

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

Abstract English

This bachelorthesis aims to answer the question, how much the agency and motor control over a self avatar in virtual reality (VR) influences the sense of embodiment over this specific avatar. An experiment was conducted where participants completed a dodging-game, which was controlled with the own Body. The Avatars of both groups were animated with inverse kinematics. One of the groups had more control over the avatar with the aid of additional trackers on each limb. Data was collected in regards to embodiment, workload and points. Results show that higher control over an self avatar has less of an impact on embodiment than it is presumed.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Ziele	2
1.3	Vorgehensweise	2
2	Stand der Forschung	4
2.1	Virtuelle Realität	4
2.2	Immersion	6
2.3	Presence	7
2.4	Embodiment	8
2.5	Avatare	9
2.6	Kinematik	10
2.7	Ähnliche Arbeiten	12
3	Versuch	13
3.1	Konzeption	14
3.2	Hypothese	15
3.3	Hardware	16
3.4	Versuchsaufbau	17
3.5	Engine	19
3.6	Probleme	19
3.7	Versuchsdurchführung	19
4	Evaluation	21
4.1	Fragebögen	21
4.2	Auswertung	22
4.3	Avatar Embodiment Questionnaire	23
4.3.1	Avatar Embodiment Questionnaire Ergebnisse	25
4.4	NASA TLX	29
4.5	Performanz der Benutzer	30
5	Diskussion und Ausblick	31
5.1	Zukunftsaussichten	32
Literatur		
Abbildungsverzeichnis		
Anhang		I
A	Fragebögen	I

B	Statistische Auswertung	XI
---	-----------------------------------	----

1 Einleitung

Jeder Mensch besitzt einen Körper und ohne dass es bemerkt wird, macht jeder Mensch diesen Körper zu seinem eigenen. Durch Technologien wie virtuelle Realität (VR) sind Menschen nicht mehr nur auf den eigenen Körper beschränkt. Es ist möglich geworden, in virtuelle Welten einzutauchen und dort einen vollkommen anderen, virtuellen Körper anzunehmen. Durch das verkörpern eines Avatars kann jeder sein was er will. Verschiedene Technologien wie Motion Tracking und inverse Kinematik (IK) erlauben es, einen Avatar mit den körpereigenen Bewegungen zu steuern. Durch den rasanten technologischen Fortschritt erscheinen virtuelle Welten immer realistischer, obwohl die Möglichkeiten darin unendlich sind. Zusätzlich werden VR Systeme durch bessere Hardware immer immersiver und bieten die Möglichkeiten für eine immer stärkere Illusion, in einem anderen Körper in einer anderen Welt zu sein. Diese Phänomene, Embodiment und Presence, werden unter anderem durch die genannten Faktoren wie die technologische Kapazität der VR Systeme und das Vorhandensein eines Avatars beeinflusst. Es ist aber nicht geklärt, wie groß der Einfluss des Grads an Kontrolle über den Avatar über die Illusionen des Embodiments und der Presence sind. Zum einen könnte die noch eingeschränkte aber vielversprechende programmatische Lösung über IK zur Animation von Avataren ausreichen. Zum anderen sind Tracking Systeme teuer und brauchen viel Platz, liefern aber sehr gute Ergebnisse und werden immer bezahlbarer und kleiner. Daraus erschließt sich die interessante Frage, ob der Einsatz von Motion Capture dem Einsatz von IK hinsichtlich dem Gefühl des Embodiments vorzuziehen ist.

1.1 Motivation

Die Idee für diese Arbeit stammt von einem Projekt des 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, die für den Einsatz von Avataren sprechen sind verbesserte Immersion, potenziell erhöhtes Embodiment, gesteigerte Kommunikation und leichteres Erkennen des Standortes der anderen Nutzer. Vor allem in kollaborativen Umgebungen 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 der Kommunikationsaspekt des potentiell verbesserten Embodiments

ebenfalls relevant. Die Animation der Avatare funktioniert aktuell über IK, wobei die Position der Controller an den Händen als auch die Position des Head Mounted Displays (HMDs) mit Kameras erfasst werden und als Referenz für den Rest des Modells dienen. Diese Konfiguration an Hardware ist mit wenig Aufwand für den Nutzer des Systems verbunden, da eine HMD und zwei Controller heutzutage dem Standard bei Verbraucher orientierten VR komplett Systemen entspricht und dabei nur ein Gerät, das HMD, am Körper befestigt werden muss. Jedoch sind die aus IK mit nur drei Referenzpunkten entstehenden Animationen noch ungenau und oft verzögert. Da sich die von den Kameras erfassten Objekte alle in der Region oberhalb der Hüfte befinden, müssen ein Teil der Wirbelsäule, die Hüfte sowie die Beine komplett anhand der drei Punkte oberhalb der Hüfte animiert werden. Diese Ungleichheit der Verteilung führt oft dazu, dass der virtuelle Körper bei Bewegungen verzögert hinter dem Kopf schwebt. Eine Alternative wäre der Einsatz von mehreren zusätzlichen Trackern an den Beinen und am Körper, womit die Genauigkeit der Animationen verbessert werden kann. Der Einsatz von Trackern führt jedoch zu höherem Entwicklungsaufwand, da sie zusätzlich zu IK eingesetzt werden und nicht völlig eigenständig eingesetzt werden können. Zusätzlich verursachen die Tracker je nach Anzahl einen höheren Aufwand beim Nutzer, da durch sie mehr Hardware anfällt die gekauft, gelagert, aufgeladen und zur Benutzung am Körper befestigt werden muss.

1.2 Ziele

In dieser Arbeit soll untersucht werden, wie stark sich der Grad an Kontrolle über einen Avatar und die somit verbesserten Animationen des Avatars auf das Gefühl des Embodiments des Benutzers, sowie den Grad an Erfolg in Bewegungsorientierten Aufgaben, auswirkt. Dazu soll ein Versuch erstellt werden, der die Möglichkeiten von IK und Motion-Tracking der Avataranimation hinsichtlich des Embodiments und der Performanz des Nutzers gegenüberstellt.

1.3 Vorgehensweise

Zuerst soll ein Überblick über den Stand der Forschung gegeben werden, in dem die Begriffe VR, Immersion, Embodiment, Presence, IK und Avatar definiert und in den Kontext der Arbeit eingeordnet werden. Im darauf folgenden

Kapitel wird der im Zuge dieser Arbeit durchgeführte Versuch beschrieben. Es wird erklärt welche Entscheidungen getroffen wurden und wie der Versuch technisch umgesetzt und durchgeführt wurde. Zum Schluss werden die eingesetzten Fragebögen und deren Auswertung sowie die Diskussion der Ergebnisse beleuchtet.

2 Stand der Forschung

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 zu 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 mehreren unserer Sinne ein alternativer Stimulus präsentiert werden. Zusätzlich müssen die 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 Kategorien an Anforderungen an das System hinsichtlich der Benutzerinteraktionen. Der Mensch besitzt im übertragenen Sinn wie ein Computer Schnittstellen zur Ein- und Ausgabe, die jeweils als Anforderungskategorien fungieren. 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 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 Seh- und Hörsinn, da es sich herausgestellt hat, dass diese Sinne am einfachsten

permanent virtualisiert werden können. Das zeigt sich auch an Heimcomputern und Laptops, die in der Regel über Bildschirme und Lautsprecher verfügen. [HL95]

Aus den genannten Gründen ist der Klassische und am meisten verwendete Weg VR zu erleben ein Head-Mounted Display (HMD), ein Gerät, das 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 dabei jeweils genau vor einem Auge, wodurch die künstliche Stimulation der visuellen Wahrnehmung ermöglicht wird. Viele HMDs haben die Möglichkeit, die Distanz zwischen den beiden Bildschirmen individuell an die Distanz zwischen den Augen verschiedener Benutzer anzupassen. Für eine realistische 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 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 auch die Verwendung von Kopfhörern möglich, da diese im Gegensatz zu Lautsprechern nur die Geräusche der VU zulassen und alle realen Geräusche unterdrücken und somit 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 nach dem heutigen technischen Stand möglich, alle zu erfassen. Durch Gyroskope und Beschleunigungssensoren erkennt das Headset die Ausrichtung des Kopfes und rotiert entsprechend die Kameras in der Anwendung. Bei manchen Ausführungen wird auch die Position des Headsets und anderen Trackern durch Kameras erfasst. Durch Bewegungen im echten Raum kann sich der Benutzer somit 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 hin zu komplexen Aufgaben wie das Spannen und Abfeuern eines Bogens oder das Zusammensetzen eines Puzzles. Verbraucherorientierte HMD Modelle in höheren Preisklassen bieten zusätzlich 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⁺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. Trotzdem kann jeder dasselbe immersive System unterschiedlich Wahrnehmen und unterschiedlich darauf reagieren. 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 heben sie die rendering Software sowie die Bildschirmstechnologie vor. Ihre wichtigsten Faktoren für Visuelle Immersion beinhalten beispielsweise die Auflösung und Größe eines Bildschirms sowie das Blickfeld und die Frame Rate innerhalb der Anwendung. 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 können. 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. Bei Bewegungsparallaxen handelt es sich um den optischen Effekt, wenn Objekte unterschiedlich weit voneinander entfernt sind, und der Beobachter sich horizontal dazu bewegt. In dreidimensionalen virtuellen Welten ist dieser Effekt bereits von Grund 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. Durch das durch die genannten Effekte verstärkte räumliche Bewusstsein können Anwendungen wie Wissenschaftlicher Visualisierung, Design Reviews und Virtuellen Prototypen von 3D Objekten mit höherer Effektivität verwendet werden.

2.3 Presence

Presence (Präsenz) beschreibt das Gefühl, sich in einer bestimmten Umgebung zu befinden. Dieses Gefühl kann bereits beim schauen eines Films auftreten und wird in diesem bestimmten Fall Telepresence genannt. Slater bestimmt in seinen Arbeiten [Sla03] [Sla02] drei Aspekte für das Gefühl der Presence:

- *"Das Gefühl des 'da seins' in der VU"*

- *"Das Ausmaß, mit dem die VU die dominante Umgebung wird, wodurch die Teilnehmer eher auf das Geschehen innerhalb der VU reagieren statt auf die 'reale Welt'."*
- *"Das Ausmaß, in dem die Teilnehmer die VU im Nachhinein als besuchten Ort anstatt als computergenerierte Bilder erinnern."*

Übersetzt nach [Sla02], S. 2

Das Gefühl von Presence wird stark von der Anwesenheit eines Avatars und dessen Interaktion mit der Umgebung beeinflusst, beschreibt aber nicht das Gefühl der Zugehörigkeit zu einem Avatarkörper. Dieses Phänomen bezüglich des Körpers wird in der Literatur immer öfter von dem Gefühl der Presence abgegrenzt und wird als Embodiment bezeichnet.

2.4 Embodiment

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 virtuellen Umgebungen ist analog zur Relevanz des eigenen Körpers in alltäglichen Situationen. Unsere Körper liefern der 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 in bestimmten Fällen durch Zeichensprache direkt kommunizieren [BBF⁺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⁺18] Kiltner et al. [KGS12] geben in ihrer Arbeit an, dass das Nutzen von immersiver VR die Frage aufwirft, ob es möglich ist, die selben 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 ausgelöst wird, 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 dadurch 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), das auf darauf verweist, 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 einiger Zeit der Stimulation nicht den versteckten Pinsel, sondern den Pinsel, den sie gesehen haben, zu spüren. [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 die 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. Kiltani 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. So haben die Teilnehmer mit dem dunkelhäutigen Avatar ein höheres Rhythmusgefühl verspürt und die Trommel mit einer höheren Taktfrequenz gespielt. 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 so wie die Darstellung von komplett passiv und nicht interaktiv wie bei Bildern, bis zu dynamischen und komplett kontrollierbaren Avataren wie es oft in Computerspielen der Fall 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 Kinematik (IK). Die Kinematik ist ein Feld der Mechanik, bei der 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 mit bewegt 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 IK zum Einsatz. Der Fall der IK 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. Abbildung 1 zeigt einen Anwendungsfall von IK an-

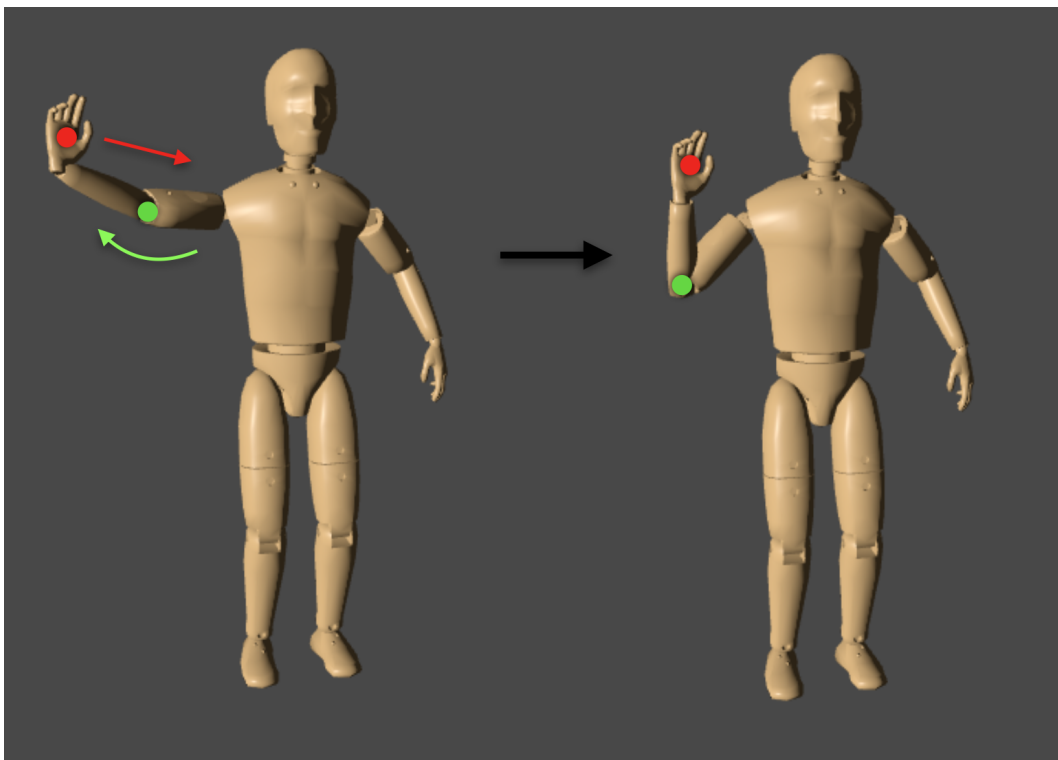


Abb. 1: Inverse Kinematik am Beispiel Dummy.

hand des Dummies, der in dem Versuch eingesetzt wird. Der Dummy stammt aus dem Demobeispiel VRIK aus der IK-Bibliothek FinalIK. Das Beispiel zeigt eine einfache Bewegung einer erhobenen Hand, im Bild durch den roten Pfeil dargestellt. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Position der Hand, die im Bild durch die roten Punkte dargestellt wird, dem System bekannt ist. Die im Bild grünen Punkte zeigen das sogenannte *Bend Goal*. Ein Bend Goal ist ein

Gelenk, welches durch Einflüsse eines Endpunktes bewegt wird. Die Position des Bend Goals ist dem System nicht bekannt, die Aufgabe der IK ist es, die Position und den Winkel des Bend Goals auszurechnen. Das Problem dabei ist, dass es immer mehrere mögliche Lösungen gibt, von denen diejenige ausgesucht werden muss, die am realistischsten wirkt.

2.7 Ähnliche Arbeiten

In seiner Arbeit untersuchte Koillias [KMA19] die Auswirkungen von Störartefakten auf den Bereich der Agency von Embodiment in einer VR Umgebung mit Motion Tracking. Vier Arten der Störung der Agency noise (Rauschen), latency (Verzögerung), motion jump (Bewegungsspünge) und offset rotation of joints (versetzte Rotation der Gelenke) wurden in drei Versuchsbedingungen getestet. Die Versuchsbedingungen waren Selbstbeobachtung, Selbstbeobachtung unter Einsatz eines Spiegels sowie die Beobachtung während der Fortbewegung. Dabei wurde herausgefunden, dass während der expliziten Beobachtung der Bewegungen des Avatars die Kontrolle über den Avatar messbaren Einfluss auf das Gefühl des Embodiments hatte. Sobald jedoch eine weitere Aufgabe wie einfache Fortbewegung durch laufen mit einbezogen wird, ist die Auswirkung der veränderten Kontrolle über den Avatar auf das Embodiment minimal.

3 Versuch

In dem Versuch soll getestet werden, ob der Nutzen von Trackern die Performanz und das Embodiment eines Nutzers gegenüber einer inverse Kinematik (IK) Lösung für Avatare erhöht. Es wurden zwei Gruppen getestet und miteinander verglichen. Eine Gruppe durchläuft das Experiment mit einem durch IK animierten Avatar. Die Positionen des Head mounted Display (HMD) und der beiden Controller der HTC VIVE dienen dabei als Anhaltspunkte für das IK System. Diese Gruppe wird im folgenden als Gruppe A bezeichnet. Der Avatar der anderen Gruppe, im folgenden Gruppe B genannt, wird mithilfe von sechs zusätzlichen Trackern durch die Bewegungen der Testperson animiert. Der Versuchsaufbau in Form eines Ausweichspiels ist für beide Gruppen identisch. Alle Probanden müssen roten Objekten ausweichen während sie grüne Objekte berühren sollen. In dem virtuellen Raum befindet sich in Blickrichtung ein großer Spiegel, um den Fokus auf den Avatar zu lenken. Jedem Teilnehmer wird der gleiche Avatar in Form einer Holzpuppe zur Verfügung gestellt.

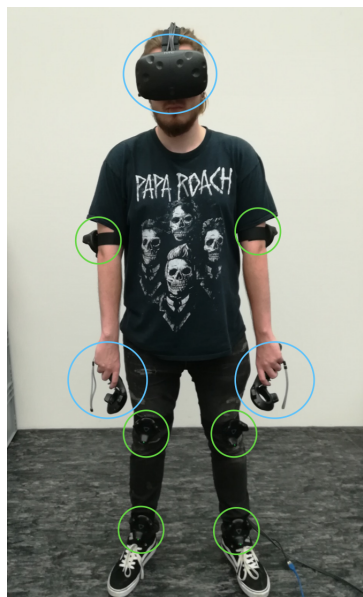


Abb. 2: Konfiguration der Tracker am Körper

In Abbildung 2 ist zu sehen, wie die Tracker und die HTC VIVE am Körper getragen werden. Die Blauen Kreise heben das VIVE HMD und deren Controller hervor, wie sie in Gruppe A eingesetzt werden. In den grünen Kreisen sind die bei Gruppe B zusätzlich eingesetzten Tracker zu sehen.

3.1 Konzeption

Die Entscheidungen im Versuchsaufbau basieren darauf, den Fokus auf die Animation des Avatars zu legen. Um das zu erreichen werden die Aspekte des Embodiments neben der Agency so gering wie möglich gehalten. Vor allem der Aspekt des Body Ownerships wird vernachlässigt, indem der bereitgestellte Avatar mehr einer Holzpuppe als einem echten Menschen ähnelt. Somit spielen auch unterschiedliche Geschlechter und Hautfarben der Probanden eine kleinere Rolle, da sich niemand perfekt mit dem Avatar identifizieren können sollte. Die Umgebung ist ebenfalls so gestaltet, dass sie möglichst wenig Presence auslöst. So befindet der Teilnehmer sich in einem abstrakten, größtenteils leeren Raum. Der Boden ist mit einer kachelartigen Textur ausgestattet, die bei der Einschätzung von Distanzen helfen soll. Es werden keinerlei Geräusche eingesetzt, da Ton Einfluss auf das Embodiment haben kann und somit die Ergebnisse verfälschen könnte. Ein weiteres Element, das den Fokus des Versuchs auf den Avatar und dessen Bewegungen lenkt ist der Spiegel im Raum, der eine Komplette Wand einnimmt. Der Spiegel soll zum einen Helfen, den Fokus auf den Avatar zu lenken. Da dem Teilnehmer keine Zeit während des Spiels gegeben wird, um den Avatar in Ruhe zu untersuchen, bietet der Spiegel die Möglichkeit, während der Konzentration auf die sich bewegenden Objekte, den Avatar zu sehen und wahrzunehmen. Zum anderen soll der Spiegel bei der Einschätzung der Entfernung der Objekte helfen.

In Abbildung 3 ist ein früher Prototyp der Anwendung dargestellt. Erst später in der Entwicklungsphase wurde die rote Farbe des Avatars in ein hellbraun umgeändert, da die Farbe zu sehr den Hindernissen glich. Auffällig sind auch die dunkleren Farben und die Größe des Raums, die zu einengend wirkten und in späteren Versionen geändert wurden.

Der Versuch wurde nach einem Inter-Subjekt Design durchgeführt. Bei Inter-Subjekt Designs wird von jedem Probanden jeweils nur eine der Versuchsbedingungen durchgeführt. Dadurch wird vermieden, dass sich die Versuchspersonen zu stark auf den Unterschied zwischen den Versuchsbedingungen konzentrieren und somit die Antworten verfälscht werden könnten. Außerdem könnte bei einem Intra-Subjekt Design, bei dem jeder Proband alle Bedingungen durchläuft, die als zweites durchgeführte Versuchsbedingung fälschlicherweise höhere Embodiment Werte aufweisen, da sich das Gefühl von Embodiment erst nach einer gewissen Zeit in der Virtuellen Umgebung entwickelt.

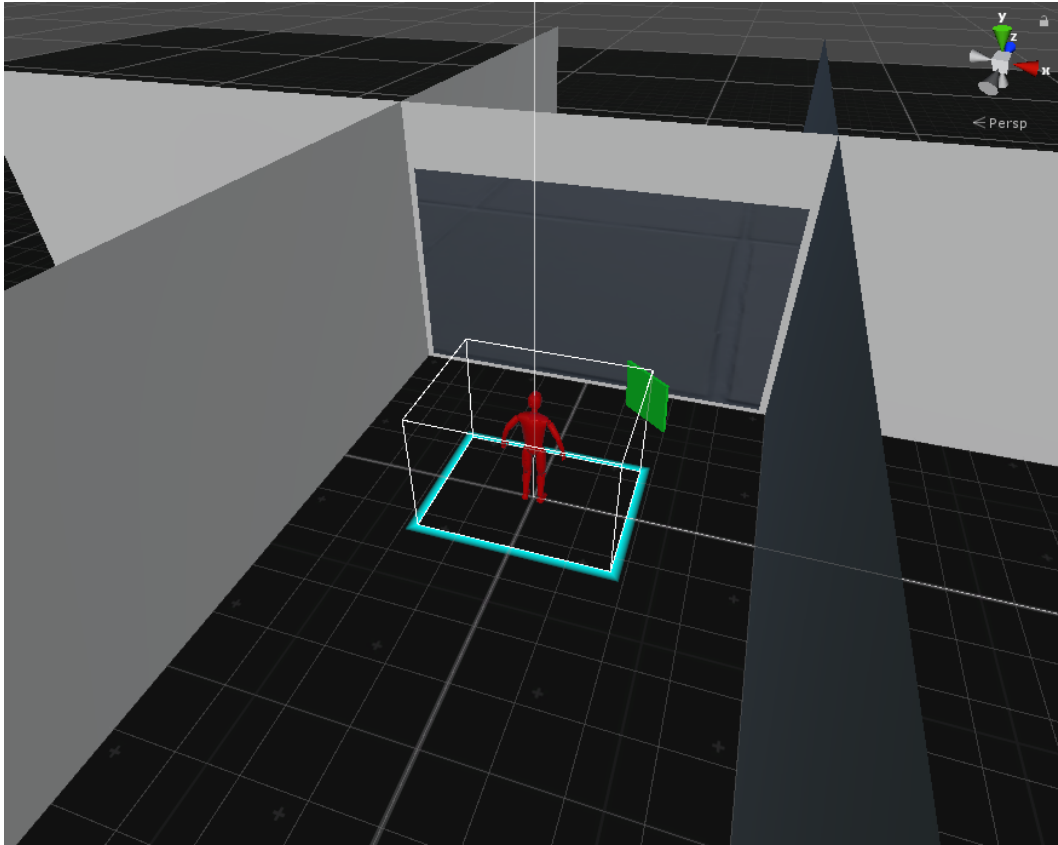


Abb. 3: Ein früher Prototyp der Anwendung in Unity

3.2 Hypothese

Die Immersion des Systems bei der Versuchsbedingung mit den Trackern ist nach Slaters Definition von Immersion [Sla03] [Sla02] höher. Das liegt daran, dass die Tracker dem Benutzer mehr Kontrolle über den Avatar geben und somit mehr Reize stimulieren. 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 wird vermutet, 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 sollte der größte messbare Unterschied zwischen den Gruppen in der Kategorie Agency sein. 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 des eingesetzten IK-Systems FinalIK mit drei erfassten Punkten, ist das verzögerte 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. Aus den genannten Annahmen ergeben sich folgende drei Hypothesen, welche untersucht werden sollen:

- **H1 Embodiment:** Der Grad an Kontrolle über einen Avatar hat Auswirkungen auf das Embodiment.
- **H1 Workload:** Der Grad an Kontrolle über einen Avatar hat Auswirkungen auf den gefühlten Grad an Belastung hinsichtlich der Aufgabe.
- **H1 Punktzahl:** Der Grad an Kontrolle über einen Avatar hat Auswirkungen auf den Erfolg in einer Bewegungsorientierten Aufgabe.

3.3 Hardware

Bei dem Versuch kommt die HTC Vive als HMD zum Einsatz. Das HMD dient dem Avatar als Ankerpunkt für die Kamera in der Anwendung. Diese liegt ein wenig unter den Augen des Avatars, 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 Avatar-rig von VRIK besteht aus ungefähr 30 verschiedenen Knochen ausgenommen der Finger und Zehenknochen. Standardmäßig vorgesehene Targets für Tracker gibt es in VRIK zehn. 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

verursachen, 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 Kamerastativschrauben 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 so natürlicher bewegt werden können.

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 Gegenstände außerhalb seiner freien Fläche stößt. Zusätzlich erstellte ich 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. Abbildung 4 zeigt die Sicht des Probanden zum Zeitpunkt des Starts der Anwendung. Unmittelbar vor dem Spieler befinden sich die beiden wichtigen Spielelemente und dienen als minimalistisches Tutorial. Rechts von dem Spieler befindet sich wenige Schritte entfernt eine grüne Fläche mit der Aufschrift *Start*. Das Tutorial zeigt einen roten Quader, welcher die Objekte zum Ausweichen darstellt, in Nachfolgendem *Hazards* genannt. Darauf ist eine *-1* abgebildet, 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 während des Spiels berühren soll, um pro Stück zwei Punkte zu bekommen. Die grünen Kugeln werden im Nachfolgenden *Collectibles* genannt. Das Ziel des Spiels sowie die einzelnen Elemente, die wichtig für den Spielablauf sind, werden dem Spieler bereits vor dem Aufsetzen des Head Mounted Displays (HMDs) erklärt und dienen hier nur zur zusätzlichen Verdeutlichung der Spielelemente. Das Startfeld muss berührt werden, damit der Durchlauf des Spiels beginnt. Das Startfeld befindet sich zwei Schritte entfernt von der

Startposition des Spielers in der Mitte des begehbaren Raums, damit das Spiel nicht unwillentlich durch eine falsche Geste gestartet werden kann. Zusätzlich soll die Entfernung des Startfelds dem Spieler ein erstes Gefühl für die Distanzen in der virtuellen Umgebung geben.

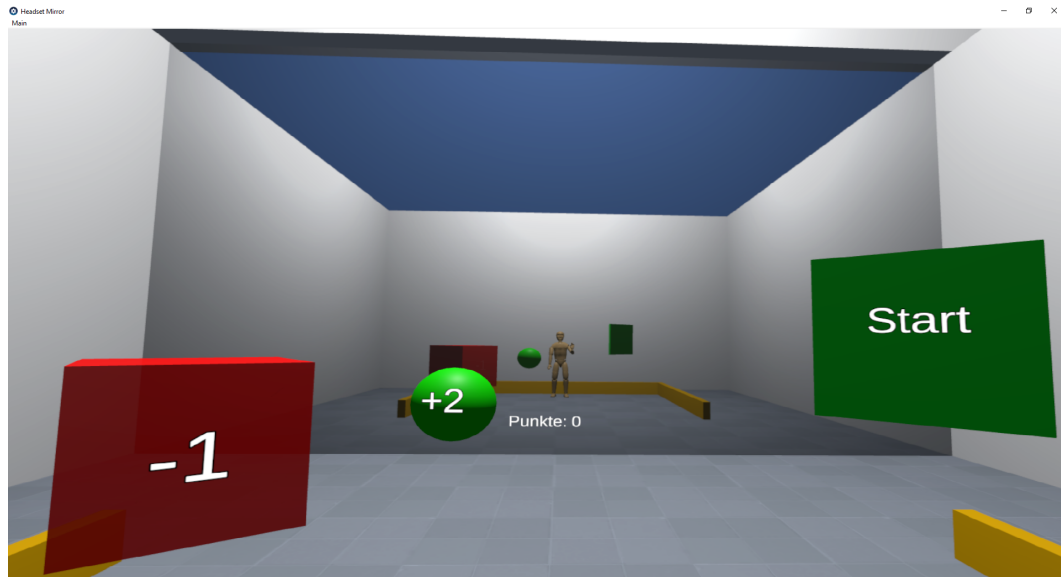


Abb. 4: Sichtweise des Probanden wenn das Spiel gestartet wird.

Die komplette Anwendung verzichtet auf Tasteneingaben des Benutzers, alle benötigten Eingaben passieren allein durch Berührung des Avatars mit den Objekten. Sobald das Spiel gestartet wurde, bewegen sich von vorne aus dem Spiegel die Hazards in einem Intervall von zwei Sekunden und die Collectibles in einem Intervall von vier Sekunden 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 beim 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, da aufgrund unterschiedlichen Körpergrößen bei verschiedenen Personen der Avatar bei kleineren Personen gebeugt steht oder bei größeren Personen den Boden nicht berührt.

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, bei dem 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, da sie nicht rutschen sollten und anfällig für die Rotation der Tracker während der Durchführung sind.

3.7 Versuchsdurchführung

Der Versuch wurde im VR-Lab der Informatikfakultät der Hochschule Reutlingen durchgeführt. Der Raum bietet eine ca. drei mal sechs Meter große freie

Fläche, die von zwei Vive tracking Kameras von einem Gerüst aus abgedeckt ist. Das Kabel des HTC VIVE HMDs ist lang genug, damit die ganze Fläche genutzt werden kann. Während des Versuchs wurde das Kabel von einer weiteren Person gehalten, damit während des Versuchs keine Stolpergefahr besteht.

Von den 21 Probanden waren 14 männlich und 7 weiblich. Über 80 Prozent der Probanden hatten angegeben, dass bis zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung sehr wenig bis gar keine Erfahrung mit VR hatten. Bei den Probanden handelte es sich um eine Mischung aus Studenten der Fakultät Informatik sowie weiteren Personen, die nicht mit der Hochschule Reutlingen assoziiert sind. Eine Person gab an, leichte Übelkeit wären des Versuchs verspürt zu haben, brach den Versuch aber nicht ab. Jeder Teilnehmer hat den Versuch komplett beendet und alle Fragen beantwortet.

Bei einem Durchlauf in der Versuchsbedingung mit Trackern fiel einer der Controller aus, womit sich eine Hand des Avatars nicht mehr bewegen lies. Der Durchlauf wurde nicht abgebrochen und die Antworten mit einem Kommentar in die Auswertung mit aufgenommen.

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 lagen ausschließlich auf Deutsch und in digitaler Form vor. Die Fragen des zweiten Fragebogens wurden zur Hilfe der Verständlichkeit aus dem Englischen ins Deutsche übersetzt. Zur Erstellung der Fragebögen wurde das Online Tool Google Forms verwendet, welches die gewünschte Funktion einer Likert-Skala sowie das Exportieren der Daten als Microsoft Excel Datei unterstützt. Die kompletten Fragebögen befinden sich im Anhang. Der erste Fragebogen mit dem Namen *Demographische Fragen* enthielt zu beginn eine schriftliche Beschreibung des Versuchs, was die Person erwartet und wie lange der Versuchs ungefähr dauern wird sowie ein Bild, welches die Sicht des Benutzers in der Anwendung zeigt. Nachdem der Proband 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 (AEQ) 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 auf einer sieben Punkte Likert-Skala von -3 (Ich stimme überhaupt nicht zu) über 0 (Neutral), bis zu +3 (Ich stimme voll und ganz zu) beantwortet werden. Von den 25 Fragen des AEQ wurden 16 in den Finalen Fragebogen aufgenommen, da einige der 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 abzugeben.

Zusätzlich zu den Fragebögen wurde eine Liste geführt, welche Teilnehmer ID die zusätzlichen Tracker verwendet hat und welche nicht. Innerhalb dieser Liste wurden zusätzliche Kommentare der Teilnehmer erfasst, die sie während des Experiments gesagt haben.

4.2 Auswertung

Die statistische Auswertung der Daten wurde in IBM SPSS Statistics ausgeführt. Da die Richtigkeit der Hypothesen nicht mathematisch bewiesen werden kann, wird zu jeder Hypothese eine Nullhypothese formuliert, die das Gegenteil aussagt. Es kann die Wahrscheinlichkeit errechnet werden, mit der die Nullhypothese abgelehnt wird, wodurch sich Schlüsse auf die Richtigkeit der Hypothese ziehen lassen. Die jeweils zu untersuchende Hypothese H1 wird Alternativhypothese genannt. Im folgenden werden alle drei aufgestellten Alternativhypothesen mit ihrer jeweiligen Nullhypothese gelistet.

- **H1 Embodiment:** Der Grad an Kontrolle über einen Avatar hat Auswirkungen auf das Embodiment.
- **H0 Embodiment:** Der Grad an Kontrolle über einen Avatar hat keine Auswirkungen auf das Embodiment.
- **H1 Workload:** Der Grad an Kontrolle über einen Avatar hat Auswirkungen auf den gefühlten Grad an Belastung hinsichtlich der Aufgabe.
- **H0 Workload:** Der Grad an Kontrolle über einen Avatar hat keine Auswirkungen auf den gefühlten Grad an Belastung hinsichtlich der Aufgabe.

- **H1 Punktzahl:** Der Grad an Kontrolle über einen Avatar hat Auswirkungen auf den Erfolg in einer Bewegungsorientierten Aufgabe.
- **H0 Punktzahl:** Der Grad an Kontrolle über einen Avatar hat keine Auswirkungen auf den Erfolg in einer Bewegungsorientierten Aufgabe.

Der p-Wert, der die Wahrscheinlichkeit angibt, mit der die Nullhypothese fälschlicherweise verworfen wird, ist als 0,05 festgelegt. Liegt die errechnete Wahrscheinlichkeit unter dem p-Wert von 0,05 kann angenommen werden, dass das Ergebnis nicht zufällig entstanden ist. Liegt die errechnete Wahrscheinlichkeit unter einem p-Wert von 0,10 kann zumindest ein Trend angenommen werden. Die Wahrscheinlichkeit wird berechnet, indem angenommen wird, dass die Nullhypothese H0 wahr ist. Wenn sich herausstellt, dass die Nullhypothese trotz der unterschiedlicher Versuchsbedingungen wahr ist, kann angenommen werden dass die Versuchsbedingungen keinen Einfluss auf die zu untersuchenden Effekte hat. Das Ziel ist es somit, die Nullhypothese zu widerlegen. Die Berechnung der Nullhypothese erfolgt individuell für jede der Fragen in den Fragebögen.

Damit die Statistische Auswertung über einen zweiseitigen t-Test möglich ist, müssen die Ergebnisse der Experiments auf die Normalverteilung überprüft werden. Nur wenn die Ergebnisse normalverteilt sind, kann der t-Test durchgeführt werden. Der zweiseitige t-Test wird für Experimente verwendet, die zwei Gruppen mit den selben Fragen aufweisen und rechnet mit Mittelwerten. Für die Ergebnisse, die nicht normalverteilt sind, wird der Mann-Whitney U-Test durchgeführt. Der Mann-Whitney U-Test ist eine Version des t-Tests, der auf nicht normalverteilte Daten angewendet werden kann. Die Daten müssen dafür jedoch in Ränge eingestuft sein. Die Auswertungen des t-Tests und des Mann-Whitney U Tests befinden sich in Anhang B.

4.3 Avatar Embodiment Questionnaire

Der im Experiment verwendete Vorschlag für einen standardisierten Avatar Embodiment Fragebogen von Gonzalez-Franco und Peck im Jahr 2018 [GFP18] mit dem Namen Avatar Embodiment Questionnaire (AEQ) besteht aus 25 Fragen, die in folgende Kategorien unterteilt sind:

1. Body Ownership (Körper Zugehörigkeit)

Beschreibt die Zugehörigkeit der Person zu dem sichtbaren, virtuellen Körpers unabhängig von dem Standort des virtuellen Körpers. Diese Kategorie an Fragen wurde in 96 Prozent der von Gonzalez-Franco und Peck analysierten Fragebögen verwendet. [GFP18]. Fragen aus der Kategorie Body Ownership beschäftigen sich damit, ob sich eine Person unabhängig des Kontexts mit einem virtuellen Körper identifizieren kann.

2. Agency and Motor Control (Entscheidungsfreiheit, Motorische Kontrolle über den Körper)

Misst den Grad an Kontrolle des Benutzers über den virtuellen Körper und dessen Gliedmaßen. Die Fragen aus dieser Kategorie sind besonders Interessant für dieses Experiment, da der einzige Unterschied zwischen den beiden Bedingungen der Grad an Bewegungsmöglichkeiten ist. Die Fragen beschäftigen sich damit, ob der Körper sich so bewegt wie der Benutzer sich in Wirklichkeit bewegt.

3. Tactile sensations (Haptische Stimulation)

Misst, ob Berührungen oder Kollisionen des Avatars mit der Umgebung sich auf die Person auswirken. Aus dieser Kategorie wurden zwei von vier Fragen verwendet, da sich zwei der Fragen zu stark mit expliziten Berührungen auseinandersetzen, die nicht im Versuchsaufbau vorkommen.

4. Location of the body (Standort des Körpers)

Zwei der drei Fragen über den Standort des Körpers wurden gefragt. Die beiden Fragen handeln von dem Bezug des Standorts des realen Körpers zum Standort des virtuellen Körpers. Die dritte Frage wird in Gonzalez-Francos und Pecks Paper explizit als optional markiert und soll nur gefragt werden, wenn sich der virtuelle Körper nicht dort befinden soll, wo sich der reale Körper befindet.

5. Appearance (Äußere Erscheinung)

Über die Äußere Erscheinung wurden die Probanden drei der vier vorgeschlagenen Fragen gefragt. In diesen Fragen wird behandelt, wie sich die Person äußerlich mit dem Avatar identifizieren kann. Frage 20 wurde nicht in den Fragebogen aufgenommen, da darin die Kleidung des Avatars eine Rolle spielt, der Avatar in der Anwendung jedoch als Holzpuppe ohne Kleidung dargestellt wird.

6. Response to external stimuli (Reaktion auf externe Stimulation)

Diese Kategorie wurde nicht in den Fragebogen aufgenommen, da sich die Fragen darin mit einer expliziten Angst oder Gefahr, in der sich der virtuelle Körper befindet, beschäftigt und dies nicht in dem Versuch vorkommt.

Durch Addition der angegebenen Werte der Fragen innerhalb der Kategorien kann ein Wert für jede Kategorie pro Person bestimmt werden. Dabei erhalten Fragen, die nach dem Stand der Forschung ein Indikator für Embodiment sind, ein positives Vorzeichen. Ist eine Frage des Fragebogens ein Indikator gegen Embodiment, erhält die Frage in der Rechnung ein Negatives Vorzeichen. Manche Fragen bilden innerhalb der Kategorien Paare, wobei die Fragen das Gegenteil zueinander bilden.

Die Kategorien können wiederum zu einem gesamten Embodiment Wert zusammengefasst werden. Die Werte der Kategorien werden aufsummiert, jede Kategorie wird zusätzlich mit einem Multiplikator versehen, der die Wichtigkeit der Kategorien im Hinblick auf Embodiment zueinander repräsentiert. Im folgenden die verwendete Formel ohne die Kategorie *Response*:

Total Embodiment = ((Ownership/5) * 2 + (Agency/4) * 2 + Tactile Sensation/4 + (Location/3) * 2 + Appearance/4) / 9

4.3.1 Avatar Embodiment Questionnaire Ergebnisse

Die Daten aus dem VR-Avatar Embodiment Fragebogen liefern keine statistisch signifikanten Ergebnisse. Keiner der Werte liegt innerhalb der festgelegten Signifikanz 0,10 ($p < 0,10$) um überhaupt einen Trend anzuzeigen. Dennoch weisen manche Fragen eine Gemeinsamkeit der Antworten zwischen den beiden Gruppen vor und wenige der Fragen liegen nur knapp über einem p-Wert von 0,10. Alle Beobachtungen müssen dennoch unter der Annahme betrachtet werden, dass die Ergebnisse nur zufällig aufgrund der geringen Gruppengröße von 21 Teilnehmern entstanden sind.

Der Vergleich, wie die beiden Gruppen jeweils die Fragen der einzelnen Kategorien des Embodiment Fragebogens beantworteten, ist in Abbildung 5 dargestellt. Dabei repräsentieren die blauen Balken Gruppe A (ohne Tracker)

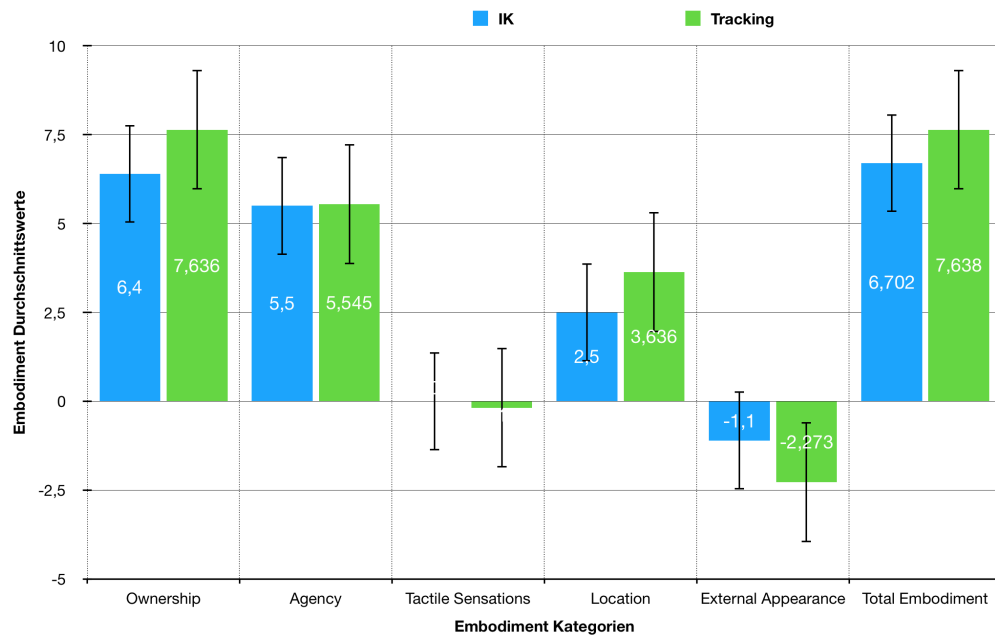


Abb. 5: Vergleich der Gruppen pro Kategorie des Avatar Embodiment Fragebogens

dar, die grünen Balken Gruppe B (zusätzliche Tracker). Die ersten fünf Balkenpaare bilden jeweils eine der fünf Kategorien aus denen die Fragen stammen. Das letzte Balkenpaar zeigt den gesamten mittleren Embodiment Wert pro Gruppe dar. Die Fehlerbalken beschreiben einen Standardfehler. Zwar ist der Wert des gesamten Embodiments von Gruppe A höher als der Wert von Gruppe B, da die Ergebnisse jedoch nicht statistisch signifikant sind und die Standardfehler größer sind, als der Unterschied zwischen den beiden Gruppen, können daraus keine Schlüsse gezogen werden. Auffällig ist, dass die Kategorie Agency mit Werten von 5,5 für Gruppe A und 5,545 für Gruppe B fast keinen Unterschied der Gruppen aufweist, obwohl der Versuch so konzipiert ist, dass die Agency den einzigen Unterschied zwischen den beiden Versuchsbedingungen darstellen sollte. Auch hieraus lassen aufgrund der niedrigen statistischen Signifikanz sich keine Schlüsse ziehen, ebenso in allen anderen Kategorien.

Abbildung 6 zeigt die Durchschnittlichen Werte der Antworten für jede Frage der Kategorie 1.: Ownership. Die Formel für das Gesamtergebnis der Kategorie Ownership lautet: $\text{Ownership} = (Q1 - Q2) - Q3 + (Q4 - Q5)$. Dabei bilden jeweils die Fragen Q1 und Q2 sowie Q3 und Q4 ein Paar, bei dem jeweils die erste Frage das Gegenteil der zweiten Frage bildet. Die Fragen mit positiven Vorzeichen Q1 und Q4 sind Indikatoren für Body Ownership. Die Probanden beider Versuchsbedingungen konnten sich bedingt mit dem Avatar identifizieren, was man an den neutralen Werten der Fragen Q1 und Q4 zwischen null und eins erkennen kann. Der Grund dafür liegt vermutlich in der Abstrakten

Form des eingesetzten Avatars, der zwar Menschliche Proportionen besitzt, jedoch keine Details wie Kleidung, Haare oder ein Gesicht. Die jeweilige andere Frage der Paare Q2 und Q5 sowie die alleinstehende Frage Q3, die alle negative Vorzeichen aufweisen, also Indikatoren gegen Ownership und Embodiment sind, befinden sich dafür alle im Negativen Bereich zwischen -1 und -3. Diese drei Fragen beschäftigen sich damit, ob der Avatar einen zusätzlichen Körper oder den Körper einer anderen Person darstellt. Damit fühlten sich die Probanden zwar nicht mit dem Avatar-Körper verbunden, schließen jedoch nicht aus, dass der Körper ihre virtuelle Repräsentation darstellt. Die beiden Versuchsbedingungen weisen bei keiner der fünf Ownership-Fragen signifikante Unterschiede bei den Antworten auf, womit vermutet werden kann, dass die Bedingungen keinen Einfluss auf Body-Ownership haben. Diese Beobachtung stimmt mit früheren veröffentlichten Untersuchungen überein, bei denen unter anderem der Zusammenhang zwischen Agency und Ownership untersucht wurde [KMA19] [KEP⁺12].

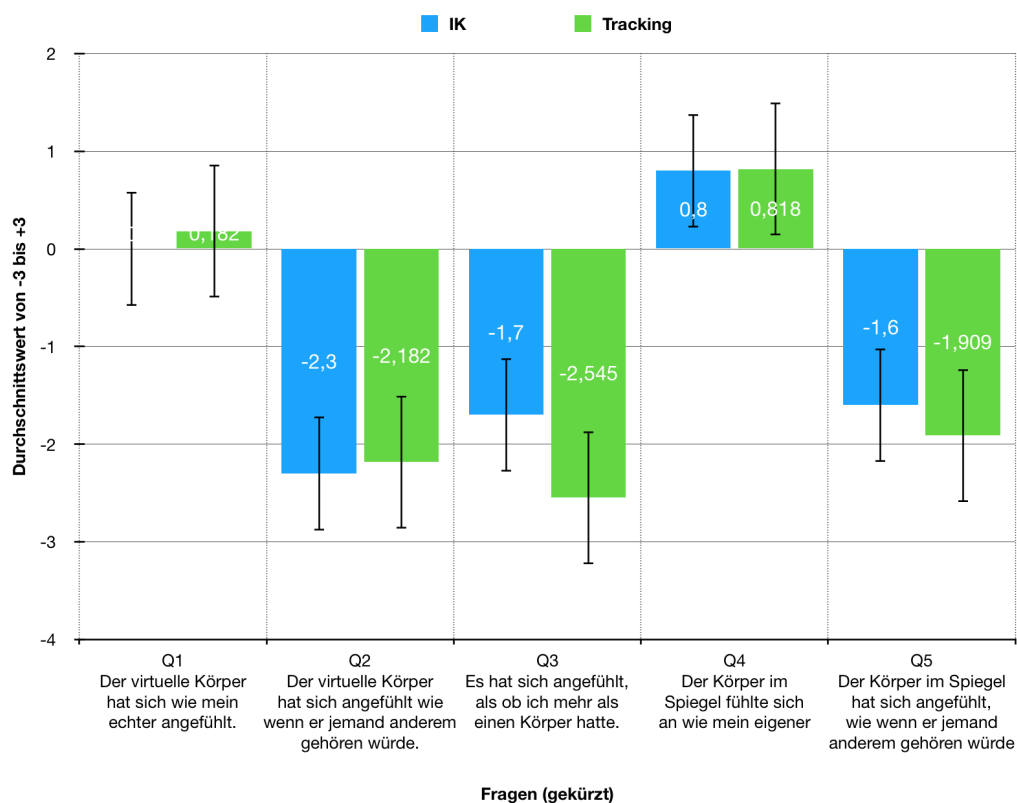


Abb. 6: Durchschnittlicher Wert der Antworten in der Kategorie Ownership

In Abbildung 7 sind die Antworten der Probanden der Kategorie Agency zu sehen. Der p-Wert von Frage Q7 beträgt 0,115 und ist somit nicht statistisch signifikant, liegt jedoch nur knapp über dem festgelegten Wert von $p = 0,10$ um einen Trend anzuzeigen. Die Restlichen Fragen in der Kategorie Agency

liegen weit über dem p-Wert von 0,10, wodurch sich keine Aussagen über sie treffen lässt.

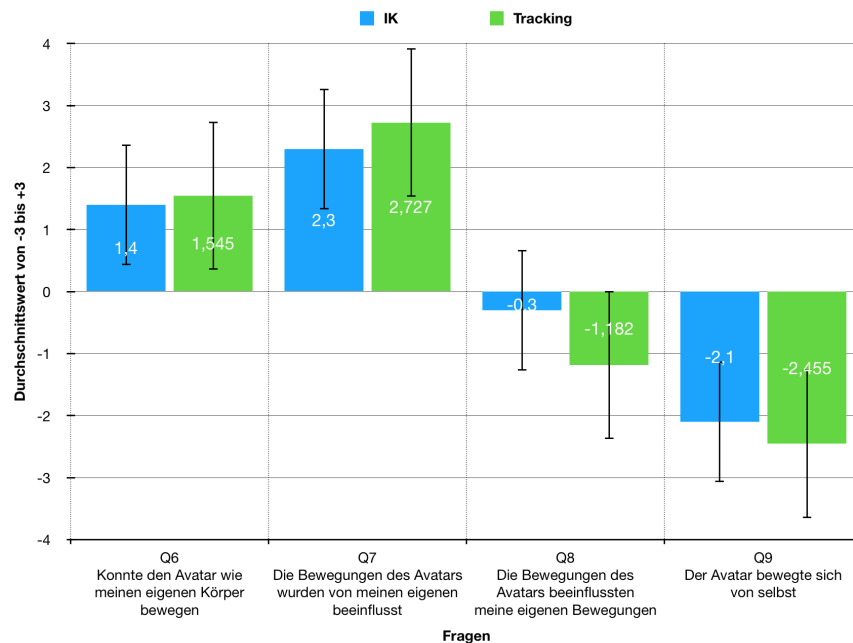


Abb. 7: Durchschnittlicher Wert der Antworten in der Kategorie Agency

Auch wenn nach Abtahi [AGFOS19] die Agency eine wichtige Rolle für das Embodiment in VR Anwendungen spielt, rückt die Agency je nach Kontext weit in den Hintergrund. Bereits ein einfacher Spaziergang in der Virtuellen Umgebung (VU) kann dafür sorgen, dass die Agency im Bezug auf das Embodiment eine merklich kleinere Rolle spielt. Da die Probanden während des Ausweichspiels trotz Spiegel keine Möglichkeiten hatten, sich in Ruhe den Avatar anzuschauen und auf die Bewegungen zu achten, kann vermutet werden, dass der Grad an Kontrolle über den Avatar keine nachweisbaren Auswirkungen auf das Embodiment hat. Diese Aussage deckt sich mit mehreren mündlichen Kommentaren der Probanden. Es wurde berichtet, dass das Ausweichspiel so viel Fokus erforderte, dass die Bewegungen des Avatar nicht besonders auffielen, selbst wenn durch verrutschen eines Trackers der Avatar unnatürliche Bewegungen aufwies. Selbst Probanden die kommentierten, dass sich der Körper verzögert oder unnatürlich bewegt, bewerteten die Agency mit Punkten zwischen eins und drei. Ein Grund dafür könnte das Inter-Subjekt Versuchsdesign sein, da die Probanden keine Vergleichsmöglichkeiten der beiden Versuchsbedingungen hatten. Ein weiterer Grund wäre der Effekt, dass die Agency während einer Aufgabe eine merklich kleinere Rolle auf das Embodiment hat, als angenommen wurde.

4.4 NASA TLX

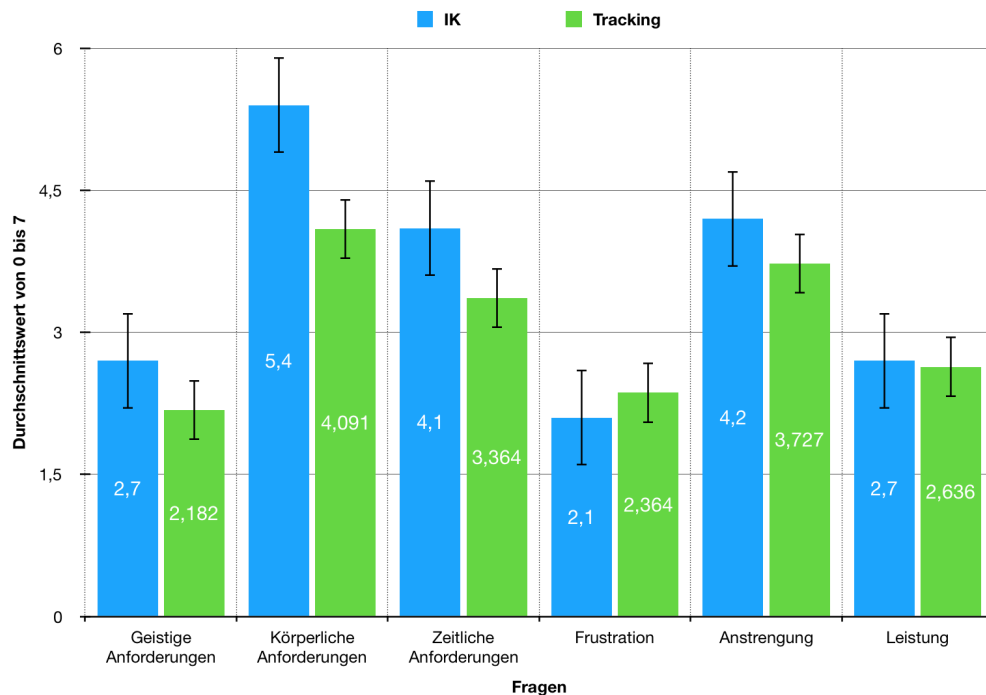


Abb. 8: Durchschnittlicher Wert der Antworten des NASA TLX

Der NASA Task Load Index [HS88] ist ein weitverbreiteter Fragebogen um gefühlte Arbeitsbelastung im Kontext einer Aufgabe zu messen. Die sechs Fragen behandeln geistige, körperliche und zeitliche Anforderungen der Aufgabe sowie die gefühlte erreichte Leistung, Anstrengung und Frustration der Benutzer während dem Absolvieren der Aufgabe. Zwei der sechs Fragen wiesen eine Normalverteilung der Antworten auf, worauf ein t-Test durchgeführt wurde. Die normalverteilten Fragen waren über die Zeitliche Anforderungen und die Anstrengung bei der Aufgabe. Keine der beiden Fragen erzeugte statistisch signifikante Daten. Der Rest der Antworten des NASA TLX waren nicht normalverteilt und wurden daher in einem Mann-Whitney U-Test analysiert. Auch hier waren keine der Daten statistisch signifikant. Die einzige Frage, bei der die Differenz der Mittelwerte zwischen den Gruppen größer als eins ist, war die Körperliche Anforderung der Aufgabe. Gruppe A verspürte im Durchschnitt eine höhere körperliche Belastung als Gruppe B. Ob diese Erkenntnis daran liegt, dass der Avatar schlechter Kontrollierbar war oder nur zufällig so ist, ist unklar. Alle anderen Fragen weisen nur geringe Unterschiede der Gruppen auf, wie in Abbildung 8 zu sehen ist. Daraus lässt sich schließen, dass die höhere Kontrolle über einen Avatar keinen oder nur sehr geringen Einfluss auf die gefühlte Arbeitsbelastung in einer Bewegungsorientierten Aufgabe hat.

4.5 Performanz der Benutzer

Die unterschiedlichen Versuchsbedingungen hatten keinen Nachweislichen Einfluss auf die Erreichte Punktzahl der Benutzer. Die durchschnittlich erreichte Punktzahl der Gruppe ohne zusätzliche Tracker beträgt 21,6 Punkte, die der Gruppe mit zusätzlichen Trackern 22,9 Punkte. Die Daten sind dabei nicht statistisch signifikant, da der p-Wert 0,546 beträgt und somit weit über den festgelegten 0,05 liegt. Dieses Ergebnis ist nicht überraschend, da die Kontrolle über die Ellbogen und Knie des Avatars keine Vorteile beim Ausweichen der Hindernisse bringen. Lediglich die direkte Kontrolle der Füße könnte beim Ausweichen helfen, was aber nur in wenigen Fällen vorkommt.

5 Diskussion und Ausblick

In dieser Bachelorthesis sollte untersucht werden, ob und wie stark sich der Grad an Kontrolle über einen Avatar in virtueller Realität (VR) auf das Embodiment auswirkt. Dazu wurde ein Versuch erstellt, in dem die Teilnehmer mit einer HTC VIVE ein durch Bewegungen gesteuertes Ausweichspiel absolvierten. Nach dem Versuch wurden Fragen hinsichtlich des gefühlten Embodiments und der Arbeitsbelastung in Fragebögen gestellt. Der Versuch wurde mit zwei unterschiedlichen Versuchsbedingungen ausgeführt. Der Unterschied zwischen den Bedingungen bestand dabei in der Anzahl an erfassten Punkten, die zur Animation und Steuerung des Avatars dienten. Realisiert wurde der Unterschied zwischen den Bedingungen durch VIVE Tracker, die in einer der Bedingungen zusätzlich zu dem Head Mounted Display und den Controllern der VIVE verwendet wurden.

Die Ergebnisse zeigen keinerlei Unterschiede zwischen den beiden Versuchsbedingungen hinsichtlich des Embodiments, der Arbeitsbelastung und der Erreichten Punktzahl in dem Spiel. Das Embodiment wurde mithilfe des von Peck erstellten Vorschlag für einen standardisierten Avatar Embodiment Fragebogens gemessen, die Arbeitsbelastung unter Verwendung des NASA TLX. Die Punktzahl wurde während des Spiels gespeichert. Der Versuch wurde mit einem Inter-Subjekt Design durchgeführt, die Teilnehmer kannten also die jeweils andere Versuchsbedingung nicht und konnten somit ihre Antworten auf ihre eigenen Gefühle und Erlebnisse während des Experiments beziehen. Dabei waren keine der ausgewerteten Daten statistisch signifikant, was an der geringen Gruppengröße von insgesamt 21 Personen liegen konnte.

Ein Grund für die erzielten Ergebnisse könnte sein, dass der Grad an Kontrolle (Agency) über den Avatar weniger Auswirkungen auf das Embodiment hat als angenommen wird. Agency spielt dennoch eine wichtige Rolle für das Embodiment für einen Avatar, was an den hohen Embodiment Werten sichtbar wird, obwohl als Avatar eine bewegliche Holzpuppe eingesetzt wurde. Die Animationen des Avatars der Versuchsgruppe A (ohne Tracker), die komplett anhand drei Punkten durch inverse Kinematics (IK) entstanden sind, lieferten überraschend zufriedenstellende Animationen. Eine Möglichkeit wäre also, dass der Unterschied zwischen den Gruppen nicht groß genug war, da die Gruppe mit weniger Agency bereits einen sehr hohen Grad an Kontrolle über den Avatar hatte. Da die Gruppen nichts voneinander wussten, konnten die beiden Arten

der Kontrolle und Animation nicht im Kontext von den Teilnehmern verglichen werden, was möglicherweise zu anderen Ergebnissen geführt hätte. In Ähnlichen Untersuchungen wie in [KMA19] wurde herausgefunden, dass das Maß an Agency solange starken Einfluss auf das Embodiment hat, solange man sich auf den Avatarkörper und dessen Bewegungen fokussiert. Sobald eine Person eine Aufgabe zu erledigen hat, die Fokus benötigt, spielt die Agency keine oder nur eine sehr kleine Rolle hinsichtlich des Gefühls des Embodiments. Da in dem Versuch körperliche und zum Teil auch geistige Aktivität erforderlich war, wurde die Aufmerksamkeit der Teilnehmer trotz Spiegel von dem Avatar weg und auf die Aufgabe gelenkt. Hätten die Probanden mehr Zeit vor und nach der Versuchsdurchführung in der virtuellen Umgebung verbracht, wäre der Unterschied zwischen den Gruppen womöglich höher.

Die durchschnittliche Punktzahlen der Gruppen war mit 21,6 und 22,9 von höchstens 40 erreichbaren Punkten ebenfalls sehr ähnlich, da der höhere Grad an Kontrolle in dem Spiel wenig Auswirkungen hatte. Zwar konnte die Gruppe mit Trackern ihre Beine und Füße präziser bewegen, waren dadurch aber nicht automatisch schneller. Die Größe der Objekte, denen ausgewichen werden musste, wurde so gewählt, dass keine unfairen Unterschiede zwischen den Gruppen entstehen. So versuchten Probanden aus beiden Gruppen über die Hindernisse zu springen, welche aber in jedem Fall zu hoch dafür waren.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass ab einem bestimmten Grad an Kontrolle über einen Avatar der Unterschied zu mehr Kontrolle hinsichtlich des Embodiments wenig Einfluss hat. Insbesondere in Umgebungen, in denen sich eine Person bewegen, denken und Aufgaben erledigen muss, hat der hohe Grad an Kontrolle keinen messbaren Einfluss auf das Embodiment. Die Nutzung von Trackern an Armen und Beinen zusätzlich zur HMD und den Controllern der HTC VIVE erweist sich als Arbeitsintensiv und fehleranfällig für einen geringen Vorteil im Gegensatz zum Gebrauch von IK. Dennoch spielt Agency eine große Rolle für das Gefühl von Embodiment, wird abhängig von dem Kontext jedoch von anderen Faktoren überdeckt.

5.1 Zukunftsaussichten

Weitere Mögliche Versuche hinsichtlich des Themas wäre das Aufteilen der Versuchsbedingungen mit dem Vorhandensein und nicht Vorhandensein eines

virtuellen Spiegels. Weitere Interessante Versuche wäre der Vergleich des Einflusses der Agency auf Embodiment zwischen einem ruhigen und einem intensiven Kontext mit sonst gleichen Bedingungen. Im weiteren könnte die Anzahl der Tracker erhöht werden, bis hin zu einem kompletten Motion Capture Anzug und dessen Vergleich zu verschiedenen IK Lösungen.

Danksagung

In erster Linie möchte ich mich bei meinem Betreuer Herr Prof. Dr. rer. nat. Uwe Kloos für die Betreuung und Unterstützung während des Studiums und dieser Thesis und für die tolle Kommunikation bedanken. Ebenfalls bedanke ich mich beim Fraunhofer IAO in Stuttgart für die Gelegenheit, diese Arbeit in Kooperation zu entwickeln. Ein besonderes Dankeschön an Daniel Diers für die erstklassige betriebliche Betreuung. Ein weiteres Dankeschön an alle Tester für die spannende Zeit der Evaluation sowie an die Zuhörer von meinem Kolloquiumsvortrag für die Aufmerksamkeit und das Feedback. Zum Schluss noch ein großes Dankeschön an meine Familie und meine Freunde ohne die das alles nicht möglich gewesen wäre.

Literatur

- [AGFOS19] ABTAHI, Parastoo ; GONZALEZ-FRANCO, Mar ; OFEK, Eyal ; STEED, Anthony: I'm a Giant: Walking in Large Virtual Environments at High Speed Gains. In: *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '19* (2019), S. 1–13. ISBN 9781450359702
- [BBF⁺10] BENFORD, Steve ; BOWERS, John ; FAHLÉN, Lennart E. ; GREENHALGH, Chris ; SNOWDON, Dave: User embodiment in collaborative virtual environments. (2010), S. 242–249
- [BC98] BOTVINICK, Matthew ; COHEN, Jonathan: Rubber hand feels touch that eyes see. In: *Nature* 391 (1998), Nr. February, S. 756. – ISSN 0028–0836
- [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. – 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
- [HL95] HOLLOWAY, Richard ; LASTRA, A.: Virtual environments: A survey of the technology. In: *SIGGRAPH'95 Course 8* (1995), Nr. September, S. 1–40

- [HS88] HART, Sandra G. ; STAVELAND, Lowell E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In: HANCOCK, Peter A. (Hrsg.) ; MESHKATI, Najmedin (Hrsg.): *Human Mental Workload* Bd. 52. North-Holland, 1988. – ISSN 0166–4115, S. 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. – ISSN 10772626
- [KEP⁺12] KALCKERT, Andreas ; EHRSSON, H H. ; PLEGER, Burkhard ; TAUBERT, Marco ; SLATER, Mel ; NEWPORT, Roger: HUMAN NEUROSCIENCE Moving a rubber hand that feels like your own: a dissociation of ownership and agency. (2012)
- [KGS12] KILTENI, Konstantina ; GROTEN, Raphaela ; SLATER, Mel: The Sense Of Embodiment in VR. In: *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 21 (2012), Nr. 4, S. 373–387. – ISBN 9780199644469
- [KMA19] KOILIAS, Alexandros ; MOUSAS, Christos ; ANAGNOSTOPOULOS, Christos-Nikolaos: The Effects of Motion Artifacts on Self-Avatar Agency. In: *Informatics* 6 (2019), Nr. 2, S. 18
- [LMP⁺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. – 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. – 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, S. 1–20
- [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, Doug: 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. – 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
- [TDG⁺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. – 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, S. 741–757. – ISSN 1862–2836

Abbildungsverzeichnis

1	Inverse Kinematik am Beispiel Dummy	11
2	Konfiguration der Tracker am Körper	13
3	Altes Setup der Anwendung	15
4	Aktuelles Setup der Anwendung	18
5	Avatar Embodiment Durchschnitte pro Kategorie	26
6	Durchschnittlicher Wert der Antworten in der Kategorie Owner- ship	27
7	Durchschnittlicher Wert der Antworten in der Kategorie Agency	28
8	Durchschnittlicher Wert der Antworten des NASA TLX	29

Anhang

A Fragebögen

Informationen zum Experiment

Herzlich Willkommen und vielen Dank für ihre Unterstützung,

in diesem Fragebogen werden Informationen zu ihrer Person vor der Durchführung eines Experiments gesammelt.

Alle Angaben werden Anonym und Vertraulich behandelt und dienen ausschließlich als Datengrundlage für diese Studie.

Die Studie wird im Rahmen einer Bachelorthesis im Studiengang Medien- und Kommunikationsinformatik durchgeführt.

Zum Experiment:

Bei dem Experiment werden sie eine für diese Thesis erstellte VR-Anwendung testen und daraufhin Fragen zu ihren Eindrücken beantworten.

Bei der Anwendung handelt es sich um ein Spiel, bei dem sie roten Kästen ausweichen und während dessen grüne Kugeln einsammeln müssen.

Vor ihnen wird sich ein Spiegel befinden von dem aus die Objekte erscheinen werden. Werden sie irgendwo von einem roten Kasten getroffen, wird ihnen ein Punkt abgezogen. Berühren sie hingegen mit irgend einem Körperteil eine grüne Kugel, erhalten sie zwei Punkte.

Dabei haben sie die HTC VIVE auf, ein Virtual Reality (VR) Headset, mit dem es sich Anfühlt, als ob sie sich mitten im Spiel befinden werden.

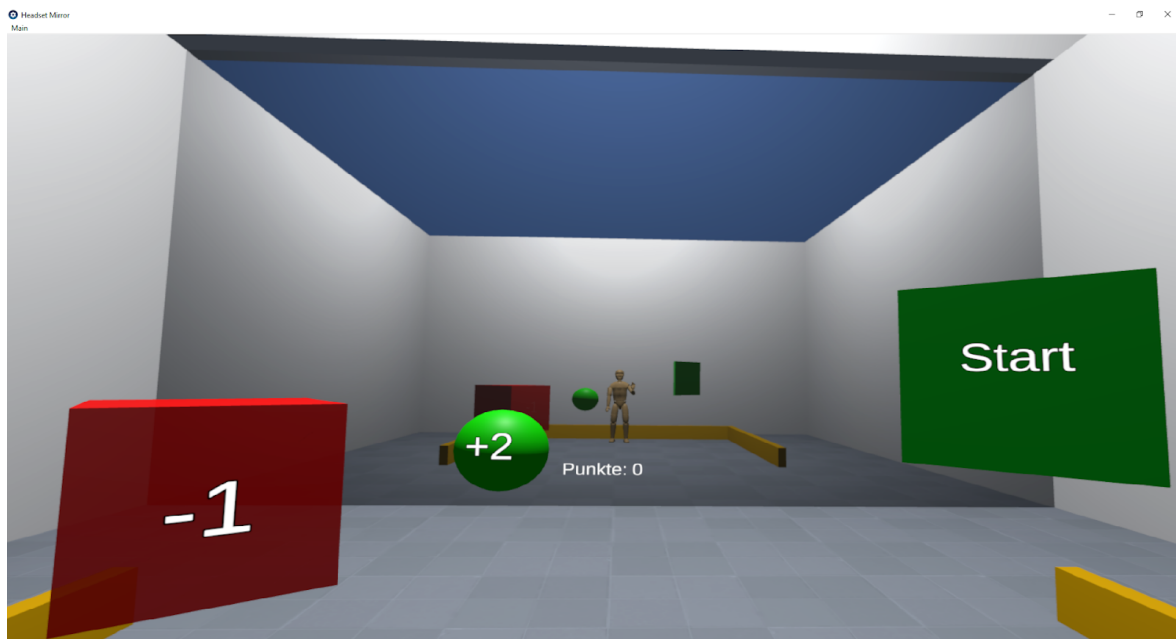
Das Spiel benötigt keine Tasteneingaben, jegliche Steuerung passiert durch ihren eigenen Körper.

Ein Durchlauf dauert ca. 3 Minuten. Vor dem richtigen Durchlauf gibt es zum eingewöhnen einen Testdurchlauf.

Nach dem Durchlauf beantworten sie bitte einen weiteren Fragebogen, welcher Fragen zum Experiment beinhaltet.

Die Teilnahme ist natürlich freiwillig. Sollten sie während dem Experiment aufhören wollen, können sie das jederzeit tun.

*** Erforderlich**



1. Bitte stimmen sie den oben genannten Bedingungen zu. *

Wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus.

☐ Ich stimme zu, der oben beschriebenen Studie Teilzunehmen

2. Zugewiesene Nummer *

Da die Fragen zur Person und zum Experiment in zwei Fragebögen unterteilt sind, ist diese Nummer erforderlich um die Zugehörigkeit der Bögen zueinander zu bestimmen.

Fragen zur Person**3. Geschlecht**

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Männlich
- ☐ Weiblich
- ☐ Sonstiges: _____

4. Alter

5. Sehhilfen

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Ich benötige keinerlei Sehhilfen
- ☐ Ich benötige Sehhilfen (z.B. Brille, Kontaktlinsen)
- ☐ Ich habe eine Farbsehstörung/-schwäche
- ☐ Sonstiges: _____

Weiter mit Frage 6

6. Haben sie bereits Erfahrungen mit Virtueller Realität (VR)?

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Ich habe noch nie eine VR-Brille benutzt
- ☐ Ich habe einmal / wenige Male eine VR-Brille benutzt
- ☐ Ich habe bereits einige male eine VR-Brille benutzt
- ☐ Ich benutze regelmäßig eine VR-Brille
- ☐ Ich habe bereits mit VR gearbeitet (z.B. eine VR Anwendung erstellt)

Bereitgestellt von



Fragen zum Experiment

Dieser Fragebogen gehört direkt zu dem Experiment, das sie gerade durchgeführt haben, Es geht um ihre persönliche Auffassung und Meinung, daher kann keine der Fragen Richtig oder Falsch beantwortet werden. Sie sollten dennoch bitte alle Fragen ehrlich beantworten und alle Antworten nur auf die Eindrücke während des Experiments beziehen
Der Fragebogen beinhaltet 25 Fragen und dauert ungefähr 5 Minuten zum Ausfüllen.

Alle Angaben werden Anonym und Vertraulich behandelt und dienen ausschließlich als Datengrundlage für diese Studie.

Bei Fragen oder Anregungen können sie gerne persönlich äußern oder sie schreiben einen Kommentar in das entsprechende Feld am Ende dieses Fragebogens.

*** Erforderlich**

1. Zugewiesene Nummer *

Da die Fragen zur Person und zum Experiment in zwei Fragebögen unterteilt sind, ist diese Nummer erforderlich um die Zugehörigkeit der Bögen zueinander zu bestimmen.

Erreichte Punktzahl

2. Pluspunkte *

3. Minuspunkte *

4. Erreichte Punktzahl insgesamt *

Übelkeit

5. Mir ist während des Experiments schlecht geworden / ich habe Übelkeit verspürt *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Stimme überhaupt nicht zu
- ☐ Stimme nicht zu
- ☐ Stimme eher nicht zu
- ☐ Neutral
- ☐ Stimme eher zu
- ☐ Stimme zu
- ☐ Stimme voll und ganz zu
- ☐ Sonstiges: _____

6. Der Virtuelle Körper hat sich wie mein echter Körper angefühlt. **Markieren Sie nur ein Oval.*

- ☐ Stimme überhaupt nicht zu
- ☐ Stimme nicht zu
- ☐ Stimme eher nicht zu
- ☐ Neutral
- ☐ Stimme eher zu
- ☐ Stimme zu
- ☐ Stimme voll und ganz zu

7. Es hat sich angefühlt, als hätten die Bewegungen des virtuellen Körpers meine eigenen Bewegungen beeinflusst. **Markieren Sie nur ein Oval.*

- ☐ Stimme überhaupt nicht zu
- ☐ Stimme nicht zu
- ☐ Stimme eher nicht zu
- ☐ Neutral
- ☐ Stimme eher zu
- ☐ Stimme zu
- ☐ Stimme voll und ganz zu

8. Es hat sich angefühlt, als würde ich mich außerhalb meines Körpers befinden. **Markieren Sie nur ein Oval.*

- ☐ Stimme überhaupt nicht zu
- ☐ Stimme nicht zu
- ☐ Stimme eher nicht zu
- ☐ Neutral
- ☐ Stimme eher zu
- ☐ Stimme zu
- ☐ Stimme voll und ganz zu

9. Es hat gewirkt, als ob ich an der Stelle eine Berührung gespürt habe, wo der virtuelle Körper berührt wurde. **Markieren Sie nur ein Oval.*

- ☐ Stimme überhaupt nicht zu
- ☐ Stimme nicht zu
- ☐ Stimme eher nicht zu
- ☐ Neutral
- ☐ Stimme eher zu
- ☐ Stimme zu
- ☐ Stimme voll und ganz zu

10. Die Bewegungen des virtuellen Körpers wurden durch meine eigenen Bewegungen gesteuert. *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Stimme überhaupt nicht zu
- ☐ Stimme nicht zu
- ☐ Stimme eher nicht zu
- ☐ Neutral
- ☐ Stimme eher zu
- ☐ Stimme zu
- ☐ Stimme voll und ganz zu

11. Es fühlte sich an, als ob ich den virtuellen Körper wie meinen eigenen Körper kontrollieren konnte. *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Stimme überhaupt nicht zu
- ☐ Stimme nicht zu
- ☐ Stimme eher nicht zu
- ☐ Neutral
- ☐ Stimme eher zu
- ☐ Stimme zu
- ☐ Stimme voll und ganz zu

12. Es hat gewirkt, als ob ich eine Berührung gespürt habe, die irgendwo zwischen meinem physischen und dem virtuellen Körper lag. *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Stimme überhaupt nicht zu
- ☐ Stimme nicht zu
- ☐ Stimme eher nicht zu
- ☐ Neutral
- ☐ Stimme eher zu
- ☐ Stimme zu
- ☐ Stimme voll und ganz zu

13. Der Körper, den ich im Spiegel gesehen habe, hat sich angefühlt als ob er einer anderen Person gehören würde. *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Stimme überhaupt nicht zu
- ☐ Stimme nicht zu
- ☐ Stimme eher nicht zu
- ☐ Neutral
- ☐ Stimme eher zu
- ☐ Stimme zu
- ☐ Stimme voll und ganz zu

14. Der Körper, den ich im Spiegel gesehen habe, hat sich angefühlt als ob er mein eigener Körper war. *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Stimme überhaupt nicht zu
- ☐ Stimme nicht zu
- ☐ Stimme eher nicht zu
- ☐ Neutral
- ☐ Stimme eher zu
- ☐ Stimme zu
- ☐ Stimme voll und ganz zu

15. Der Virtuelle Körper hat sich angefühlt wie wenn er jemand anderem gehören würde. *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Stimme überhaupt nicht zu
- ☐ Stimme nicht zu
- ☐ Stimme eher nicht zu
- ☐ Neutral
- ☐ Stimme eher zu
- ☐ Stimme zu
- ☐ Stimme voll und ganz zu

16. Es hat sich angefühlt als ob ich mehr als einen Körper hatte. *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Stimme überhaupt nicht zu
- ☐ Stimme nicht zu
- ☐ Stimme eher nicht zu
- ☐ Neutral
- ☐ Stimme eher zu
- ☐ Stimme zu
- ☐ Stimme voll und ganz zu

17. Irgendwann hat es sich so angefühlt, als ob mein echter Körper die Haltung oder die Form des virtuellen Körpers, den ich gesehen habe, annahm. *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Stimme überhaupt nicht zu
- ☐ Stimme nicht zu
- ☐ Stimme eher nicht zu
- ☐ Neutral
- ☐ Stimme eher zu
- ☐ Stimme zu
- ☐ Stimme voll und ganz zu

18. Es hat sich angefühlt, als hätte der virtuelle Körper sich von selbst bewegt. **Markieren Sie nur ein Oval.*

- ☐ Stimme überhaupt nicht zu
- ☐ Stimme nicht zu
- ☐ Stimme eher nicht zu
- ☐ Neutral
- ☐ Stimme eher zu
- ☐ Stimme zu
- ☐ Stimme voll und ganz zu

19. Irgendwann hat es sich so angefühlt, als ob der virtuelle Körper mir im Bezug auf Form, Hautfarbe oder anderen äußerlichen Merkmalen ähnelte / ähnlich sah. **Markieren Sie nur ein Oval.*

- ☐ Stimme überhaupt nicht zu
- ☐ Stimme nicht zu
- ☐ Stimme eher nicht zu
- ☐ Neutral
- ☐ Stimme eher zu
- ☐ Stimme zu
- ☐ Stimme voll und ganz zu

20. Es hat sich angefühlt, als ob mein (realer) Körper sich in einen 'Avatar' Körper verwandelt hat. **Markieren Sie nur ein Oval.*

- ☐ Stimme überhaupt nicht zu
- ☐ Stimme nicht zu
- ☐ Stimme eher nicht zu
- ☐ Neutral
- ☐ Stimme eher zu
- ☐ Stimme zu
- ☐ Stimme voll und ganz zu

21. Es hat sich angefühlt, als ob sich mein Körper dort befand, wo ich den virtuellen Körper gesehen habe. **Markieren Sie nur ein Oval.*

- ☐ Stimme überhaupt nicht zu
- ☐ Stimme nicht zu
- ☐ Stimme eher nicht zu
- ☐ Neutral
- ☐ Stimme eher zu
- ☐ Stimme zu
- ☐ Stimme voll und ganz zu

22. Wie hart mussten sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen? **Markieren Sie nur ein Oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	
gering	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	hoch

23. Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich? *

(z.B. Ziehen, Drücken, Drehen, Steuern, Aktivieren,...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?

Markieren Sie nur ein Oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
gering	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	hoch

24. Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt, mit dem Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? *

War die Abfolge langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?

Markieren Sie nur ein Oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
gering	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	hoch

25. Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (im Gegensatz zu sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und selbstzufrieden) fühlten Sie sich während der Aufgabe? **Markieren Sie nur ein Oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	
gering	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	hoch

26. Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Ihnen selbst) gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele? **Markieren Sie nur ein Oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	
gut	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	schlecht

27. Wie viel geistige Anstrengung war bei der Informationsaufnahme und -verarbeitung erforderlich? *

(z.B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen...) War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erforderte sie hohe Genauigkeit oder war sie fehlertolerant?

Markieren Sie nur ein Oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
gering	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	hoch

Kommentar

Falls sie noch etwas zum Experiment sagen möchten, was nicht in den Fragebögen gefragt wurde, schreiben sie es bitte hier. (Optional)

28.

Vielen Dank für ihre Teilnahme

Bereitgestellt von



B Statistische Auswertung

T-Test

Group Statistics

AdditionalTrackers		N	Mean	Std. Deviation
HowHardDidYouNeedToWork	0	10	4,20	1,317
	1	11	3,73	1,272
TimePressure	0	10	4,10	,994
	1	11	3,36	1,433
IFeltLikeMyBodyTransformedIntoAvatar	0	10	-,30	1,829
	1	11	-,64	2,203

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means
		F	Sig.	t
HowHardDidYouNeedToWork	Equal variances assumed	,002	,961	,837
	Equal variances not assumed			,835
TimePressure	Equal variances assumed	1,567	,226	1,354
	Equal variances not assumed			1,378
IFeltLikeMyBodyTransformedIntoAvatar	Equal variances assumed	,145	,708	,378
	Equal variances not assumed			,382

Independent Samples Test

		t-test for Equality of Means		
		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
HowHardDidYouNeedToWork	Equal variances assumed	19	,413	,473
	Equal variances not assumed	18,662	,414	,473
TimePressure	Equal variances assumed	19	,192	,736
	Equal variances not assumed	17,837	,185	,736
IFeltLikeMyBodyTransformedIntoAvatar	Equal variances assumed	19	,709	,336
	Equal variances not assumed	18,863	,707	,336

Mann-Whitney Test

Ranks		N	Mean Rank	Sum of Ranks
	AdditionalTrackers			
PointsTotal	0	10	11,85	118,50
	1	11	10,23	112,50
	Total	21		
PointsNeg	0	10	9,75	97,50
	1	11	12,14	133,50
	Total	21		
PointsPos	0	10	12,45	124,50
	1	11	9,68	106,50
	Total	21		
IGotSick	0	10	10,50	105,00
	1	11	11,45	126,00
	Total	21		
VirtualBodyFeltLikeMine	0	10	10,60	106,00
	1	11	11,36	125,00
	Total	21		
VirtualBodyFeltLikeSElises	0	10	11,00	110,00
	1	11	11,00	121,00
	Total	21		
FeltLikeMultipleBodies	0	10	13,10	131,00
	1	11	9,09	100,00
	Total	21		
BodyInMirrorFeltLikeBelong edToMe	0	10	10,95	109,50
	1	11	11,05	121,50
	Total	21		
BodyInMirrorFeltLikeSOElse s	0	10	11,70	117,00
	1	11	10,36	114,00
	Total	21		
CouldControlLikeMyBody	0	10	9,90	99,00
	1	11	12,00	132,00
	Total	21		
MovementsWereControlledB yMyMovements	0	10	9,05	90,50
	1	11	12,77	140,50
	Total	21		
ItFeltLikeVirtualMovementsI nfluencedMine	0	10	12,65	126,50
	1	11	9,50	104,50

	Total	21		
--	-------	----	--	--

Ranks

	AdditionalTrackers	N	Mean Rank	Sum of Ranks
	0	10	12,00	120,00
ItFeltLikeVirtualBodyMoved	1	11	10,09	111,00
OnItsOwn	Total	21		
	0	10	12,05	120,50
IFeltTouchesFromTheVirtual	1	11	10,05	110,50
Body	Total	21		
	0	10	11,65	116,50
FeltTouchesInBetweenVirtua	1	11	10,41	114,50
lAndReal	Total	21		
	0	10	8,80	88,00
ItFeltLikeMyBodyOverlapped	1	11	13,00	143,00
VirtualBody	Total	21		
	0	10	11,95	119,50
IFeltLikeOutsideMyBody	1	11	10,14	111,50
	Total	21		
	0	10	12,50	125,00
ItFeltLikeMyBodyImitatedAv	1	11	9,64	106,00
atarStance	Total	21		
	0	10	10,90	109,00
ItFeltLikeVirtualBodyBecame	1	11	11,09	122,00
SimilarToMe	Total	21		
	0	10	11,80	118,00
MentalLoadForInformationPr	1	11	10,27	113,00
ocessing	Total	21		
	0	10	13,50	135,00
PhysicalActivity	1	11	8,73	96,00
	Total	21		
	0	10	10,90	109,00
HowWellDidYouReachTheG	1	11	11,09	122,00
oals	Total	21		
	0	10	10,75	107,50
HowUnsureIrritatedETCDidY	1	11	11,23	123,50
ouFeel	Total	21		

Test Statistics^a

	PointsTotal	PointsNeg	PointsPos	IGotSick	VirtualBodyFeltLikeMine
Mann-Whitney U	46,500	42,500	40,500	50,000	51,000
Wilcoxon W	112,500	97,500	106,500	105,000	106,000
Z	-,603	-,885	-1,066	-,953	-,286
Asymp. Sig. (2-tailed)	,546	,376	,287	,340	,775
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,557 ^b	,387 ^b	,314 ^b	,756 ^b	,809 ^b

Test Statistics^a

	VirtualBodyFeltLikeSElves	FeltLikeMultipleBodies	BodyInMirrorFeltLikeBelongedToMe	BodyInMirrorFeltLikeSOElves
Mann-Whitney U	55,000	34,000	54,500	48,000
Wilcoxon W	121,000	100,000	109,500	114,000
Z	,000	-1,609	-,036	-,525
Asymp. Sig. (2-tailed)	1,000	,108	,971	,600
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	1,000 ^b	,152 ^b	,973 ^b	,654 ^b

Test Statistics^a

	CouldControlLikeMyBody	MovementsWereControlledByMyMovements	ItFeltLikeVirtualMovementsInfluencedMine	ItFeltLikeVirtualBodyMovedOnItsOwn
Mann-Whitney U	44,000	35,500	38,500	45,000
Wilcoxon W	99,000	90,500	104,500	111,000
Z	-,804	-1,575	-1,186	-,778
Asymp. Sig. (2-tailed)	,421	,115	,236	,437
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,468 ^b	,173 ^b	,251 ^b	,512 ^b

Test Statistics^a

	IFeltTouchesFromTheVirtualBody	FeltTouchesInBetweenVirtualAndReal	ItFeltLikeMyBodyOverlappedVirtualBody	IFeltLikeOutsideMyBody
Mann-Whitney U	44,500	48,500	33,000	45,500
Wilcoxon W	110,500	114,500	88,000	111,500
Z	-,759	-,469	-1,618	-,703
Asymp. Sig. (2-tailed)	,448	,639	,106	,482
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,468 ^b	,654 ^b	,132 ^b	,512 ^b

Test Statistics^a

	ItFeltLikeMyBodyI mitatedAvatarSta nce	ItFeltLikeVirtualB odyBecameSimila rToMe	MentalLoadForInf ormationProcessi ng	PhysicalActivity
Mann-Whitney U	40,000	54,000	47,000	30,000
Wilcoxon W	106,000	109,000	113,000	96,000
Z	-1,075	-,073	-,614	-1,822
Asymp. Sig. (2-tailed)	,282	,942	,539	,068
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,314 ^b	,973 ^b	,605 ^b	,085 ^b

Test Statistics^a

	HowWellDidYouReachTheG oals	HowUnsureIrritatedETCDidY ouFeel
Mann-Whitney U	54,000	52,500
Wilcoxon W	109,000	107,500
Z	-,075	-,190
Asymp. Sig. (2-tailed)	,940	,849
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,973 ^b	,863 ^b

a. Grouping Variable: AdditionalTrackers

b. Not corrected for ties.



Erklärung zur Abgabe einer Bachelor- / Master-Thesis

Ich versichere ehrenwörtlich, dass ich

- die abgegebene Thesis selbständig 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 einer anderen Kommission zur Prüfung vorgelegt wurden,
- alle nicht als Zitat gekennzeichneten Inhalte selbst erstellt habe und dass ich
- den „Leitfaden für gute wissenschaftliche Praxis im Studiengang MKI“¹ kenne und achte.

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, die Regeln des Studiengangs Medien- und Kommunikationsinformatik, die Studien- und Prüfungsordnung der Hochschule Reutlingen (§ 10 Täuschung und Ordnungsverstoß) und 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.

Mir ist auch bekannt, dass Plagiate sogar das Urheberrechtsgesetz (§ 51 Zitate, § 63 Quellenangabe, § 106 Unerlaubte Verwertung urheberrechtlich geschützter Werke) verletzen und zivil- und strafrechtliche Folgen nach sich ziehen können.

Nachname: _____

Vorname: _____

Matrikelnummer: _____

Datum: _____

Unterschrift: _____

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