

## **Bachelorthesis**

**Sommersemester 2019**

# **Vergleich von Inverse Kinematics und Motion Tracking im Zuge einer VR Anwendung**

---

**Robin Connor Schramm**

761392

Erstbetreuer: Prof. Dr. rer. nat. Uwe Kloos

Zweitbetreuerin: Prof. Dr. rer. nat. Gabriela Tullius

Betreuer Fraunhofer IAO: Daniel Diers

# Abstract

## Abstract Deutsch

In dieser Arbeit soll beantwortet werden, wie stark sich die motorische Kontrolle über einen selbst-Avatar in virtueller Realität auf das Embodiment (Verkörperung) von Versuchspersonen über diesen kontrollierten selbst-Avatar beeinflusst. Dafür wurde ein Versuch durchgeführt, in dem die Versuchspersonen ein Ausweichspiel absolvierten, in dem die Bewegungen des eigenen Körpers zum Einsatz kamen. Der Avatar beider Gruppen wurde mithilfe von Inverse Kinematik animiert. Durch zusätzliche Tracker an den Gliedmaßen verfügte eine der Gruppen einen höheren Grad an Kontrolle über den Avatar. Dabei wurden Daten zum Embodiment, zu der Gefühlten Arbeitsbelastung sowie zur erreichten Punktzahl in dem Spiel gesammelt. Die Ergebnisse zeigen, dass der Grad an Kontrolle über einen selbst Avatar weniger Einfluss auf das Embodiment hat, wie angenommen wird.

## Abstract English

In dieser Arbeit soll beantwortet werden, wie stark sich die motorische Kontrolle über einen selbst-Avatar in virtueller Realität auf das Embodiment (Verkörperung) von Versuchspersonen über diesen kontrollierten selbst-Avatar beeinflusst. Dafür wurde ein Versuch durchgeführt, in dem die Versuchspersonen ein Ausweichspiel absolvierten, in dem die Bewegungen des eigenen Körpers zum Einsatz kamen. Der Avatar beider Gruppen wurde mithilfe von Inverse Kinematik animiert. Durch zusätzliche Tracker an den Gliedmaßen verfügte eine der Gruppen einen höheren Grad an Kontrolle über den Avatar. Dabei wurden Daten zum Embodiment, zu der Gefühlten Arbeitsbelastung sowie zur erreichten Punktzahl in dem Spiel gesammelt. Die Ergebnisse zeigen, dass der Grad an Kontrolle über einen selbst Avatar weniger Einfluss auf das Embodiment hat, wie angenommen wird.

# Inhaltsverzeichnis

## Abbildungsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Einführung / Hinführung zum Thema . . . . .	1
1.2	Motivation . . . . .	1
1.3	Ziele . . . . .	2
1.4	Vorgehensweise . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>3</b>
2.1	Virtuelle Realität . . . . .	3
2.2	Immersion . . . . .	5
2.3	Presence . . . . .	6
2.4	Self Embodiment . . . . .	7
2.5	Avatare . . . . .	8
2.6	Kinematik . . . . .	9
2.7	Motion Tracking . . . . .	10
2.8	Stand der Wissenschaft . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Versuch</b>	<b>11</b>
3.1	Konzeption . . . . .	11
3.2	Hypothese . . . . .	12
3.3	Hardware . . . . .	12
3.4	Versuchsaufbau . . . . .	13
3.5	Engine . . . . .	14
3.6	Probleme . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Evaluation</b>	<b>16</b>
4.1	Fragebögen . . . . .	16
4.1.1	Embodiment Fragebogen . . . . .	17
4.1.2	TLX . . . . .	18
4.2	Auswertung . . . . .	18
4.3	Embodiment Ergebnisse . . . . .	18
4.3.1	Diskussion - Embodiiment Bogen . . . . .	18
4.4	TLX . . . . .	18
4.5	Performanz der Benutzer . . . . .	18
4.6	Kommentare . . . . .	18
<b>5</b>	<b>Diskussion und Ausblick</b>	<b>19</b>
5.1	Fazit . . . . .	19

5.2	Zukunftsansichten . . . . .	19
-----	-----------------------------	----

**Literatur**

**Abbildungsverzeichnis**

<b>Anhang</b>		<b>I</b>
A	Fragebögen . . . . .	I
B	Diagramme . . . . .	I

# Abbildungsverzeichnis

# 1 Einleitung

## 1.1 Einführung / Hinführung zum Thema

IK einführen kurz erklären

## 1.2 Motivation

Die Idee für diese Arbeit stammt von einem Projekt vom Fraunhofer IAO in Stuttgart. Bei dem Projekt handelt es sich um eine kollaborative VR-Umgebung. Dabei soll jeder Nutzer einen Avatar innerhalb des Virtuellen Raums steuern. Gründe dafür sind verbesserte Immersion, potenziell erhöhtes Embodiment, gesteigerte Kommunikation und erkennen des Standortes der anderen Nutzer. Vor allem in kollaborativen Umgebungen wie dieser sind Avatare wichtig, da ohne Avatare die Position und die Identität der anderen Nutzer schlecht oder gar nicht erkannt werden kann. Da das Programm auch potentiell für Meetings eingesetzt werden könnte, ist auch der Kommunikationsaspekt des potentiell verbesserten Embodiments relevant. Die Animation der Avatare funktioniert aktuell über IK, wobei die Controller an den Händen und die HMD am Kopf getrackt werden und als Referenz für den Rest des Modells dienen. Das ist zwar mit wenig Aufwand für den Nutzer verbunden, da diese Konfiguration an Hardware heutzutage der Standard bei Verbraucher orientierten komplett Systemen entspricht, jedoch sind die daraus schließenden Animationen noch ungenau und oft verzögert. Da sich die getrackten Objekte alle in der Region überhalb der Hüfte befinden, müssen ein Teil der Wirbelsäule, die Hüfte und die Beine komplett anhand der Punkte oberhalb davon animiert werden. Das führt oft zu Körpern, die bei Bewegungen dem Kopf hinterher schweben. Eine Alternative wäre der Einsatz von mehreren Trackern an den Beinen und am Körper, womit die Genauigkeit der Animationen verbessert werden kann. Dafür führen Tracker zu höherem Entwicklungsaufwand, da sie zusätzlich IK eingesetzt werden und nicht völlig eigenständig sind. Zusätzlich liefern die Tracker je nach Anzahl einen Mehraufwand beim Nutzer, da durch sie mehr Hardware anfällt die gekauft, gelagert, aufgeladen und zum Benutzen am Körper befestigt werden muss.

## 1.3 Ziele

Aus den oben genannten Gründen möchte ich herausfinden, ob eine bessere Animation eines Avatars durch Tracker in VR einen Unterschied für den Benutzer in Sachen Embodiment, Immersion und Performance macht und wenn ja in welchem Ausmaß. Zusätzlich möchte ich herausfinden, wie groß der Mehraufwand ist, sechs Tracker zu verwenden, jeweils im Bereich der Anwendung als auch für den Nutzer vor und während der Nutzung des Programms. Am Ende möchte ich eine Empfehlung geben, in welchen Anwendungsfällen die Nutzung von Trackern der Nutzung von IK vorzuziehen wäre und wann die Nutzung von IK der Nutzung von Trackern vorzuziehen wäre.

## 1.4 Vorgehensweise

Zuerst biete ich einen Überblick, wie die aktuelle Wissenschaft Virtuelle Realität (VR), Immersion, Embodiment und Avatare definiert. Danach gehe ich auf die Grundlagen des IK und Trackings ein. Im nächsten Kapitel beschreibe ich die Konzeption, Idee, Ziele und Umsetzung meines Versuchs sowie die Probleme und Herausforderungen, die Während der Entwicklung und Durchführung der Anwendung aufgetreten sind. In Kapitel 4 erkläre ich, welche Fragebögen ich ausgewählt habe, wie diese Ausgewertet wurden und zu welchem Ergebnis ich kam. Zum Schluss Gebe ich mein Fazit zu der Studie und zeige meine Zukunftsaussichten für das Thema.

# 2 Stand der Technik

## 2.1 Virtuelle Realität

Boas definiert in seiner Arbeit [Boa12] Virtuelle Realität (VR) als ein Feld der Computerwissenschaften mit dem Ziel, immersive virtuelle Welten zu erschaffen und dem Benutzer die Möglichkeit geben, mit dieser Welt zu interagieren. Da die reale Welt hauptsächlich von unseren Sinnen und den Konsequenzen unseres Handelns wahrgenommen wird, entsteht durch die Simulation dieser Phänomene eine Virtuelle Umgebung (VU). Dazu muss für einen oder mehrere unserer Sinne ein alternativer Stimulus präsentiert werden. Zusätzlich müssen die Bewegungen und Aktionen des Benutzers in Betracht gezogen werden und die VU muss entsprechend darauf reagieren. Durch die alternativen Stimuli und die Reaktion der VU auf die Aktionen des Benutzers entstehen zwei grundsätzliche Anforderungen an das System im Zusammenhang mit dem Benutzer. Der Mensch besitzt im übertragenen Sinn wie ein Computer Schnittstellen zur Eingabe und Ausgabe. Die Eingabeschnittstellen des Menschen sind die Sinne, deshalb muss das System Informationen ausgeben, die die Sinne stimulieren. Das häufigste Beispiel dafür ist die Ausgabe von Informationen über einen Bildschirm, welche von den Augen aufgenommen und im Gehirn verarbeitet werden. Die Ausgaben eines Menschen sind die Aktionen, die er ausführen kann. Zu den Aktionen gehören z. B. Sprache oder Bewegungen. Je mehr Ausgaben eines Menschen das System als Eingabe annimmt, desto realistischer wirkt die VU. Beispiele dafür wären Spracherkennung oder die Möglichkeit durch Bewegungen mit der VU zu interagieren. Holloway [HL95] hat in seinem Paper im Jahr 1995 eine Tabelle erstellt, die für jeden menschlichen Sinn eine Methode der Stimulation beschreibt. Darin kommen nicht nur die klassischen fünf Sinne des Menschen Hören, Schmecken, Riechen, Sehen und Tasten vor, sondern auch weitere Empfindungen wie die Bewegungsempfindung (Kinästhetik), die Wahrnehmung der Körperbewegung und -lage im Raum (Propriozeption) sowie der Gleichgewichtssinn. Eine weitere Tabelle stellt verschiedene Geräte vor, die die Bewegungen und Aktionen des Benutzers erfassen können. Zu den Aktionen gehören Kopfbewegungen, Bewegungen des Körpers und Gliedmaßen, Fingerbewegungen, Ausrichtung der Augen, Sprache und Ausübung von Kräften. Aktuelle Verbraucher basierte VR-Brillen fokussieren sich in der Regel auf den Sehsinn und Hörsinn, da es sich herausgestellt hat, dass diese Sinne am einfachsten permanent virtualisiert werden können. Das zeigt sich auch an normalen Computern, die in der Regel über Bildschirme und Lautsprecher verfügen. [HL95]



Aus den genannten Gründen ist der Klassische und am meisten verfügbare Weg VR zu erleben ein Head-Mounted Display (HMD), ein Gerät, welches um den Kopf geschnallt wird und komplett die Augen verdeckt. HMDs haben in der Regel stereoskopische Bildschirme um 3D Welten in einem großen Blickfeld darzustellen. Jeder der Bildschirme befindet sich jeweils genau vor einem Auge, was die künstliche Stimulation der visuellen Wahrnehmung ermöglicht. Viele HMDs haben die Möglichkeit, die Distanz zwischen den beiden Bildschirmen an die Distanz zwischen den Augen verschiedener Benutzer anzupassen. Für die wirkliche dreidimensionale Illusion werden in der Software zwei Kameras, eine für jedes Auge, eingebunden und entsprechend platziert. Die Simulation der auditiven Wahrnehmung kommt ebenfalls oft zum Einsatz. Da HMDs in der Regel an einen Computer angeschlossen werden müssen und diese grundsätzlich die Kapazitäten für ein Lautsprechersystem besitzen, ist es der Standard, dass VR Anwendungen mithilfe der Lautsprecher Geräusche und Musik verwenden. Alternativ ist die Verwendung von Kopfhörern möglich, da diese im Gegensatz zu Lautsprechern nur die Geräusche der VU zulassen und alle realen Geräusche unterdrücken, was zu höherer Immersion führt. Die Stimulation des Tastsinns beschränkt sich bei den meisten Verbraucher basierten Anwendungen auf Vibration der Controller bei bestimmten Situationen. Es existieren bereits kommerzielle Geräte, die sich auf die virtuelle Stimulation des Tastsinns sowie auf die Kinästhetik fokussieren. Sogenannte *Haptic Gloves*, zu Deutsch haptische Handschuhe können Berührungen, verschiedene Oberflächen und Force Feedback (Kraftrückkopplung) simulieren. Aufgrund des Größenunterschiedes verschiedener Hände sind die Haptic Gloves noch nicht weit verfügbar [PP18].

Von den von Holloway [HL95] gelisteten Aktionen, die erfasst werden sollen, ist es mittlerweile technisch gesehen möglich, alle zu erfassen. Durch Gyroskope und Beschleunigungssensoren erkennt das Headset die Ausrichtung des Kopfes und kann entsprechend die Kameras in der Anwendung rotieren. Bei manchen Ausführungen wird auch die Position des Headsets und anderen Trackern durch Kameras erfasst. Dadurch kann sich der Benutzer durch Bewegungen im echten Raum im virtuellen Raum bewegen. [Boa12] [HL95] Bei der HTC Vive beträgt die maximale Raumgröße beispielsweise 6m x 6m. Aktuelle VR Kits wie die HTC Vive oder die Oculus Rift werden standardmäßig neben dem HMD mit zwei Controllern ausgeliefert. Diese verfügen ebenfalls über tracking Kapazitäten, wodurch ihre Position im Raum identifiziert werden kann. Der Nutzer kann mit den Controllern eine Reihe von Interaktionen ausführen. Die Interaktionen reichen von einfachen Aktionen wie Aufheben und Werfen von Objekten bis zu komplexen Aufgaben wie das Spannen und Abfeuern eines

Bogens oder das Zusammensetzen eines Puzzles. Verbraucher orientierte HMD Modelle in höheren Preisklassen bieten auch die Möglichkeit zur Erfassung der Augenbewegungen. Dazu sind innerhalb des HMD Kameras angebracht, die die Rotation der Augen erfassen. Spracherkennung ist ebenfalls ein gut erforschtes Thema und es gibt bereits eine Anzahl an Spielen und Anwendungen die auf Sprachsteuerung basieren. [LMP<sup>+</sup>17]

VR beschränkt sich nicht nur auf die Forschung und Unterhaltungsbranche, sondern wurde bereits erfolgreich in verschiedenen anderen Anwendungsgebieten eingesetzt. Vor allem Trainingsumgebungen im Militär oder in der Medizin profitieren von der Immersiven Umgebung und den vielseitigen Interaktionen von VR Systemen. Weitere Beispiele für VR Anwendungsgebiete sind Fahr- und flugsimulationen, welche den kompletten Fahrzeugraum simulieren können und so ein realistisches Trainingsumfeld ohne Risiken bieten. [RSKB10]

## 2.2 Immersion

Slater [Sla03] [Sla02] definiert Immersion objektiv als die Technologischen Kapazitäten eines Systems. Je mehr verschiedene Sinne ein System durch virtuelle Reize stimuliert und je genauer die Erfassung der Aktionen des Benutzers und deren Übertragung in die VU ist, desto immersiver ist das System. Dadurch kann laut Slater Immersion objektiv bewertet und theoretisch gemessen werden und hat nichts damit zu tun, wie verschiedene Menschen Immersion wahrnehmen. Trotzdem kann jeder dasselbe immersive System unterschiedlich Wahrnehmen und unterschiedliche Reaktionen darauf haben. Slater nennt diese menschliche Reaktion auf Immersion Presence (Präsenz, Anwesenheit) und betont in seinen Arbeiten die starke Abgrenzung von Immersion und Presence. Als Analogie verwendet er Farben. Immersion ist dabei analog zur Verteilung von Wellenlängen, die alle Farben abgeben, was objektiv gemessen und beschrieben werden kann. Jeder Mensch nimmt aber Farben unterschiedlich wahr und hat verschiedene emotionale Reaktionen auf jede Farbe als andere Menschen. Somit ist das Konzept der Präsenz analog zur Wahrnehmung von Farben. Presence beschreibt also die Beziehung zwischen einem selbst und der Umgebung. Bowman und McMahan [BM07] gehen bei der Definition von Slater einen Schritt weiter und fokussieren sich bei der Messung von Immersion am Grad der Visuellen Immersion, auch wenn sie nur ein Teil der gesamten Immersion eines Systems ist. Dabei hebt er die rendering Software sowie die

Bildschirmtechnologie vor. Seine wichtigsten Faktoren für Visuelle Immersion beinhalten beispielsweise die Auflösung und Größe eines Bildschirms, field of View sowie die Frame Rate. Ein potenzieller Vorteil eines höheren Grades an Immersion ist das räumliche Bewusstsein. In der realen sowie der virtuellen Welt nehmen wir dauerhaft eine dreidimensionale Umgebung wahr, obwohl unsere Augen nur zweidimensionale Bilder aufnehmen. Das liegt daran, dass unser Gehirn stark darauf Optimiert ist, eine dreidimensionale Umgebung mithilfe von Stereopsis, Bewegungsparallaxen, Perspektive und Okklusion zu rekonstruieren. Immersive VR liefert künstliche Stimuli für all diese Tricks, die unser Gehirn verwendet. Stereopsis, also Stereoskopisches Sehen wird durch die beiden Bildschirme in den HMDs und den beiden Kameras in der Anwendung ermöglicht. Bewegungsparallaxe können sowohl in 2D als auch in 3D Umgebungen z.B. durch Parallax-Scrolling simuliert werden. Dabei handelt es sich um den optischen Effekt, wenn verschiedene Objekte unterschiedlich weit voneinander entfernt sind, und der Beobachter sich horizontal dazu bewegt. In dreidimensionalen virtuellen Welten ist dieser Effekt bereits von Natur aus gegeben. Okklusion, also der Effekt, wenn näher gelegene Objekte weiter entfernte Objekte verdecken, sowie Perspektive sind in den meisten normalen 3D Anwendungen ebenfalls bereits gegeben und sind nicht VR spezifisch. Das durch die genannten Tricks verstärkte räumliche Bewusstsein, kann zu größerer Effektivität in Anwendungen wie Wissenschaftlicher Visualisierung, Design Reviews und Virtuellen Prototypen von 3D Objekten dienen.

## 2.3 Presence

Presence und embodiment werden verwechselt selbst der term embodiment ist nicht immer einheitlich aufgefasst [KGS12] Embodiment ist eher körperbezogen Sense of Embodiment<sup>1</sup> (SoE) will be used to refer to the ensemble of sensations that arise in conjunction with being inside, having, and controlling a body<sup>2</sup> especially in relation to virtual reality applications

Slater [Sla03] [Sla02] Abgrenzung von Immersion und Embodiment 3 Aspekte von presence The sense of 'being there' in the environment depicted by the VE. • The extent to which the VE becomes the dominant one - i.e., that participants will tend to respond to events in the VE rather than in the 'real world'. • The extent to which participants, after the VE experience, remember it as having visited a 'place' rather than just having seen images generated by a computer.

bei embodiment muss irgendwas wie ein körper vorhanden sein, presence kann man auch schon beim film schauen spüren

<https://ispr.info/about-presence-2/about-presence/>

## 2.4 Self Embodiment

abgrenzung zu presence Embodiment kann als Verkörperung übersetzt werden. Damit ist gemeint, dass dem Benutzer ein passendes Selbstbild bereitgestellt wird um ihn für sich selbst und, in kollaborativen Situationen, für andere zu repräsentieren. Die Relevanz des Embodiments in VUs ist analog zur Relevanz des eigenen Körpers in alltäglichen Situationen. Unsere Körper liefern unserer Umgebung umgehend Informationen, wie unsere Anwesenheit, Aktivitäten, Aufmerksamkeit, Verfügbarkeit, Stimmung, Standort, Fähigkeiten und viele andere Faktoren. Der Benutzer kann mit seinem Körper durch Gesten und Körpersprache indirekt oder durch Zeichensprache in bestimmten Fällen direkt kommunizieren. [BBF<sup>+</sup>10] Ein mögliches Konzept des Embodiments ist, dass das Bewusstsein, einen Körper zu besitzen, die Erfahrungen aller Menschen grundlegend beeinflusst, egal ob dieser Körper physisch vorhanden ist oder nicht. [TDG<sup>+</sup>18] Kilteni et al. [KGS12] geben in ihrer Arbeit an, dass das Nutzen von immersivem VR die Frage aufwirft, ob es möglich ist, dieselben Sinneseindrücke mit einem virtuellen Körper wie mit dem eigenen biologischen Körper zu fühlen und wenn ja, in welchem Ausmaß. Sie lassen sich dabei von Forschung inspirieren, die sich mit Embodiment von künstlichen Körperteilen und Prothesen auseinandersetzt, indem sie diese Konzepte zu kompletten künstlichen Körpern erweitern. Zusammenfassend besagt ihre Definition von Embodiment, dass ein Objekt Embodied ist, also verkörpert wird, wenn manche Eigenschaften des Objekts subjektiv wie die Eigenschaften des eigenen biologischen Körpers behandelt werden und so das Gefühl auslöst, einen Körper zu besitzen. Weiter definieren Kilteni et al., dass das Gefühl des Embodiments sich in drei Unterelemente aufteilen lässt. Erstens, das Gefühl, den eigenen Standort zu kennen(self-location). Dies grenzt sich von der Erfahrung von Presence davon ab, dass die self-location nicht die Position innerhalb eines Raums beschreibt, sondern in welchem Körper man sich befindet. Zweitens, das Gefühl der Entscheidungsfreiheit (Agency). Agency verweist auf das Gefühl, motorische Kontrolle über den eigenen Körper zu haben. Das Gefühl der Agency ist beispielsweise gegeben, wenn man seinen eigenen Arm jederzeit willentlich bewegen kann. Ein Gegenbeispiel, bei dem die Agency gestört wird,

ist das unbeabsichtigte Schütteln der Hände bei Parkinson Patienten. Das Dritte Unterelement ist Body Ownership, was das Gefühl beschreibt, einen eigenen Körper zu besitzen. Es hat einen besitzergreifenden Charakter und impliziert, dass der Körper die Quelle der gefühlten Empfindungen ist. Ein Beispiel dafür ist die Gummihand-Illusion. Dabei wird der echte Arm eines Menschen abgedeckt und an seiner Stelle ein Gummiarm platziert. Der reale Arm und der Gummiarm werden dann z. B. mit einem Pinsel gleichzeitig stimuliert. Testpersonen gaben nach dem Experiment an, nach einer Zeit der Stimulation nicht den versteckten Pinsel, sondern den Pinsel, den sie gesehen haben, spürten. [BC98] Slater et al. [SPMESV08] führten ein an die Gummihand-Illusion angelehntes Experiment in VR mit Erfolg durch.

## 2.5 Avatare

Avatare sind digitale Repräsentationen von uns selbst. Ihre Darstellung variiert stark abhängig vom Kontext in dem sie eingesetzt werden. Sie reichen von einfachen Zeichnungen oder Bildern, die den Benutzer darstellen, wie es manchmal in Social Media zur Kommunikation eingesetzt wird, bis zu detailreichen, komplett ausgearbeiteten 3D Modellen, welche perfekt auf die jeweilige Person zugeschnitten sind und z. B. in High-End Simulationen zu finden sind. Die äußere Erscheinung des Avatars hat großen Einfluss auf das Embodiment. Erscheinungsmerkmale wie Gestalt, Hautfarbe, Alter und Geschlecht als auch Art der Kleidung haben Einfluss auf die Stärke der Embodiment Illusion, schließt die Möglichkeit auf Embodiment aber nicht aus. Sobald die Illusion des Embodiments gegeben ist, kann die Art des Avatars großen Einfluss auf das Verhalten einer Person haben. Ein Beispiel dafür sind verminderte Hautfarben bezogene Vorurteile, wenn hellhäutige Teilnehmer einen dunkelhäutigen Avatar Verkörpert haben. Verkörperung von kleineren oder größeren Avataren hat Einfluss auf die Fähigkeit selbstbewusst zu verhandeln. Selbst die Kleidung des Avatars kann Auswirkungen haben. Kilteni et. al haben in [KBS13] den Teilnehmern entweder einen lässig gekleideten dunkelhäutigen oder einen formal gekleideten hellhäutigen Mann eine afrikanische Handtrommel spielen lassen. Ihre Ergebnisse zeigen, dass die Erscheinung des Avatars großen Einfluss das Verhalten des Teilnehmers hat. Eine weitere Erkenntnis war, dass trotz der Männlichen Avatare das Geschlecht der Teilnehmer keinen Einfluss auf das Embodiment hatte. Eine weitere wichtige Eigenschaft für Avatare neben der Darstellung ist die Kontrolle, die der Nutzer über den Avatar hat.

Die Kontrolle reicht wie die Darstellung von komplett passiv und uninteraktiv wie bei Bildern bis zu dynamischen und komplett kontrollierbaren Avataren wie es oft in Computerspielen zu sehen ist. Je höher die Kontrolle über den Avatar ist, desto höher ist die Immersion und somit auch das mögliche Embodiment, welches der Nutzer erleben kann. Vor allem die Kategorie der Agency von Embodiment ist davon betroffen, da eine Aktion des Nutzers bei hoher Kontrollierbarkeit durch direkte Verknüpfung mit dem Avatar eine Aktion des Avatars auslöst. [Bio14] Mohler et al. beschreiben in [MCRTB10] das Avatare nicht immer für Embodiment sorgen. In ihrem Experiment befindet sich der Avatar des Nutzers drei Meter entfernt, lässt sich aber komplett steuern. Sie schließen die Möglichkeit des Embodiments trotzdem nicht aus, da die Agency durch die Kontrolle gegeben ist. Obwohl die Forschung zeigt, dass Avatare signifikanten Einfluss auf das mögliche Embodiment hat, setzen vergleichsweise wenige HMD-basierte VR-Systeme Avatare ein, die den kompletten Körper repräsentieren [PS17].

## 2.6 Kinematik

Eine gängige Methode um Avatare zu animieren, damit der Nutzer einen hohen Grad an Kontrolle darüber hat, ist über inverse Kinematics. Kinematik ist ein Feld der Mechanik, wobei der Körper als Zusammensetzung von Verbindungen dargestellt wird. Dabei bleiben andere Attribute wie Kraft und Masse unberücksichtigt. In der Computeranimation werden dafür sogenannte Knochen eingesetzt, welche wiederum aus Gelenken bestehen. Jeder Knochen wirkt sich auf die umliegende Fläche unterschiedlich aus und lässt sich an dem Gelenk bewegen, wodurch der beeinflusste Teil des Körpers mitbewegt wird. Die Methodik der Kinematik beinhaltet die Vorwärtskinematik und die Inverse Kinematik. Wenn die Winkel aller Gelenke gegeben sind und die Position und Rotation der Segmente berechnet werden müssen, kommt die Vorwärtskinematik zum Einsatz. Wenn wiederum die Position und Rotation der Gelenke gegeben ist, und die Winkel ausgerechnet werden müssen, kommt die Inverse Kinematik zum Einsatz. Der Fall der Inversen Kinematik ist bei der Animation von Avataren in VR gegeben. Wenn z. B. die Position und Rotation der Controller bekannt ist, jedoch keine weiteren Informationen über den Arm des Benutzers vorliegen, muss berechnet werden, wie der Arm des Avatars angewinkelt ist und wo sich der Ellbogen befindet. [XW09] Um Avatare mit IK zu animieren, muss ein sogenanntes Rig, also ein Skelett, für den Avatar gegeben sein. Dabei

werden die einzelnen Teile eines Meshes(Polygonnetzes) an einzelne Knochen des Rigs gekoppelt. Werden die Knochen bewegt oder rotiert, bewegt sich der zugewiesene Teil des Rigs ebenfalls entsprechend.

## **2.7 Motion Tracking**

## **2.8 Stand der Wissenschaft**

## 3 Versuch

In dem Versuch soll getestet werden, ob der Nutzen von Trackern die Performanz und das Embodiment eines Nutzers gegenüber einer Inverse-Kinematik Lösung für selbst Avatare erhöht. Es wurden zwei Gruppen getestet, die miteinander verglichen werden. Eine Gruppe durchläuft das Experiment mit einem durch IK animierten Avatar. Der Avatar der anderen Gruppe wird mithilfe von sechs zusätzlichen Trackern durch die Bewegungen der Testperson animiert.

### 3.1 Konzeption

Alle Entscheidungen im Versuchsaufbau basieren darauf, den Fokus auf die Animation des Avatars zu legen. Alles andere, was zu unterschiedlichen Reaktionen hinsichtlich des Embodiments führen könnte, wurde weggelassen. So befindet man sich in einem abstrakten, größtenteils leeren Raum. Die einzige eingesetzte Textur ist die auf dem Boden, da so in den Tests die Entfernung zu den Objekten besser bestimmt werden konnte. Vor allem die bewusste Entscheidung, dem Avatar keine Kleidung zu geben und ihn als Holzpuppe darzustellen. Verschiedene Personen könnten sich mit der Kleidung mehr oder weniger identifizieren und so könnte der Fokus von den Animationen abgelenkt werden, vor allem da der Avatar eine Zentrale Rolle im Versuch spielt. Es wird kein Ton eingesetzt, da Ton ebenfalls den Fokus vom Visuellen ablenken könnte und somit die Ergebnisse verfälschen könnte. Sehr früh im Design des Versuchs kam die Idee eines Spiegels. Der Spiegel löst dabei zwei Probleme. Zum einen löst er das Problem der Wahrnehmung des Avatars. Um den Avatar und die Animationen sehen zu können, muss der Nutzer in der Regel nach unten schauen. Um einen Überblick über das Geschehen zu haben, muss man aber nach vorne schauen, vor allem bei der Idee des Ausweichspiels. Durch den Spiegel kann der Spieler durchgehend seinen Avatar sehen während er sich auf die Gegenstände und auf die Aufgabe konzentrieren kann. Zum anderen hilft der Spiegel bei der Einschätzung von Entfernungen der Objekte und ermöglicht das Sehen von Objekten die sich hinter anderen Objekten befinden.



## 3.2 Hypothese

Die Immersion des Systems mit den Trackern ist nach meiner Definition der Immersion messbar höher. Das liegt daran, dass die Tracker dem Benutzer mehr Kontrolle über den Avatar geben. Statt drei Kontrollierbaren Punkten im Aufbau ohne Tracker liefert der Aufbau mit Trackern neun Kontrollierbare Punkte und virtualisiert somit mehr Reize des Gehirns. Aufgrund der erhöhten Immersion mit Trackern vermute ich, dass das Embodiment durchschnittlich ebenfalls erhöht wird, da Embodiment eine Reaktion auf Immersion ist. Vor allem der Bereich Agency von Embodiment wird in dem Experiment angesprochen, daher wird vermutlich der größte Teil der Unterschiede zwischen den Gruppen durch den Unterschied in der Agency haben. Die Performanz sollte sich im Schnitt ebenfalls erhöhen, da die Tracker mehr Kontrolle der Beine erlauben und sich die meisten Objekte auf dem Boden befinden. Ein bekanntes Problem von VRIK mit drei Punkte tracing ist zusätzlich das verzögerte hinterher schweben des Körpers hinter dem Kopf, was Ausweichen schwieriger macht. Trotz der vermutlich unterschiedlichen Performanz wird die gefühlte erreichte Leistung der Probanden vermutlich in beiden Gruppen ähnlich sein, da die Gruppen nicht von der jeweils anderen Gruppe wissen.

## 3.3 Hardware

Bei dem Versuch kommt die HTC Vive als HMD zum Einsatz. Das Headset dient dem Avatar als Ankerpunkt für die Kamera in der Anwendung. Diese ist ein wenig unter den Augen des Avatars gelegen, da so die Animation durch IK besser funktionierte. Die Vive benötigt zwei höher gelegene Kameras, welche in dem Raum an einem Gerüst festgemacht sind. Mithilfe eines Tablets und der App *Osram Lightify* können die Kameras aus der Entfernung ein und ausgeschaltet werden. Die Kameras sind für das Tracking im Raum zuständig und decken in meinem Fall ungefähr drei Meter mal fünf Meter ab. Dieses Gebiet wird in SteamVR kalibriert und dient im Spiel als begehbare Gebiet für den Spieler. Dazu kommen zwei VIVE-Controller, deren Position ebenfalls von den Kameras erfasst werden. In jeder Hand wird ein Controller gehalten, daher steuert die Position der Controller die Position der Hände in der Anwendung. Der Aufbau beider Versuchsgruppen ist bis zu diesem Punkt genau gleich. Bei Versuchsgruppe zwei werden zusätzlich zu dem oben genannten sechs VIVE

Tracker verwendet. Die Konfiguration, wo die sechs Tracker angebracht werden können, variiert stark. Theoretisch gesehen können die Tracker an jeglichem Objekt oder überall am Körper festgemacht werden. Das verwendete Avatarrig von VRIK besteht aus [[ca. 30]] verschiedenen Knochen ausgenommen der Finger und Zehenknochen. Standardmäßig vorgesehene Targets für Tracker gibt es in VRIK 10. Da die HMD und die Controller bereits drei davon abdecken, konnten die möglichen Tracking Ziele auf sieben begrenzt werden. Da alle Konfigurationen, die einen Tracker an der Hüfte beinhalteten, Probleme verursachten, konnte die optimale Konfiguration für sechs Tracker festgelegt werden. Die durch Gruppe zwei getrackten Körperteile sind also der Kopf durch die HMD, die Hände durch die Controller sowie jeweils beide Ellbogen, Knie und Füße mithilfe der Tracker. Die Tracker werden mithilfe von 1/4 Zoll Kamerasastativschrauben an beidseitigen Klettbandern befestigt, welche leicht am Körper angebracht werden können. Da neben der Position auch die Rotation der Tracker relevant ist, wurden die Tracker in den Versuchen immer mit der Seite des Lichtpunkts nach unten gedreht. Trotz der Tracker kommt bei Gruppe zwei IK zum Einsatz, da Knochen des Rigs wie die Hüfte, die Wirbelsäule oder die Schultern nicht getrackt werden und sich so natürlicher bewegt.

### 3.4 Versuchsaufbau

Der Proband befindet sich in einem quadratischen Raum ohne Decke. Die komplette Wand vor dem Spieler besteht aus einem virtuellen Spiegel. Die Fläche des Raumes ist ungefähr doppelt so groß als das begehbbare Gebiet des Spielers. SteamVR zeigt automatisch ein rotes Netz dort an, wo das begehbbare Gebiet aufhört, damit der Spieler nicht gegen Sachen außerhalb seiner freien Fläche stößt. Zusätzlich erstellte ich zusätzlich gelbe Indikatoren für das Gebiet auf dem Boden, da das Netz von SteamVR nicht in dem Spiegel angezeigt wird. Auf dem Spiegel befindet sich eine Punkteanzeige. Wenn die Anwendung gestartet wird, befinden sich vor dem Spieler ein Tutorial und eine Fläche zum Starten des Spiels. Das Tutorial zeigt einen roten Quader, welcher die Objekte zum Ausweichen darstellt, in Nachfolgendem *Hazards* genannt. Darauf ist eine -1, da dem Spieler für das Berühren eines roten Quaders ein Punkt abgezogen wird. Daneben befindet sich eine grüne Kugel mit der Aufschrift +2, die die Objekte darstellt, die der Spieler einsammeln soll, um pro Stück zwei Punkte zu bekommen. Die grünen Kugeln werden im Nachfolgenden *Collectibles* genannt. Das Startfeld muss berührt werden damit der Durchlauf des

Spiele beginnt. Die komplette Anwendung verzichtet auf Tasteneingaben des Benutzers, alle benötigten Eingaben passieren durch Berührung des Avatars mit den Objekten. Sobald das Spiel gestartet wurde, bewegen sich von vorne aus dem Spiegel die Hazards und Collectibles in einem bestimmten Intervall und bewegen sich durch das begehbare Gebiet bis sie wieder aus der Rückwand verschwinden. Die Position der einzelnen Objekte wird vor dem Spiel zufällig innerhalb einem bestimmten Gebiet festgelegt. Zusätzlich können alle Objekte mit einer Wahrscheinlichkeit von 20 Prozent in der Luft schwebend statt auf dem Boden erscheinen. Dies soll den Spieler anregen, sich in gewissen Situationen zu ducken, um einem Hazard auszuweichen oder seine Hände zu bewegen um ein Collectible, welche über einem Hazard schwebt, einzusammeln. Während der gesamten Zeit wird dem Spieler seine Punktzahl angezeigt. Nachdem 40 Hazards und 20 Collectibles erschienen sind, ist das Spiel vorbei. Somit ist die höchste zu erreichende Punktzahl 40 und die niedrigste zu erreichende Punktzahl -40. Neben der gesamten Punktzahl werden bei Spielende die jeweils getroffenen Hazards und Collectibles angezeigt. Sobald das Spiel beginnt, wird der Avatar ausgehend von der Position der HMD in alle Richtungen skaliert. Das wirkt der unterschiedlichen Körpergröße bei verschiedenen Personen entgegen, da der Avatar bei kleineren Personen gebeugt steht oder bei größeren Personen den Boden nicht berührt. mehr zum durchlauf

## 3.5 Engine

Die Anwendung wurde mithilfe der Unity Engine 2018.3.11f umgesetzt. Unity bietet über den *Assetstore* die Möglichkeit, Programme von Drittanbietern leicht in die eigene Anwendung zu integrieren. Die wichtigsten eingesetzten Assets für die Anwendung waren *FinalIK* von rootmotion [roo19] sowie SteamVR von Valve. FinalIK bietet vorgefertigte IK-Lösungen für eine Reihe an Anwendungsarten. Das im Experiment benutzte IK-Rig stammt von dem FinalIK Anwendungsbeispiel VRIK. Abbildung X zeigt die Standardkonfiguration der Knochen von VRIK. SteamVR bietet Grundfunktionalitäten für die HTC Vive wie das Kamerarig und die Position der Controller. Die Textur für den Boden stammt ebenfalls aus SteamVR.

## 3.6 Probleme

Die größte Herausforderung während des Entwickeln als auch während des Versuchs war die große Anzahl an eingesetzter Hardware. Oft wurden scheinbar ohne Grund entweder die Tracker oder die Controller nicht erkannt oder konnten sich nicht mit SteamVR verbinden. Dies führte beim Versuch bei wenigen Testpersonen zu verminderter Immersion, da sie z.B. trotz Tracker ihren Ellbogen nicht bewegen konnten. Eine weitere Herausforderung war die Zuweisung der Tracker in Unity. Die SteamVR Anwendung besitzt kein benutzbares System, wie die Tracker konsistent dem gleichen Körperteil zugewiesen werden können. Letztendlich konnte ich im Code selbst die Zuweisung mithilfe der Herstellungsnummer der Tracker lösen. Das Festmachen der Tracker am Körper bereitete ebenfalls viele Sorgen. Die Vive Tracker werden standardmäßig ohne Bänder zum Befestigen geliefert. Desweiteren gibt es keine offiziellen Bänder von Vive selbst. Meine Lösung beinhaltete beidseitiges Klettband mit Löchern für die von den Trackern benötigten Schrauben. Diese sind aber schwierig am Körper zu befestigen, wenn sie nicht rutschen sollen und sind anfällig dafür, dass die Tracker während der Anwendung rotieren.

# 4 Evaluation

## 4.1 Fragebögen

Die Versuchspersonen wurden jeweils vor und nach dem Experiment gebeten, einen Fragebogen auszufüllen. Der erste Fragebogen vor dem Experiment beinhaltet Fragen zur Person selbst, der zweite Fragebogen nach dem Experiment beinhaltet Fragen zu den Eindrücken der Person während des Experiments. Beide Fragebögen sind ausschließlich auf Deutsch. Die Fragen des zweiten Fragebogens wurden zur Hilfe der Verständlichkeit aus dem Englischen ins Deutsche übersetzt. Die Fragebögen lagen ausschließlich in Digitaler Form vor. Zur Erstellung der Fragebögen wurde das Online Tool Google Forms verwendet. Die Fragen der Fragebögen befinden sich im Anhang. Der erste Fragebogen enthielt zu Beginn eine schriftliche Beschreibung des Versuchs, was die Person erwartet und wie lange der Versuch ungefähr dauern wird sowie ein Bild, welches die Sicht des Benutzers in der Anwendung zeigt. Nachdem die Benutzer zur Teilnahme am Versuch zugestimmt hat, musste die vor der Teilnahme zugewiesene Teilnehmer ID eingetragen werden. Die ID sollte dabei helfen, die Antworten der beiden Fragebögen einander zuzuordnen. Zunächst wurden die Personen nach Geschlecht und Alter gefragt. Die nächste Frage beschäftigt sich damit, ob die Testpersonen eine Sehhilfe benötigen oder eine Farbsehstörung aufweisen. Die letzte Frage des ersten Fragebogens bezieht sich auf die Vorkenntnisse der Person im Bezug auf Virtuelle Realität (VR). Im zweiten Fragebogen, der nach dem Experiment vorgelegt wurde, sollte als erstes die erreichte Punktzahl sowie die einzelnen Plus- und Minuspunkte während des Versuchs eingetragen werden. Als nächstes wurde gefragt, ob die Person Übelkeit während des Experiments verspürt hatte. Im Anschluss wurden die Fragen eines Fragebogens für Avatar Embodiment in VR (VR-AEB) von Gonzalez-Franco und Peck [GFP18] gestellt. Bei dem Fragebogen handelt es sich um einen Vorschlag für einen Standard Fragebogen für Embodiment, da noch kein solcher standardisierter Fragebogen um Embodiment für Avatare zu messen, existiert. Gonzalez-Franco und Peck analysierten dabei über 30 Experimente, die im Zeitraum von 1998 bis 2018 stattfanden und sich mit Embodiment auseinandersetzten. Die in diesen Experimenten gestellten Fragen wurden klassifiziert, wobei sechs Kategorien an Fragen entstanden. Die Reihenfolge der gestellten Fragen wurde, wie in Gonzalez-Francos und Pecks Paper vorgeschlagen, Randomisiert. Jede der Fragen konnte von -3 (Ich stimme überhaupt nicht zu) bis zu +3 (Ich stimme voll und ganz zu) beantwortet werden. Von den 25 Fragen

des Fragebogens wurden 16 gefragt, da einige Fragen nicht auf das Experiment zutreffend waren. Fragen, die sich mit Berührung auseinandersetzen sowie die komplette Kategorie *Reaktion auf externe Stimuli* wurden daher nicht gefragt. Nach dem Fragebogen zu Embodiment, wurde die Person Fragen aus dem NASA Task Load Index [HS88] gefragt. Dabei soll die wahrgenommene Belastung im Hinblick auf die Aufgabe gemessen werden. Zuletzt wurde der Testperson die Möglichkeit gegeben, in einem freien Kommentarfeld zusätzliche Eindrücke und Kommentare zu dem Experiment zu geben.

Zusätzlich zu den Fragebögen wurde eine Liste geführt, welche Teilnehmer ID die zusätzlichen Tracker verwendet hat und welche nicht. Dazu wurden zusätzliche Kommentare der Teilnehmer erfasst, die sie während des Experiments von sich gaben und auch spezielle Beobachtungen während des Experiments.

#### 4.1.1 Embodiment Fragebogen

Der Fragebogen zu VR-Avatar Embodiment (VR-AEB) besteht aus 25 Fragen, die in folgende Kategorien unterteilt sind: 1. Body Ownership Zugehörigkeit des Sichtbaren, virtuellen Körpers, unabhängig von dem Standort des Körpers. Diese Kategorie an Fragen wurde in 96 Prozent der Fragebögen verwendet. Die Fragen aus dieser Kategorie sind die Fragen, die sich damit beschäftigen, ob man sich generell mit dem virtuellen Körper identifizieren kann, unabhängig des Kontexts.

2. Agency and Motor Control Misst den Grad an Kontrolle des Benutzers über den virtuellen Körper und dessen Gliedmaßen. Wichtig bei body tracking 3. Tactile sensations Misst, ob und wie stark sich haptische stimulation auf das Embodiment auswirkt. 4. Location of the body relevant, da der körper sich ein bisschen von allein bewegt 5. Appearance Äußere Erscheinung 6. Response to external stimuli am wenigsten benutzt, vorallem wenn der Körper in gefahr ist

This questionnaire is meant to be administered at the end of every study that involves an avatar to represent participants. It is important to emphasize how radically different the effects of the experience can be depending on the degrees of embodiment that participants experience. Aspects such as participant's behavior or their physiology are heavily influenced by the embodiment score (González-Franco et al., 2014; Padrao et al., 2016; Slater and Sanchez-Vives,

2016). The embodiment itself can be modulated by the type, race and look of the avatar participants embody (Hershfield et al., 2011; Kilteni et al., 2013; Peck et al., 2013). Therefore, potentially any manipulation to the participants' avatar might have strong changes on their performance during and after their VR experience.

reinbringen

### **4.1.2 TLX**

## **4.2 Auswertung**

Die statistische Auswertung der Daten wurde in IBM SPSS Statistics ausgeführt. Statistische Signifikanz p wert unter 5 Alles wurde auf Normalverteilung geprüft, nur drei davon sind normalverteilt -> notwendig für T test t test ist für zwei gruppen mit den selben fragen

p wert ist der, der unter 0,05 sein sollte p wert ist die signifikanz

SE standard error

mann whitney für die die nicht normalverteilt waren

keines der dinger war statistisch signifikant

## **4.3 Embodiment Ergebnisse**

Keine aufschlussreichen ergebnisse obwohl in literatur agency als wichtig angesehen wird unterschiede sind zu erkennen, jedoch nicht sehr signifikant

generell embodiment war recht hoch

### **4.3.1 Diskussion - Embodiiment Bogen**

## **4.4 TLX**

## **4.5 Performanz der Benutzer**

## **4.6 Kommentare**

# **5 Diskussion und Ausblick**

## **5.1 Fazit**

## **5.2 Zukunftsaussichten**



# Literatur

- [BBF<sup>+</sup>10] BENFORD, Steve ; BOWERS, John ; FAHLÉN, Lennart E. ; GREENHALGH, Chris ; SNOWDON, Dave: User embodiment in collaborative virtual environments. (2010), S. 242–249. <http://dx.doi.org/10.1145/223904.223935>. – DOI 10.1145/223904.223935
- [BC98] BOTVINICK, Matthew ; COHEN, Jonathan: Rubber hand feels touch that eyes see. In: *Nature* 391 (1998), Nr. February, S. 756. <http://dx.doi.org/10.1038/35784>. – DOI 10.1038/35784. – ISBN doi:10.1038/35784
- [Bio14] BIOCCA, Frank: Connected to My Avatar: Effects of avatar embodiments on user cognitions, behaviors, and self construal. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* 8531 LNCS (2014), S. 421–429. – ISBN 9783319076317
- [BM07] BOWMAN, Doug A. ; MCMAHAN, Ryan P.: Virtual reality: How much immersion is enough? In: *Computer* 40 (2007), Nr. 7, S. 36–43. <http://dx.doi.org/10.1109/MC.2007.257>. – DOI 10.1109/MC.2007.257. – ISSN 00189162
- [Boa12] BOAS, Yuri Antonio Gonçalves Vilas: Overview of Virtual Reality Technologies. (2012)
- [GFP18] GONZALEZ-FRANCO, Mar ; PECK, Tabitha C.: Avatar Embodiment. Towards a Standardized Questionnaire. In: *Frontiers in Robotics and AI* 5 (2018), Nr. June, S. 1–9. <http://dx.doi.org/10.3389/frobt.2018.00074>. – DOI 10.3389/frobt.2018.00074
- [HL95] HOLLOWAY, Richard ; LASTRA, A.: Virtual environments: A survey of the technology. In: *SIGGRAPH'95 Course 8* (1995), Nr. September, 1–40. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.91.7388{&}rep=rep1{&}type=pdf>

- [HS88] HART, Sandra G. ; STAVELAND, Lowell E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. Version: 1988. [http://dx.doi.org/https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](http://dx.doi.org/https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9). In: HANCOCK, Peter A. (Hrsg.) ; MESHKATI, Najmedin (Hrsg.): *Human Mental Workload* Bd. 52. North-Holland, 1988. – DOI [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9). – ISSN 0166-4115, 139 - 183
- [KBS13] KILTENI, Konstantina ; BERGSTROM, Ilias ; SLATER, Mel: Drumming in immersive virtual reality: The body shapes the way we play. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 19 (2013), Nr. 4, S. 597–605. <http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2013.29>. – DOI 10.1109/TVCG.2013.29. – ISSN 10772626
- [KGS12] KILTENI, Konstantina ; GROTEN, Raphaela ; SLATER, Mel: The Sense Of Embodiment in VR. In: *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 21 (2012), Nr. 4, 373–387. <http://dx.doi.org/10.1162/PRES>. – DOI 10.1162/PRES. – ISBN 9780199644469
- [LMP<sup>+</sup>17] LAMBERTI, Fabrizio ; MANURI, Federico ; PARAVATI, Gianluca ; PIUMATTI, Giovanni ; SANNA, Andrea: Using Semantics to Automatically Generate Speech Interfaces for Wearable Virtual and Augmented Reality Applications. In: *IEEE Transactions on Human-Machine Systems* 47 (2017), Nr. 1, S. 152–164. <http://dx.doi.org/10.1109/THMS.2016.2573830>. – DOI 10.1109/THMS.2016.2573830. – ISSN 21682291
- [MCRTB10] MOHLER, B J. ; CREEM-REGEHR, S H. ; THOMPSON, W B. ; BÜLTHOFF, H H.: The Effect of Viewing a Self-Avatar on Distance Judgments in an HMD-Based Virtual Environment. In: *Presence* 19 (2010), jun, Nr. 3, S. 230–242. <http://dx.doi.org/10.1162/pres.19.3.230>. – DOI 10.1162/pres.19.3.230. – ISSN 1054-7460
- [PP18] PERRET, Jerome ; POORTEN, Emmanuel V.: Review Paper : Commercial Haptic Gloves. In: *EuroVR* (2018)

- [PS17] PAN, Ye ; STEED, Anthony: The impact of self-avatars on trust and collaboration in shared virtual environments. In: *PLOS ONE* 12 (2017), Nr. 12, 1–20. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0189078>. – DOI 10.1371/journal.pone.0189078
- [roo19] ROOTMOTION: *ROOTMOTION - VRIK*. <http://root-motion.com/>. Version: 2019. – [Online; accessed 5-May-2019]
- [RSKB10] RAGAN, Eric D. ; SOWN DARARAJAN, Ajith ; KOPPER, Regis ; BOWMAN, Douga: The effects of higher levels of immersion on procedure memorization performance and implications for educational virtual environments. In: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 19 (2010), Nr. 6, S. 527–543. – ISSN 10547460
- [Sla02] SLATER, Mel: Measuring Presence: A Response to the Witmer and Singer Presence Questionnaire. In: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 8 (2002), Nr. 5, S. 560–565. <http://dx.doi.org/10.1162/105474699566477>. – DOI 10.1162/105474699566477. – ISSN 1054–7460
- [Sla03] SLATER, Mel: A note on presence. In: *Presence Connect* 3 (2003), Nr. January, S. 1–5
- [SPMESV08] SLATER, Mel ; PEREZ-MARCOS, Daniel ; EHRSSON, H. H. ; SANCHEZ-VIVES, Maria V.: Towards a digital body: The virtual arm illusion. In: *Frontiers in Human Neuroscience* 2 (2008), Nr. August, S. 1–8. <http://dx.doi.org/10.3389/neuro.09.006.2008>. – DOI 10.3389/neuro.09.006.2008
- [TDG<sup>+</sup>18] THAM, Jason ; DUIN, Ann H. ; GEE, Laura ; ERNST, Nathan ; ABDELQADER, Bilal ; MCGRATH, Megan: Understanding Virtual Reality: Presence, Embodiment, and Professional Practice. In: *IEEE Transactions on Professional Communication* 61 (2018), Nr. 2, S. 178–195. <http://dx.doi.org/10.1109/TPC.2018.2804238>. – DOI 10.1109/TPC.2018.2804238. – ISSN 03611434
- [XW09] XIA, ShiHong ; WANG, ZhaoQi: Recent advances on virtual human synthesis. In: *Science in China Series F: Information Sciences* 52 (2009), may, Nr. 5, 741–757. <http://dx.doi.org/10.1007/s11432-009-0088-7>. – DOI 10.1007/s11432-009-0088-7. – ISSN 1862–2836

# Abbildungsverzeichnis

# Anhang

## A Fragebögen

## B Diagramme

## Erklärung zur Abgabe einer Prüfungsleistung

Ich versichere, dass ich

- den „Leitfaden für gute wissenschaftliche Praxis im Studiengang MKI“<sup>1</sup> kenne und achte,
- die von mir eingereichten Dokumente und Artefakte selbständig ohne Hilfe Dritter verfasst habe,
- alle benutzten Quellen und Hilfsmittel - dazu zählen auch sinngemäß übernommene Inhalte, leicht veränderte Inhalte sowie übersetzte Inhalte - in Quellenverzeichnissen, Fußnoten oder direkt bei Zitaten angegeben habe,
- alle wörtlichen und sinngemäßen Zitate von Textstücken, Tabellen, Grafiken, Fotos, Quellcode usw. aus fremden Quellen als solche gekennzeichnet und mit seitengenaue Quellenverweisen versehen habe,
- die von mir eingereichten Dokumente und Artefakte noch nicht in dieser oder ähnlicher Form in einem anderen Kurs vorgelegt worden sind und ich
- alle nicht als Zitat gekennzeichneten Inhalte selbst erstellt habe.

Mir ist bekannt, dass unmarkierte und unbelegte Zitate und Paraphrasen Plagiate sind und nicht als handwerkliche Fehler, sondern als eine Form vorsätzlicher Täuschung der Prüfer gelten, da fremde Gedanken als eigene Gedanken vorgetäuscht werden mit dem Ziel der Erschleichung einer besseren Leistungsbewertung.

Mir ist bekannt, dass Plagiarismus

- die Standards guter wissenschaftlicher Praxis,
- den Leitfaden für gute wissenschaftliche Praxis im Studiengang MKI,
- die Studien- und Prüfungsordnung der Hochschule Reutlingen (§10 Täuschung und Ordnungsverstoß) sowie
- das Landeshochschulgesetz von Baden-Württemberg (§3 Wissenschaftliche Redlichkeit Abs. 5, §62 Exmatrikulation Abs. 3)

missachtet und seine

studienrechtlichen Folgen vom Nichtbestehen bis zur Exmatrikulation

reichen.

Nachname: \_\_\_\_\_

Vorname: \_\_\_\_\_

Matrikelnummer: \_\_\_\_\_

abgegeben zur Lehrveranstaltung: \_\_\_\_\_

für das Semester: \_\_\_\_\_

Datum, Ort: \_\_\_\_\_

Unterschrift: \_\_\_\_\_

---

<sup>1</sup> <https://bscwserv.reutlingen-university.de/bscw/bscw.cgi/d2871027/GWP.pdf>