoch erst in den Anfängen, und bietet noch keine Unterstützung, lediglich eine Betaversion für *OpenVR* an. Da die Entwicklung zu Hause mit der Oculus Quest durchgeführt wurde, die Evaluation jedoch mit der leistungsstärkeren HTC Vive, wurde die Umsetzung mit dem XR-Plugin umgesetzt. In den XR-Settings, die sich innerhalb der Player Einstellungen befinden, wurde *Oculus* als Virtual Reality SKD hinzugefügt und der Haken unter *Virtual Reality Supported* gesetzt (siehe Abb. 19).

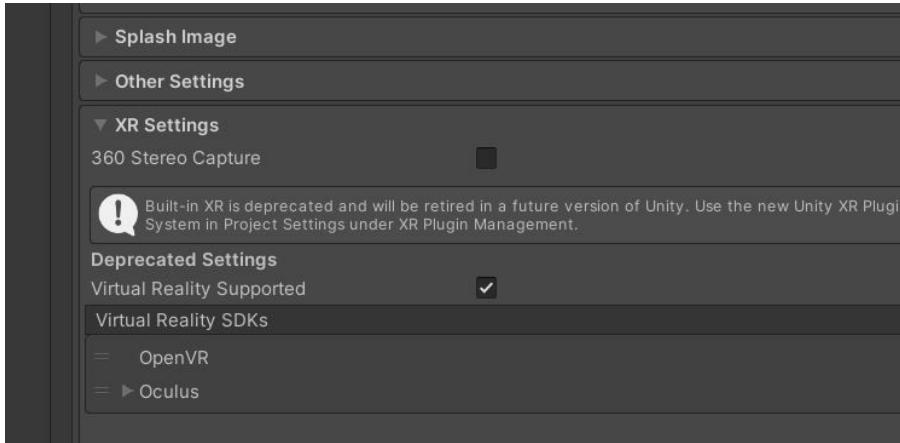


Abb. 19: XR Einstellungen in Unity

Ebenso benötigt wurde das Asset *Oculus Integration*, das sich über den integrierten Asset Store finden und importieren lässt. Beinhaltet sind einige Kernfunktionen für VR, Komponenten, Prefabs und Plugins, um grundlegende Interaktionen wie das Umschauen und das Gehen in der Virtuellen Welt zu ermöglichen und erleichtern. Bei Prefabs handelt es sich um wiederverwendbare Objekte wie z.B. Formen, Lichter oder eine Kamera. Zur Nutzung werden diese per Drag & Drop in die Szene gezogen und können beliebig erweitert werden. Für die Umsetzung der Interaktion mit der Oculus Quest und der virtuellen Welt wurde das Prefab *OVRPlayerController* verwendet. Im Gegensatz zum ebenso Verfügbaren Prefab *OVRCameraRig*, die als stationäre VR Kamera dient, sind zusätzlich Komponenten für die Steuerung und ein Character Controller für die Fortbewegung, Room-Scale oder mit dem Controller, in der Virtuellen Umgebung enthalten (siehe Abb. 20) [60].



Abb. 20: OVRPlayerController

Um einen ausgelösten Malus visuell sehen zu können, wurde zusätzlich eine Kamera *UICamera* unterhalb des Objekts *CenterEyeAnchor* innerhalb des *OVRPlayerController* Prefabs hinzugefügt.

### 3.1.3 Ausführung der Anwendung

Ist die Oculus Quest erfolgreich mit *Oculus Link* verbunden, kann die VR-Brille direkt in der Unity Entwicklungsumgebung über den *Play Mode* ausgeführt werden. Dies wird vor allem in der Entwicklung benötigt. Die Anwendung kann jedoch direkt auf der VR Brille ausgeführt werden, da ohne Kabel und angeschlossenen Computer ein freieres Bewegen in der virtuellen Umgebung möglich ist. Dazu wurden in den Grafikeinstellungen einige Änderungen vorgenommen und die Plattform wurde zu Android gewechselt. Ebenso wurde der Account als Developer freigeschalten und Entwicklermodus der Oculus Quest aktiviert.

## 3.2 Einbinden der HTC Vive

Für die Entwicklung des Projekts wurde die Oculus Quest genutzt. Für die spätere Durchführung der Evaluation und des Durchlaufs der Szenarien mit den Probanden wurde die HTC Vive eingesetzt. Wie in Kapitel 2.6 ersichtlich, besitzt diese VR-Brille eine bessere Hardware, besseres Tracking und unterstützt eine kabellose Schnittstelle, um die Anwendung in Unity 3D im Play Mode und gleichzeitig frei im Raum bewegend, laufen lassen zu können. Dazu ist im Labor das benötigte Tracking bereits angebracht, somit das erneute Einrichten des Tracking Bereichs bzw. des Guardians der Oculus Quest nicht mehr notwendig und somit in der Umsetzung unkomplizierter.

### 3.2.1 Schnittstelle zwischen PC und SteamVR

Um die Schnittstelle zwischen der HTC Vive und dem PC herzustellen, wurde die Software *SteamVR* verwendet. Über die Plattform Steam wurde die aktuelle Version von *SteamVR* herunterladen und installiert. Hierzu ist ein Benutzerkonto zur Anmeldung bei Steam erforderlich. Somit ist die erfolgreiche Erkennung der VR Hardware am PC gewährleistet.

### 3.2.2 Einbindung in Unity

Um *SteamVR* und die dazugehörigen VR Hardware in Unity nutzen zu können, wird das *SteamVR Plugin* Asset benötigt. Das Plugin ist eine Schnittstelle zu *SteamVR* und verwaltet das Anzeigen von 3D Modellen für die VR Controller und Hände, die Verarbeitung von Benutzereingaben über diese Controller und Interaktionssysteme, die mit Prefabs und Skripte implementiert werden. Das Plugin wurde über den integrierten Asset Store von Unity heruntergeladen und installiert [61].

In den *XR-Settings*, die sich innerhalb der *Player* Einstellungen befinden, wurde *OpenVR* als Virtual Reality SDK hinzugefügt (siehe Abb. 19). Der Haken unter *Virtual Reality Supported* musste nicht mehr gesetzt werden, da dies schon in Kapitel 3.1 während der Einbindung der Oculus Quest in Unity umgesetzt wurde.

Für die grundlegenden Interaktionen zwischen der HTC Vive und der virtuellen Welt, wurde das *Player* Prefab verwendet, was innerhalb des *SteamVR Plugin* Asset zur Verfügung steht (siehe Abb. 21). Dies bindet grundlegende Eingabeaktionen ein und ermöglicht eine physische Fortbewegung durch den virtuellen Raum.

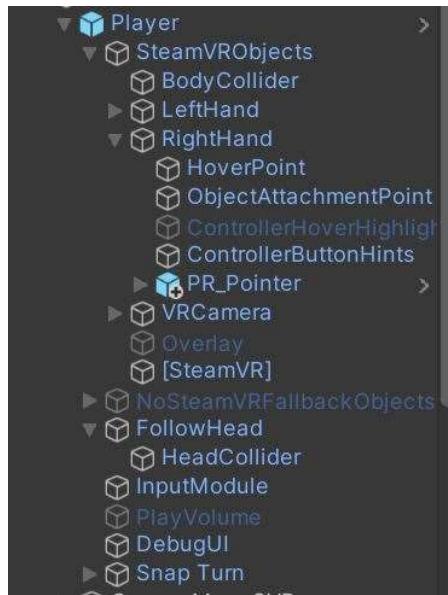


Abb. 21: Player Prefab

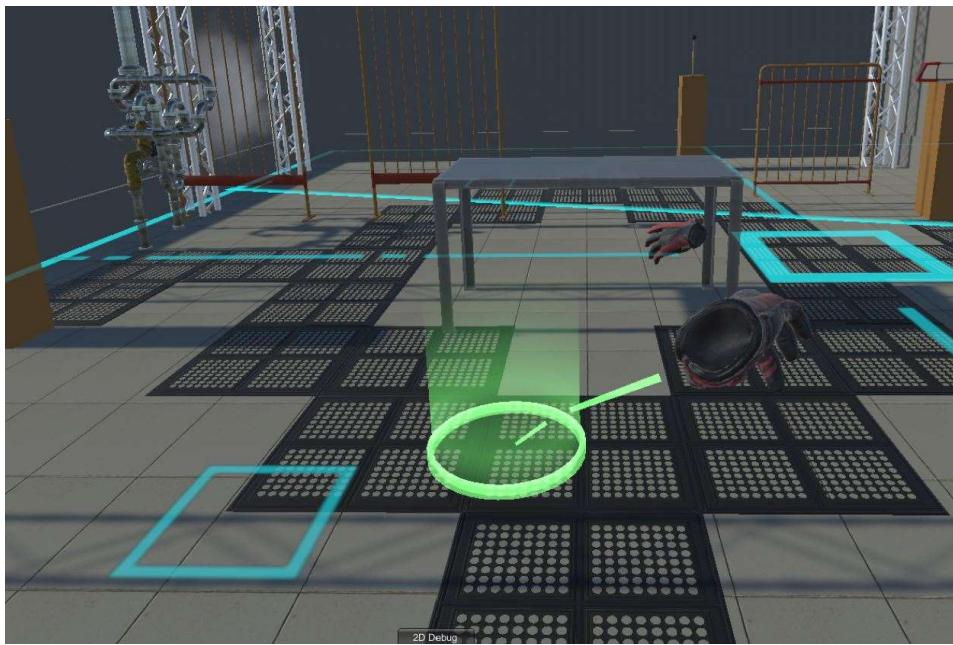
Unterhalb der Komponente *FollowHead* befindet sich eine weitere Komponente *HeadCollider*. Hier befindet sich ein Collider mit dazugehörigem Rigidbody, der die Position des HDM besitzt und sich bei Bewegung aktualisiert. An dieser Stelle wurden die entwickelten Skripte für die Implementierung des Malus und alle Funktionalitäten der Szenarien hinzugefügt und angepasst.

Für die grundlegenden Interaktionen mit dem Controller, werden die Standardeinstellungen in der *Binding UI*, das sich im unter dem Menüpunkt *SteamVR Input* befindet, übernommen und gespeichert. Hierdurch

sind spätere Aktionen, wie das Teleportieren durch den virtuellen Raum oder die Interaktionen mit dem Menü zur Auswahl der Szenarien möglich.

Da mit dem *Player* Prefab keine grundlegende Unterstützung zur Fortbewegung mit dem Controller zu Testzwecken möglich ist, wurde dies mit Hilfe des *Teleport* umgesetzt. Dazu musste das im *SteamVR Assets* befindliche Prefab *Teleport* in die Szene gezogen werden. Zusätzlich wurde eine *Plane* in derselben Höhe des Bodens erstellt, auf der das Skript *TeleportArea* hinzugefügt wurde. So ist es möglich, sich mit Hilfe des Controllers durch den virtuellen Raum zu bewegen, da während der Entwicklung zur meisten Zeit nicht genügend physischer Raum zur Verfügung stand (siehe Abb. 22).

Das *SteamVR\_Play\_Area* Skript wurde dem *Player* Prefab als weitere Komponente hinzugefügt. Da die Fortbewegung bei der Durchführung der Szenarien durch physisch Fortbewegung umgesetzt wird, lassen sich mit dieser Komponente die Grenzen des physischen Raums und der Startpunkt nach dem Start des Szenarios einstellen.



**Abb. 22: Fortbewegung durch Teleport**

Um einen aufgelösten Malus visuell sehen zu können, wurde wie zuvor in Kapitel 3.1.2, zusätzlich eine Kamera *UICamera* unterhalb des Objekts *VRCamera* innerhalb des *Player* Prefabs hinzugefügt.

### 3.3 Implementierung des Weges

Für die Implementierung des Weges werden Objekte von Matten genommen, die schon zuvor in einem anderen Projekt genutzt wurden. Wie in Abb. 23 zu erkennen, war es das Ziel, ein kleines Labyrinth zu erzeugen, über das der Benutzer laufen kann, um die geforderte Aufgabe zu erledigen. Im Mittelpunkt befindet sich eine Art Rechteck. In Richtung des Startpunktes wurde ein kleiner Weg implementiert, der auf das Rechteck führt. Auf der linken, rechten und hinteren Seite des Weges befinden sich kleinere

Seitenarme. Der Nutzen dieser Seitenarme wird im späteren Verlauf des Projektes verdeutlicht. Die Größe der Matten wurden an dieser Stelle noch nicht angepasst und besitzen eine Größe von 1x1 Meter.

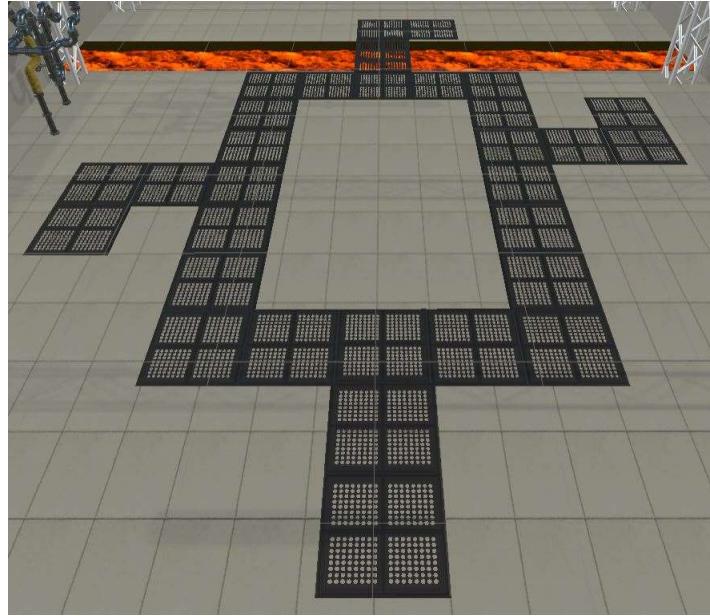


Abb. 23: Aufbau des Weges

### 3.4 Implementierung der Wegerkennung

Um zu erkennen, ob sich der Benutzer auf dem Weg befindet oder nicht, wurden *Box Collider* implementiert (siehe Abb. 24). *Collider* sind unsichtbare Objekte, die dafür zuständig sind, physische Kollisionen zu bemerken. Diese können genau dieselbe Form von Objekten haben. Die Größe und Form können jedoch auch unabhängig sein [62].

Die *Box Collider* wurden an leere *GameObject* Objekte gehängt und an die Größe der Matten angepasst. Die Höhe der aller *Collider* beträgt 2m, da sich der *Collider* des Benutzers auf der Höhe der VR Brille befindet. Um die Kollision mit diesen *Collider* erkennen zu können, wurde der Tag *Way* erstellt und alle *Collider* mit diesem Tag versehen. Bei einem Tag handelt sich es um eine Referenzwort, das Objekte zuwiesen werden kann. Durch diesen Tag lassen sich diese Objekte genau identifizieren und werden vor allem für Kollisionen von zwei oder mehrerer *Collider* verwendet [63]. Zu beachten ist hierbei, dass sich die *Collider* überschneiden um das kurze Auslösen eines Malus beim Übergang zwischen zwei *Collider* verhindern.

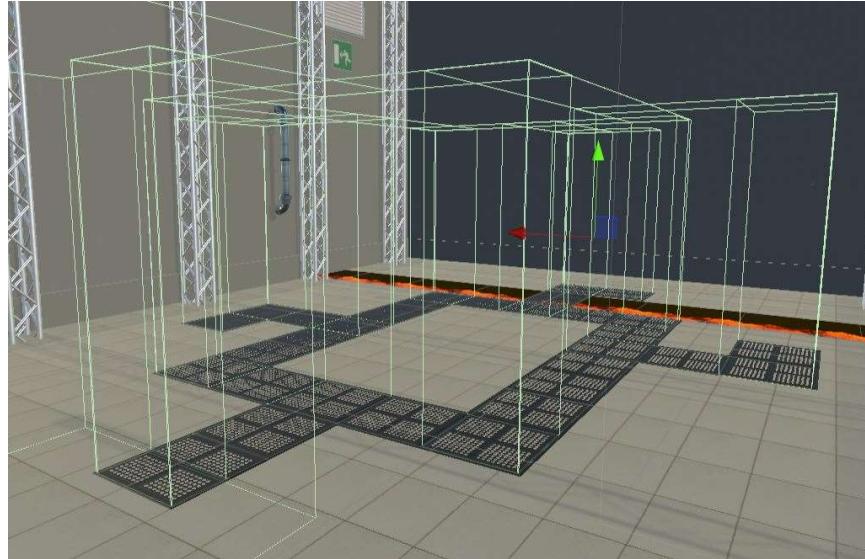


Abb. 24: Box Collider für die Wegerkennung

Um die Kollisionen erfassen zu können, wurde in der Rigidbody Komponente die *IsKinematic* Einstellung, und in der Komponente Sphere Collider die *IsTrigger* Einstellung aktiviert (siehe Abb. 25). Dies bewirkt, dass das Objekt *HeadCollider* keine Physik benutzt, sondern ein *Trigger* ist, das bei einer Kollision mit anderen Objekt *Collider*, *Trigger* Funktionen ausführen kann.

Da beim *OVRPlayerController* der Controller die Implementierung des *Colliders* und des *Rigidbodys* übernimmt, mussten hier keine Einstellungen vorgenommen werden.

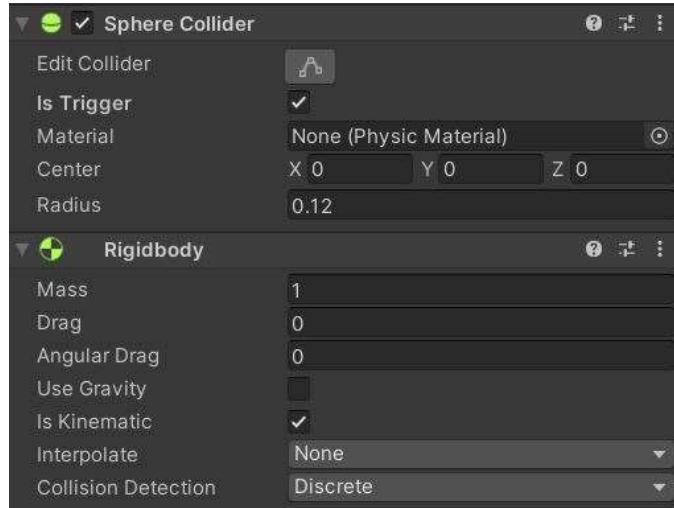


Abb. 25: HeadCollider Konfiguration

Um *Trigger* Funktionen beim Verlassen oder Betreten des Weges auszulösen, wurde ein *Player* Skript erstellt. Dies ist das zentrale Skript und wurde dem *Player* bzw. *OVRPlayerController* Objekt als Komponente hinzugefügt. Da zur Wegerkennung mehrere Collider verwendet wurden, zählt die Variable *colliderActive*, ob der Benutzer beim Verlassen eines Colliders sich noch auf dem Weg befindet oder nicht.

### 3.5 Hindernisse

Wie in Abb. 26 zu erkennen, befinden sich verschiedene Hindernisse auf dem Weg, um das Fortbewegen zu erschweren. Diese Umgebung ist in allen Szenarien gleich. Mittig des Weges stehen eine True und eine Kartonkiste. Ebenso befinden sich zwei Zäune und ein Tisch auf dem Weg. Ein Lavafluss befindet sich am oberen Teil des Raumes.



**Abb. 26: Hindernisse**

Es wurde ein Skript *ObstacleMonitor* erstellt, um zu überprüfen, ob und durch welche Hindernisse der Benutzer gelaufen ist. Dazu wurde bei jedem Hindernis ein *Box Collider* als Komponente hinzugefügt und die Höhe auf 2 Meter angepasst. Ebenso wurde für jedes Hindernis einen eindeutigen *Tag* erstellt, um bei einer Kollision mit einem Hindernis feststellen zu können, um welches Hindernis es sich handelt.

Wie in Abb. 27 zu erkennen ist, wird im *ObstacleMonitor* Skript in der *OnTriggerEnter* Methode bei einer Kollision anhand der Tags überprüft, um welches Hindernis es sich handelt und im zentralen Skript *DataRecorder* zum Halten der Daten abgespeichert.

```

    Unity-Nachricht | – Verweise
private void OnTriggerEnter(Collider other)
{
    if (other.gameObject.CompareTag("Box"))
    {
        dataRecorder.SetBoxTrue();
    }

    if (other.gameObject.CompareTag("CardboardBox"))
    {
        dataRecorder.SetCardboardBoxTrue();
    }

    if (other.gameObject.CompareTag("Table"))
    {
        dataRecorder.SetTableTrue();
    }

    if (other.gameObject.CompareTag("BarrierLeft"))
    {
        dataRecorder.SetBarrierLeftTrue();
    }

    if (other.gameObject.CompareTag("BarrierRight"))
    {
        dataRecorder.SetBarrierRightTrue();
    }
}

```

Abb. 27: Obstacle Monitor Skript

### 3.6 Hintergrundgeräusche

Da es sich bei der Umgebung um eine Art Industriehalle handelt, wurden dazu passende Hintergrundgeräusche für eine bessere Erzeugung der Präsenz hinzugefügt. Für die Implementierung wurden zwei verschiedene Audiodateien genutzt, die sich schon durch ein vorheriges Projekt im Asset Ordner Sounds befanden. Dazu wurde ein leeres Objekt *AudioBackground* erstellt, unter dem die beiden Objekte *AudioConstant* und *AudioInBetween* erstellt wurden. Unter beiden Objekten wurde ein  *AudioSource* als Komponente hinzugefügt und daran die Audiodateien gehängt. Das Audio, das unter dem Objekt *AudioConstant* hinzugefügt wurde, wird dauerhaft nach dem Start der Anwendung abgespielt. Aus diesem Grund wurden die Haken bei *PlayOnAwake* und *Loop* gesetzt, was dazu führt, dass das Audio direkt beim Start der Anwendung abgespielt wird und erneut von vorne beginnt.

Dagegen dürfen diese Haken bei dem Audio unter *AudioInBetween* nicht gesetzt sein. Zum Abspielen der Datei wurde ein Skript *PlayAudioInBetween* erstellt und als Komponente angehängt. Das Skript spielt das Audio mit Hilfe einer Koroutine in regelmäßigen Abständen ab. Die Zeit der Abstände wurde mit der Variable *PlayTime* realisiert und der Wert auf 30 Sekunden gesetzt. Da die Laustärke der Geräusche nur leise im Hintergrund hörbar sein sollen, wurde die *Volume* Einstellung beider  *AudioSource* Komponenten auf den Wert 0.3 gesetzt.

### 3.7 Entwicklung des Malus

Ziel ist es, einen visuellen und akustischen Malus auszulösen, sobald der Proband vom Weg abkommt. Visuell sichtbar sein soll ein rotes, pulsierendes Blinken im kompletten Sichtfeld des Benutzers. Ebenso soll neben dem visuellen Reiz ein akustisches Piepen ertönen. Die Frequenz beider Stimuli ist synchron und wird bei steigender Dauer, genauer gesagt alle 5 Sekunden, schneller.

### 3.7.1 Erstellen des Canvas

Für die Umsetzung in Unity 3D wurde ein *Canvas* Objekt implementiert, das automatisch eine *EventSystem* Komponente erstellt. Dies ist dazu da um *UI Elemente* wie z.B. Bilder, Buttons für ein Menü oder Text anzeigen zu lassen. Diese müssen als Unterkomponente eingefügt werden. Die *Canvas* können in zwei grundlegenden Render Einstellungen laufen, in *Screen Space* oder *World Space*. In *Screen Space* Modus wird das *Canvas* und deren *UI Elemente* direkt auf dem Bildschirm, über der Szene überlagernd dargestellt. In *World Space* dagegen werden die Elemente, wie jedes andere 3D Objekt auch als Teil der virtuellen Umgebung platziert. Für die Umsetzung des Malus wurde die *Screen Space Camera* Einstellung implementiert, da es in VR sonst zu Darstellungsproblemen kommen kann. Diese ist ähnlich wie der *Screen Space* Modus, benutzt jedoch zusätzlich eine *Kamera* für die Darstellung der *UI Elemente*. Hier wurde die entsprechend erstellte Kamera des *OVRCameraController* bzw. des *Players* in das *Canvas* Objekt eingefügt. Ebenso muss die Kamera und das *Canvas* Objekt derselbe *Order in Layer* besitzen und wurde auf den Wert *0* gesetzt (siehe Abb. 28). Dies ist bedeutsam, da sonst Probleme mit der späteren Interaktion mit der *Canvas* des Menüs auftreten können, da das *Canvas* des Malus hinter diesem liegen muss. Wie zuvor in Kapitel 3.1.2 und Kapitel 3.2.2 beschrieben, wurde zur erfolgreichen Darstellung in der virtuellen Umgebung eine jeweils weitere Kamera *UICamera* im *Player* und *OVRCameraController* hinzugefügt. Diese Kamera muss nun im Objekt *CanvasMalus* eingebunden werden.

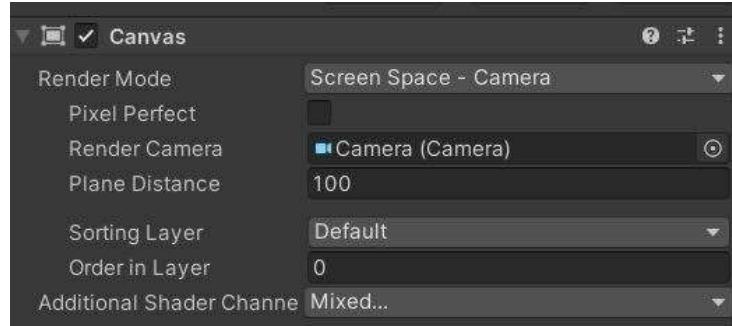


Abb. 28: Render Modus der Canvas

Unter dem *Canvas* wurde ein *Image* Objekt *ImageMalus* erstellt und dessen Größe an das *Canvas* angepasst, so dass diese das komplette Sichtfeld ausfüllt. Da der ausgelöste Malus rot blinken soll, wurde die Farbe des Images auf Rot mit dem Hexadezimalen Wert *C00000* konfiguriert. Der Alpha Wert wurde auf *0* gesetzt, sodass die Farbe des Images nicht sichtbar ist, solange der Malus nicht aktiv ist.

### 3.7.2 Erstellen der Animation

Für die Umsetzung des Malus wurde ein Animator Controller *ImageController* erstellt. Ein Animator verwaltet eine oder mehrere Animationen mit einem Zustandsautomat, eine Art Flussdiagramm mit Animationen und deren Zustände, Übergänge und Abfolge für z.B. Charaktere oder Objekte [64]. Über den Animator können die Animationen mit Hilfe eines Skripts aufgerufen werden.

Unter dem Objekt *ImageMalus* wurde eine Animator Komponente hinzugefügt, das den *ImageController* einbindet. Für die Erzeugung des Impulses mit dem *ImageMalus* Objekt wurde ein Animation Objekt *Impulse* erstellt, das in Abb. 29 zu sehen ist.

Diese nimmt den Alpha-Wert des Images und verändert diesen, um so einen optischen Impuls zu erzeugen. Ein Intervall des Impulses hat die Länge von einer Sekunde, wobei der Alpha Wert bei 0,05 Sekunden auf Wert 0,3 gesetzt wird. So ist die Farbe Rot für den Benutzer sichtbar und nimmt bis zum Ende des Intervalls ab. Im Inspektor der Animation wurde der Haken bei *Loop Time* gesetzt, sodass sich der Impuls fortlaufend wiederholt, bis dieser im Skript *Player* deaktiviert wird. Ebenso wird im genannten Skript die Geschwindigkeit der Animation im Animation Controller alle 5 Sekunden erhöht. Die Standardgeschwindigkeit hat den Wert 1.

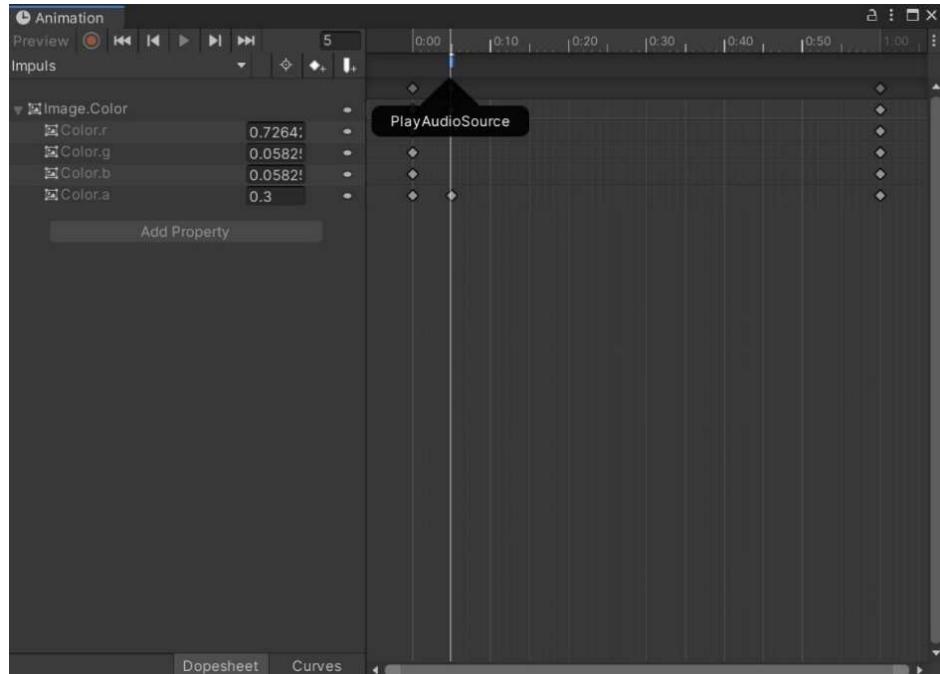


Abb. 29: Animation des Images

Neben dem visuellen Reiz des Impulses wird zusätzlich noch ein akustischer Reiz erzeugt. Dazu wurde eine AudioSource Komponente dem Image Objekt *ImageMalus* hinzugefügt, die dazu benutzt wird, um die Audiodatei einzubinden und per Skript abspielen zu können. Bei dem Audio handelt es sich um ein Piep Ton, das frei im Internet zur Verwendung zur Verfügung steht. Um das Audio zeitgleich mit dem visuellen Impuls abspielen zu lassen, wurde ein Event *Play AudioSource* in der Animation erstellt. Dieses Event wird zeitgleich mit dem höchsten Alpha Wert des roten Impulses aufgerufen. Dazu wurde zusätzlich ein Skript *PlayAudio* dem *Image* Objekt hinzugefügt, dass das das Event implementiert, die  *AudioSource* Komponente aufruft und das Audio abspielt (siehe Abb. 30). Wie in Abb. 29 und Abb. 30 ersichtlich, muss dabei der Name der Methode gleich dem Namen des erstellen Events sein, um das Event zu implementieren.

```

    @ Unity-Skript | 0 Verweise
    public class PlayAudio : MonoBehaviour
    {
        private AudioSource audioSource;

        // Start is called before the first frame update
        @ Unity-Nachricht | 0 Verweise
        void Start()
        {
            audioSource = gameObject.GetComponent<AudioSource>();
        }

        0 Verweise
        void Play AudioSource()
        {
            audioSource.Play();
        }
    }

```

Abb. 30: PlayAudio Skript

Um die *Animation* über den *Animator Controller* abspielen zu können, wurde die Animation *Impulse* in den *Animator Controller* per Drag & Drop hineingezogen (siehe Abb. 31). Ein Übergang zwischen dem Objekt *Any State* und der *Animation* wurde erstellt. Durch den *Any State* Zustand kann die *Impulse* Animation ausgeführt werden, unabhängig davon welcher Zustand gerade aktiv ist. Da die Animation beim Deaktivieren durch die *Rebind* Methode beendet und neu gebunden wird, ist hier kein anderer Zustand wie z.B. der *Idle* Zustand bei Inaktivität notwendig [65].

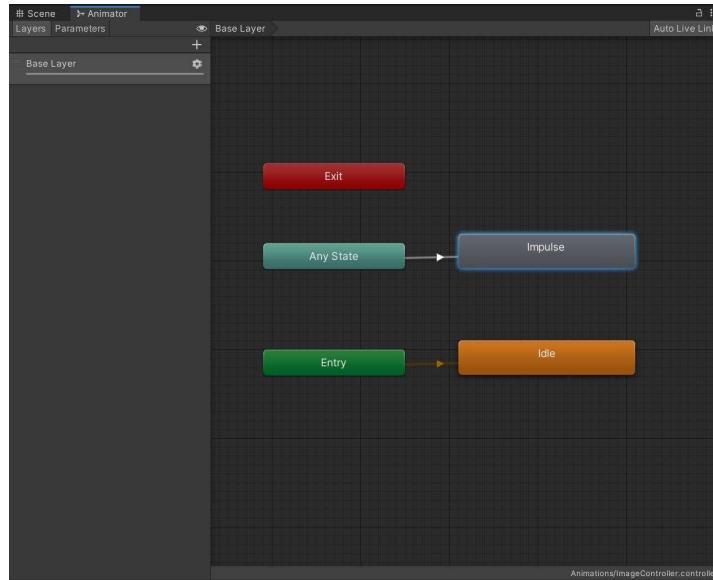


Abb. 31: Animator ImageController

### 3.7.3 Implementierung

Zum Aktivieren oder Deaktivieren des Malus wird das Skript Player genutzt (siehe Abb. 32). Sobald der Benutzer den Weg verlässt und das Szenario 2 aktiviert ist, wird der Malus über den *Animator* in der Methode *OnTriggerExit* aufgerufen und abgespielt. Betritt der Benutzer den Weg wieder, wird der *Animator* in der *OnTriggerEnter* Methode neu gebunden. Das Abspielen des Malus wird dadurch gestoppt und die Daten, wie die Geschwindigkeit des Malus werden zurückgesetzt.

```

    © Unity-Nachricht | 0 Verweise
    private void OnTriggerEnter(Collider other)
    {
        colliderActive++;

        if (other.gameObject.CompareTag("Way") && colliderActive == 1 && gameStarted)
        {
            if (offWay)
            {
                DeactivateMalus();
            }
            offWay = false;
        }

        if (other.gameObject.CompareTag("StartPoint"))
        {
            EndGame();
        }
    }

    © Unity-Nachricht | 0 Verweise
    private void OnTriggerExit(Collider other)
    {
        colliderActive--;

        if (other.gameObject.CompareTag("Way") && colliderActive == 0 && onWayStart == false)
        {
            offWay = true;
            dataRecorder.StartTimerMalus();

            if (scenario == "Szenario 2")
            {
                ActivateMalus();
            }
        }
    }
}

```

Abb. 32: Malus Animator in Player Skript

Wie in Abb. 33 zu erkennen, wird die Geschwindigkeit des Malus dabei durch die Koroutine *TimerCoroutine* alle 5 Sekunden verdoppelt. Eine Koroutine ist eine Art Funktion, die ihren Ablauf jedoch im Vergleich zu normalen Funktionen unterbrechen und später wieder fortsetzen können [66]. Wird der Malus deaktiviert, wird der Animator neu gebunden, die Geschwindigkeit und der Alpha Wert des *ImageMalus* wieder zurückgesetzt.

```

    1 Verweis
    private void ActivateMalus()
    {
        malusAnimator.Play("Impulse");
        StartCoroutine("TimerCoroutine");
    }

    1 Verweis
    private void DeactivateMalus()
    {
        dataRecorder.StopTimerMalus();
        malusAnimator.Rebind();
        StopCoroutine("TimerCoroutine");
        malusAnimator.speed = 1;
        SetAlphaToNull();
    }

    1 Verweis
    private void SetAlphaToNull()
    {
        var tempColor = malusImage.color;
        tempColor.a = 0f;
        malusImage.color = tempColor;
    }

    0 Verweise
    internal IEnumerator TimerCoroutine()
    {
        while (true)
        {
            yield return new WaitForSeconds(speedUpTime);
            malusAnimator.speed += 1;
        }
    }
}

```

Abb. 33: Aktivierung und Deaktivierung des Malus

## 3.8 Positiver Verstärker

Sobald der Benutzer ein Objekt erreicht und mit dem Controller greift oder am Ende des Szenarios den Startpunkt erreicht, wird dies mit einem grünen optischen Impuls und einem Audio signalisiert.

### 3.8.1 Erstellen der UI Elemente

Wie schon in Kapitel 3.7.1 beschrieben, wird der optische Reiz mit deinem Canvas umgesetzt. Unter dem *CanvasMalus* Objekt wurde ein *Image* Objekt *ImageFinish* erzeugt und die Größe an das Canvas angepasst. Da der Impuls im Gegensatz zum Malus einmalig grün aufleuchten soll, wurde die Farbe des Images auf Grün mit dem Hexadezimalcode *IBD900* eingestellt und der Alpha Wert auf 0 gesetzt.

### 3.8.2 Erstellen der Animation

Ebenso wie zuvor in Kapitel 3.7.2, wurde für die Implementierung eine Animation verwendet. Ein Animator Controller *ImageFinishController* und eine Animation *FinishImpulse* wurden erstellt. Die Länge des Impulses dauert eine Sekunde. Für die Erzeugung des optischen Impulses wurde der Alpha Wert nach 0,05 Sekunden auf den Wert 0,3 gesetzt. So ist die Farbe Grün für den Benutzer sichtbar und nimmt bis zum Ende des Zeitzyklus wieder gleichmäßig ab, was einen optischen Impuls erzeugt.

Neben dem visuellen Reiz des Impulses wird zusätzlich noch ein akustischer Reiz erzeugt. Dazu wurde eine  *AudioSource* Komponente dem Image Objekt *ImageFinish* hinzugefügt, die dazu benutzt wird, um die Audiodatei einbinden und per Skript abspielen zu können. Bei dem Audio handelt es sich um ein Level-Up Ton, das frei im Internet zur Verwendung zur Verfügung steht. Um das Audio zeitgleich mit dem visuellen Impuls abspielen zu lassen, wurde ein Event *Play in der Animation erstellt. Dieses Event wird zeitgleich mit dem höchsten Alpha Wert des roten Impulses, also bei 0,05 Sekunden, aufgerufen. Dazu wurde zusätzlich, wie auch zuvor in Kapitel 3.7.2 beim Malus, ein Skript *PlayAudio* erstellt dem *ImageFinish* Objekt hinzugefügt. Das Skript implementiert das Event der Animation, ruft dabei die  *AudioSource* Komponente aufruft und spielt das Audio ab. Hier ist ebenso zu beachten, dass der Name der Methode gleich dem Namen des erstellen Events sein muss, um das Event zu implementieren.*

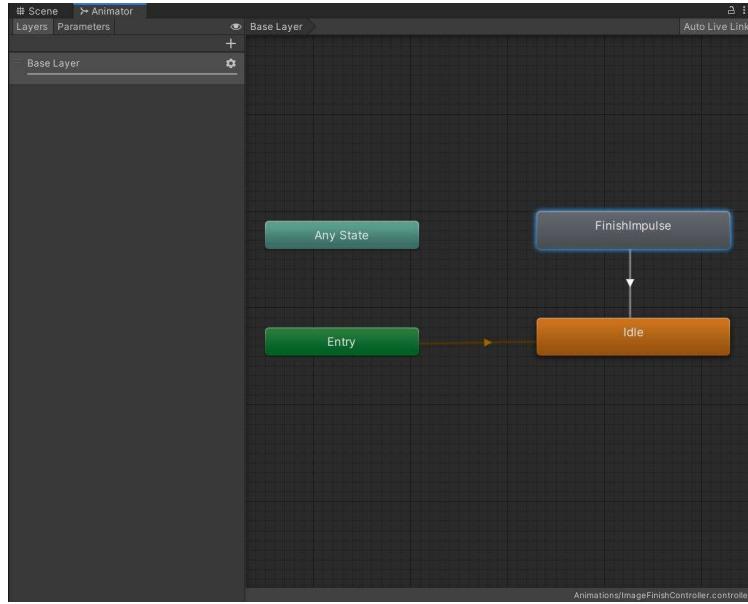


Abb. 34: Animator ImageFinishController

Um die Animation über den Animator Controller abspielen zu können, wurde die Animation *FinishImpulse* per Drag & Drop in den Animator hineingezogen (siehe Abb. 34). Ein neues State *Idle* wurde erzeugt und ein Übergang von *FinishImpulse* Animation zum *Idle* State erstellt. Wird die Animation nicht abgespielt, ist der *Idle* State aktiv. Sobald die Animation abgespielt wird, wechselt der aktive Zustand von *Idle* zum *FinishImpulse* und führt die Animation einmalig aus. Nach Beendigung der Animation, wird der Zustand durch den Übergang automatisch wieder zum *Idle* State gewechselt. So kann die Animation beliebig oft abgespielt werden.

### 3.9 Zentrale Datenspeicherung

Für die zentrale quantitativen Datenerfassung und Datenspeicherung bei der Durchführung der Szenarien, wurde das Skript *DataRecorder* erstellt und wie die meisten anderen Skripte unter dem *OVRPlayerController* bzw. im *HeadCollider* des Player Objekts als Komponente hinzugefügt. Die darin enthaltenen Methoden werden vom zentralen *Player* Skript aufgerufen und genutzt. Dieses Skript verwaltet und speichert die Daten. Startet der Benutzer ein Szenario mit Hilfe des Menüs, wird der Timer gestartet, um festzustellen, wieviel Zeit für die Durchführung des Szenarios gebraucht wurde. Zeitgleich wird der Name des Szenarios vom *ScenarioHandler* übertragen. Gleichzeitig wird bei der Aktivierung eines Malus aufgezeichnet, wie lange der Malus aktiviert war. Daraus ergibt sich ebenso der Datensatz, wie oft ein Malus bei dem Durchführen eines Szenarios aktiviert wurde und die akkumulierte Gesamtzeit, wo sich der Benutzer nicht auf dem Weg befand. Ebenso werden wie schon in Kapitel 3.5 erwähnt, abgespeichert, welche Hindernisse vom Benutzer durchlaufen wurden und welche nicht.

Die Datenaufzeichnung wird gestoppt, sobald ein Szenario vom Benutzer erfolgreich beendet wurde und nach dem erfolgreichen Export zurückgesetzt.



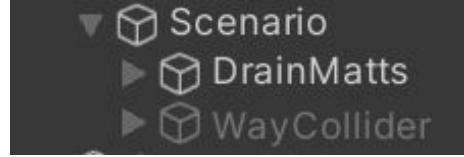
**Abb. 35: Data Recorder Parameter**

Um die Daten einem Benutzer zuordnen zu können, wurde die öffentliche Variable *userID* erstellt, wie in Abb. 35 zu sehen ist. Hier lässt sich eine gewünschte einzigartige ID vor dem Start eines Szenarios eingeben.

### 3.10 Szenarien

Den Szenarien unterscheiden sich grundsätzlich in der Implementierung darin, dass in Szenario 2 im Gegensatz zu Szenario 1 der Malus beim Verlassen des Weges aktiviert wird. Das Baseline Szenario ist gleichzusetzen mit Szenario 1. Dieses unterscheidet sich lediglich bei den fehlenden physischen Matten als taktiles Feedback.

Wie in Abb. 36 ersichtlich, wurde ein Game Objekte *Scenario* erstellt. Unter diesem Objekt wurde ein weiteres Objekt *DrainMatts* erstellt und unter diesem alle Matten Objekte aus Kapitel 3.3 hinzugefügt wurden. Ebenso wurde ein Objekt *Way* erstellt, worin die erstellen Collider zur Wegerkennung aus Kapitel 3.4 eingefügt wurden. Dieses Objekt ist vor dem Start eines Szenarios deaktiviert und wird beim Start eines Szenarios aktiviert.



**Abb. 36: Scenario Objekt**

Das Skript *ScenarioHandler*, das wie die anderen Skripte als Komponente im *OVRPlayerController* bzw. im *HeadCollider* des Player Objekts hinzugefügt wurde, ist dazu da, um die verschiedenen Szenarien zu verwalten. Es enthält Methoden, zum Aktivieren oder Deaktivieren einzelner Szenarien und Speichern des aktuellen Szenarios. Wie in Abb. 37 zu erkennen, besteht die Hauptaufgabe des Skriptes darin, zum Start das Szenario zu aktivieren und nach Beendigung des Szenarios dieses zu deaktivieren.

```

2 Verweise
public void SetScenario()
{
    switch (scenario)
    {
        case 0:
            wayCollider.SetActive(true);
            SaveScenario("Baseline");
            Debug.Log("Baseline");
            break;
        case 1:
            wayCollider.SetActive(true);
            SaveScenario("Szenario 1");
            Debug.Log("Standard");
            break;
        case 2:
            wayCollider.SetActive(true);
            SaveScenario("Szenario 2");
            Debug.Log("Physich");
            break;
    }
}

1 Verweis
public void DeactivateScenario()
{
    wayCollider.SetActive(false);
}

```

Abb. 37: Aktivieren und Deaktivieren eines Szenarios

Um das gewünschte Szenario auszuwählen, wurde die Variable *scenario* erstellt. Wie in Abb. 32 zu erkennen, wird die Auswahl über die numerischen Werte zwischen 0 und 2 angegeben. Dabei stehen die Werte für folgende Szenarien:

- 0: Baseline
- 1: Szenario 1
- 2: Szenario 2

Das ausgewählte Szenario wird automatisch geladen, sobald *Start* über das Menü ausgewählt wird und das Szenario beginnt.

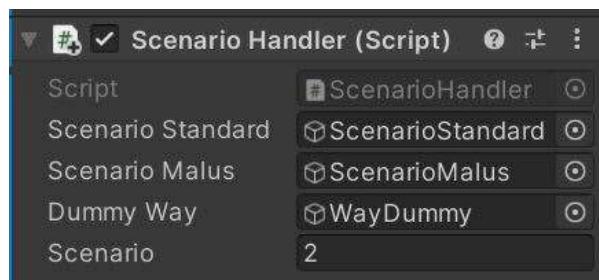


Abb. 38: Scenario Handler Variablen

### 3.11 Aufgabe der Szenarien

Aufgabe ist es, verschiedene Objekte in einer vorgegebenen Reihenfolge zu erreichen. Dazu wurden an drei Seitenarmen des Weges Podeste platziert, auf denen sich die Objekte befinden. Bei den Objekten handelt es sich um eine Säge, ein Brecheisen und einem Hammer. Diese wurden schon zuvor in einem anderen Projekt implementiert. Unter jedes dieser Objekte wurde ein leeres GameObject erstellt, in der eine *Halo* Komponente hinzugefügt wurde. Diese soll einen grünen Kreis um das Objekt erzeugen, um den Benutzer ein optischer Hinweis zu geben, wenn das Objekt zum Finden ausgewählt ist (siehe Abb. 39). Unter dem

Halo Objekt wurde ein weiteres leeres GameObject erstellt, unter dem ein Box Collider als Komponente hinzugefügt und für jedes der Objekte einem eindeutigen Tag zugewiesen wurde. Der Collider dient zur Erkennung, ob der Controller, das der Benutzer in der Hand hält, sich am Objekt befindet.

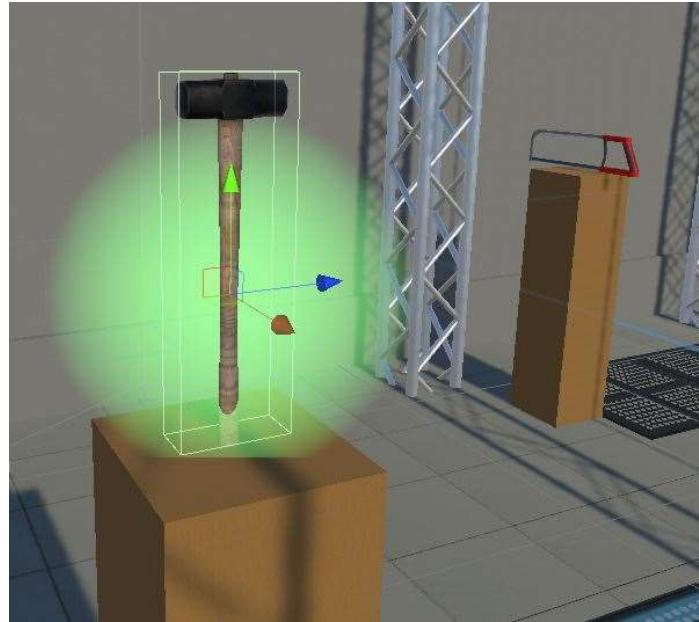


Abb. 39: Objekt mit Halo Hinweis

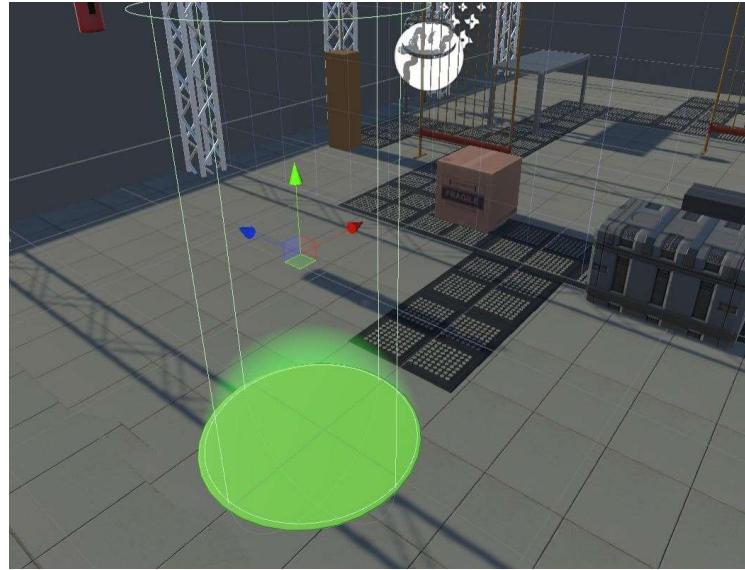
Im *Player* Prefab wurde ein neues GameObject *HandCollider* unter dem Objekt *RightHand* erzeugt (siehe Abb. 40). Ein *Sphere Collider* wurde diesem Objekt als Komponente hinzugefügt, die Größe auf 0.1 angepasst und die *IsTrigger* Einstellung aktiviert. Ebenso wurde ein *Rigidbody* dem *HandCollider* Objekt hinzugefügt, um die Trigger Funktionen nutzen zu können.



Abb. 40: HandCollider Objekt im Player Prefab

Um die Aktivierung der Objekte und die Erkennung der Kollision des HandCollider mit dem Collider am Objekt umzusetzen, wurde das Skript *GameHandler* unter dem HandCollider Objekt erstellt und hinzugefügt. Die Methoden werden vom zentralen *Player* Skript aufgerufen. Beim Starten eines Szenarios, wird das erste Objekt ausgewählt und aktiviert. Die Reihenfolge der Aktivierung ist dabei fest vorgelegt. Sobald ein Objekt mit dem Controller bzw. dem *HandCollider*, wird durch das Skript das nächste Objekt

aktiviert. Insgesamt müssen 10 Objekte erreicht werden. Wenn alle Objekte gefunden wurden, wird das Szenario beendet, indem der Benutzer den Startpunkt erreicht (siehe Abb. 41).



**Abb. 41: Startpunkt im Szenario**

Hierzu wurde ein GameObject *StartPoint* erstellt (siehe Abb. 42), unter dem ein GameObject *Circle* für die Darstellung des grünen Kreises zuständig ist. Hierbei handelt es sich um ein Sphere Objekt bzw. eine Kugel, bei der die Y-Skalierung angepasst wurde, um einen flachen Kreis darzustellen. Dazu wurde ein Material *Green* erstellt, um den Kreis optisch grün zu gestalten. Ebenso wurde eine *Halo* Komponente hinzugefügt, um den zu erreichbaren Bereich zu verdeutlichen. Das darunter erzeugte Objekt *ColliderStartPoint* enthält ein Capsule Collider. Das Objekt ist für die Erkennung des Benutzers zuständig, wenn der Startpunkt betreten wird. Wird am Ende eines Szenarios der Startpunkt betreten, wird dieser wieder deaktiviert und das Szenario beendet.



**Abb. 42: Startpunkt Objekt**

## 3.12 Menü

Um zu Beginn ein Szenario starten zu können, wurde ein Menü implementiert. Mit Hilfe des Menüs kann über den Menüpunkt *Start* das Spiel mit dem im *ScenarioHandler* (siehe Kapitel 3.10) ausgewählten Szenario gestartet werden. Zur Interaktion mit dem Menü wird der rechte Controller genutzt.

### 3.12.1 Implementierung der UI Elemente

Für die Implementierung wurde das Canvas *CanvasMenu* erstellt (siehe Abb. 43). In diesem Canvas wurde die Order in Layer Einstellung auf den Wert 1 gesetzt. Da es für den Malus schon ein Canvas, mit der Order in Layer mit dem Wert 0, existiert (siehe Kapitel 3.7.1), muss das Canvas des Menüs eine Schicht darüber liegen, um eine erfolgreiche Interaktion zu gewährleisten. Unter dem *Canvas* befindet sich ein *Panel*, unter dem jeder Menüpunkt als UI Element *Button* hinzugefügt wird. Das *Panel* dient als Zwischenschicht zwischen dem *Canvas* und den Buttons und wird hier genutzt, um ein optischer, dunkelgraue Rahmen, um das Menü zu erzeugen. Dafür wurde die Farbe der *Image* Komponente angepasst. Um die Interaktion mit

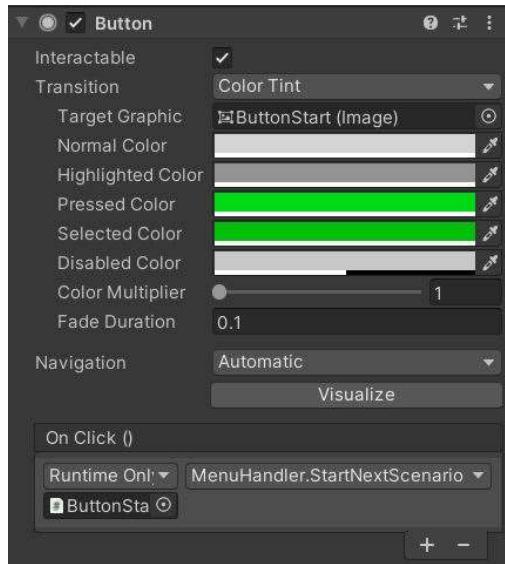
den Buttons visuell sichtbar zu machen, wurde unter der Button Komponente die *Highlighted Color* auf dunkelgrau gesetzt. Dies bewirkt das optische dunklere verfärben des Buttons, wenn mit dem Laserpointer ein Button anvisiert wird, ohne dieses auszuwählen. Wenn ein Button mit der Trigger Taste ausgewählt wird, färbt sich dieser Button grün. Dazu wurde die *Pressed Color* konfiguriert (siehe Abb. 44).



**Abb. 43: Menü zum Starten des Szenarios**

### 3.12.2 Funktionalität des Menüs

Die Funktionalität des Buttons wurde mit dem Skript *MenuHandler* implementiert und unter dem Button Objekt als Komponente hinzugefügt. Die Methode *StartNextScenario()* des Skriptes ruft dabei die Methode *SetScenario()* des Skriptes *ScenarioHandler* auf. Die Zuweisung der Methode wurde im *OnClick()* Bereich des Inspectors zugewiesen (siehe Abb. 44). Dies zugewiesene Methoden wird ausgeführt, sobald der Button mit dem Trigger Taste des Controllers ausgewählt wird.



**Abb. 44: Button Objekt Inspector**

### 3.12.3 Laserpointer mit der Oculus Integration

Für die Interaktion der Controller mit dem Menü, musste zunächst im *OVR Camera Rig* des *OVR Player Controller* das Skript *OVRPhysicsRaycaster* hinzugefügt werden.

Ebenso wurde das Prefab *UIHelpers* aus dem Oculus Integration Asset hinzugefügt. Dies beinhaltet zum einen das Objekt *LaserPointer*, das dafür zuständig ist, den Laser Pointer zum Anvisieren der Buttons zu

visualisieren. An gleicher Stelle befindet sich zum anderen das Objekt *EventSystem*, was die Funktionalität des Laserpointers und des Controllers implementiert. Innerhalb der Skript Komponente *OVRInputModule* im Einstellungsbereich *Ray Transform* das Objekt *RightHandAnchor* des *OVRPlayerController* ausgewählt und unter *Joy Pad Click Button* den *Primary Index Trigger*. Das bewirkt, dass der rechte Controller für den Laserpointer genutzt wird und die Trigger Taste des rechten Controllers zur Auswahl eines Buttons genutzt werden kann.

### 3.12.4 Laserpointer mit dem SteamVR Plugin

Für die Nutzung des Menüs für die HTC Vive bzw. für SteamVR, wurde ein schon vorhandene Menü dupliziert und angepasst. Grund dafür sind starke Unterschiede in der Implementierung, was das Anpassen des vorhandenen Menüs komplizierter macht.

Für die Interaktion mit dem Menü, um das Szenario auszuwählen, wurde ein Laserpointer implementiert, das sich mit dem rechten Controller bedienen lässt. Dazu wurde ein *PR\_Pointer Prefab* erstellt und im *Player Prefab* unter dem *RightHand* Objekt hinzugefügt. das die Komponenten *Camera* und *Line Renderer* besitzt. Die Komponente *Camera* ist deaktiviert und wird dazu verwendet, ein grafischen Raycast zu implementieren. Dadurch werden UI Elemente in einem Canvas durch Zeigen mit dem Controller bei Kollision registriert. Die Komponente *Line Renderer* dient als optische Hilfe für den Benutzer, um die Richtig des Raycast sehen zu können (siehe Abb. 45).

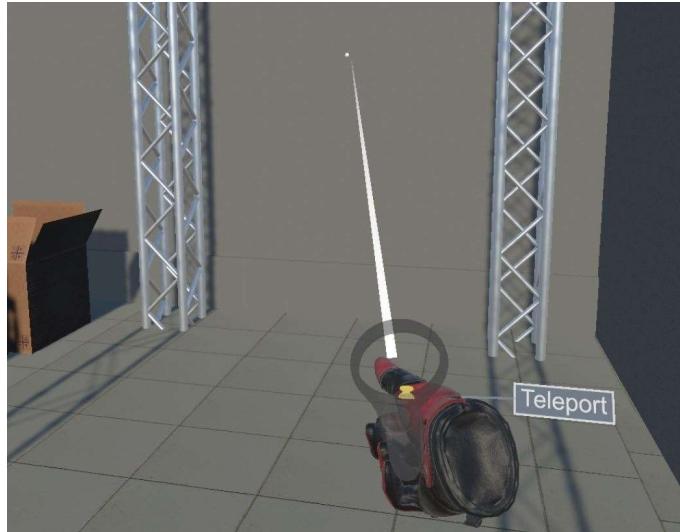


Abb. 45: LaserPointer mit Raycast

Das Skript *Pointer* wurde dem *PR\_Pointer* Objekt als Komponente hinzugefügt, das die Funktionalitäten des Raycast implementiert. Durch das Skript werden die UI Elemente im Canvas des Menüs erkannt und die Länge bei Kollision mit einem Hindernis angepasst. Zusätzlich wurde das Skript *VRInputModule* erstellt und eingebunden, das die Interaktion durch das Drücken der Trigger Tasten des rechten Controllers implementiert. Dadurch kann der Button ausgewählt werden bzw. die Methoden des Skriptes *MenuHandler*, das bei der Erstellung des Menüs in Kapitel 3.12.2 erstellt wurde, ausgeführt werden. Das Skript wurde der Komponente *InputModule* hinzugefügt, dass das Eventsystem des *Player Prefabs* ist.

## 4 Evaluation und Auswertung der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden zunächst die Beschreibung des Forschungsgegenstandes, die Datenerhebung, die Vorgehensweise, die Vorbereiten der Laborumgebung und die Stichprobe vorgestellt. Anschließend folgt die Auswertung der erhobenen Daten der Durchläufe und der statistischen und qualitativen Daten des Fragebogens.

### 4.1 Beschreibung des Forschungsgegenstandes

Die grundlegende Forschungsfrage lautet, ob sich das Bewegungsverhalten der Benutzer in Virtual Reality durch den Einsatz eines negativen Malus oder einem taktilen Untergrund konditionieren lässt. Dabei ergeben sich folgende Forschungsfragen:

1. Hypothese: Das Bewegungsverhalten der Benutzer kann durch einen taktilen Untergrund konditionieren werden.
2. Hypothese: Das Bewegungsverhalten der Benutzer kann durch den Einsatz audiovisueller Hinweise konditioniert werden.

Bei der Art der Forschungsmethode handelt es sich um eine quantitative und qualitative Forschung. Diese wird mit einer Stichprobe in einer Studie, einer standardisierten Befragung und einer statistischen Analyse realisiert. Im Folgenden werden die abhängigen und unabhängigen Variablen genauer beschrieben (siehe Tabelle 1).

	A - Malus	B – Taktiler Untergrund	Stichprobe	Y – Zeit Weg verlassen
Szenario 1	1	0	10	
Szenario 2	0	1	10	
Baseline	0	0	20	

Tabelle 1: Übersicht der abhängigen und unabhängigen Variablen

#### 4.1.1 Unabhängige Variablen

Die erste unabhängige Variable *A* ist der *Malus* mit den Ausprägungen *Malus an* und *Malus aus* als Within-Subjects-Factor. Im physischen und visuellen Szenario ist der Malus aktiviert, im Standardszenario jedoch nicht.

Die zweite unabhängige Within-Subjects Factor Variable *B* ist der taktile Untergrund vorhanden oder nicht vorhanden.

#### 4.1.2 Abhängige Variablen

Die abhängigen Variablen des Experiments ist zum einen die Anzahl der ausgelösten Maluse, die Dauer des jeweiligen ausgelösten Malus und daraus resultierenden insgesamten Zeit abseits des Weges.

## 4.2 Datenerhebung

Für die Evaluation wurden zwei verschiedene Arten von Daten vorgesehen. Quantitative Daten, die bei der Durchführung Szenarien entstehen, und qualitative Daten durch die spätere Befragung der Probanden mit Hilfe eines Online-Fragebogens.

### 4.2.1 Quantitative Daten

Wie in Kapitel 3.9 erläutert, sind die Daten, die während der Laufzeit der Szenarien gespeichert werden:

- ID des Probanden
- welches Szenario aktiv war
- gesamte Zeit, die der Proband braucht, um den kompletten Weg bis zum Ziel zu laufen
- die gesamte Zeit, in der der Benutzer sich nicht auf den Weg befand
- ob und durch welche Hindernisse der Benutzer gelaufen ist
- die Anzahl der Malus, die aktiviert wurde
- die Dauer pro Malus bzw. wie lange der Proband gebraucht hat, um wieder auf den richtigen Weg zurückzukommen

Dazu wurde, wie in Kapitel 3.9 beschrieben, das Skript *DataRecorder* erstellt, um die erforderlichen Daten, wie zuvor erläutert, aufzuzeichnen und zu speichern. Die Methoden werden durch das *Player* Skript aufgerufen.

Das Skript *CSVManager* wurde für den Export der aufgezeichneten Daten in eine CSV Datei erstellt. Dies ist für das Auslesen und weitere Auswertung der Daten entscheidend. Die Datei *Report.csv* wird lokal im Assets Ordner *Report* erstellt bzw. abgelegt. Für den Fall, das Daten erhoben und abgespeichert werden sollen, die CSV Datei aber noch nicht existiert, wird diese und der dazugehörige Ordner automatisch erstellt. Dazu werden standardmäßig folgende Header in gleicher Reihenfolge erstellt:

- Datum und Uhrzeit
- ID
- Szenario
- Gebrauchte Zeit
- Zeit abseits des Weges
- Box
- Karton
- Zaun links
- Zaun rechts
- Tisch
- Malus aktiviert

Sobald ein Malus öfter als einmal aktiviert wurde, werden die dazugehörigen Header für die Dauer der einzelnen Malus dynamisch hinzugefügt.

#### 4.2.2 Fragebogen

Für die Erhebung der qualitativen Daten wurde ein Onlinefragebogen erstellt. Für die Umsetzung wurde *Microsoft Forms* verwendet. Hier lassen sich Fragebögen für Onlineumfragen erstellen und es besteht die Möglichkeit, sich die Antworten direkt anzeigen zu lassen [67].

Die Fragen der Onlineumfrage wurde in verschiedene Fragegruppen zusammengefasst, auf die im folgenden Abschnitt im Einzelnen genauer eingegangen wird. Als erstes geht es um die persönlichen Daten des Probanden (siehe Abb. 46). Hier werden das Geschlecht und das Alter als Angaben gemacht. Diese wurden als Single Choice Fragen umgesetzt und das Alter in Gruppen unterteilt, was das empirische Auswerten unkomplizierter und übersichtlicher gestaltet.

**Persönliche Daten**

1. Geschlecht

- Männlich
- Weiblich
- Divers / k.A. Frage

2. Alter

- 18 - 24
- 25 - 34
- 35 - 44
- 45 - 59
- 60 - 69
- 70 und älter

Weiter

Seite 1 von 8

**Abb. 46: Fragebogen - Persönliche Daten**

In der zweiten Fragengruppe geht es um allgemeine Angaben der Probanden (siehe Abb. 47). Die Erfahrungen in Bereich Gaming und Virtual Reality werden jeweils in einer Skala von 1 bis 5 abgefragt. Wobei 1 keine Erfahrung und 5 viel Erfahrung bedeutet. Die Anzahl der Ankreuzfelder wurden im kompletten Fragebogen konsistent gehalten. In der dritten Frage geht es um die Art der VR-Technologien, mit denen der Proband schon in Erfahrung getreten ist. Hierbei handelt es sich um eine Multiple Choice Frage, da eine oder mehrere Antworten möglich sind.

Allgemeine Angaben

3. Bisherige Erfahrungen (1 = keine Erfahrung, 5 = viel Erfahrung)

	1	2	3	4	5
Wie bewerten Sie ihre Erfahrungen im Bereich Computerspiele?	<input type="radio"/>				
Wie bewerten Sie ihre Erfahrungen im Bereich Virtual Reality?	<input type="radio"/>				

4. Mit welcher VR Technologie hatten Sie schon Kontakt?

- HTC Vive
- Oculus Rift
- Oculus Quest
- PlayStation VR
- GearVR
- Sonstiges

Zurück      Weiter      Seite 2 von 8

**Abb. 47: Fragebogen - Allgemeine Angaben**

Die nächste Fragengruppe bezieht sich explizit auf die Durchführung der Szenarien (siehe Abb. 48). Für jedes der drei Szenarien werden dieselbe Art Fragen benutzt, um die Auswirkungen auf den Probanden zu ermitteln. Die Skala im Wert von 1 bis 5 ist hier ebenso, wie zuvor erläutert, die Art der Antwortmöglichkeiten. Der Wert 1 bedeutet, dass der Inhalt der Frage gar nicht zutrifft und der Wert 5 dabei völlig zutrifft. Dazu gehört die Natürlichkeit des Laufens, die Projektion des Denkens und Handelns in der virtuellen Umgebung. Das Bewusstsein und der Einfluss der physischen Umgebung ist ebenso ein Teil der Fragestellung. Die letzte Frage geht explizit auf den Einfluss des negativen Malus auf den Probanden ein, wenn der negative Malus im aktuellen Szenario aktiviert war.

Beurteilung des Szenarien

8. Beurteilung des Szenario 2 (1 = trifft gar nicht zu, 5 = trifft voll zu)

	1	2	3	4	5
Das Laufen in der VR hat sich für Sie sehr natürlich angefühlt.	<input type="radio"/>				
Sie haben Ihr Denken und Handeln in die VR projiziert.	<input type="radio"/>				
Die physische Umgebung war Ihnen sehr bewusst während Sie in VR waren.	<input type="radio"/>				
Das Bewusstsein über die physische Umgebung hat Sie in Ihrer Bewegungsfreiheit beeinflusst.	<input type="radio"/>				
Der negative Malus in der virtuellen Umgebung hat Ihren Bewegungsverhalten beeinflusst.	<input type="radio"/>				

Zurück      Weiter      Seite 6 von 8

**Abb. 48: Fragebogen - Beurteilung Szenario**

Die letzte Fragegruppe ergibt ein offenes und persönliches Feedback (siehe Abb. 49). Der Frage Typ hierbei sind offene Fragen mit unbegrenzter Anzahl an Zeichen.

Hier geht es unter anderem darum, was die Probanden besonders positiv und negativ an der Durchführung der Szenarien fanden. Ein weiterer Punkt ist, was genau die Probanden am negativen Malus beeinflusst hat.

Zum Abschluss konnten konkrete Verbesserungsvorschläge gebracht werden, was besonders relevant für die Weiterentwicklung des Projektes ist.

The screenshot shows a survey interface with the following content:

- Persönliches Feedback**
- 10. Was fanden Sie generell besonders positiv?**  
Ihre Antwort eingeben
- 11. Was fanden Sie generell negativ?**  
Ihre Antwort eingeben
- 12. Was genau hat Sie beim negativen Malus beeinflusst?**  
Ihre Antwort eingeben
- 13. Welche konkreten Verbesserungsvorschläge haben Sie im Bereich Malus oder allgemein?**  
Ihre Antwort eingeben

At the bottom, there are buttons for **Zurück**, **Absenden**, and **Seite 8 von 8**.

**Abb. 49: Fragebogen - Persönliches Feedback**

Nach der Datenerfassung mit Hilfe des Fragenbogens können die Daten direkt in EvaSys dargestellt und ausgewertet werden.

### 4.3 Vorgehensweise

Eine grafische Übersicht zur Vorgehensweise befindet sich in Anhang 1. Zu Beginn werden durch die Covid-19 Situation verschiedene Schutzmaßnahmen durchgeführt. Zum einen wird die in der Studie genutzte Hardware desinfiziert. Ebenso wird beim Probanden ein Corona Schnelltest durchgeführt, so kann die Maske bei der Durchführung abgesetzt werden.

Darauf erfolgt ein kurzer Überblick über die Studie, einige Informationen über das HTC Vive Headset und dessen Controller. Nach einer detaillierten Beschreibung der Aufgabe und ggf. Beantworten offener Fragen erfolgt die Einverständniserklärung. Nun bekommt der Proband die Möglichkeit, sich an das HTC Vive Headset und die virtuelle Umgebung zu gewöhnen.

Fühlt sich der Proband bereit, wird der Durchlauf der Szenarien begonnen. Alle Probanden fangen mit dem Baseline Szenario an. Das Szenario 1 und Szenario 2 werden daraufhin in einer ausgeglichenen Reihenfolge absolviert. Die Hälfte der Teilnehmer fangen mit Szenario 1 an und die andere Hälfte der Teilnehmer mit Szenario 2. Zwischen den beiden Szenarien und zum Schluss des Durchlaufes werden Baseline 2 und Baseline 3 absolviert.

Der Fragebogen, der in Kapitel 4.2.2 beschrieben wurde, wird an verschiedenen Zeitpunkten der Durchführung von den Probanden beantwortet. Zu Beginn werden soziodemographische Fragen und die Erfahrungen mit Gaming und VR beantwortet. Die Beurteilungsfragebögen werden direkt nach jedem

Durchlauf eines Szenarios und das persönliche Feedback zum Schluss der kompletten Durchführung ausgefüllt.

## 4.4 Aufbau der Laborumgebung

Die Durchführung der Studie fand in den Räumlichkeiten des UniTyLab an der Hochschule Heilbronn am Campus Sontheim statt. Um die Evaluation durchführen zu können, musste der Raum vorbereitet werden. Dazu gehörte der Aufbau des physischen Weges und die Kalibrierung der HTC Vive.

### 4.4.1 Aufbau des Weges

Um den virtuellen Weg der Szenarien physisch nachzubilden, wurden schwarze Bodenmatten in der Mitte des Raumes ausgelegt. Um die Größe der virtuellen Matten anzupassen, wurde die physische Größe genau vermessen. Da in Kapitel 3.3 die Größe noch nicht berücksichtigt wurde und die virtuellen Matten nicht maßstabgetreu sind, wurden die Maße skaliert und angepasst. Ebenso wurden die Abstände zu den Wänden ermittelt, um die virtuelle und physische Ausrichtung im Raum abzustimmen. Für die genaue Ausrichtung wurde ein Controller an verschiedene Stellen des Weges gelegt und diese mit der virtuellen Position abgeglichen. Zum Schluss wurden die Matten am Boden mit Klebeband fixiert und die Position auf dem Boden markiert. Dadurch konnten die Matten bei der Durchführung der Evaluation an selber Position und Ausrichtung aufgebaut werden.

### 4.4.2 Kalibrierung der HTC Vive

Damit die Position im physischen und virtuellen Raum übereinstimmt, wurde die HTC Vive kalibriert. Dazu wurde das HMD in die Mitte des Raumes gelegt und mit Hilfe der *quick Calibration* von SteamVR kalibriert. Um die Position abzusichern, wurde die Datei *chaperone\_info* separat abgespeichert, um diese wieder herstellen zu können. Diese befindet sich im *Config* Ordner des SteamVR Installationsverzeichnis und enthält alle Daten über die kalibrierte Position des HMD und den Rand des Spielbereichs. Ebenso wurde das *Player* Objekt in der virtuellen Umgebung in der Mitte platziert, damit die Position mit der kalibrierten Position des HMD übereinstimmt.

## 4.5 Stichprobe

Insgesamt 8 Probanden nahmen an der Studie teil. Darunter waren 4 Männer und 4 Frauen, davon 1 Proband im Alter zwischen 18 und 24, 2 Probanden zwischen 25 bis 34, 1 Proband zwischen 35 und 44, 2 Probanden zwischen 45 und 59 und 2 Probanden zwischen 60 und 69. Wie in Kapitel 4.2.2 ersichtlich, wurden die Probanden vor der Durchführung der Studie auf ihre Erfahrungen im Bereich Spiele und VR gefragt, die diese in einer Skala von 1 (keine Erfahrung) bis 5 (viel Erfahrung) angaben. Dies ergab, dass die Probanden nur wenig bis mittlere Erfahrung in Bereich Spiele haben ( $M = 2,38$ ,  $SD = 1,77$ ) und wenig Erfahrung im Bereich Virtual Reality ( $M = 1,50$ ,  $SD = 1,07$ ). Jede Durchführung dauerte dabei durchschnittlich 55 Minuten.

## 4.6 Auswertung der Durchläufe

Im Folgenden werden die Daten, die bei der Durchführung der Szenarien erhoben wurden, dargestellt und anschließend mittels explorativer Datenanalyse statistisch untersucht. Für die Umsetzung wurde das Statistikprogramm PSPP in der Version 1.4.1 verwendet.

### 4.6.1 Deskriptive Datenanalyse

In diesem Abschnitt werden die Variablen für die gebrauchte Zeit, die Zeit abseits des Weges und die Zeit abseits des Weges prozentual mit Hilfe der deskriptiven Statistik analysiert. Dabei werden die Anzahl der Datensätze N, den Mittelwert, die Standardabweichung, Varianz, Minimum und Maximum genauer betrachtet.

Gebrauchte Zeit (in Sekunden)

Szenario	N	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz	Minimum	Maximum
Baseline 1	6	126,21	31,52	993,63	86,4	171,1
Baseline 2	6	73,5	14,89	221,76	50,6	89
Baseline 3	6	71,69	14,26	203,35	52,5	93,1
Szenario 1	6	81,49	10,35	107,18	67,1	93,9
Szenario 2	6	87,14	20,37	414,84	59,5	109,4

Tabelle 2: Gebrauchte Zeit (in Sekunden) nach Szenarien

In der Tabelle 2 werden die Datenanalyseergebnisse der gebrauchten Zeit aufgezeigt. Wenn man die Werte vergleicht, zeigt sich in Baseline 1 den höchsten Mittelwert von 126 Sekunden, die höchste Standardabweichung von 31,5 das größte Maximum von 171 Sekunden. Baseline 3 zeigt den kleinsten Mittelwert aller Daten von 72 Sekunden. Im mittleren Bereich liegen Szenario 2 mit 87 Sekunden, Szenario 1 mit 81,5 Sekunden und Baseline 2 mit 73,5 Sekunden.

Zeit abseits des Weges (in Sekunden)

Szenario	N	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz	Minimum	Maximum
Baseline 1	6	18,25	12,96	167,87	4,6	42,1
Baseline 2	6	16,22	15,37	236,35	2,6	45,7
Baseline 3	6	12,92	12,08	145,86	0,3	35,9
Szenario 1	6	18,04	17,18	295,12	2,2	50,3
Szenario 2	6	20,82	16,61	275,79	7,1	53,4

Tabelle 3: Zeit abseits des Weges (in Sekunden) nach Szenarien

Wie in Tabelle 3 zu erkennen ist, werden die Datenanalyseergebnisse der Zeit abseits des Weges aufgezeigt. Wenn man die Werte vergleicht, zeigt sich in Szenario 2 den höchsten Mittelwert von 21 Sekunden und das höchste Maximum von 53 Sekunden. Baseline 3 zeigt den kleinsten Mittelwert aller Daten von 13

Sekunden. Im mittleren Bereich liegen Baseline 2 mit 16 Sekunden, Szenario 1 mit 18 Sekunden und Baseline 1 mit 18,3 Sekunden. Die Standardabweichungen sind hier etwas erhöht, jedoch sind die Mittelwerte noch ausreichend aussagekräftig. Die Inbezugnahme des Medians ist deshalb nicht notwendig.

Zeit abseits des Weges prozentual

Szenario	N	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz	Minimum	Maximum
Baseline 1	6	16,33	14,69	215,87	4%	45%
Baseline 2	6	21	16,19	262	3%	51%
Baseline 3	6	18,67	15,13	229,07	0%	45%
Szenario 1	6	21,67	18,07	326,67	2%	54%
Szenario 2	6	22,67	14,07	197,87	12%	50%

Tabelle 4: Zeit abseits des Weges prozentual nach Szenarien

In Tabelle 4 werden die Datenanalyseergebnisse der Zeit abseits des Weges prozentual zur gebrauchten Zeit aufgezeigt. Wenn man die Werte vergleicht, zeigt sich in Szenario 2 den höchsten Mittelwert von 22,7 Prozent und das höchste Maximum von 54 Prozent. Baseline 1 zeigt den kleinsten Mittelwert aller Daten von 16,3 Prozent. Im mittleren Bereich liegen Baseline 3 mit 18,7 Prozent, Baseline 2 mit 21 Prozent und Szenario 1 mit 21,7 Prozent. Die Standardabweichungen sind hier etwas erhöht, jedoch sind die Mittelwerte noch ausreichend aussagekräftig. Die Inbezugnahme des Medians ist deshalb nicht notwendig.

#### 4.6.2 Test auf Normalverteilung

Um einen T-Test durchführen zu können ist eines der Voraussetzungen, dass die Daten normalverteilt sind. Zum Testen auf Normalverteilung der Datensätze aufgeteilt nach Szenarien, wurde der Kolmogorov-Smirnov Test verwendet. Wie in Tabelle 5 ersichtlich, zeigen die Ergebnisse, dass alle relevanten Daten Normalverteilt sind, da alle Signifikanzwerte, in der Tabelle *Asymp. Sig. (2-seitig)* genannt, größer als 0,05 sind. Somit wird die Nullhypothese, dass die Daten normalverteilt sind, beibehalten.

Kolmogorov-Smirnov Test für eine Stichprobe

Szenario	Ergebnis	Gebrauchte Zeit	Zeit abseits des Weges	Zeit abseits des Weges prozentual
Baseline 1	Kolmogorov-Smirnov Z Asymp. Sig. (2-seitig)	0,43 <b>0,992</b>	0,63 <b>0,818</b>	0,91 <b>0,386</b>
Baseline 2	Kolmogorov-Smirnov Z Asymp. Sig. (2-seitig)	0,6 <b>0,868</b>	0,74 <b>0,646</b>	0,76 <b>0,617</b>
Baseline 3	Kolmogorov-Smirnov Z Asymp. Sig. (2-seitig)	0,38 <b>0,999</b>	0,85 <b>0,46</b>	0,67 <b>0,766</b>
Szenario 1	Kolmogorov-Smirnov Z Asymp. Sig. (2-seitig)	0,45 <b>0,986</b>	0,76 <b>0,614</b>	0,61 <b>0,857</b>
Szenario 2	Kolmogorov-Smirnov Z Asymp. Sig. (2-seitig)	0,45 <b>0,986</b>	0,88 <b>0,426</b>	0,79 <b>0,558</b>

Tabelle 5: Test auf Normalverteilung Ergebnisse

#### 4.6.3 Test der Hypothesen

##### Hypothese 1:

Die Ergebnisse der durchgeführten T-Tests bei unabhängigen Stichproben (siehe Anhang 2) zeigen, dass die erste Hypothese nicht gestützt werden konnte. Die Vergleiche der Variable *Zeit\_abseits\_prozentual* in Szenario 1 mit Baseline 1, Baseline 2 und Baseline 3 zeigten keinen signifikanten Unterschied. Die erste Hypothese, die besagte, dass sich das Bewegungsverhalten der Benutzer durch einen taktilen Untergrund konditioniert werden kann, ist somit hinfällig.

##### Hypothese 2:

Die Ergebnisse der durchgeführten T-Tests bei unabhängigen Stichproben (siehe Anhang 3) zeigen, dass die erste Hypothese nicht gestützt werden konnte. Die Vergleiche der Variable *Zeit\_abseits\_prozentual* in Szenario 1 mit Baseline 1, Baseline 2 und Baseline 3 zeigten keinen signifikanten Unterschied. Die erste Hypothese, die besagte, dass sich das Bewegungsverhalten der Benutzer durch den Einsatz audiovisueller Hinweise konditioniert werden kann, ist somit hinfällig.

#### 4.7 Auswertung der statistischen Daten

Zur Auswertung statischer Daten werden statistische Mittel, wie die Berechnung des arithmetischen Mittels und des Medians durchgeführt. Zudem werden die Ergebnisse durch statistische Diagramme verglichen. Folglich werden die Aussagen 1 bis 5 ausgewertet. Zur visuellen Darstellung werden Balkendiagramme zur Darstellung der Häufigkeiten verwendet. Ebenso werden Boxplot Diagramme verwendet um den Mittelwert, Median und eventuelle Ausreißer darzustellen. Die blaue „Box“ visualisiert, in welchem Bereich sich die meisten Daten (50 Prozent) befinden. Die Antennen nach oben und unten geben jeweils den Minimal- und Maximalwert an.

#### 4.7.1 Aussage 1: Das Laufen in der VR hat sich für Sie sehr natürlich angefühlt.

Im Folgenden werden die Häufigkeiten und Verteilungen der Aussage 1 in den jeweiligen Durchläufen visualisiert, interpretiert und verglichen.

##### 4.7.1.1 Baseline 1

Aussage 1 in Baseline 1 wurde ein Mal mit der Wertung 2 (trifft eher nicht zu), ein Mal mit der Wertung 3 (unentschieden), zwei Mal mit der Wertung 4 (trifft eher zu) und zwei Mal mit der Wertung 5 (trifft voll zu) bewertet (siehe Abb. 50).

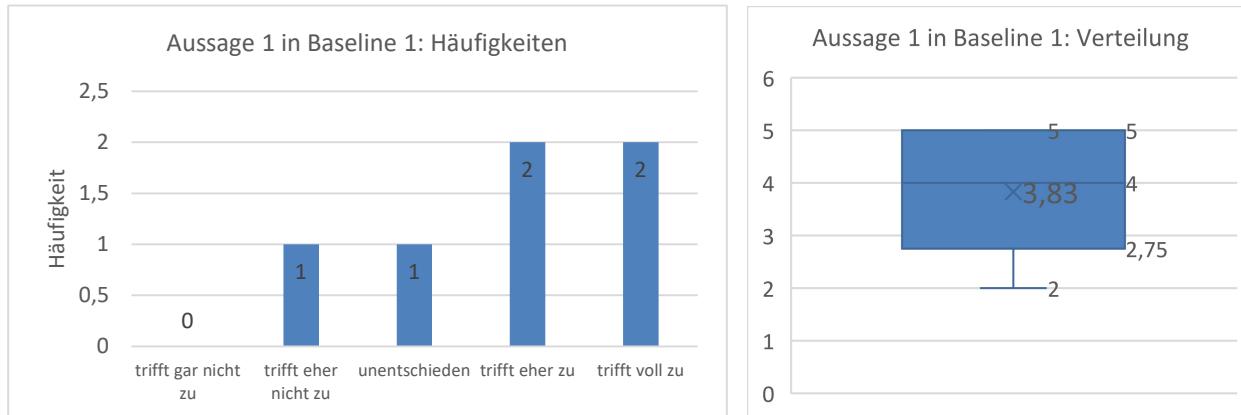
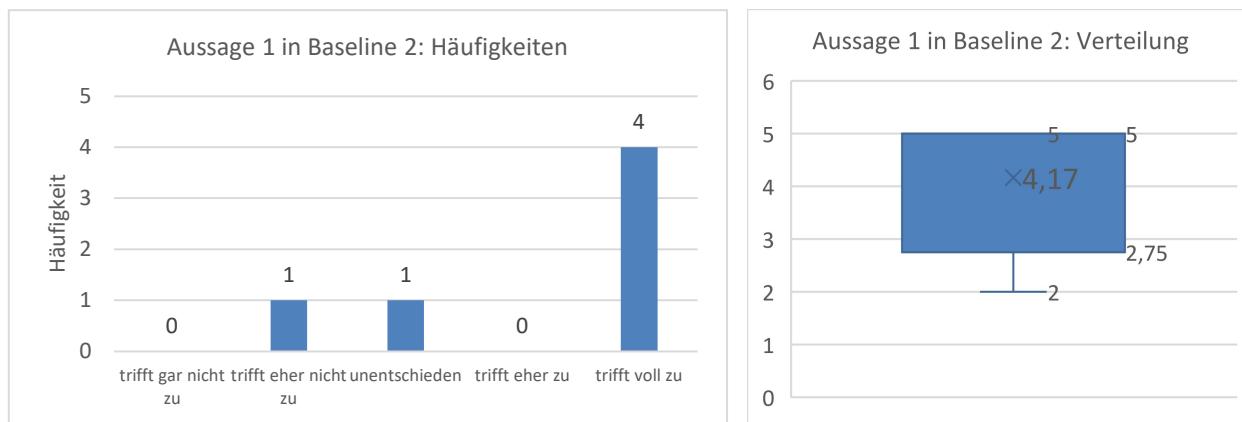


Abb. 50: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 1 in Baseline 1

Die Ergebnisse der Aussage 1 in Baseline 1 ergeben einen Mittelwert von 3,83 und einen Median von 4 auf einer Skala mit dem Minimalwert 1 (trifft gar nicht zu) und dem Maximalwert 5 (trifft voll zu). Die Mehrheit der Bewertungen (75 Prozent) befindet sich zwischen den Werten 2,75 und 5. Die Antenne der Box zeigt einen Minimalwert von 2 an. Ausreißer gibt es nicht. Der Vergleich des Mittelwerts (3,83) und des Medians (4), lässt eine mehrheitliche Zustimmung interpretieren. Für den überwiegende Mehrheit der Probanden (4/6) hat sich das Laufen in VR natürlich angefühlt (Wertung 4 und 5) und für nur ein Teilnehmer nicht (Wertung 2). Ein Teilnehmer war der Aussage gegenüber neutral gestimmt (Wertung 3).

##### 4.7.1.2 Baseline 2

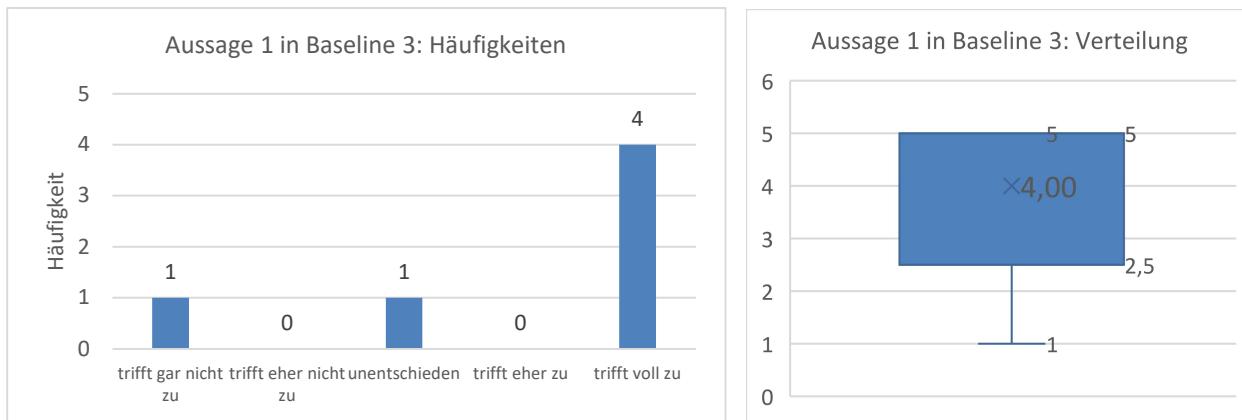
Aussage 1 in Baseline 2 wurde ein Mal mit der Wertung 2 (trifft eher nicht zu), ein Mal mit der Wertung 3 (unentschieden) und vier Mal mit der Wertung 5 (trifft voll zu) bewertet (siehe Abb. 51).

**Abb. 51: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 1 in Baseline 2**

Die Ergebnisse der Aussage 1 in Baseline 2 ergeben einen Mittelwert von 4,17 und einen Median von 5 auf einer Skala mit dem Minimalwert 1 (trifft gar nicht zu) und dem Maximalwert 5 (trifft voll zu). Die Mehrheit der Bewertungen (75 Prozent) befindet sich zwischen den Werten 2,75 und 5. Die Antenne der Box zeigt einen Minimalwert von 2 an. Ausreißer gibt es nicht. Der Vergleich des Mittelwerts (4,17) und des Medians (5), lässt eine mehrheitliche Zustimmung interpretieren. Für den überwiegende Mehrheit der Probanden (4/6) hat sich das Laufen in VR natürlich angefühlt (Wertung 5) und für nur ein Teilnehmer nicht (Wertung 2). Ein Teilnehmer war der Aussage gegenüber neutral gestimmt (Wertung 3).

#### 4.7.1.3 Baseline 3

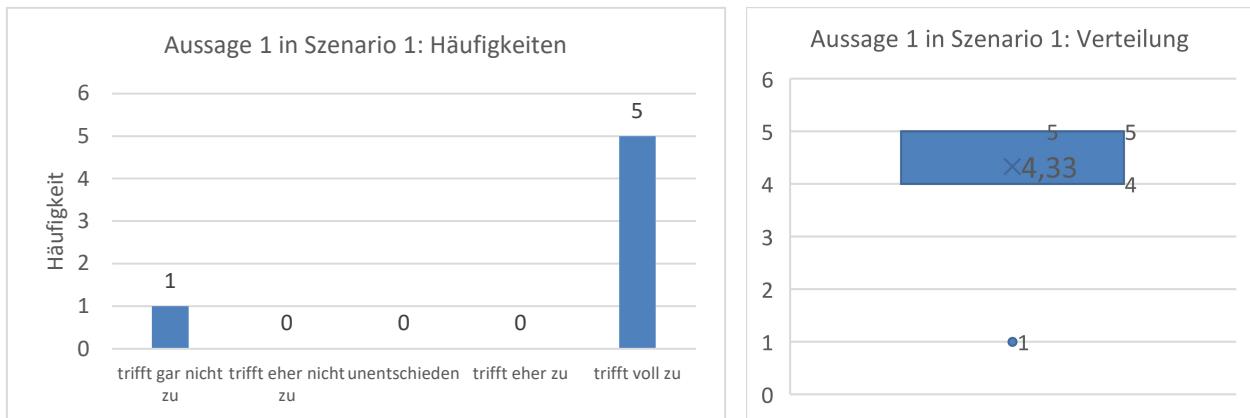
Aussage 1 in Baseline 3 wurde ein Mal mit der Wertung 2 (trifft eher nicht zu), ein Mal mit der Wertung 3 (unentschieden) und vier Mal mit der Wertung 5 (trifft voll zu) bewertet (siehe Abb. 52).

**Abb. 52: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 1 in Baseline 3**

Die Ergebnisse der Aussage 1 in Baseline 3 ergeben einen Mittelwert von 4 und einen Median von 5 auf einer Skala mit dem Minimalwert 1 (trifft gar nicht zu) und dem Maximalwert 5 (trifft voll zu). Die Mehrheit Bewertungen (75 Prozent) befindet sich zwischen den Werten 2,5 und 5. Die Antenne der Box zeigt einen Minimalwert von 1 an. Ausreißer gibt es nicht. Der Vergleich des Mittelwerts (4) und des Medians (5), lässt eine mehrheitliche Zustimmung interpretieren. Für den überwiegende Mehrheit der Probanden (4/6) hat sich das Laufen in VR natürlich angefühlt (Wertung 5) und für nur ein Teilnehmer nicht (Wertung 1). Ein Teilnehmer war der Aussage gegenüber neutral gestimmt (Wertung 3).

#### 4.7.1.4 Szenario 1

Aussage 1 in Szenario 1 wurde ein Mal mit der Wertung 1 (trifft gar nicht zu) und fünf Mal mit der Wertung 5 (trifft voll zu) bewertet (siehe Abb. 53).

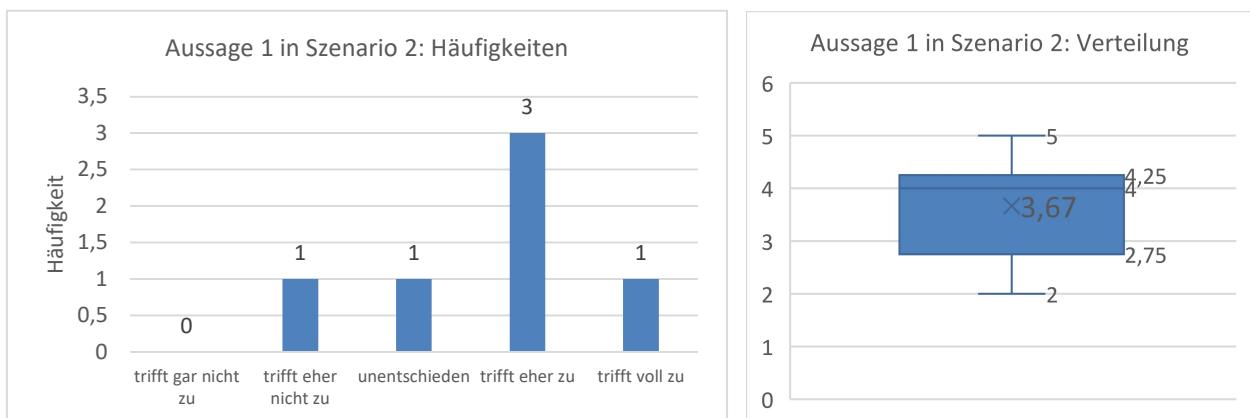


**Abb. 53: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 1 in Szenario 1**

Die Ergebnisse der Aussage 1 in Szenario 1 ergeben einen Mittelwert von 4,33 und einen Median von 5 auf einer Skala mit dem Minimalwert 1 (trifft gar nicht zu) und dem Maximalwert 5 (trifft voll zu). Die Mehrheit der Bewertungen (mind. 75 Prozent) befindet sich zwischen den Werten 4 und 5. Bei der Wertung 1 gibt es einen Ausreißer. Der Vergleich des Mittelwerts (4,33) und des Medians (5), lässt eine vollständige Zustimmung interpretieren. Für den überwiegend meiste Teil der Probanden (5/6) hat sich das Laufen in VR natürlich angefühlt (Wertung 5) und für nur ein Teilnehmer nicht (Wertung 1).

#### 4.7.1.5 Szenario 2

Aussage 1 in Szenario 1 wurde ein Mal mit der Wertung 2 (trifft eher nicht zu), ein Mal mit der Wertung 3 (unentschieden), drei Mal mit der Wertung 4 (trifft eher zu) und ein Mal mit der Wertung 5 (trifft voll zu) bewertet (siehe Abb. 54).

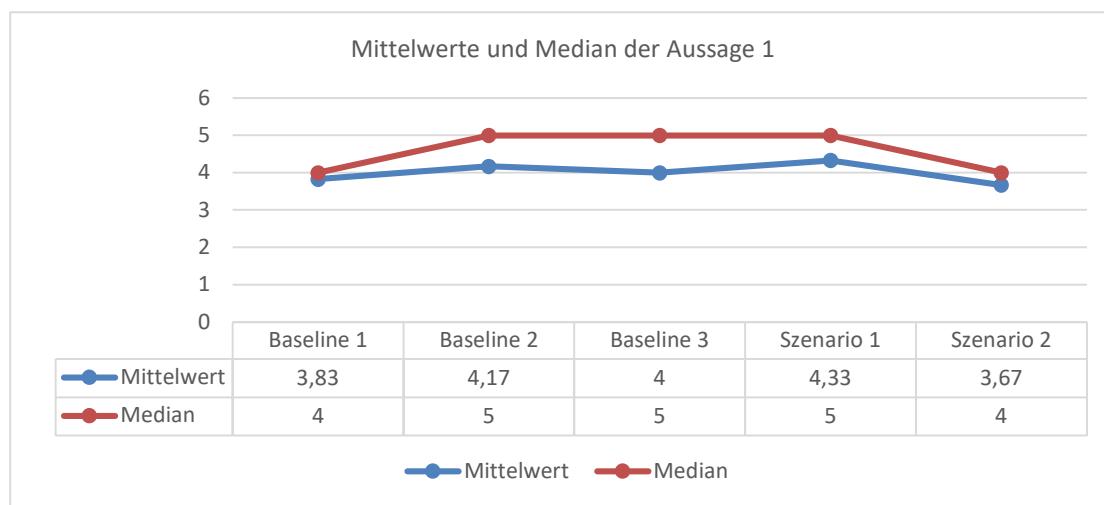


**Abb. 54: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 1 in Szenario 2**

Die Ergebnisse der Aussage 1 in Szenario 2 ergeben einen Mittelwert von 3,67 und einen Median von 4 auf einer Skala mit dem Minimalwert 1 (trifft gar nicht zu) und dem Maximalwert 5 (trifft voll zu). Die Mehrheit der Bewertungen (50 Prozent) befindet sich zwischen den Werten 2,75 und 4,25. Die Antennen der Box zeigen einen Minimalwert von 2 und einen Maximalwert von 5 an. Ausreißer gibt es nicht. Der Vergleich des Mittelwerts (3,67) und des Medians (4), lässt eine mehrheitliche Zustimmung interpretieren. Für den überwiegend meiste Teil der Probanden (4/6) hat sich das Laufen in VR natürlich angefühlt (Wertung 4 und 5) und für nur ein Teilnehmer nicht (Wertung 1). Ein Teilnehmer war der Aussage gegenüber neutral gestimmt (Wertung 3).

#### 4.7.1.6 Gesamte Wertung der Aussage 1

In der nachfolgenden Abbildung sind alle durchschnittlichen Wertungen der Aussage 1 abgebildet (siehe Abb. 55). Die Gesamtwertung in allen Durchgängen zeigt einen durchschnittlichen Mittelwert von 4 und somit lässt sich eine insgesamte Übereinstimmung der Aussage 1 interpretieren ( $> 3$ ).



**Abb. 55: Mittelwerte und Median der Aussage 1**

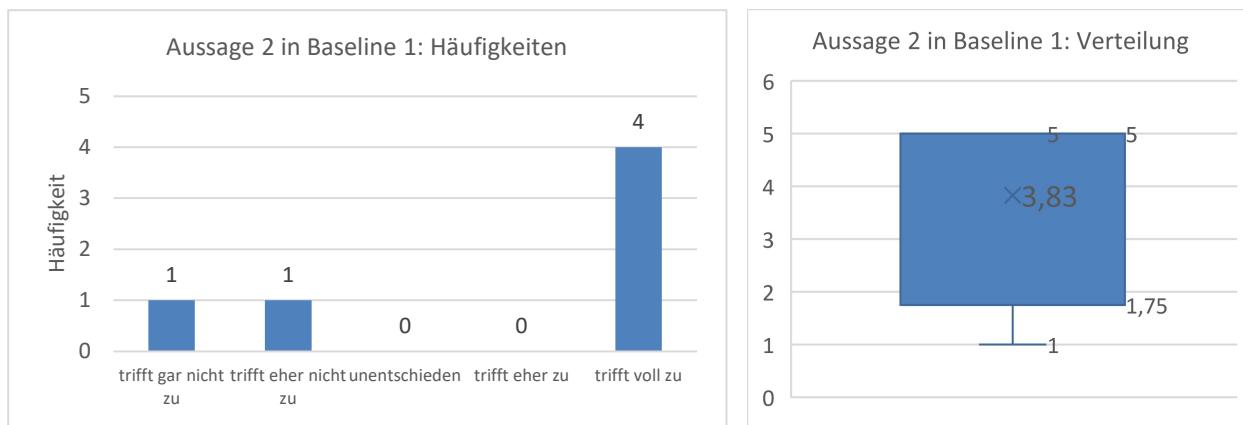
Dabei gibt es in Szenario 1 die höchste Übereinstimmung mit einem Mittelwert von 4,33, was darauf schließen lässt das sich das Laufen in der VR am natürlichsten angefühlt an. Baseline 2 und Baseline 3 liegen mit einem Mittelwert von 4,17 und 4 leicht oberhalb bzw. genau im Durchschnitt. Die niedrigste Übereinstimmung ergibt das Szenario 2 mit einem Mittelwert von 3,67. Ebenso liegt Baseline 1 unterhalb des Durchschnitts mit einem Mittelwert von 3,83.

#### 4.7.2 Aussage 2: Sie haben Ihr Denken und Handeln in die VR projiziert.

Im Folgenden werden die Häufigkeiten und Verteilungen der Aussage 2 in den jeweiligen Durchläufen visualisiert, interpretiert und verglichen.

##### 4.7.2.1 Baseline 1

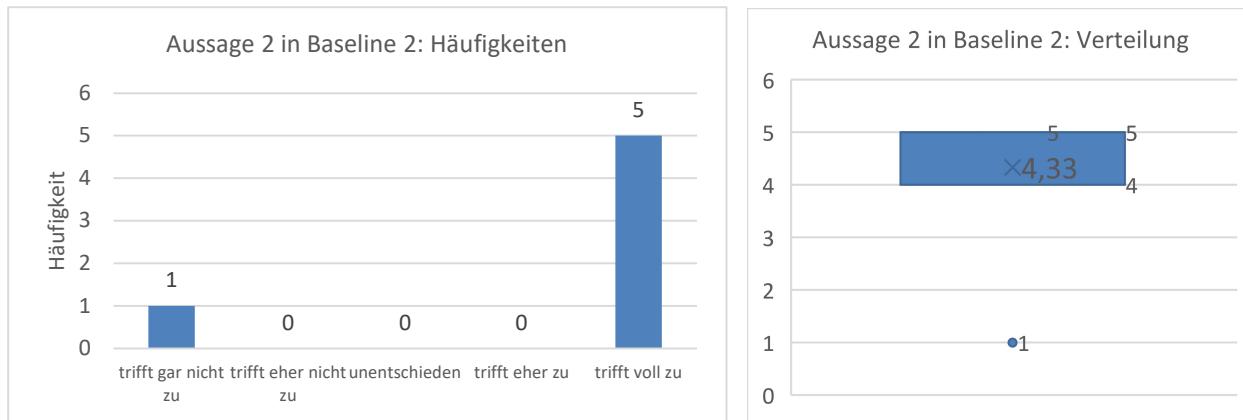
Aussage 2 in Baseline 1 wurde ein Mal mit der Wertung 1 (trifft gar nicht zu), ein Mal mit der Wertung 2 (trifft eher nicht zu) und vier Mal mit der Wertung 5 (trifft voll zu) bewertet (siehe Abb. 56).

**Abb. 56: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 2 in Baseline 1**

Die Ergebnisse der Aussage 2 in Baseline 1 ergeben einen Mittelwert von 3,83 und einen Median von 5 auf einer Skala mit dem Minimalwert 1 (trifft gar nicht zu) und dem Maximalwert 5 (trifft voll zu). Die Mehrheit der Bewertungen (75 Prozent) befindet sich zwischen den Werten 1,75 und 5. Die untere Antenne der Box zeigt einen Minimalwert von 1. Einen oder mehrere Ausreißer gibt es nicht. Der Vergleich des Mittelwerts (3,83) und des Medians (5), lässt eine mehrheitliche Zustimmung interpretieren. die überwiegende Mehrheit der Probanden (4/6) hat Ihr Denken und Handeln in die VR projiziert (Wertung 5) und zwei Teilnehmer nicht (Wertung 1 und 2).

#### 4.7.2.2 Baseline 2

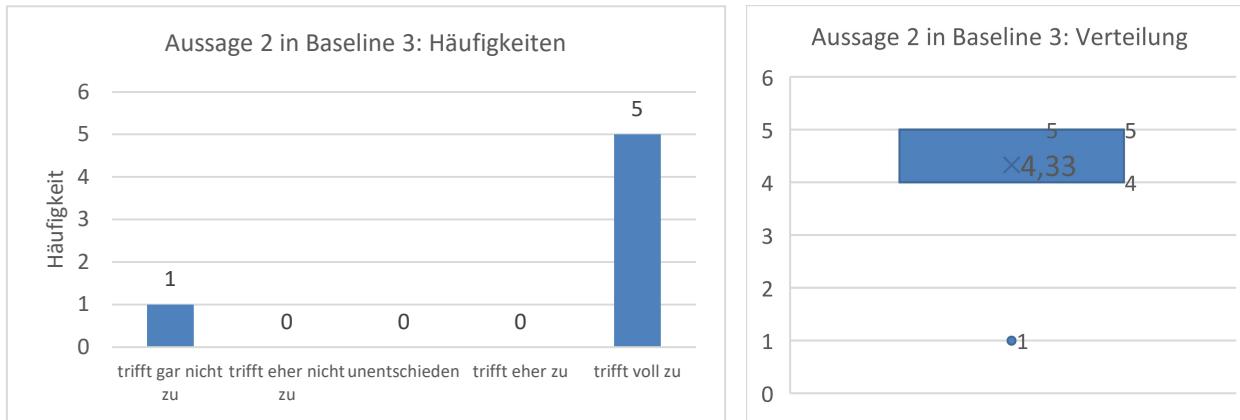
Aussage 2 in Baseline 2 wurde ein Mal mit der Wertung 1 (trifft gar nicht zu) und fünf Mal mit der Wertung 5 (trifft voll zu) bewertet (siehe Abb. 57).

**Abb. 57: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 2 in Baseline 2**

Die Ergebnisse der Aussage 2 in Baseline 2 ergeben einen Mittelwert von 4,33 und einen Median von 5 auf einer Skala mit dem Minimalwert 1 (trifft gar nicht zu) und dem Maximalwert 5 (trifft voll zu). Die Mehrheit der Bewertungen (mind. 75 Prozent) befindet sich zwischen den Werten 4 und 5. Bei der Wertung 1 gibt es einen Ausreißer. Der Vergleich des Mittelwerts (4,33) und des Medians (5), lässt eine eindeutige mehrheitliche Zustimmung interpretieren. Der überwiegend meiste Teil der Probanden (5/6) haben Ihr Denken und Handeln in die VR projiziert (Wertung 5) und lediglich ein Teilnehmer nicht (Wertung 1).

#### 4.7.2.3 Baseline 3

Aussage 2 in Baseline 2 wurde ein Mal mit der Wertung 1 (trifft gar nicht zu) und fünf Mal mit der Wertung 5 (trifft voll zu) bewertet (siehe Abb. 58).

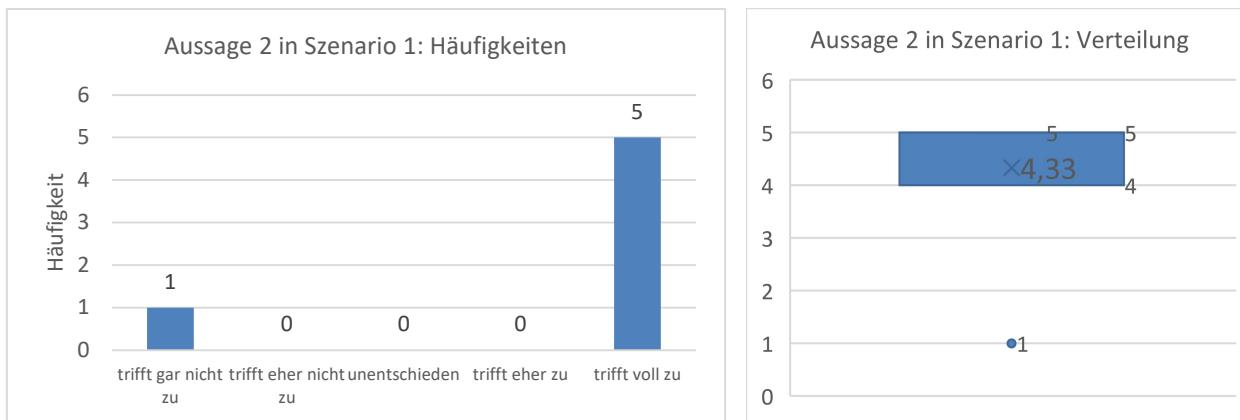


**Abb. 58: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 2 in Baseline 3**

Die Ergebnisse der Aussage 2 in Baseline 3 ergeben einen Mittelwert von 4,33 und einen Median von 5 auf einer Skala mit dem Minimalwert 1 (trifft gar nicht zu) und dem Maximalwert 5 (trifft voll zu). Die Mehrheit der Bewertungen (mind. 75 Prozent) befindet sich zwischen den Werten 4 und 5. Bei der Wertung 1 gibt es einen Ausreißer. Der Vergleich des Mittelwerts (4,33) und des Medians (5), lässt eine eindeutige mehrheitliche Zustimmung interpretieren. Der überwiegend meiste Teil der Probanden (5/6) hat Ihr Denken und Handeln in die VR projiziert (Wertung 5) und lediglich ein Teilnehmer nicht (Wertung 1).

#### 4.7.2.4 Szenario 1

Aussage 2 in Szenario 1 wurde ein Mal mit der Wertung 1 (trifft gar nicht zu) und fünf Mal mit der Wertung 5 (trifft voll zu) bewertet (siehe Abb. 59).



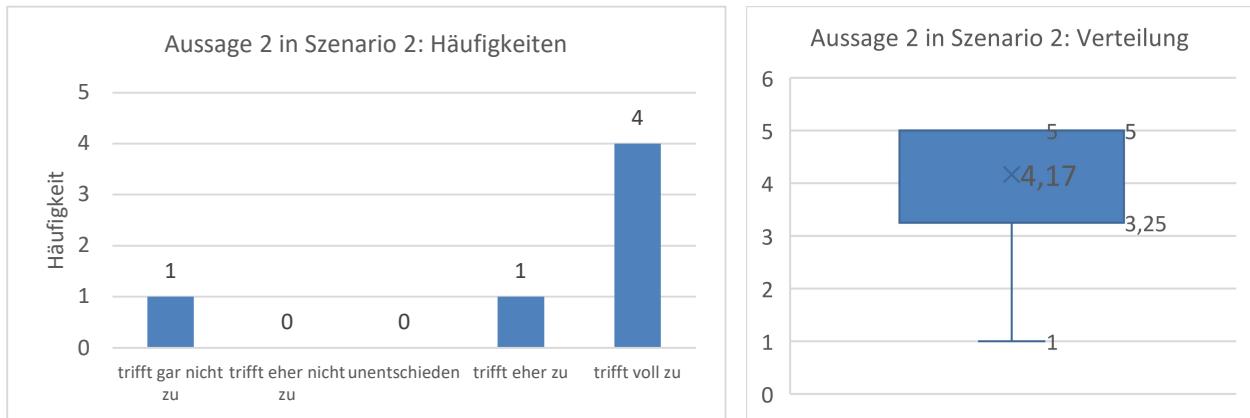
**Abb. 59: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 2 in Szenario 1**

Die Ergebnisse der Aussage 2 in Szenario 1 ergeben einen Mittelwert von 4,33 und einen Median von 5 auf einer Skala mit dem Minimalwert 1 (trifft gar nicht zu) und dem Maximalwert 5 (trifft voll zu). Die Mehrheit der Bewertungen (mind. 75 Prozent) befindet sich zwischen den Werten 4 und 5. Bei der Wertung 1 gibt es einen Ausreißer. Der Vergleich des Mittelwerts (4,33) und des Medians (5), lässt eine eindeutige

mehrheitliche Zustimmung interpretieren. Der überwiegend meiste Teil der Probanden (5/6) hat Ihr Denken und Handeln in die VR projiziert (Wertung 5) und lediglich ein Teilnehmer nicht (Wertung 1).

#### 4.7.2.5 Szenario 2

Aussage 2 in Szenario 1 wurde ein Mal mit der Wertung 1 (trifft gar nicht zu), ein Mal mit der Wertung 4 (Trifft eher zu) und 4 Mal mit der Wertung 5 (trifft voll zu) bewertet (siehe Abb. 60).

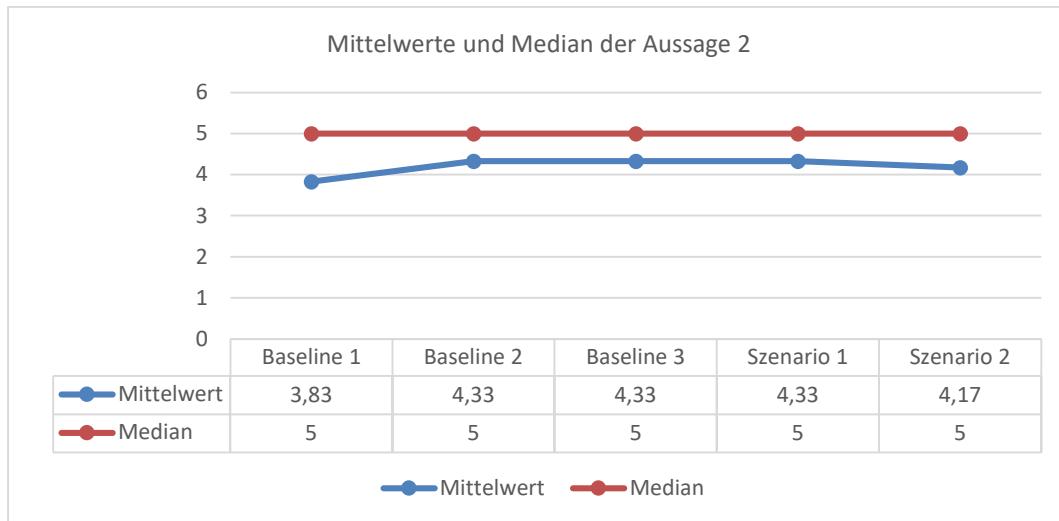


**Abb. 60: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 2 in Szenario 2**

Die Ergebnisse der Aussage 2 in Szenario 2 ergeben einen Mittelwert von 4,17 und einen Median von 5 auf einer Skala mit dem Minimalwert 1 (trifft gar nicht zu) und dem Maximalwert 5 (trifft voll zu). Die Mehrheit der Bewertungen (mind. 75 Prozent) befindet sich zwischen den Werten 3,25 und 5. Die untere Antenne der Box zeigt einen Minimalwert von 1. Einen oder mehrere Ausreißer gibt es nicht. Der Vergleich des Mittelwerts (4,17) und des Medians (5), lässt eine mehrheitliche Zustimmung interpretieren. Der überwiegend meiste Teil der Probanden (4/6) hat Ihr Denken und Handeln in die VR projiziert (Wertung 4 und 5) und lediglich ein Teilnehmer nicht (Wertung 1).

#### 4.7.2.6 Gesamte Wertung der Aussage 2

In der nachfolgenden Abbildung sind alle durchschnittlichen Wertungen der Aussage 1 abgebildet (siehe Abb. 61). Die Gesamtwertung in allen Durchgängen zeigt einen durchschnittlichen Mittelwert von 4,2 und somit lässt sich eine insgesamte Übereinstimmung der Aussage 2 interpretieren ( $> 3$ ).



**Abb. 61: Mittelwerte und Median der Aussage 2**

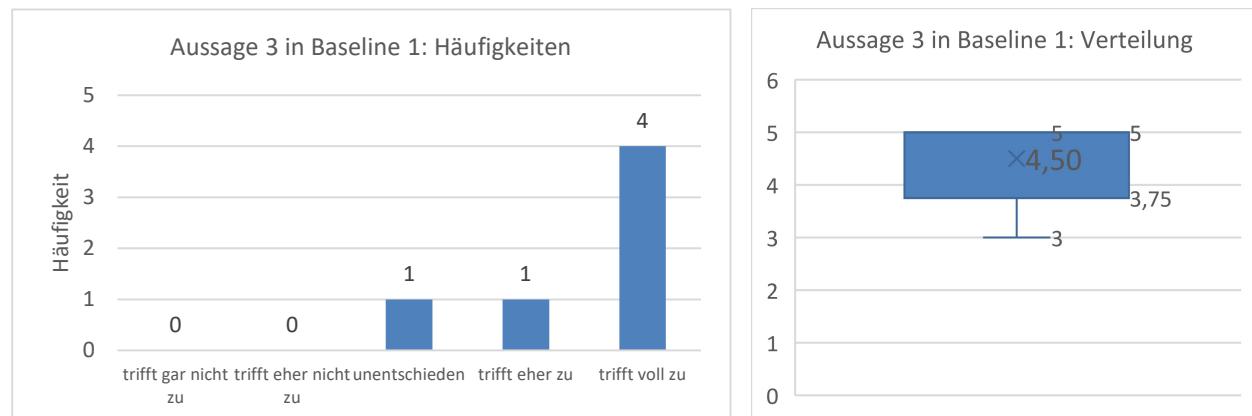
Dabei gibt es in Baseline 2, Baseline 3 und Szenario 1 die höchsten Übereinstimmungen mit einem Mittelwert von 4,33. Die niedrigste Übereinstimmung ergibt Baseline 1 mit einem Mittelwert von 3,83, was darauf hindeuten kann das zu Beginn der Durchführung der Gewöhnungseffekt fehlte und dieser mit der Zeit anstieg. Mit einem Mittelwert von 4,17 befindet sich Szenario 2 knapp unterhalb des gesamten Durchschnitts.

#### 4.7.3 Aussage 3: Die physische Umgebung war Ihnen sehr bewusst, während Sie in VR waren.

Im Folgenden werden die Häufigkeiten und Verteilungen der Aussage 3 in den jeweiligen Durchläufen visualisiert, interpretiert und verglichen.

##### 4.7.3.1 Baseline 1

Aussage 3 in Baseline 1 wurde ein Mal mit der Wertung 3 (unentschieden), ein Mal mit der Wertung 4 (Trifft eher zu) und vier Mal mit der Wertung 5 (trifft voll zu) bewertet (siehe Abb. 62).



**Abb. 62: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 3 in Baseline 1**

Die Ergebnisse der Aussage 3 in Baseline 1 ergeben einen Mittelwert von 4,5 und einen Median von 5 auf einer Skala mit dem Minimalwert 1 (trifft gar nicht zu) und dem Maximalwert 5 (trifft voll zu). Die Mehrheit der Bewertungen (mind. 75 Prozent) befindet sich zwischen den Werten 2,75 und 5. Die untere Antenne der Box zeigt einen Minimalwert von 3. Ausreißer gibt es nicht. Der Vergleich des Mittelwerts (4,5) und des Medians (5), lässt eine eindeutige mehrheitliche Zustimmung interpretieren. Dem überwiegend meiste Teil der Probanden (4/6) war die physische Umgebung sehr bewusst (Wertung 4 und 5) und lediglich ein Teilnehmer war der Aussagen gegenüber neutral (Wertung 3).

#### 4.7.3.2 Baseline 2

Aussage 3 in Baseline 2 wurde ein Mal mit der Wertung 1 (trifft gar nicht zu), ein Mal mit der Wertung 4 (Trifft eher zu) und vier Mal mit der Wertung 5 (trifft voll zu) bewertet (siehe Abb. 63).

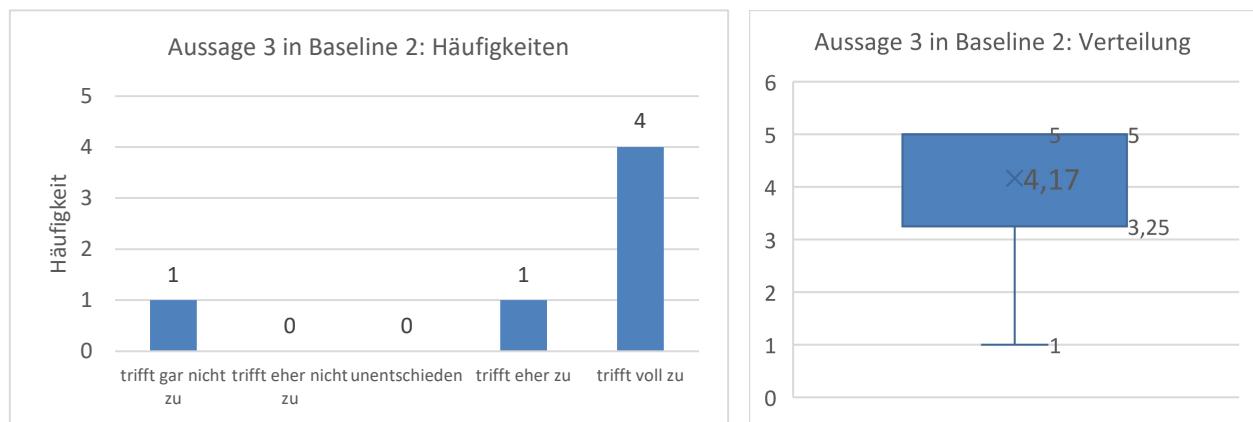


Abb. 63: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 3 in Baseline 2

Die Ergebnisse der Aussage 3 in Baseline 2 ergeben einen Mittelwert von 4,17 und einen Median von 5 auf einer Skala mit dem Minimalwert 1 (trifft gar nicht zu) und dem Maximalwert 5 (trifft voll zu). Die Mehrheit der Bewertungen (mind. 75 Prozent) befindet sich zwischen den Werten 3,25 und 5. Die untere Antenne der Box zeigt einen Minimalwert von 1. Einen oder mehrere Ausreißer gibt es nicht. Der Vergleich des Mittelwerts (4,17) und des Medians (5), lässt eine mehrheitliche Zustimmung interpretieren. Dem überwiegenden Teil der Probanden (5/6) war die physische Umgebung sehr bewusst (Wertung 4 und 5) und lediglich ein Teilnehmer nicht (Wertung 1).

#### 4.7.3.3 Baseline 3

Aussage 3 in Baseline 3 wurde ein Mal mit der Wertung 1 (trifft gar nicht zu), ein Mal mit der Wertung 4 (Trifft eher zu) und vier Mal mit der Wertung 5 (trifft voll zu) bewertet (siehe Abb. 64).

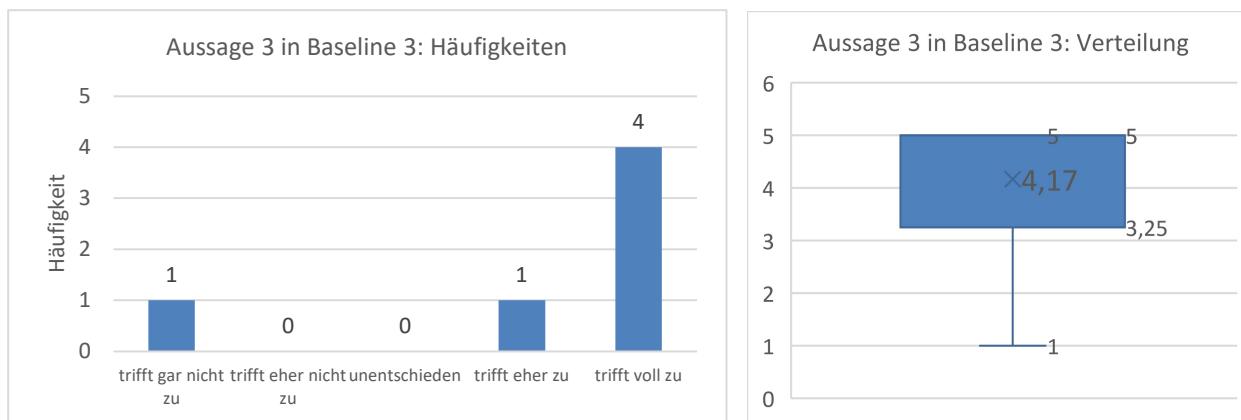


Abb. 64: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 3 in Baseline 3

Die Ergebnisse der Aussage 3 in Baseline 3 ergeben einen Mittelwert von 4,17 und einen Median von 5 auf einer Skala mit dem Minimalwert 1 (trifft gar nicht zu) und dem Maximalwert 5 (trifft voll zu). Die Mehrheit der Bewertungen (mind. 75 Prozent) befindet sich zwischen den Werten 3,25 und 5. Die untere Antenne der Box zeigt einen Minimalwert von 1. Einen oder mehrere Ausreißer gibt es nicht. Der Vergleich des Mittelwerts (4,17) und des Medians (5), lässt eine mehrheitliche Zustimmung interpretieren. Dem überwiegenden Teil der Probanden (5/6) war die physische Umgebung sehr bewusst (Wertung 4 und 5) und lediglich ein Teilnehmer nicht (Wertung 1).

#### 4.7.3.4 Szenario 1

Aussage 3 in Szenario 1 wurde ein Mal mit der Wertung 1 (trifft gar nicht zu), ein Mal mit der Wertung 4 (Trifft eher zu) und vier Mal mit der Wertung 5 (trifft voll zu) bewertet (siehe Abb. 65).

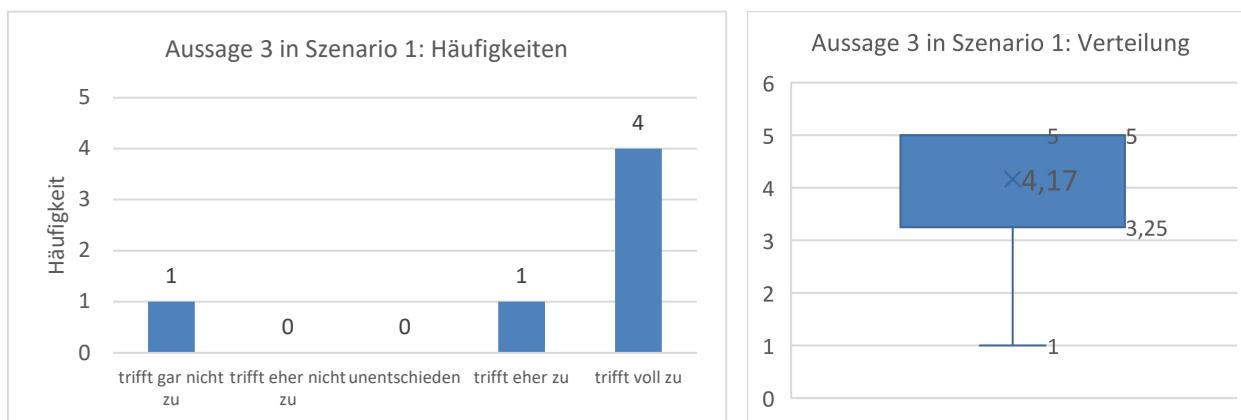
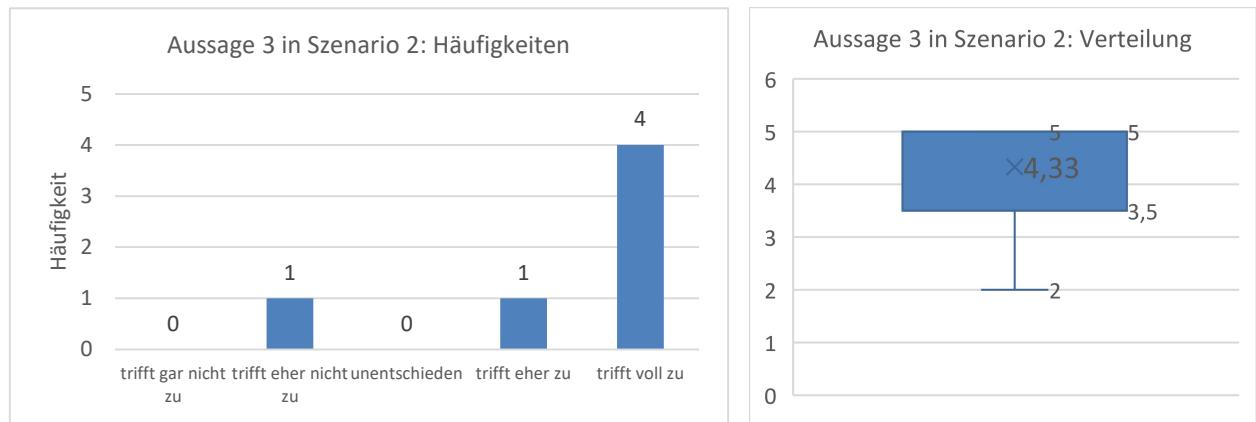


Abb. 65: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 3 in Szenario 1

Die Ergebnisse der Aussage 3 in Szenario 1 ergeben einen Mittelwert von 4,17 und einen Median von 5 auf einer Skala mit dem Minimalwert 1 (trifft gar nicht zu) und dem Maximalwert 5 (trifft voll zu). Die Mehrheit der Bewertungen (mind. 75 Prozent) befindet sich zwischen den Werten 3,25 und 5. Die untere Antenne der Box zeigt einen Minimalwert von 1. Einen oder mehrere Ausreißer gibt es nicht. Der Vergleich des Mittelwerts (4,17) und des Medians (5), lässt eine mehrheitliche Zustimmung interpretieren. Dem überwiegend meiste Teil der Probanden (5/6) war die physische Umgebung sehr bewusst (Wertung 4 und 5) und lediglich ein Teilnehmer nicht (Wertung 1).

#### 4.7.3.5 Szenario 2

Aussage 3 in Szenario 2 wurde ein Mal mit der Wertung 2 (trifft eher nicht zu), ein Mal mit der Wertung 4 (Trifft eher zu) und vier Mal mit der Wertung 5 (trifft voll zu) bewertet (siehe Abb. 66).

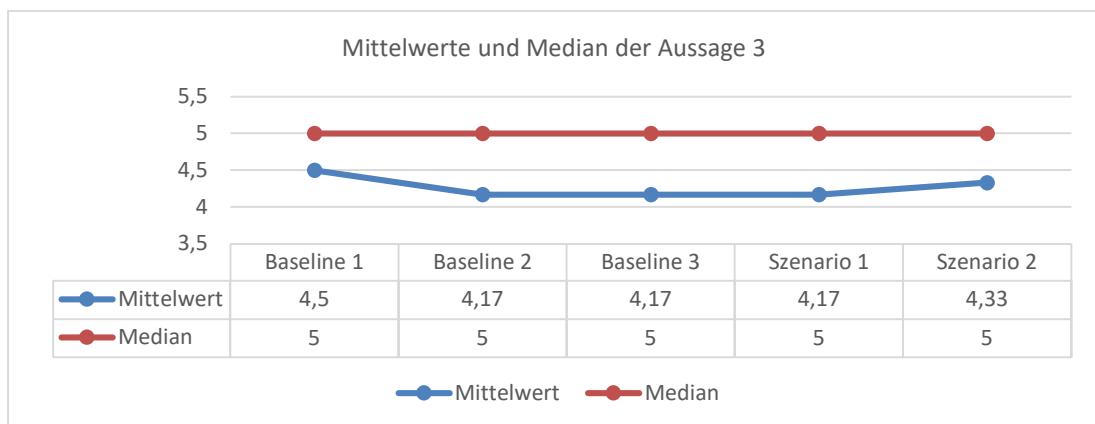


**Abb. 66: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 3 in Szenario 2**

Die Ergebnisse der Aussage 3 in Szenario 2 ergeben einen Mittelwert von 4,33 und einen Median von 5 auf einer Skala mit dem Minimalwert 1 (trifft gar nicht zu) und dem Maximalwert 5 (trifft voll zu). Die Mehrheit der Bewertungen (mind. 75 Prozent) befindet sich zwischen den Werten 3,5 und 5. Die untere Antenne der Box zeigt einen Minimalwert von 2. Einen oder mehrere Ausreißer gibt es nicht. Der Vergleich des Mittelwerts (4,17) und des Medians (5), lässt eine mehrheitliche Zustimmung interpretieren. Dem überwiegend meiste Teil der Probanden (5/6) war die physische Umgebung sehr bewusst (Wertung 4 und 5) und lediglich ein Teilnehmer nicht (Wertung 2).

#### 4.7.3.6 Gesamte Wertung der Aussage 3

In der nachfolgenden Abbildung sind alle durchschnittlichen Wertungen der Aussage 1 abgebildet (siehe Abb. 67). Die Gesamtwertung in allen Durchgängen zeigt einen durchschnittlichen Mittelwert von 4,27 und somit lässt sich eine insgesamte Übereinstimmung der Aussage 3 interpretieren ( $> 3$ ).



**Abb. 67: Mittelwerte und Median der Aussage 3**

Mit einem Mittelwert von 4,17 liegen Baseline 2, Baseline 3 und Szenario 1 knapp unterhalb des Durchschnitts von 4,27. Die höchste Übereinstimmung bei der Aussage 3 gibt es in Baseline 1 mit einem Mittelwert von 4,5 und dem Szenario 2 mit einem Mittelwert von 4,33.

#### 4.7.4 Aussage 4: Das Bewusstsein über die physische Umgebung hat Sie in Ihrer Bewegungsfreiheit beeinflusst.

Im Folgenden werden die Häufigkeiten und Verteilungen der Aussage 4 in den jeweiligen Durchläufen visualisiert, interpretiert und verglichen.

##### 4.7.4.1 Baseline 1

Aussage 4 in Baseline 1 wurde ein Mal mit der Wertung 1 (trifft gar nicht zu), ein Mal mit der Wertung 2 (trifft eher nicht zu), zwei Mal mit der Wertung 3 (unentschieden) und zwei Mal mit der Wertung 4 (trifft eher zu) bewertet (siehe Abb. 68).

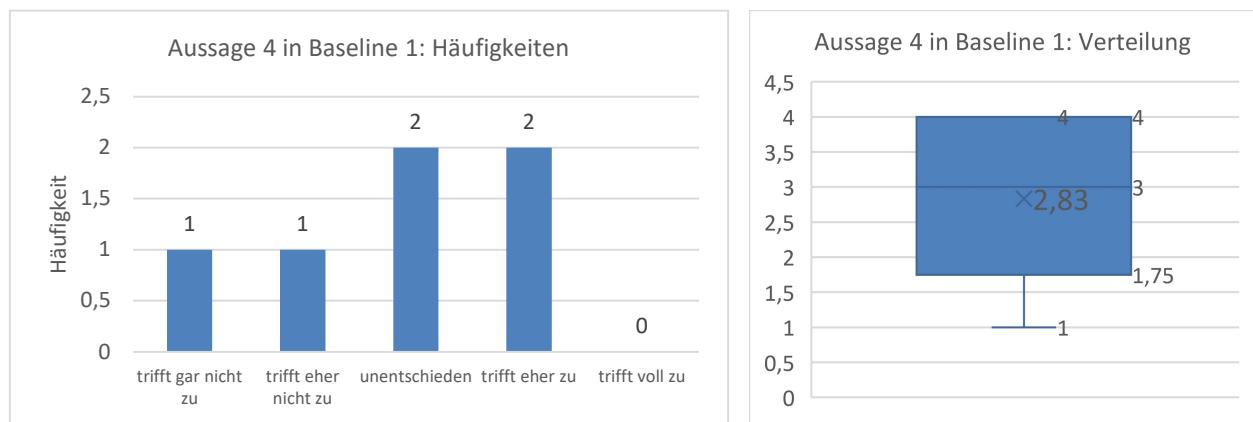
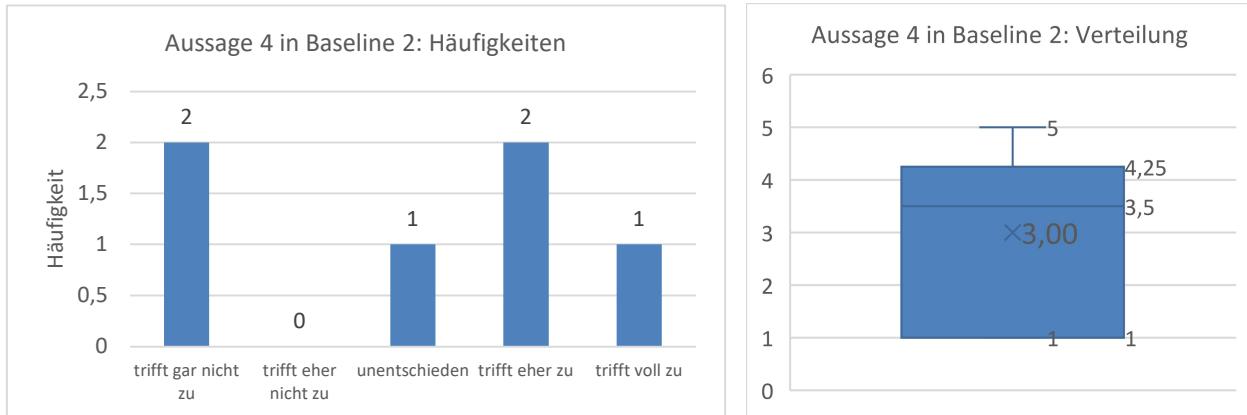


Abb. 68: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 4 in Baseline 1

Die Ergebnisse der Aussage 4 in Baseline 1 ergeben einen Mittelwert von 2,83 und einen Median von 3 auf einer Skala mit dem Minimalwert 1 (trifft gar nicht zu) und dem Maximalwert 5 (trifft voll zu). Die Mehrheit der Bewertungen (mind. 75 Prozent) befindet sich zwischen den Werten 1,75 und 4. Die untere Antenne der Box zeigt einen Minimalwert von 1. Ausreißer gibt es hier nicht. Der Vergleich des Mittelwerts (2,83) und des Medians (3), lässt eine stärkere Ablehnung der Aussage interpretieren. Ein Drittel der Probanden (2/6) hat das Bewusstsein über die physische Umgebung sie in Ihrer Bewegungsfreiheit beeinflusst (Wertung 4), zwei Teilnehmer nicht (Wertung 1 und 2) und zwei Teilnehmer waren der Aussagen gegenüber neutral (Wertung 3).

#### 4.7.4.2 Baseline 2

Aussage 4 in Baseline 2 wurde zwei Mal mit der Wertung 1 (trifft gar nicht zu), ein Mal mit der Wertung 3 (unentschieden), zwei Mal mit der Wertung 4 (trifft eher zu) und ein Mal mit der Wertung 5 (trifft voll zu) bewertet (siehe Abb. 69).

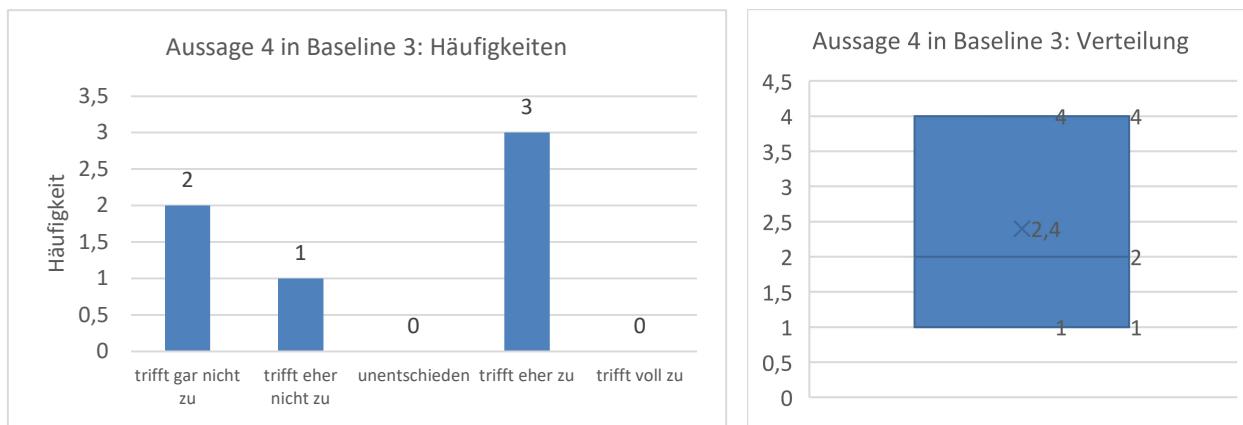


**Abb. 69: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 4 in Baseline 2**

Die Ergebnisse der Aussage 4 in Baseline 2 ergeben einen Mittelwert von 3 und einen Median von 3,5 auf einer Skala mit dem Minimalwert 1 (trifft gar nicht zu) und dem Maximalwert 5 (trifft voll zu). Die Mehrheit der Bewertungen (mind. 75 Prozent) befindet sich zwischen den Werten 1 und 4,25. Die untere Antenne der Box zeigt einen Maximalwert von 5. Einen oder mehrere Ausreißer gibt es nicht. Der Vergleich des Mittelwerts (2,83) und des Medians (3), lässt eine Neutralität der Aussage gegenüber interpretieren. Die Hälfte der Probanden (3/6) hat das Bewusstsein über die physische Umgebung Sie in Ihrer Bewegungsfreiheit beeinflusst (Wertung 4 und 5), zwei Teilnehmer nicht (Wertung 1) und ein Teilnehmer war der Aussagen gegenüber neutral (Wertung 3).

#### 4.7.4.3 Baseline 3

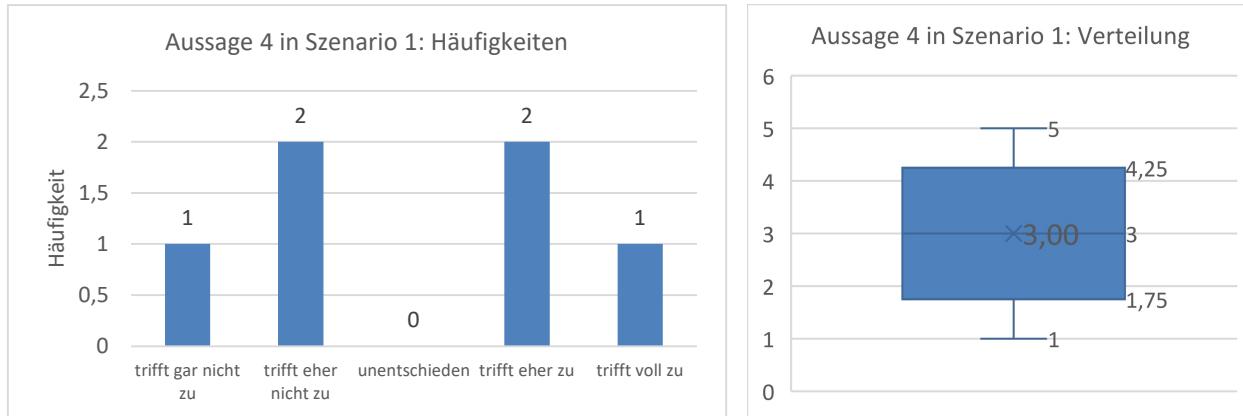
Aussage 4 in Baseline 3 wurde zwei Mal mit der Wertung 1 (trifft gar nicht zu), ein Mal mit der Wertung 2 (trifft eher nicht zu) und drei Mal mit der Wertung 4 (trifft eher zu) bewertet (siehe Abb. 70).

**Abb. 70: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 4 in Baseline 3**

Die Ergebnisse der Aussage 4 in Baseline 3 ergeben einen Mittelwert von 2,4 und einen Median von 2 auf einer Skala mit dem Minimalwert 1 (trifft gar nicht zu) und dem Maximalwert 5 (trifft voll zu). Alle der Bewertungen befindet sich zwischen den Werten 1 und 4. Der Vergleich des Mittelwerts (2,4) und des Medians (2), lässt eine stärkere Ablehnung der Aussage interpretieren. Ein Drittel der Probanden (3/6) hat das Bewusstsein über die physische Umgebung Sie in Ihrer Bewegungsfreiheit beeinflusst (Wertung 4) und drei Teilnehmer nicht (Wertung 1 und 2).

#### 4.7.4.4 Szenario 1

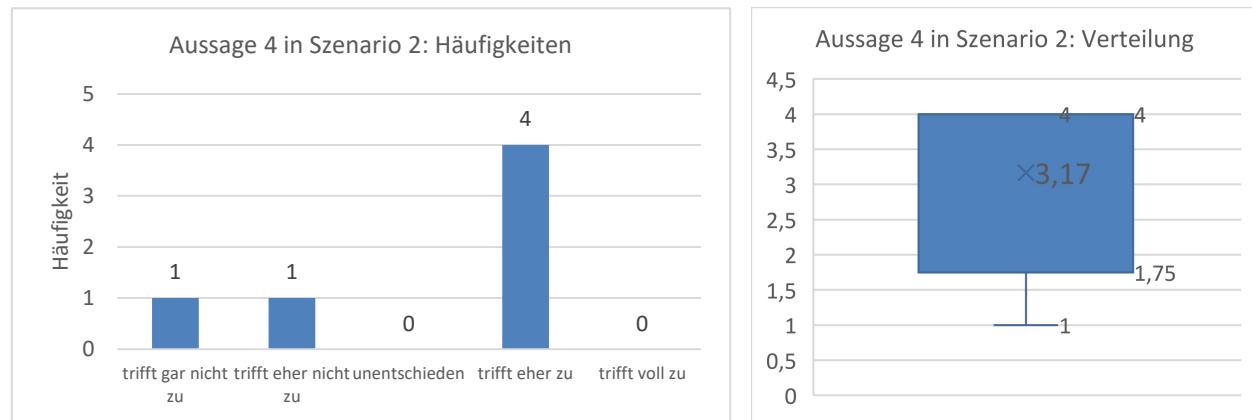
Aussage 4 in Szenario 1 wurde zwei Mal mit der Wertung 1 (trifft gar nicht zu), zwei Mal mit der Wertung 2 (trifft eher nicht zu), zwei Mal mit der Wertung 4 (trifft eher zu) und ein Mal mit der Wertung 4 (trifft eher zu) bewertet (siehe Abb. 71).

**Abb. 71: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 4 in Szenario 1**

Die Ergebnisse der Aussage 4 in Szenario 1 ergeben einen Mittelwert von 3 und einen Median von 3 auf einer Skala mit dem Minimalwert 1 (trifft gar nicht zu) und dem Maximalwert 5 (trifft voll zu). Die Mehrheit der Bewertungen (50 Prozent) befinden sich zwischen den Werten 1,75 und 4,25. Die untere Antenne der Box zeigt einen Minimalwert von 1 und die obere Antenne einen Maximalwert von 5. Ausreißer gibt es hier nicht. Der Vergleich des Mittelwerts (3) und des Medians (3), lässt eine Neutralität der Aussage gegenüber interpretieren. Die Hälfte der Probanden (3/6) hat das Bewusstsein über die physische Umgebung Sie in Ihrer Bewegungsfreiheit beeinflusst (Wertung 4 und 5) und drei Teilnehmer nicht (Wertung 1 und 2).

#### 4.7.4.5 Szenario 2

Aussage 4 in Szenario 2 wurde zwei Mal mit der Wertung 1 (trifft gar nicht zu), ein Mal mit der Wertung 2 (trifft eher nicht zu und vier Mal mit der Wertung 4 (trifft eher zu) bewertet (siehe Abb. 72).

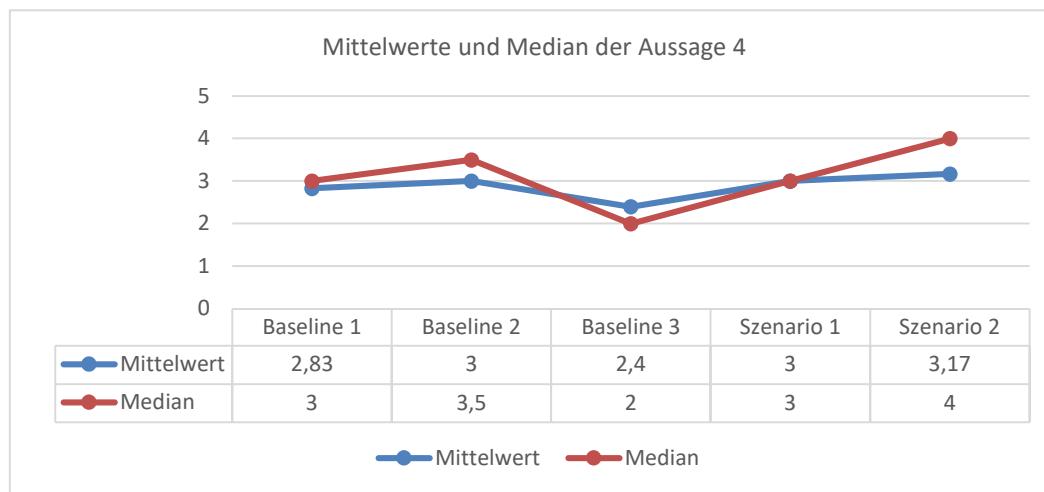


**Abb. 72: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 4 in Szenario 2**

Die Ergebnisse der Aussage 4 in Szenario 2 ergeben einen Mittelwert von 3,17 und einen Median von 4 auf einer Skala mit dem Minimalwert 1 (trifft gar nicht zu) und dem Maximalwert 5 (trifft voll zu). Die Mehrheit der Bewertungen (mind. 75 Prozent) befinden sich zwischen den Werten 1,75 und 4. Die untere Antenne der Box zeigt einen Minimalwert von 1. Ausreißer gibt es hier nicht. Der Vergleich des Mittelwerts (3,17) und des Medians (4) lässt eine leichte mehrheitliche Zustimmung interpretieren. Die Mehrheit der Probanden (4/6) hat das Bewusstsein über die physische Umgebung Sie in Ihrer Bewegungsfreiheit beeinflusst (Wertung 4), zwei Teilnehmer nicht (Wertung 1 und 2).

#### 4.7.4.6 Gesamte Wertung der Aussage 4

In der nachfolgenden Abbildung sind alle durchschnittlichen Wertungen der Aussage 1 abgebildet (siehe Abb. 73). Die Gesamtwertung in allen Durchgängen zeigt einen durchschnittlichen Mittelwert von 2,88 und somit lässt sich eine insgesamte Nichtübereinstimmung der Aussage 4 interpretieren (< 3).



**Abb. 73: Mittelwerte und Median der Aussage 4**

Mit einem Mittelwert von 2,4 und 2,83 liegen Baseline 1 und Baseline unterhalb des Durchschnitts von 2,88 und zeigen eine Nichtübereinstimmung der Aussage 4 (< 3). Die höchsten Übereinstimmungen bei der

Aussage 4 gibt es in Szenario 2 mit einem Mittelwert von 3,17 und lässt eine leichte Übereinstimmung der Aussage interpretieren ( $> 3$ ). In Baseline 2 und Szenario 1 mit einem Mittelwert von jeweils 3 stehen die Wertungen der Aussage neutral gegenüber.

#### 4.7.5 Aussage 5: Der negative Malus in der virtuellen Umgebung hat Ihren Bewegungsverhalten beeinflusst.

Im Folgenden werden die Häufigkeiten und Verteilungen der Aussage 5 in Szenario 2 visualisiert, interpretiert und verglichen.

##### 4.7.5.1 Szenario 2

Aussage 5 in Szenario 2 wurde drei Mal mit der Wertung 3 (unentschieden) und drei Mal mit der Wertung 4 (trifft eher zu) bewertet (siehe Abb. 74).

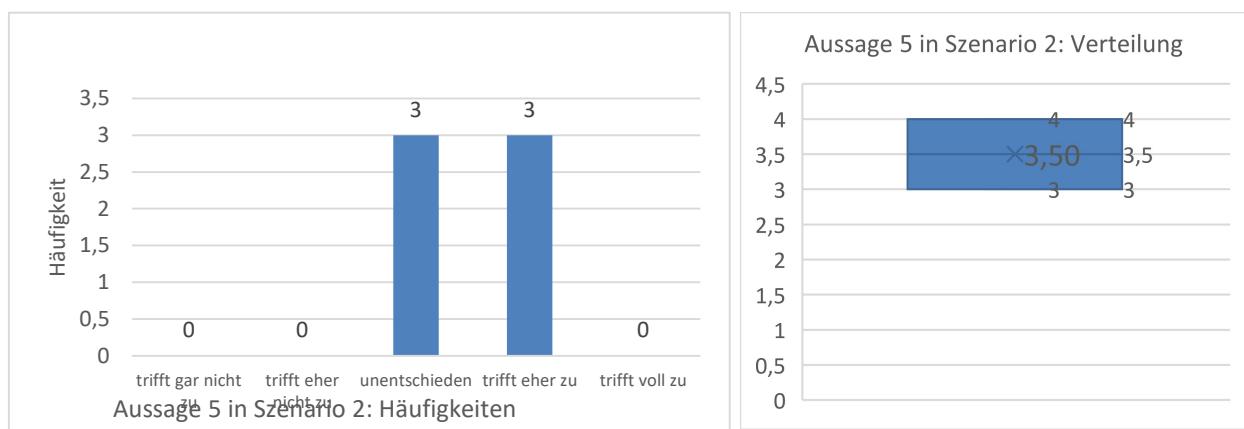


Abb. 74: Häufigkeiten und Verteilung der Aussage 5 in Szenario 2

Die Ergebnisse der Aussage 5 in Szenario 2 ergeben einen Mittelwert von 3,5 und einen Median von 3,5 auf einer Skala mit dem Minimalwert 1 (trifft gar nicht zu) und dem Maximalwert 5 (trifft voll zu). Alle Bewertungen befinden sich zwischen den Werten 3 und 4. Einen oder mehrere Ausreißer gibt es nicht. Der Vergleich des Mittelwerts (3,5) und des Medians (3,5) lässt eine mehrheitliche Zustimmung interpretieren. Die Hälfte der Probanden (3/6) hat der negative Malus Ihr Bewegungsverhalten beeinflusst (Wertung 4) und drei Teilnehmer war der Aussagen gegenüber neutral (Wertung 3).

## 4.8 Auswertung der qualitativen Daten

Die Daten der Freitextantworten im Feedbackbogen wurden mit einer zusammenfassenden Inhaltsanalyse ausgewertet und zusammengefasst. Eine Übersicht aller vollständigen Antworten befindet sich im Anhang 2.

### 4.8.1 Frage 10: Was fanden Sie generell besonders positiv?

Allgemein wurde die virtuelle Umgebung von Proband 2 und 8 als sehr spaßig empfunden. Ebenso waren die Aufgaben klar zu erkennen (P4) und an die virtuelle Umgebung hat man sich schnell gewöhnt (P3). Proband 6 erwähnte die positiven Veränderungen durch die Matten, da sie ein ganz anderes Gefühl beim Laufen erzeugte. Die virtuelle Umgebung wurde als sehr real empfunden. Gründe dafür waren die Gegenstände im Raum (P1, P5, P7), der Steg über die Lava (P5) und die detaillierten Animationen (P7).

Hintergrundgeräusche haben den Raum sehr lebendig gemacht und der Raum bot genügend Platz, um sich frei bewegen zu können (P1).

#### **4.8.2 Frage 11: Was fanden Sie generell negativ?**

Proband 1 und 5 gaben an, dass die Hintergrundgeräusche nicht als angenehm empfunden wurden. Ebenso wurden die Hindernisse auf dem Weg (P4) und dass diese nicht real vertreten waren (P2) bemängelt. Desgleichen erwähnte Proband 4 das blinde Rein- und Rausgehen vor und nach dem Durchlauf eines Szenarios. Der vorgeschriebene Weg wurde ebenso von einem Probanden (P3) negativ aufgefasst. Proband 1 hat aufgrund fehlender Erfahrung und eine daraus resultierende Anspannung das vielleicht gleich etwas passieren würde.

#### **4.8.3 Frage 12: Was genau hat Sie beim negativen Malus beeinflusst?**

Das piepsende Geräusch abseits des Weges (P7) und der Glaube etwas Falsches zu tun (P4). Gleichermaßen waren sich die Probanden unsicher was jetzt passieren würde (P1, P3) oder es wurde auf ein Geschehen gewartet (P5). Proband 1 erläuterte zudem, dass der negative Malus eine negative Beeinflussung hatte und Stress erzeugte. Dadurch wurde darauf geachtet nicht mehr so stark abseits des Weges zu laufen (P2, P6).

#### **4.8.4 Frage 13: Welche konkreten Verbesserungsvorschläge haben Sie im Bereich Malus oder allgemein?**

Proband 6 brachte den Vorschlag hervor, dass ein Feedback beim Durchlaufen der Lava wünschenswert wäre. Ebenso erwähnte Proband 1 mehrere Verbesserungsvorschläge. Dazu gehört der Einbau von realen Hindernissen, eine variierende Geräuschkulisse und das Einblenden der verstrichenen Zeit. Die anderen Probanden hatten keine konkreten Vorschläge zur Verbesserung.

## 5 Diskussion

Wie die Ergebnisse der Aussage 1 „Das Laufen in der VR hat sich für Sie sehr natürlich angefühlt“ zeigten, fühle sich das Laufen in der VR für die Probanden im Durchschnitt natürlich an und der Aussage eher oder ganz zustimmten. In Szenario 1 fühlte sich das Laufen am natürlichensten an. Dies lässt darauf schließen, dass sich das haptische Feedback durch den Einsatz der Bodenmatten signifikant positiv auf das natürliche Gefühl beim Laufen ausgewirkt hat. Die am wenigsten natürliche Gefühl beim Laufen wurde in Szenario 2 angegebenen, was darauf schließen lässt das sich der Einsatz des Malus negativ auf die Präsenz bzw. auf das natürliche Gefühl des Laufens in der VR auswirkt.

Die Ergebnisse der Aussage 2 „Sie haben Ihr Denken und Handeln in die VR projiziert“ zeigten, dass die Probanden der Aussage eher oder ganz zustimmten. In Baseline 1 war dabei die wenigste Zustimmung. Da dies das erste Szenario in der Durchführung war, lässt darauf schließen das sich die Probanden auf Grund der wenigen Erfahrung in VR sich erst an die Umgebung gewöhnen mussten.

Die Ergebnisse der Aussage 3 „Die physische Umgebung war Ihnen sehr bewusst, während Sie in VR waren“ zeigten, dass die Probanden dieser Aussage eher oder ganz zustimmten. Die höchste Zustimmung zeigte sich in Baseline 1, was sich darauf schließen lässt das sich die Probanden, durch die zumeist wenige Erfahrung in VR sich erst an die virtuelle Umgebung gewöhnen mussten. In Szenario 1 war die Zustimmung trotzdem haptischem Feedback durch die Bodenmatten nicht signifikant erhöht und hatte somit keinen Einfluss auf das Bewusstsein der physischen Umgebung. Das lässt auf ein hohes Gefühl der Präsenz schließen.

Die Ergebnisse der Aussage 4 „Das Bewusstsein über die physische Umgebung hat Sie in Ihrer Bewegungsfreiheit beeinflusst“ zeigten, dass die Probanden dieser Aussage neutral gegenüber waren oder dieser eher nicht zustimmten. Die Zustimmung nahm im Vergleich von Baseline 1 zu Beginn der Durchführung und Baseline 3 am Ende der Durchführung ab, was auf ein Gewöhnungseffekt nach längerem Aufenthalt in der virtuellen Umgebung schließen lässt.

Die Ergebnisse der Aussage 5 „Der negative Malus in der virtuellen Umgebung hat Ihr Bewegungsverhalten beeinflusst“ zeigten, dass die Hälfte der Probanden der Aussage eher zustimmte. Dies lässt darauf schließen, dass der negative Malus eine Auswirkung auf das Bewegungsverhalten hat.

Die Ergebnisse der Aussagen in den verschiedenen Szenarien decken sich auch mit den Freitextantworten aus dem Feedbackbogen. So gaben 4 Probanden an, dass sich für Sie die virtuelle Umgebung sehr real anfühlten. Als Gründe gaben sie die verschiedenen Objekte bzw. Hindernisse, den Steg über die Lava und das zusätzliche haptische Feedback durch die Bodenmatten an. Diese Antworten decken sich mit den Erkenntnissen der Aussage 1 und 3, die auf eine hohe Präsenz schließen lässt und diese Annahmen bestätigen. Ebenso stimmen die Antworten über den negativen Malus mit den Ergebnissen der Aussage 5 überein. Zwei Probanden erwähnten, dass durch den Malus vermehrt darauf geachtet wurde, nicht mehr abseits des Weges zu laufen.

Die Ergebnisse der deskriptiven Datenanalyse zeigen, dass die durchschnittlich gebrauchte Zeit zum Absolvieren der Aufgaben in den jeweiligen Szenarien im Laufe des Durchlaufes abnahm. Daraus kann geschlossen werden, dass sich ein Gewöhnungseffekt bei den Probanden entwickelte. Die durchschnittlich prozentuale Zeit abseits des Weges zeigte, dass diese im Laufe der Szenarien zunächst zunahm und in Szenario 1 und Szenario 2 die höchsten Werte besitzen. Im letzten Szenario Baseline 3 war der prozentuale Wert dann wieder etwas geringer.

Die Testung der Hypothesen decken sich jedoch nicht mit den Freitextantworten und den Ergebnissen der Aussagen der verschiedenen Szenarien. Die erste Hypothese, die besagte, dass das Bewegungsverhalten der Benutzer durch einen taktilen Untergrund konditioniert wird, konnte entgegen den Erwartungen nicht belegt werden. Ebenso konnte die zweite Hypothese, die besagte, dass das Bewegungsverhalten der Benutzer durch den Einsatz audiovisueller Hinweise konditioniert wird, nicht belegt werden. Somit lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Szenarien festgestellt werden.

Zusammenfassend kann man sagen, dass es bei der durchschnittlichen Zeit abseits des Weges keine signifikanten Veränderungen gab. Grund hierfür könnte die kleine Stichprobe von 8 Probanden sein, von der 2 Probanden aus der quantitativen Datenerhebung ausgeschlossen werden mussten. Da die Freitextantworten und Antworten bezüglich des Malus auf eine Wirkung der Konditionierung schließen lassen, kann davon ausgegangen werden, dass bei einer ausreichend großen Stichprobe eine signifikante Veränderung zwischen den Szenarien aufzeigen lässt. Ebenso können die Unterschiede der Daten bei zukünftiger Forschung noch aussagekräftiger sein, wenn die gestellte Aufgabe zeitlich ausgeweitet wird und die Probanden somit mehr Zeit in der virtuellen Umgebung verbringen.

## 6 Fazit

Das Ziel dieser Arbeit war die Konzeption und Evaluation von Benutzerkonditionierung in Virtual Reality durch den Einsatz eines negativen Malus. Hierzu mussten verschiedene Szenarien entwickelt werden. Die Umsetzung wurde durch eine entsprechende Literaturrecherche erarbeitet. Hier wurde der aktuelle Stand der Konditionierung, der Virtual Reality und deren Fortbewegungstechniken erforscht und aufgezeigt. Nach der Entwicklung der Szenarien wurden diese erfolgreich getestet und in einer Studie genutzt und mit Probanden durchgeführt. Die Evaluation wurde mit Hilfe eines Fragebogens und den quantitativen Daten aus den Durchführungen umgesetzt. Die Ergebnisse der Studie und dieser Bachelorarbeit zeigten, dass kein signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte. Jedoch zeigten die Aussagen und Freitextantworten einen Auswirkung des negativen Malus auf die Probanden.

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] R. Böhle, „German Entertainment & Media Outlook 2020-2024,“ [Online]. Available: <https://www.pwc.de/de/technologie-medien-und-telekommunikation/german-entertainment-and-media-outlook-2020-2024.pdf>. [Zugriff am 27 07 2021].
- [2] „Fact Sheet: Augmented Reality (AR),“ 16 11 2020. [Online]. Available: <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Fact-Sheet-Augmented-Reality-AR-Virtual-Reality-VR>. [Zugriff am 29 07 2021].
- [3] H. Cherni, N. Métayer und N. Souliman, „Literature review of locomotion techniques in virtual reality,“ 2020.
- [4] „Augmented und Virtual Reality,“ 07 04 2021. [Online]. Available: <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Augmented-und-Virtual-Reality>. [Zugriff am 29 07 2021].
- [5] R. Dörner, W. Broll, B. Jung und P. Grimm, in *Virtual und Augmented Reality (VR/AR)*, Springer, 2019, pp. 12-20.
- [6] M. Slater und S. Wilbur, „A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments,“ 1997.
- [7] A. L. Simeone, I. Mavridou und W. Powell, „Altering User Movement Behaviour in Virtual Environments,“ April 2017.
- [8] M. Usoh, K. Arthur, M. C. Whitton, R. Bastos, A. Steed, M. Slater und F. P. Brooks, „Walking > Walking-in-Place > Flying, in Virtual Environments,“ 1999.
- [9] R. A. Ruddle und S. Lessels, „The Benefits of Using a Walking Interface,“ April 2009.
- [10] R. A. Ruddle, E. Volkova und H. H. Bülthoff, „Learning to Walk in Virtual Reality,“ Mai 2013.
- [11] M. C. Whitton, J. V. Cohn, J. Feasel, P. Zimmons, S. Razzaque, S. Poulton, B. McLeod und F. P. Brooks, Jr., „Comparing VE Locomotion Interfaces,“ März 2005.
- [12] S. Razzaque, Z. Kohn und M. C. Whitton, „Redirected Walking,“ 2001.
- [13] E. A. Suma, G. Bruder, F. Steinicke, D. M. Krum und M. Bolas, „A Taxonomy for Deploying Redirection Techniques in Immersive Virtual Environments,“ 2012.
- [14] F. Steinicke, G. Bruder, L. Kohli, J. Jerald und K. Hinrichs, „Taxonomy and Implementation of Redirection Techniques for Ubiquitous Passive Haptic Feedback,“ 2008.
- [15] B. Williams, G. Narasimham, T. P. McNamara, T. H. Carr, J. J. Rieser und B. Bodenheimer, „Updating orientation in large virtual environments using scaled translational gain,“ 2006.
- [16] F. Steinicke, G. Bruder, J. Jerald, H. Frenz und M. Lappe, „Analyses of Human Sensitivity to Redirected Walking,“ 2008.

- [17] F. Steinicke, G. Bruder, T. Ropinski und K. Hinrichs, „Moving Towards Generally Applicable Redirected Walking,“ 2008.
- [18] V. Interrante, L. Anderson und B. Ries, „Distance Perception in Immersive Virtual Environments, Revisited,“ 2006.
- [19] G. Bruder, F. Steinicke und P. Wieland, „Self-Motion Illusions in Immersive Virtual Reality Environments,“ 2011.
- [20] F. Steinicke, G. Bruder, J. Jerald, H. Frenz und M. Lappe, „Estimation of Detection Thresholds for Redirected Walking Techniques,“ 2009.
- [21] F. Steinicke, G. Bruder, K. Hinrichs und A. Steed, „Gradual transitions and their effects on presence and distance estimation,“ 2009.
- [22] B. Williams, G. Narasimham, B. Rump und T. McNamara, „Exploring Large Virtual Environments with an HMD when Physical Space is Limited,“ 2007.
- [23] E. Suma, S. Clark, S. Finkelstein und Z. Wartell, „Leveraging Change Blindness for Redirection in Virtual Environments,“ 2011.
- [24] D. Simons, „Current Approaches to Change Blindness,“ 2000.
- [25] N. C. Nilsson, S. Serafin, M. H. Laursen, R. Nordahl, K. S. Pedersen und E. Sikström, „Tapping-In-Place: Increasing the Naturalness of Immersive Walking-In-Place Locomotion Through Novel Gestural Input,“ 2013.
- [26] B. Williams, S. Bailey, G. Narasimham, M. Li und B. Bodenheimer, „Evaluation of Walking in Place on a Wii Balance Board to Explore a Virtual Environment,“ 2011.
- [27] M. Slater, M. Usoh und A. Steed, „Taking Steps: The Influence of a Walking’Technique on Presence in Virtual Reality,“ 1995.
- [28] D. Zielinski, R. McMahan und R. Brady, „Shadow Walking: an Unencumbered Locomotion Technique for Systems with Under-floor Projection,“ 2011.
- [29] J. Lee, S. C. Ahn und J. Hwang, „A Walking-in-Place Method for Virtual Reality Using Position and Orientation Tracking,“ 2018.
- [30] F. Buttussi und L. Chittaro, „Locomotion in Place in Virtual Reality: A Comparative Evaluation of Joystick, Teleport, and Leaning,“ 2020.
- [31] M. P. Jacob Habgood, D. Moore, D. Wilson und S. Alapont, „Rapid, Continuous Movement Between Nodes as an Accessible Virtual Reality Locomotion Technique,“ 2018.
- [32] L. A. Cherep, A. Lim, J. W. Kelly und A. Ostrander, „Spatial cognitive implications of teleporting through virtual environments,“ 2020.
- [33] M. P. J. Habgood, D. Moore, D. WIlson und S. Alapont, „Rapid, Continuous Movement Between Nodes as an Accessible Virtual Reality Locomotion Technique,“ 2018.

- [34] F. Buttussi und L. Chittaro, „Locomotion in Place in Virtual Reality: A Comparative Evaluation of Joystick, Teleport, and Leaning,“ 2019.
- [35] P. T. Wilson, W. Kalescky, A. MacLaughlin und B. Williams, „VR Locomotion: Walking>Walking in Place>Arm Swinging,“ 2016.
- [36] D. Zielasko, S. Horn, S. Freitag, B. Weyers und T. Kuhlen, „Evaluation of Hands-Free HMD-Based Navigation Techniques for Immersive Data Analysis,“ 2016.
- [37] A. Harris, K. Nguyen, P. T. Wilson, M. Jackoski und B. Williams, „Human Joystick: Wii-Leaning to Translate in Large Virtual Environments,“ 2014.
- [38] A. Kitson, A. M. Hashemian, E. R. Stepanova, E. Kruijf und B. E. Riecke, „Comparing Leaning-Based Motion Cueing Interfaces for Virtual Reality Locomotion,“ 2017.
- [39] Z. Wang, H. Wei, K. Zhang und L. Xie, „Real Walking in Place: HEX-CORE-PROTOTYPE Omnidirectional Treadmill,“ 2020.
- [40] L. E. Warren und D. A. Bowman, „User Experience with Semi-Natural Locomotion Techniques in Virtual Reality: The Case of the Virtuix Omni,“ 2017.
- [41] J. Wolter und E. Walther, 26 10 2016. [Online]. Available: <https://dorsch.hogrefe.com/stichwort/konditionierung-klassische>. [Zugriff am 06 05 2021].
- [42] E. Glotzbach, H. Ewald, M. Andreatta, P. Pauli und A. Mühlberger, „Contextual fear conditioning predicts subsequent avoidance behaviour in a virtual reality environment,“ 2012.
- [43] M. C. W. Kroes, J. E. Dunsmoor, W. E. Mackey, M. McClay und E. A, „Context conditioning in humans using commercially available immersive Virtual Reality,“ 2017.
- [44] G. Halbeisen und T. Glaser, 07 05 2019. [Online]. Available: <https://dorsch.hogrefe.com/stichwort/konditionierung-operante#search=4b7c74baa316eec7a5887db2deea308f&offset=0>. [Zugriff am 06 05 2021].
- [45] D. Kumar, N. Sinha und U. Lahiri, „Virtual reality-based balance training system augmented with operant conditioning paradigm,“ 2019.
- [46] C. Tröger, H. Ewald, E. Glotzbach, P. Pauli und A. Mühlberger, „Does pre-exposure inhibit fear context conditioning? A Virtual Reality Study,“ 2012.
- [47] [Online]. Available: <https://unity.com/de>. [Zugriff am 23 02 2021].
- [48] „Unity’s interface,“ [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/Manual/UsingTheEditor.html>. [Zugriff am 07 06 2021].
- [49] D. Ziesecke, „Alle Infos zur Oculus Quest – technische Daten, Preis und Laufzeit,“ 03 03 2019. [Online]. Available: <https://vr-legion.de/news/alle-infos-zur-oculus-quest-technische-daten-preis-und-laufzeit/>. [Zugriff am 23 02 2021].

- [50] C. Springer, „Oculus Quest im Test: Virtual Reality für die Masse,“ 30 04 2019. [Online]. Available: <https://www.vrnerds.de/oculus-quest-im-test-virtual-reality-fuer-die-masse/>. [Zugriff am 27 02 2021].
- [51] „Unveiling the Vive Consumer Edition and Pre-order Information,“ [Online]. Available: <https://blog.vive.com/us/2016/02/21/unveiling-the-vive-consumer-edition-and-pre-order-information/>. [Zugriff am 10 06 2021].
- [52] „HTC Vive Pro gegen HTC Vive Pro Eye gegen HTC Vive Pro 2,“ [Online]. Available: <https://www.pocket-lint.com/de-de/ar-vr/kaufberatung/htc/143271-htc-vive-pro-vs-htc-vive-was-ist-der-unterschied>. [Zugriff am 13 06 2021].
- [53] [Online]. Available: <https://business.vive.com/de/product/vive-pro-eye-office/>. [Zugriff am 10 06 2021].
- [54] [Online]. Available: <https://www.vive.com/de/product/vive-pro-eye/overview/>. [Zugriff am 13 06 2021].
- [55] „Über die VIVE Controller (2018),“ [Online]. Available: [https://www.vive.com/de/support/vive-pro/category\\_howto/about-the-controllers---2018.html](https://www.vive.com/de/support/vive-pro/category_howto/about-the-controllers---2018.html). [Zugriff am 13 06 2021].
- [56] „Über SteamVR Basisstation 2.0,“ [Online]. Available: [https://www.vive.com/de/support/vive-pro/category\\_howto/about-the-base-stations.html](https://www.vive.com/de/support/vive-pro/category_howto/about-the-base-stations.html). [Zugriff am 13 06 2021].
- [57] [Online]. Available: <https://partner.steamgames.com/vrlicensing>. [Zugriff am 13 06 2021].
- [58] [Online]. Available: <https://www.vive.com/de/accessory/wireless-adapter/>. [Zugriff am 15 07 2021].
- [59] „VIVE WLAN Adapter (VIVE/VIVE Pro),“ [Online]. Available: [https://www.vive.com/de/support/wireless-adapter/category\\_howto/vive-wireless-adapter.html](https://www.vive.com/de/support/wireless-adapter/category_howto/vive-wireless-adapter.html). [Zugriff am 15 07 2021].
- [60] „Understand Oculus Integration Package Components,“ [Online]. Available: <https://developer.oculus.com/documentation/unity/unity-utilities-overview/>. [Zugriff am 17 05 2021].
- [61] „SteamVR Unity Plugin,“ [Online]. Available: [https://valvesoftware.github.io/steamvr\\_unity\\_plugin/](https://valvesoftware.github.io/steamvr_unity_plugin/). [Zugriff am 17 05 2021].
- [62] „Colliders,“ [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/Manual/CollidersOverview.html>. [Zugriff am 21 05 2021].
- [63] „Tags,“ [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/Manual/Tags.html>. [Zugriff am 15 07 2021].
- [64] „Animation State Machines,“ [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/Manual/AnimationStateMachine.html>. [Zugriff am 19 05 2021].
- [65] A. States. [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/Manual/class-State.html>. [Zugriff am 31 05 2021].

- [66] „Koroutine,“ [Online]. Available: <https://de-academic.com/dic.nsf/dewiki/792872>. [Zugriff am 20 07 2021].
- [67] „Erstellen eines Formulars mit Microsoft Forms,“ [Online]. Available: <https://support.microsoft.com/de-de/office/erstellen-eines-formulars-mit-microsoft-forms-4ffb64cc-7d5d-402f-b82e-b1d49418fd9d>. [Zugriff am 17 08 2021].
- [68] S. Augsten, „Definition „Git SCM“ - Was ist Git?“ 27 08 2019. [Online]. Available: <https://www.dev-insider.de/was-ist-git-a-850847/>. [Zugriff am 24 03 2021].
- [69] TerryGLee, „Neues in Visual Studio 2019,“ 10 11 2020. [Online]. Available: <https://docs.microsoft.com/de-de/visualstudio/ide/whats-new-visual-studio-2019?view=vs-2019>. [Zugriff am 22 02 2021].
- [70] B. Wagner, „Überblick über C#,“ 28 01 2021. [Online]. Available: <https://docs.microsoft.com/de-de/dotnet/csharp/tour-of-csharp/>. [Zugriff am 23 02 2021].
- [71] O. B. Dr. Veikko Krypczyk, „Einführung in die Programmierung: Objekte, nichts als Objekte,“ 19 04 2016. [Online]. Available: <https://entwickler.de/online/development/einfuehrung-programmierung-objektorientierte-programmentwicklung-197372.html>. [Zugriff am 24 02 2021].
- [72] [Online]. Available: <https://evasys.de/evasys/>. [Zugriff am 28 02 2021].
- [73] J. N. Templeman, D. P. S. und L. E. Sibert, „Virtual Locomotion: Walking in Place through Virtual Environments,“ Dezember 1999.
- [74] A. L. Simeone, E. Velloso und H. Gellersen, „Substitutional Reality: Using the physical environment to design virtual reality experiences,“ Januar 2015.
- [75] P. Fink, P. Foo und W. H. Warren, „Obstacle avoidance during walking in real and virtual environments,“ Januar 2007.
- [76] S. Razzaque, D. Swapp, M. Slater, M. C. Whitton und A. Steed, „Redirected Walking in Place,“ 2002.
- [77] J. N. Templeman, P. S. Denbrook und L. E. Sibert, „Virtual locomotion: Walking in place through virtual environments,“ Dezember 1999.
- [78] D. A. Bowman, D. Koller und L. F. Hodges, „Travel in Immersive Virtual Environments: An Evaluation of Viewpoint,“ 1997.
- [79] E. A. Suma, S. L. Finkelstein, M. Reid, S. V. Babu, A. C. Ulinski und L. F. Hodges, „Evaluation of the Cognitive Effects of Travel Technique in Complex Real and Virtual Environments,“ 2010.
- [80] V. Interrante, B. Ries und L. Anderson, „Seven League Boots: A New Metaphor for Augmented Locomotion through Moderately Large Scale Immersive Virtual Environments,“ 2007.
- [81] L. F. Hodges, R. Kooper, T. C. Meyer, B. O. Rothbaum, D. Opdyke, J. J. Graaff, J. S. Williford und M. M. North, „Virtual Environments for Treating the Fear of Heights,“ 1995.

- [82] G. Bruder, F. Steinicke und K. H. Hinrichs, „Arch-Explore: A natural user interface for immersive architectural,“ 2009.
- [83] T. Peck, H. Fuchs und M. Whitton, „Evaluation of Reorientation Techniques and Distractors for Walking in Large Virtual Environments,“ 2008.
- [84] N. C. Huff, J. A. Hernandez, M. E. Fecteau, D. J. Zielinski, R. Brady und K. S. LaBar, „Revealing context-specific conditioned fear memories with full immersion virtual reality,“ 2011.

## 8 Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eid statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Zeichnungen oder Abbildungen in dieser Arbeit sind von mir selbst erstellt worden oder mit einem entsprechenden Quellennachweis versehen.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungskommission vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Robert Zlomke

---

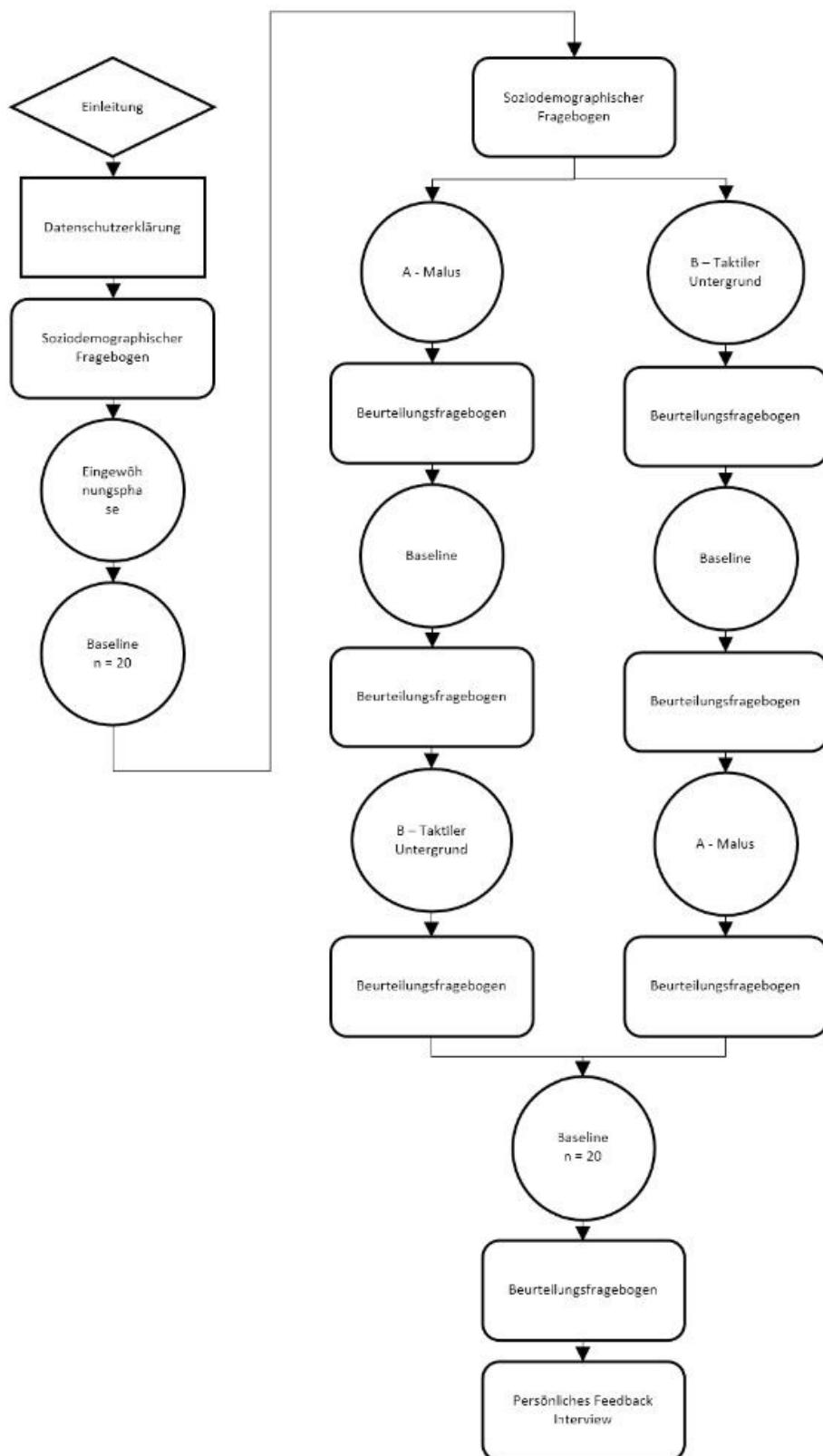
Heilbronn, 13. Dezember 2021

Zlomke Robert

## **9 Anhang**

<b>Anhang 1: Vorgehensweise der Evaluation .....</b>	<b>84</b>
<b>Anhang 2: Ergebnisse der T-Tests für Szenario 1.....</b>	<b>85</b>
<b>Anhang 3: Ergebnisse der T-Tests für Szenario 2.....</b>	<b>87</b>
<b>Anhang 4: Antworten des Feedbackbogens.....</b>	<b>89</b>

## Anhang 1: Vorgehensweise der Evaluation



## Anhang 2: Ergebnisse der T-Tests für Szenario 1

```
T-TEST /VARIABLES= Zeit_abseits_prozentual
/GROUPS=Szenario("Szenario 1","Baseline
1") /MISSING=ANALYSIS
/CRITERIA=CI(0.95).
```

Gruppenstatistiken					
	Gruppe	N	Mittelwert	Std. Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Zeit_abseits_prozentual	Szenario 1	6	21,67	18,07	7,38
	Baseline 1	6	16,33	14,69	6,00

		Test bei unabhängigen Stichproben							
		Levene-Test der Varianzgleichheit				T-Test für die Gleichheit der Mittelwerte			
Zeit_abseits_prozentual	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	F	Sig.	t	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz
		,36	,561	,56	10,00	,587	5,33	9,51	-15,85 26,52
				,56	9,60	,588	5,33	9,51	-15,97 26,64

```
T-TEST /VARIABLES= Zeit_abseits_prozentual
/GROUPS=Szenario("Szenario 1","Baseline
2") /MISSING=ANALYSIS
/CRITERIA=CI(0.95).
```

Gruppenstatistiken					
	Gruppe	N	Mittelwert	Std. Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Zeit_abseits_prozentual	Szenario 1	6	21,67	18,07	7,38
	Baseline 2	6	21,00	16,19	6,61

		Test bei unabhängigen Stichproben							
		Levene-Test der Varianzgleichheit				T-Test für die Gleichheit der Mittelwerte			
Zeit_abseits_prozentual	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	F	Sig.	t	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz
		,20	,664	,07	10,00	,948	,67	9,91	-21,40 22,74
				,07	9,88	,948	,67	9,91	-21,44 22,77

T-TEST /VARIABLES= Zeit\_abseits\_prozentual  
   /GROUPS=Szenario("Szenario 1", "Baseline  
 3")   /MISSING=ANALYSIS  
   /CRITERIA=CI (0.95) .

**Gruppenstatistiken**

	Gruppe	N	Mittelwert	Std. Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Zeit_abseits_prozentual	Szenario 1	6	21,67	18,07	7,38
	Baseline 3	6	18,67	15,13	6,18

**Test bei unabhängigen Stichproben**

	Levene-Test der Varianzgleichheit	T-Test für die Gleichheit der Mittelwerte							
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz
Zeit_abseits_prozentual	Varianzen sind gleich	,28	,611	,31	10,00	,762	3,00	9,62	-18,44 24,44
	Varianzen sind nicht gleich			,31	9,70	,762	3,00	9,62	-18,53 24,53

T-TEST /VARIABLES= Zeit\_abseits\_prozentual  
   /GROUPS=Szenario("Szenario 1", "Szenario  
 2")   /MISSING=ANALYSIS  
   /CRITERIA=CI (0.95) .

**Gruppenstatistiken**

	Gruppe	N	Mittelwert	Std. Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Zeit_abseits_prozentual	Szenario 1	6	21,67	18,07	7,38
	Szenario 2	6	22,67	14,07	5,74

**Test bei unabhängigen Stichproben**

	Levene-Test der Varianzgleichheit	T-Test für die Gleichheit der Mittelwerte							
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz
Zeit_abseits_prozentual	Varianzen sind gleich	,34	,574	-,11	10,00	,917	-1,00	9,35	-21,83 19,83
	Varianzen sind nicht gleich			-,11	9,43	,917	-1,00	9,35	-22,00 20,00

### Anhang 3: Ergebnisse der T-Tests für Szenario 2

```
T-TEST /VARIABLES= Zeit_abseits_prozentual
/GROUPS=Szenario("Szenario 2","Baseline
1") /MISSING=ANALYSIS
/CRITERIA=CI(0.95).
```

**Gruppenstatistiken**

	Gruppe	N	Mittelwert	Std. Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Zeit_abseits_prozentual	Szenario 2	6	22,67	14,07	5,74
	Baseline 1	6	16,33	14,69	6,00

**Test bei unabhängigen Stichproben**

		Levene-Test der Varianzgleichheit			T-Test für die Gleichheit der Mittelwerte					
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
Zeit_abseits_prozentual	Varianzen sind gleich	,00	,954	,76	10,00	,463	6,33	8,30	-12,17	24,84
	Varianzen sind nicht gleich			,76	9,98	,463	6,33	8,30	-12,17	24,84

```
T-TEST /VARIABLES= Zeit_abseits_prozentual
/GROUPS=Szenario("Szenario 2","Baseline
2") /MISSING=ANALYSIS
/CRITERIA=CI(0.95).
```

**Gruppenstatistiken**

	Gruppe	N	Mittelwert	Std. Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Zeit_abseits_prozentual	Szenario 2	6	22,67	14,07	5,74
	Baseline 2	6	21,00	16,19	6,61

**Test bei unabhängigen Stichproben**

		Levene-Test der Varianzgleichheit			T-Test für die Gleichheit der Mittelwerte					
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
Zeit_abseits_prozentual	Varianzen sind gleich	,01	,942	,19	10,00	,853	1,67	8,75	-17,84	21,17
	Varianzen sind nicht gleich			,19	9,81	,853	1,67	8,75	-17,89	21,22

T-TEST /VARIABLES= Zeit\_abseits\_prozentual  
   /GROUPS=Szenario("Szenario 2", "Baseline  
 3")   /MISSING=ANALYSIS  
   /CRITERIA=CI (0.95) .

**Gruppenstatistiken**

	Gruppe	N	Mittelwert	Std. Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Zeit_abseits_prozentual	Szenario 2	6	22,67	14,07	5,74
	Baseline 3	6	18,67	15,13	6,18

**Test bei unabhängigen Stichproben**

		Levene-Test der Varianzgleichheit				T-Test für die Gleichheit der Mittelwerte				
		F	Sig.	t	df	Sig. (2- seitig)	Mittlere Differenz	Stdfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
Zeit_abseits_prozentual	Varianzen sind gleich	,00	,985	,47	10,00	,646	4,00	8,44	-14,80	22,80
	Varianzen sind nicht gleich			,47	9,95	,646	4,00	8,44	-14,81	22,81

T-TEST /VARIABLES= Zeit\_abseits\_prozentual  
   /GROUPS=Szenario("Szenario 2", "Szenario  
 1")   /MISSING=ANALYSIS  
   /CRITERIA=CI (0.95) .

**Gruppenstatistiken**

	Gruppe	N	Mittelwert	Std. Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Zeit_abseits_prozentual	Szenario 2	6	22,67	14,07	5,74
	Szenario 1	6	21,67	18,07	7,38

**Test bei unabhängigen Stichproben**

		Levene-Test der Varianzgleichheit				T-Test für die Gleichheit der Mittelwerte				
		F	Sig.	t	df	Sig. (2- seitig)	Mittlere Differenz	Stdfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
Zeit_abseits_prozentual	Varianzen sind gleich	,34	,574	,11	10,00	,917	1,00	9,35	-19,83	21,83
	Varianzen sind nicht gleich			,11	9,43	,917	1,00	9,35	-20,00	22,00

## Anhang 4: Antworten des Feedbackbogens

ID	Was genau hat Sie beim negativen Malus beeinflusst?	Was fanden Sie besonders positiv?	Was fanden Sie negativ?	Welche konkreten Verbesserungsvorschläge haben Sie im Bereich Malus oder
1	Ich dachte, irgendetwas passiert, ich mache etwas nicht richtig oder es stellt eine Art zeitliche Begrenzung dar, die ich einzuhalten habe. Mich hat der Malus sehr negativ beeinflusst und unter Anspannung und Stress gesetzt.	Es hat sich sehr real gefühlt und ich habe die "echte" Welt kurzzeitig vergessen gehabt. Die Geräusche haben den Raum sehr lebendig gemacht. Ich konnte mich frei bewegen und der Raum bot genügend Platz. Das zischende Rohr ist mir besonders aufgefallen. Die Details wie Kiste und Karton fand ich sehr realistisch.	Ich hatte, vermutlich aufgrund bisher keinerlei Erfahrung in diesem Bereich, etwas Anspannung dass irgendetwas gleich passieren würde. Dass ich vielleicht nicht in die Lava treten darf, sonst verliere ich ein Leben, o.ä. Einige	Raster entfernen (türkiser Würfel, taucht hin und wieder auf) hat mich erschreckt.
2	Kurze Irritation, der Durchlauf wurde aber ohne weitere Vorkommnisse beendet. Beim nächsten Durchlauf, wurde darauf geachtet, dass der Malus (verlassen der Bahn oder durchtreten der Hindernisse) nicht mehr auftritt.	Fun-Faktor vorhanden. VR wird zeitnah in den privaten Haushalt integriert.	Keine reellen Hindernisse in den einzelnen Durchgängen. Mehr Durchgänge als hier im Fragebogen beantwortet werden müssen.	Malus an sich umbenennen in ein neutraleres Wort. Reale Hindernisse einbauen. Geräuschkulisse variieren. Countdown/verstrichene Zeit einblenden
3	an die virtuellen Umgebung hat man sich schnell angepasst	der vorgeschriebene Weg	war mir unsicher, wenn ich vom Weg abkomme.... was passiert!?	keine
4	Aufgaben waren klar zu erkennen	Blind rein und raus gehen, die Hindernisse auf dem Weg	der Glaube etwas falsches zu tun	keine
5	Die Gegenstände und der Steg über die Lava waren sehr real	Die rauschenden Geräusche fand ich nicht so angenehm	Bei den ersten Malen hat man auf ein Geschehen gewartet wenn man die rote Schranke überquert	
6	Die Veränderung, welche durch die Matten hervorgerufen wurde. Dadurch ergab sich ein ganz anderes Gefühl beim laufen.	-	Ich bin nicht mehr so stark abseits des Weges gelaufen.	Wenn man in die Lava läuft, dass ein Feedback kommt.
7	Sehr umfangreiche und detailreiche Animation. Interessant waren die 3D-Objekte, wie in der Realität. Sehr gute Arbeit abgeliefert.		Ein piepsendes Geräusch, als ich abseits des Weges war.	
8	sehr real, fühlte mich sehr sicher, spaßig,	nix	nix	keine